

TUGAS AKHIR

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

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

Disusun Oleh:

AHMAD MUSTAQIM YUSUF
1307210096



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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ahmad Mustaqim Yusuf

NPM : 1307210096

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Boiler Cangkang Sawit Sebagai Filler Untuk Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2010 (*Studi Penelitian*)

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, 04 oktober 2017

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II/Penguji

Muhammad Husin Gultom, ST, MT

Mizanuddin Sitompul, ST, MT

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II/Penguji

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 : Ahmad Mustaqim Yusuf

Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 03 januari 1993

NPM : 1307210096

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 Untuk Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Spesiikasi Bina Marga 2010 ”

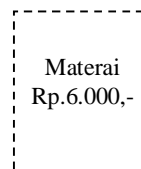
bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinil dan otentik.

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, 4 Oktober 2017

Saya yang menyatakan,



Ahmad Mustaqim Yusuf

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

Ahmad Mustaqim Yusuf
1307210096
M. Husin Gultom, ST, MT
Mizanuddin Sitompul, ST, MT

Filler merupakan salah satu bahan yang berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga dari suatu campuran beraspal. Macam bahan pengisi yang dapat digunakan ialah: abu batu, kapur padam, *portland cement (PC)*, dll. Persentase yang kecil pada *filler* terhadap campuran beraspal, bukan berarti tidak mempunyai efek yang besar pada sifat-sifat *Marshall*. Sektor agribisnis kelapa sawit di Indonesia tercatat memiliki perkembangan yang sangat pesat. Hal itu menimbulkan pertumbuhan industri sawit yang terus meningkat, dan akan berdampak pada limbah yang dihasilkan dari pengolahan Tandan Buah Segar (*TBS*). Tulisan ini mencoba meneliti limbah padat berupa abu cangkang sawit yang berasal dari sisa pembakaran pada ketel (*boiler*), berupa abu terbang dapat dimanfaatkan sebagai *filler* dalam campuran aspal karena jumlahnya yang sangat banyak. *Filler* adalah salah satu bahan yang digunakan dalam campuran lapisan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (lapisan aus). Dalam Penelitian ini pembuatan benda uji (*bricket*) dicampur secara panas (*hot mix*) pada suhu 150⁰C dan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3. Pada penelitian ini digunakan variasi abu boiler cangkang sawit sebagai *filler* 2% dan 4%. Dari data *Marshall Test* yang didapatkan didapat bahwa hasil pengujian tersebut memenuhi standart spesifikasi Bina Marga 2010. Dan yang memiliki nilai tertinggi dalam keadaan optimum terdapat pada campuran yang menggunakan *filler* 4%. Dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 894 kg, *Bulk Density* 2,303 (gr/cc), flow 3,694 mm, VIM 3,763%, VIM PRD 4,548%, VMA sebesar 16,421%, VFB 76,491% dan Indeks Kekuatan Sisa (*Marshall* sisa) 91,98%.

Kata kunci: *filler*, abu cangkang sawit, lapisan AC-WC, spesifikasi Bina Marga 2010.

ABSTRAK

ANALYSIS OF INFLUENCE OF USE DUST BOILER PALM SHELLS AS FILLER FOR ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE MIX (AC-WC) USING SPECIFICATION OF BINA MARGA 2010 (Research Studies)

Ahmad Mustaqim Yusuf
1307210096
M. Husin Gultom, ST, MT
Mizanuddin Sitompul, ST, MT

Filler is one of the ingredients that serves as a filler cavity of a paved mixture. Types of fillers that can be used are: stone ash, lime outage, 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 sector of oil palm agribusiness in Indonesia has recorded a very rapid growth. This will encourage the growth of the palm oil industry, which will continue to increase, and will affect the waste generated from the processing of fresh fruit bunches (FFB). This paper attempts to investigate the solid waste in the form of palm shale ash from the burning residue of the boiler in the form of fly ash can be used as filler in asphalt mixture because of the very large amount. Filler is one of the materials used in Asphalt Concrete-Wearing Course layer mixture. In this research, the manufacture of test specimen (bricket) is mixed hot (hot mix) at 150⁰C and refers to Bina Marga 2010 Specification revision 3. In this research used variation of palm shell ash 2% and 4%. From the obtained Marshall Test data, which meets all the requirements according to the Bina Marga 2010 Specification is a palm kernel ash filler of 4%. The stability value is 894 kg, Bulk Density 2,303 (gr / cc), flow 3,694 mm, VIM 3,763%, VIM PRD 4,548%, VMA 16,421%, 76,491% VFB and Time Strength index (residue marshall) 91,98%.

keywords: *filler*, palm shell dust, AC-WC layer, Bina Marga 2010 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 “Analisa Pengaruh Penggunaan Abu Boiler Cangkang Sawit Sebagai Filler Untuk Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) 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. Bapak Muhammad Husin Gultom, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Mizanuddin Sitompul, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Andri, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, ST, Msc, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji serta ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Hj. Irma Dewi, ST, MSi, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Rahmatullah, ST, MSc selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Yang paling saya sayangi orang tua saya: alm. Muhammad Yusuf dan Lasmaida Sitorus, terimakasih untuk semua doa dan kasih sayang tulus yang tak ternilai harganya, serta telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis saya.
9. Teristimewa keluarga saya Abangda Muhammad Isya Yusuf adinda Lathifah hanum Yusuf terimakasih untuk semua do'a dan dukunganya.
10. Keluarga kedua saya: Ayu Meilia, S.Pd, Muhammad Rachman Ramli, Amd, Muhammad Husin Ramli, Amd Siti Zahra, Amd.
11. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
12. Sahabat-sahabat penulis: Muhammad Said Zulhamsyah, Dicky Alamsyah, Dede Saputra, ST. Muhammad Nahari, ST, Alif Zabawi, Muhammad Rezky, Zulfuadi Nasution, Al Akbar, Muhammad Nasrul fajari, Muhammad Fauzan, Agung, Putri Pangesti, Muhammad Reza Fahlevi kelas A3 Malam 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, 4 Oktober 2017

Ahmad Mustaqim Yusuf

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 NOTASI	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Rang Lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Umum	5
2.2. Agregat	6
2.2.1. Sifat Agregat	7
2.2.2. Klasifikasi Agregat	8
2.2.3. Jenis Agregat	8
2.2.4. Bahan pengisi (<i>filler</i>)	9
2.2.5. Gradasi	10
2.2.6. Gradasi Agregat Gabungan	11
2.2.7. Pengujian Agregat	12
2.3. Aspal (<i>Asphalt</i>)	18
2.3.1. Jenis Aspal	19

2.3.2. Sifat Aspal	20
2.3.3. Klasifikasi Aspal	22
2.3.4. Pemeriksaan Properties Aspal	24
2.4. Metode Pengujian Campuran	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Bagan Alir Metode Penelitian	30
3.2. Metode Penelitian	31
3.3. Material Untuk Penelitian	31
3.4. Pengumpulan Data	31
3.5. Prosedur Penelitian	31
3.6. Pemeriksaan Bahan Campuran	32
3.6.1. Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar Dan Halus	32
3.6.2. Alat Yang Digunakan	32
3.7. Prosedur Kerja	33
3.7.1. Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	33
3.7.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji	34
3.7.3. Metode Pengujian Sampel	35
3.7.4. Penentuan Berat Jenis <i>Bulk Gravity</i>	36
3.7.5. Pengujian Stabilitas Dan Kelelehan (<i>Flow</i>)	37
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Penelitian	39
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat	39
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat	48
4.1.3. Hasil Pengujian Aspal	51
4.1.4. Perhitungam Parameret Pengujian Benda Uji	52
4.1.5. Perbandingan Sifat <i>Marshall</i>	59
4.2. Pembahasan dan Analisa	63
4.2.1. Perhitungan Kadar Aspal Optimum	63
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	66
5.2. Saran	67
DAFTAR PUSTAKA	

LAMPIRAN
DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)	6
Tabel 2.2	Gradasi Bahan Pengisi	10
Tabel 2.3	Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal	12
Tabel 2.4	Ukuran saringan menurut ASTM	13
Tabel 2.5	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Viskositas	22
Tabel 2.6	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Hasil RTFOT	23
Tabel 2.7	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi Aspal	23
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) $\frac{3}{4}$ Inch	39
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ma) $\frac{1}{2}$ Inch	40
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Pasir (Sand)	40
Tabel 4.4	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu (Cr)	41
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Abu Cangkang Sawit (<i>Filler</i>)	42
Tabel 4.6	Hasil Pemeriksaan Kombinasi Gradasi Agregat Normal	43
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan Kombinasi Gradasi Agregat Dengan Campuran Abu Cangkang Sawit 2% Pada <i>Filler</i>	44
Tabel 4.8	Hasil Pemeriksaan Kombinasi Gradasi Agregat Dengan Campuran Abu Cangkang Sawit 4% Pada <i>Filler</i>	45
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Normal	47
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Penggunaan <i>Filler</i> 2%.	47
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Penggunaan <i>Filler</i> 4%.	47
Tabel 4.12	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar CA $\frac{3}{4}$ Inch	48

Tabel 4.13 Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar MA <i>½ inch</i>	49
Tabel 4.14 Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu (<i>cr</i>)	49
Tabel 4.15 Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>).	50
Tabel 4.16 Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Abu Cangkang Sawit (<i>Filler</i>)	51
Tabel 4.17 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70	51
Tabel 4.18 Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran Normal	54
Tabel 4.19 Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran penggunaan <i>filler</i> 2%	54
Tabel 4.20 Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran penggunaan <i>filler</i> 4%	54
Tabel 4.21 Kadar Aspal Optimum Untuk Campuran Aspal Pertamina Normal Serta Penggunaan Abu Cangkang Sawit Pada <i>Filler</i> 2% Dan 4%	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Berat Jenis Agregat	15
Gambar 2.2	Hubungan Volume Dan Rongga-Density Benda Uji Campuran Aspal Panas Padat	26
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	30
Gambar 4.1	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Normal	43
Gambar 4.2	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Campuran Abu Cangkang Sawit 2% Pada <i>Filler</i>	44
Gambar 4.3	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Campuran Abu Cangkang Sawit 4% Pada <i>Filler</i>	45
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Bulk Density (Gr/Cc)</i> Campuran Normal	55
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Bulk Density (Gr/Cc)</i> Campuran <i>Filler</i> 2%.	55
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Bulk Density (Gr/Cc)</i> Campuran <i>Filler</i> 4%.	56
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Stability</i> Campuran Normal	56
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Stability (Kg)</i> Campuran <i>Filler</i> 2%	56
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Stability (Kg)</i> Campuran <i>Filler</i> 4%	57
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Air Voids (VIM) (%)</i> Campuran Normal	57
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Air Voids (VIM) (%)</i> Campuran <i>Filler</i> 2%	57
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Air Voids (VIM) (%)</i> Campuran <i>Filler</i> 4%	58
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Flow (Mm)</i> Campuran Normal	58

Gambar 4.14	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran <i>Filler</i> 2%	58
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran <i>Filler</i> 4%	59
Gambar 4.16	Perbandingan Nilai <i>Bulk Density</i> Campuran Aspal Normal Serta Penggunaan Campuran Abu Cangkang Sawit Pada <i>Filler</i> 2% Dan 4%.	59
Gambar 4.17	Perbandingan Nilai <i>Stability</i> Campuran Aspal Normal Serta Penggunaan Campuran Abu Cangkang Sawit Pada <i>Filler</i> 2% Dan 4%.	60
Gambar 4.18	Perbandingan Nilai <i>Flow</i> Campuran Aspal Normal Serta Serta Penggunaan Campuran Abu Cangkang Sawit Pada <i>Filler</i> 2% Dan 4%.	61
Gambar 4.19	Perbandingan Nilai VIM Campuran Aspal Normal Serta Penggunaan Campuran Abu Cangkang Sawit Pada <i>Filler</i> 2% Dan 4%.	61
Gambar 4.20	Perbandingan Nilai VFB Campuran Aspal Normal Serta Penggunaan Campuran Abu Cangkang Sawit Pada <i>Filler</i> 2% Dan 4%	62
Gambar 4.21	Perbandingan Nilai VMA Campuran Aspal Normal Serta Penggunaan Campuran Abu Cangkang Sawit Pada <i>Filler</i> 2% Dan 4%	62
Gambar 4.22	Penentuan Rentang (<i>Range</i>) Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Normal	63
Gambar 4.23	Penentuan Rentang (<i>Range</i>) Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal <i>Filler</i> 2%	64
Gambar 4.24	Penentuan Rentang (<i>Range</i>) Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal <i>Filler</i> 4%	64

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

V_s = Volume bagian padat agregat
 W_s = 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>
Sbit	= <i>Stiffness Bitumen</i>
Smix	= <i>Stiffness Mix</i>
PI	= <i>Penetration Index</i>
PRD	= <i>Persentage Refusal Density</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk memikul beban lalu lintas. Agregat yang dipakai terdiri dari batu pecah, batu belah, atau batu kali. Sedangkan bahan pengikat yang dipakai antara lain adalah *asphalt cement*, *portland cement* dan tanah liat. Jalan raya memiliki fungsi penting dalam kehidupan manusia karena 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 bangsa. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Sukirman, 1999).

Dengan keluarnya ide-ide baru dalam pelaksanaan pembangunan jalan raya sehingga semakin menambah pengetahuan untuk melakukan aplikasi-aplikasi yang jauh lebih baik penggunaannya untuk dapat diterapkan dalam hal pembangunan jalanraya. Pada umumnya perkerasan yang dipakai adalah perkerasan lentur dengan bahan pengikat aspal. Konstruksi jalan raya sistem perkerasan lentur biasanya menggunakan campuran aspal dan agregat sebagai lapis permukaan. Campuran aspal berfungsi sebagai lapisan struktural dan non struktural. Campuran aspal terdiri dari berbagai jenis agregat seperti agregat halus, agregat kasar, mineral *filler* dan aspal sebagai bahan pengikat. Material yang umum digunakan sebagai *filler* pada penyusunan campuran perkerasan lentur adalah semen, pasir, kapur dan abu batu yang mana persediaannya terbatas serta relatif mahal. Bila dilihat dari sumber materialnya, *filler* dari semen, pasir, kapur dan abu batu berasal dari sumber material yang tidak dapat diperbaharui. Untuk itu perlu adanya inovasi-inovasi baru dengan menggunakan alternatif bahan yang lain sehingga program pembangunan dan pemeliharaan jalan dimasa yang akan datang dapat berjalan

dengan lancar dan diusahakan lebih ekonomis. Campuran aspal yang berfungsi sebagai lapisan struktural adalah lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda. Sebagai lapisan non struktural aspal beton berfungsi sebagai lapis kedap air dan lapis aus (*wearing course*) atau lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Didalam penulisan ini kombinasi yang digunakan adalah abu boiler yang berasal dari hasil pembakaran cangkang sawit, sebagai *filler* dengan campuran aspal hot mix. *Asphaltic Concrete* (AC) merupakan salah satu jenis bahan perkerasan lentur yang memiliki nilai struktural yang tinggi dan banyak digunakan di Indonesia sebagai lapis permukaan jalan. Karakteristik campuran beton aspal sangat dipengaruhi oleh jenis dan kadar *filler* dalam campurannya.

Filler merupakan salah satu bahan yang berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga dari suatu campuran beraspal, disamping itu *filler* berfungsi pula sebagai media untuk mengisi rongga dalam campuran aspal agar memenuhi void yang diinginkan. Persentase yang kecil pada *filler* terhadap campuran beraspal, bukan berarti tidak mempunyai efek yang besar pada sifat-sifat *Marshall* yang juga merupakan kinerja campuran terhadap beban lalu lintas (Sukirman, 1999).

Sektor agribisnis kelapa sawit di Indonesia tercatat memiliki perkembangan yang sangat pesat. Hal ini terlihat dari luas areal kelapa sawit dari produksi minyak sawit mentah (*Crude Palm Oil, CPO*) yang terus mengalami peningkatan sejak tahun 1968 sampai dengan pada saat ini. Pada periode 1968-2009, yaitu dari 120.000 ha pada tahun 1968 menjadi 8.248.328 ha pada tahun 2009. Pertumbuhan industri sawit yang terus meningkat akan berdampak pada limbah yang dihasilkan dari pengolahan Tandan Buah Segar (*TBS*). Limbah ini adalah sisa produksi minyak sawit kasar berupa sabut dan cangkang (*batok*) sawit. Limbah padat berupa cangkang dan sabut digunakan sebagai bahan bakar ketel (*boiler*) untuk menghasilkan energi mekanik dan panas. Masalah yang kemudian timbul adalah sisa dari pembakaran pada ketel (*boiler*) berupa abu dengan jumlah yang terus meningkat sepanjang tahun yang sampai sekarang masih belum dimanfaatkan. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Graille dkk (1985) ternyata limbah abu sawit banyak mengandung unsur silika (SiO_2) yang merupakan bahan *pozzolanic* (Hudan, 2012).

Berdasarkan pengamatan secara visual, abu sawit memiliki berbagai karakteristik diantaranya, bentuk partikel abu sawit tidak beraturan, ada yang memiliki butiran bulat panjang, bulat dan bersegi dengan ukuran butiran 0-2,3 mm serta memiliki warna abu-abu kehitaman. Bertolak dari alasan diatas, maka perlu diadakan penelitian dengan menggunakan Abu Boiler dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) yang sangat melimpah di Indonesia, khususnya dipulau Sumatera sebagai bahan campuran dalam *Asphal Concrte-Wearing Course (AC-WC)*

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian tugas akhir ini permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimanakah penggunaan variasi *filler* dalam penelitian ini, dengan menggunakan abu boiler cangkang sawit sebagai bahan campuran aspal panas jenis *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)* dapat memenuhi persyaratan terhadap sifat-sifat parameter *Marshall* yang sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.

1.3 Ruang Lingkup

Beberapa batasan masalah yang dipakai dalam penelitian ini agar tidak terjadi perluasan pembahasan antara lain:

1. Penelitian ini tidak melakukan pengujian aspal di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara karena hasil pengujian aspal telah diperoleh dari data sekunder.
2. Penelitian ini hanya menggunakan jenis campuran aspal beton AC-WC.
3. Penelitian ini hanya meneliti berbandingan sifat *Marshall* yang menggunakan variasi *filler* 2% dan 4% dengan penggunaan abu boiler cangkang sawit sebagai sebagai bahan campuran aspal panas jenis *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)*

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui bagaimana penggunaan variasi *filler* dalam penelitian ini, dengan menggunakan abu boiler cangkang sawit sebagai bahan campuran aspal panas jenis *Asphalt*

Concrete - Wearing Course (AC-WC) dapat memenuhi persyaratan terhadap sifat-sifat parameter Marshall yang sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah diharapkan abu cangkang sawit dari limbah pabrik kelapa sawit (PKS), dapat dimanfaatkan penggunaannya sebagai bahan alternatif *filler* dalam campuran laston (AC-WC) sebagai lapis aus permukaan perkerasan lentur ditinjau terhadap sifat *Marshall*

1.6 Sitematika Pembahasan

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis membagi materi yang akan disampaikan dalam beberapa bab yaitu:

BAB 1 PENDAHULUAN

Membahas tentang latar belakang, fokus penelitian, ruang lingkup penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika pembahasan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Membahas hal-hal berupa teori yang berhubungan dengan judul tugas akhir, dan metode-metode perhitungan yang digunakan.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini menerangkan tentang tempat dan waktu penelitian, sumber data, teknik pengumpulan data dan metode analisis data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

merupakan hasil penelitian dan pembahasan singkat mengenai hasil penelitian yang digunakan untuk memecahkan masalah dan menarik kesimpulan.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Dari pembahasan dan analisa data yang didapat, penulis dapat memberikan kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Campuran beraspal adalah suatu kombinasi campuran antara agregat dan aspal. Dalam campuran beraspal, aspal berperan sebagai pengikat atau lem antar partikel agregat, dan agregat berperan sebagai tulangan. Sifat-sifat mekanis aspal dalam campuran beraspal diperoleh dari friksi dan kohesi dari bahan-bahan pembentuknya. Friksi agregat diperoleh dari ikatan antar butir agregat (*interlocking*), dan kekuatannya tergantung pada gradasi, tekstur permukaan, bentuk butiran dan ukuran agregat maksimum yang digunakan. Sedangkan sifat kohesinya diperoleh dari sifat-sifat aspal yang digunakan. Oleh sebab itu kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat dan aspal serta sifat-sifat campuran padat yang sudah terbentuk dari kedua bahan tersebut. Perkerasan beraspal dengan kinerja yang sesuai dengan persyaratan tidak akan dapat diperoleh jika bahan yang digunakan tidak memenuhi syarat, meskipun peralatan dan metoda kerja yang digunakan telah sesuai.

Berdasarkan gradasinya campuran beraspal panas dibedakan dalam tiga jenis campuran, yaitu campuran beraspal bergradasi rapat, senjang dan terbuka. Tebal minimum penghamparan masing-masing campuran sangat tergantung pada ukuran maksimum agregat yang digunakan. Tebal padat campuran beraspal harus lebih dari 2 kali ukuran butir agregat maksimum yang digunakan. Beberapa jenis campuran aspal panas yang umum digunakan di Indonesia antara lain:

- AC (*Asphalt Concrete*) atau laston (lapis beton aspal)
- HRS (*Hot Rolled Sheet*) atau lataston (lapis tipis beton aspal)
- HRSS (*Hot Rolled Sand Sheet*) atau latasir (lapis tipis aspal pasir)

Laston (AC) merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Seperti ketentuan pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Ketentuan sifat-sifat campuran laston AC (Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3).

sifat sifat campuran		Lataston		
		Lapis aus	Lapis antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 dengan kadar aspal efektif	Min.	1		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
stabilias Marshall (Kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
stabilias Marshall sisa (%) setelah peredaman selama 24 jam, 60° C	Min.	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min.	2500		

Laston (AC) dapat dibedakan menjadi dua tergantung fungsinya pada konstruksi perkerasan jalan, yaitu untuk lapis permukaan atau lapisan aus (*AC-wearing course*) dan untuk lapis pondasi (*AC-base, AC-binder, ATB (Asphalt Treated Base)*) (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.2 Agregat

Agregat atau batu, atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat/batuan di definisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan penyal (solid). ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat/batuan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan di tentukan daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat

dan hasil campuran agregat dengan material lain. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya dalam hal ini pada perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan sebagian besar oleh karakteristik agregat yang di gunakan. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis dan daya pelekatan dengan aspal (Sukirman, 1999).

2.2.1. Sifat Agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu-lintas. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi tiga 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*)

2.2.2. Klasifikasi Agregat

Di tinjau dari asal kejadiannya agregat/batuan dapat di bedakan atas batuan beku (*igneous rock*), batuan sedimen dan batuan *metamorf* (batuan malihan).

1. Batuan beku

Batuan yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Di bedakan atas batuan beku luar (*extrusive igneous rock*) dan batuan beku dalam (*intrusive igneous rock*).

2. Batuan sedimen

Sedimen dapat berasal dari campuran partikel mineral, sisa hewan dan tanaman. Pada umumnya merupakan lapisan-lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan sebagainya.

3. Batuan metamorf

Berasal dari batuan sedimen ataupun batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur dari kulit bumi .

2.2.3. Jenis Agregat

Batuan atau agregat untuk campuran beraspal umumnya diklasifikasikan berdasarkan sumbernya, seperti contohnya agregat alam, agregat hasil pemrosesan, agregat buatan atau agregat artifisial.

1. Agregat alam (*natural aggregates*)

Agregat alam adalah agregat yang digunakan dalam bentuk alamiahnya dengan sedikit atau tanpa pemrosesan sama sekali. Agregat ini terbentuk dari proses erosi alamiah atau proses pemisahan akibat angin, air, pergeseran es, dan reaksi kimia. Aliran gletser dapat menghasilkan agregat dalam bentuk bongkahan bulat dan batu kerikil, sedangkan aliran air menghasilkan batuan yang bulat licin. Dua jenis utama dari agregat alam yang digunakan untuk konstruksi jalan adalah pasir dan kerikil. Kerikil biasanya berukuran lebih besar 6,35 mm. Pasir partikel yang lebih kecil dari 6,35 mm tetapi lebih besar dari 0,075 mm. Sedangkan partikel yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut sebagai mineral pengisi (*filler*). Pasir dan kerikil selanjutnya diklasifikasikan menurut sumbernya. Material yang diambil dari tambang terbuka (*open pit*) dan digunakan tanpa proses lebih lanjut

disebut material dari tambang terbuka (*pit run materials*) dan bila diambil dari sungai (*steam bank*) disebut material sungai (*steam bank materials*).

2. Agregat yang diproses

Agregat yang diproses adalah batuan yang telah dipecah dan disaring sebelum digunakan. Pemecahan agregat dilakukan karena tiga alasan: untuk merubah tekstur permukaan partikel dari licin ke kasar, untuk merubah bentuk partikel dari bulat ke angular, dan untuk mengurangi serta meningkatkan distribusi dan rentang ukuran partikel. Untuk batuan krakal yang besar, tujuan pemecahan batuan krakal ini adalah untuk mendapatkan ukuran batu yang dapat dipakai, selain itu juga untuk merubah bentuk dan teksturnya.

3. Agregat buatan

Agregat ini didapatkan dari proses kimia atau fisika dari beberapa material sehingga menghasilkan suatu material baru yang sifatnya menyerupai agregat. Beberapa jenis dari agregat ini merupakan hasil sampingan dari proses industri dan dari proses material yang sengaja diproses agar dapat digunakan sebagai agregat atau sebagai mineral pengisi (*filler*) (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.2.4. Bahan Pengisi (*filler*)

Yang dimaksud bahan pengisi adalah bahan yang lolos ukuran saringan no.30 (0,59 mm) dan paling sedikit 65% lolos saringan no.200 (0.075 mm). Pada waktu digunakan bahan pengisi harus cukup kering untuk dapat mengalir bebas dan tidak boleh menggumpal. Macam bahan pengisi yang dapat digunakan ialah: abu batu, kapur padam, *portland cement (PC)*, debu dolomite, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Banyaknya bahan pengisi dalam campuran aspal beton sangat dibatasi. Kebanyakan bahan pengisi, maka campuran akan sangat kaku dan mudah retak disamping memerlukan aspal yang banyak untuk memenuhi *workability*. Sebaliknya kekurangan bahan pengisi campuran menjadi sangat lentur dan mudah terdeformasi oleh roda kendaraan sehingga menghasilkan jalan yang bergelombang, berikut gradasi bahan pengisi pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2. Gradasi Bahan Pengisi (SNI 03-6723-2002).

Ukuran Saringan	Persen Lolos
No. 30 (600 mikron)	100
No 50 (300 mikron)	95-100
No 200 (75 mikron)	70-100

Material *filler* bersama-sama dengan aspal membentuk mortar dan berperan sebagai pengisi rongga sehingga meningkatkan kepadatan dan ketahanan campuran serta meningkatkan stabilitas campuran sedangkan pada campuran laston filler berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan campuran. Pada prakteknya fungsi filler adalah untuk meningkatkan viskositas dari aspal dan mengurangi kepekaan terhadap temperatur, meningkatkan komposisi filler dalam campuran dapat meningkatkan stabilitas campuran tetapi menurunkan kadar rongga udara (*air void*).

2.2.5. 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. 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.

2.2.6. 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 2.3. Rancangan dan Perbandingan Campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal (Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3).

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

2.2.7. 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 mengkilat, misalnya kuarsa umumnya sukar dipadatkan. Pasir laut yang halus mudah dipadatkan tetapi menyebabkan campuran beraspal relatif rendah kekuatannya.

1. Pengujian Analisis Ukuran Butir (Gradasi)

Suatu material yang mempunyai grafik gradasi di dalam batas-batas gradasi tetapi membelok dari satu sisi batas gradasi ke batas yang lainnya, dinyatakan sebagai gradasi yang tidak baik karena menunjukkan terlalu banyak untuk ukuran tertentu dan terlalu sedikit untuk ukuran lainnya. 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. Spesifikasi gradasi campuran beraspal panas sering dinyatakan dengan ukuran nominal maksimum dan ukuran maksimum agregat. Ukuran nominal maksimum agregat merupakan ukuran agregat dimana paling banyak 10% dari agregat tertahan pada saringan kedua urutan nomor susunan saringan. Ukuran maksimum agregat merupakan ukuran agregat dimana 100% agregat lolos pada saringan pertama urutan nomor susunan saringan.

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). Berikut adalah ukuran saringan menurut ASTM pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Ukuran saringan menurut ASTM (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

No. Saringan	Lubang Saringan	
	Inch	Mm
1 ½	1,50	38,1
1	1,00	25,4
¾	0,75	19,0
½	0,50	12,7
3/8	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

Tabel 2.4: *Lanjutan.*

No. Saringan	Lubang Saringan	
	Inch	Mm
No. 50	0,0117	0,297
No. 100	0,0059	0,149
No. 200	0,0029	0,074

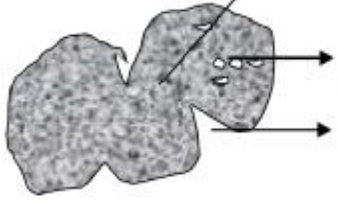

Ukuran saringan yang digunakan ditentukan dalam spesifikasi. Analisis saringan ada 2 macam yaitu analisis saringan kering dan analisis saringan dicuci (analisis saringan basah). Analisis saringan kering biasanya digunakan untuk pekerjaan rutin untuk agregat normal. Namun bila agregat tersebut mengandung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

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

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) (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Dikenal beberapa macam Berat Jenis agregat seperti pada Gambar 2.1 yaitu:

- 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 2.1: 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 – Pers. 2.4.

Berat Jenis Semu:

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

Berat Jenis Curah:

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

Berat Jenis Efektif:

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

Dengan pengertian:

W_s = Berat agregat kering

γ_w = Berat Isi air = 1 g/cm^3

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 Pers. 2.5 – Pers. 2.8.

a. Berat Jenis Curah (*bulk specific gravity*) =

$$\frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (2.5)$$

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

$$\frac{B_j}{B_j - B_a} \quad (2.6)$$

c. Berat Jenis semu (*apparent specific gravity*) =

$$\frac{B_k}{B_k - B_a} \quad (2.7)$$

d. Penyerapan (*absorsi*) =

$$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dengan pengertian:

B_k = Berat benda uji kering oven, dalam gram.

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram.

B_a = 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 Pers. 2.9 – Pers. 2.12.

a. Berat Jenis Curah (*bulk specific gravity*) =

$$\frac{B_k}{B + A - B_t} \quad (2.9)$$

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

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

c. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) =

$$\frac{B_k}{B + B_k - B_t} \quad (2.11)$$

d. Penyerapan (*absorsi*) =

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

Dengan pengertian:

B_k = Berat benda uji kering oven, dalam gram.

B = Berat piknometer berisi air, dalam gram.

B_t = Berat piknometer berisi benda uji dan air, dalam gram.

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

1. Penyerapan

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. 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. Aspal (*Asphalt*)

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Jika aspal dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam ataupun pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis).

Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4 - 10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal. *Hydrocarbon* adalah bahan dasar utama dari aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering disebut juga bitumen. Aspal yang umum digunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil dari proses destilasi minyak bumi dan disamping itu mulai banyak pula digunakan aspal alam yang berasal dari pulau

Buton. Tingkat pengontrolan yang dilakukan pada tahapan proses penyulingan akan menghasilkan aspal dengan sifat yang khusus yang cocok untuk pemakaian yang khusus pula, seperti untuk pembuatan campuran beraspal, pelindung atap dan penggunaan khusus lainnya (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.3.1. Jenis Aspal

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan atas:

1. Aspal alam, dapat dibedakan atas kelompok yaitu:
 - a. Aspal gunung (*rock asphalt*), seperti aspal dari pulau Buton.
 - b. Aspal danau (*lake asphalt*), seperti aspal dari Bermudez, Trinidad.

Di Indonesia, aspal alam ditemukan di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara dan dikenal dengan aspal Buton (Asbuton). Bitumen asbuton berasal dari minyak bumi yang dekat dengan permukaan bumi. Minyak bumi meresapi batu kapur yang porous kemudian melalui periode waktu yang panjang dan berlangsung secara alamiah serta terjadi penguapan fraksi ringan dari minyak. Mula-mula gas yang menguap dan kemudian diikuti oleh *geseline*, *kerosene*, *diesel oil* yang akhirnya tinggal bitumen dalam batuan kapur.

Berdasarkan kadar bitumen yang dikandungnya aspal buton dibedakan dengan kode B10, B13, B16, B20, B25, dan B30. Aspal buton B10 adalah aspal buton dengan kadar bitumen rata-rata 10%.

2. Aspal buatan
 - a. Aspal minyak, yang merupakan hasil penyulingan minyak bumi.
 - b. Tar, merupakan hasil penyulingan batu bara.

Aspal buatan adalah bitumen yang merupakan jenis aspal hasil penyulingan minyak bumi yang mempunyai kadar parafin yang rendah dan biasa disebut *paraffin base crude oil*. Minyak bumi banyak mengandung gugusan aromatik dan siklik sehingga kadar aspalnya tinggi dan kadar parafinnya rendah. Aspal buatan terdiri dari berbagai bentuk padat, cair, dan emulsi.

3. Aspal padat

Aspal padat atau bitumen ini merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang kemudian disuling sekali lagi pada suhu yang sama tetapi dengan tekanan rendah

(hampa udara), sehingga dihasilkan bitumen yang disebut dengan straightrun bitumen.

4. Aspal cair (*cutback asphalt*)

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 fraksi minyak ringan yang terkandung dalam minyak mentah tidak seluruhnya dikeluarkan. Aspal cair juga biasanya juga adalah aspal keras yang dicampur dengan pelarut. Jenis aspal cair tergantung dari jenis pengencer yang digunakan untuk mencampur aspal keras tersebut.

5. Ter

Ter adalah istilah umum cairan yang diperoleh dari mineral organik seperti kayu atau batu-bara melalui proses pemiaran atau destilasi pada suhu tinggi tanpa zat asam. Sedangkan untuk konstruksi jalan dipergunakan hanya ter yang berasal dari batu-bara, karena ter kayu sangat sedikit jumlahnya (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.3.2. Sifat Aspal

Adapun sifat-sifat aspal adalah sebagai berikut:

1. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain-lain. Meskipun demikian sifat ini dapat diperkirakan dari pemeriksaan TFOT (*Thin Film Oven Test*).

Pengujian durabilitas aspal bertujuan untuk mengetahui seberapa baik aspal untuk mempertahankan sifat-sifat awalnya akibat proses penuaan. Walaupun banyak faktor lainnya yang menentukan, aspal dengan durabilitas yang baik akan menghasilkan campuran dengan kinerja baik pula. Pengujian kuantitatif yang biasanya dilakukan untuk mengetahui durabilitas aspal adalah pengujian penetrasi, titik lembek, kehilangan berat dan daktilitas.

2. Adhesi dan Kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah jadi pengikatan.

Uji daktilitas aspal adalah suatu uji kualitatif yang secara tidak langsung dapat digunakan untuk mengetahui tingkat adesif atau daktilitas aspal keras. Aspal keras dengan nilai daktilitas yang rendah adalah aspal yang memiliki daya adhesi yang kurang baik dibandingkan dengan aspal yang memiliki nilai daktilitas yang tinggi.

3. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti 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.

Kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur dapat diketahui dengan jelas bila sifat aspal dinyatakan dalam indeks penetrasinya (IP). Nilai IP aspal bekisar antara -3 sampai +7, aspal dengan nilai IP yang tinggi lebih tidak peka terhadap perubahan temperatur dan sebaliknya. Selain itu, nilai IP aspal dapat juga digunakan untuk memprediksi kinerja campuran beraspal, aspal dengan IP yang tinggi akan menghasilkan campuran beraspal yang memiliki Modulus Kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi yang tinggi pula.

4. Pengerasan dan penuaan

Penuaan aspal adalah suatu parameter yang baik untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal. Penuaan aspal ini disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (penuaan jangka pendek, *short-term aging*), dan oksidasi yang progresif (penuaan jangka panjang, *long-term aging*) (Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.3.3. Klasifikasi Aspal

Aspal keras dapat diklasifikasikan kedalam tingkatan (*grade*) atau kelas berdasarkan tiga sistem yaitu viskositas, viskositas setelah penuaan dan penetrasi. Dari ketiga jenis sistem pengklasifikasian aspal yang ada, yang paling banyak digunakan adalah sistem pengklasifikasian berdasarkan viskositas dan penetrasi.

Dalam sistem viskositas, satuan poise adalah satuan standar pengukuran viskositas absolut. Makin tinggi nilai poise suatu aspal makin kental aspal tersebut. Beberapa negara mengelompokkan aspal berdasarkan viskositas setelah penuaan. Untuk mensimulasikan penuaan aspal selama percampuran, aspal segar yang akan digunakan dituakan terlebih dahulu dalam oven melalui pengujian *Thin Film Oven Test* (TFOT) dan *Rolling Thin Film Oven Test* (RTFOT). Sisa aspal yang tertinggal (residu) kemudian ditentukan tingkatannya (*grade*) berdasarkan viskositasnya dalam satuan Poiseqa. Klasifikasi aspal keras dapat dilihat pada Tabel 2.5 – Tabel 2.6.

Tabel 2.5: Klasifikasi aspal keras berdasarkan viskositas (departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Pengujian	Satuan	STANDAR VISKOSITAS					
		AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viskositas 60 ⁰ C	poise	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viskositas min. 135 ⁰ C	cst	125	175	250	300	350	400
Penetrasi 25 ⁰ C, 100 gram, 5 detik.	0,1 mm	220	140	80	60	50	40
Titik nyala	⁰ 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 ⁰ C	poise	1000	2000	4000	8000	12000	16000
-Daktilitas 25 ⁰ C, 5 cm/menit	cm	100	100	75	50	40	25

Klasifikasi aspal keras berdasarkan hasil RTFOT dapat dilihat Tabel 2.6. Dan Klasifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi aspal dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.6: Klasifikasi aspal keras berdasarkan viskositas (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 ⁰ C	poise	1000±250	2000±500	4000±1000	8000±2000	16000±4000
Viskositas min. 135 ⁰ C	cst	140	200	275	400	550
Penetrasi 25 ⁰ C, 100 gram, 5 detik.	0,1 mm	65	40	25	20	50
Penetrasi sisa 25 ⁰ C, 100 gram, 5 detik. Terhadap penetrasi awal	%	-	40	45	50	52
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 2.7: Klasifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi aspal (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Sifat Fisik	Satuan	Tingkat Penetrasi Aspal		
		Pen. 40	Pen. 60	Pen. 80
Penetrasi, 25 ⁰ C, 100 gram, 5 detik	0,1 mm	40-59	60-79	80-99
Titik Lembek, 25 ⁰ C	°C	51-63	50-58	46-54
Titik nyala	°C	> 200	> 200	> 225
Daktilitas, 25 ⁰ 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 ⁰ C, 100 gram, 5 detik	0,1 mm	> 58	> 54	> 50
Daktilitas °C cm	cm	-	> 50	> 75

2.3.4. Pemeriksaan Properties Aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus diperiksa di labotarium dan aspal yang memenuhi syarat yang telah ditetapkan dapat di pergunakan sebagai bahan pengikat perkerasan lentur.

Pemeriksaan sifat (*asphalt properties*) dari campuran dilakukan melalui beberapa uji meliputi:

a. Uji penetrasi

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan apakah aspal keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, beban, waktu tertentu kedalam aspal pada suhu tertentu. Pengujian ini dilakukan dengan membebani permukaan aspal seberat 100 gram pada tumpuan jarum berdiameter 1 mm selama 5 detik pada temperatur 25 . Besarnya penetrasi di ukur dan dinyatakan dalam angka yang dikalikan dengan 0,1 mm. Semakin tinggi nilai penetrasi menunjukkan bahwa aspal semakin elastis dan membuat perkerasan jalan menjadi lebih tahan terhadap kelelahan. Hasil pengujian ini selanjutnya dapat digunakan dalam hal pengendalian mutu aspal atau ter untuk keperluan pembangunan, peningkatan atau pemeliharaan jalan. Pengujian penetrasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor berat beban total, ukuran sudut dan kehalusan permukaan jarum, temperatur dan waktu.

b. Titik lembek

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal yang berkisar antara 30°c sampai 200°c. Titik lembek adalah temperatur pada saat bola baja dengan berat tertentu mendesak turun suatu lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh plat dasar yang terletak di bawah cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh plat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu. Hasil titik lembek digunakan untuk menentukan temperatur kelelahan dari aspal. Aspal dengan titik lembek yang tinggi kurang peka terhadap perubahan temperatur tetapi lebih untuk bahan pengikat perkerasan.

c. Daktilitas

Tujuan untuk percobaan ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi dari aspal, dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat di tarik antara dua cetakan yang

berisi aspal keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Kohesi adalah kemampuan partikel aspal untuk melekat satu sama lain, sifat kohesi sangat penting diketahui dalam pembuatan campuran beraspal karena sifat ini sangat mempengaruhi kinerja dan durabilitas campuran. Aspal dengan nilai daktilitas yang rendah adalah aspal yang mempunyai kohesi yang kurang baik dibandingkan dengan aspal yang memiliki daktilitas yang tinggi. Daktilitas yang semakin tinggi menunjukkan aspal tersebut baik dalam mengikat butir-butir agregat untuk perkerasan jalan.

d. Berat jenis

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis aspal keras dengan alat piknometer. Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat zat cair suling dengan volume yang sama pada suhu 25°C.

Berat jenis diperlukan untuk perhitungan dengan menggunakan Pers. 2.13.

$$\text{Berat jenis} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]} \quad (2.13)$$

Dimana:

A = Berat piknometer (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi aspal (gram)

D = Berat piknometer berisi air dan aspal (gram)

E = Titik Nyala dan Titik Bakar

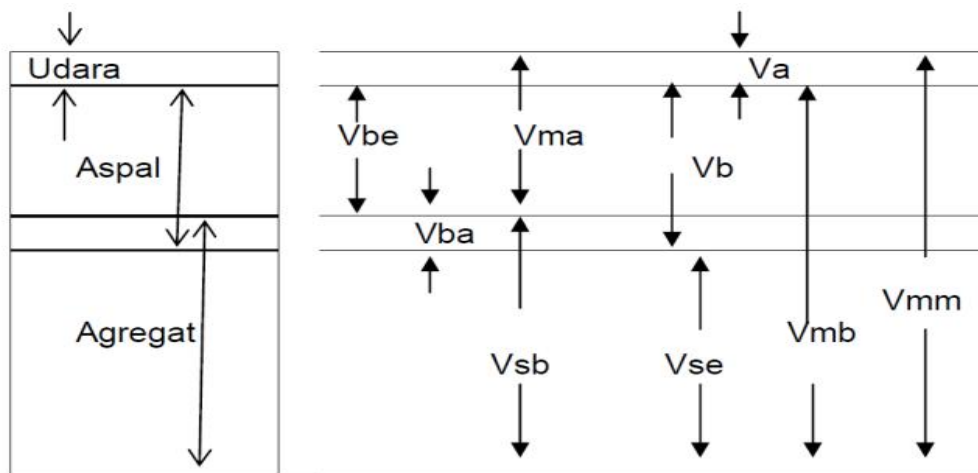
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua jenis hasil minyak bumi kecuali minyak bakar dan bahan lainnya yang mempunyai titik nyala *open cup* kurang dari 70 . Dengan percobaan ini akan diketahui suhu dimana aspal akan mengalami kerusakan karena panas, yaitu saat terjadi nyala api pertama untuk titik nyala, dan nyala api merata sekurang-kurangnya 5 detik untuk titik bakar. Titik nyala yang rendah menunjukkan indikasi adanya minyak ringan dalam aspal. Semakin tinggi titik nyala dan bakar menunjukkan bahwa aspal semakin tahan terhadap temperatur tinggi.

f. Kelekatan Aspal pada Agregat

Percobaan ini dilakukan untuk menentukan kelekatan aspal pada batuan tertentu dalam air. Uji kelekatan aspal terhadap agregat merupakan uji kuantitatif yang digunakan untuk mengetahui daya lekat (adhesi) aspal terhadap agregat. Adhesi adalah kemampuan aspal untuk melekat dan mengikat agregat. Pengamatan terhadap hasil pengujian kelekatan dilakukan secara visual (Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.4. 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 2.12 dan menggunakan persamaan seperti Pers. 2.14 – Pers. 2.16.



Gambar 2.2: 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

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

$$\% \text{ VMA} = \left(\frac{V_{be} + V_a}{V_{mb}} \right) \times 100 \quad (2.15)$$

$$\text{Density} = \left(\frac{W_b + W_s}{V_{mb}} \right) \times \gamma_w = G_{mb} \gamma_w \quad (2.16)$$

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. 2.17.

$$VIM = \frac{100 \times g}{h} - 100 \quad (2.17)$$

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 campurnya 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. 2.18.

$$VMA = 100 - \frac{Gxb}{bj \text{ agregat}} \quad (2.18)$$

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. 2.19

$$VFB = 1000 \times \frac{I-k}{I} \quad (2.19)$$

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. 2.20.

$$\text{Absorpsi} = \frac{\text{Berat campuran direndam} - \text{berat campuran}}{\text{berat campuran}} \quad (2.20)$$

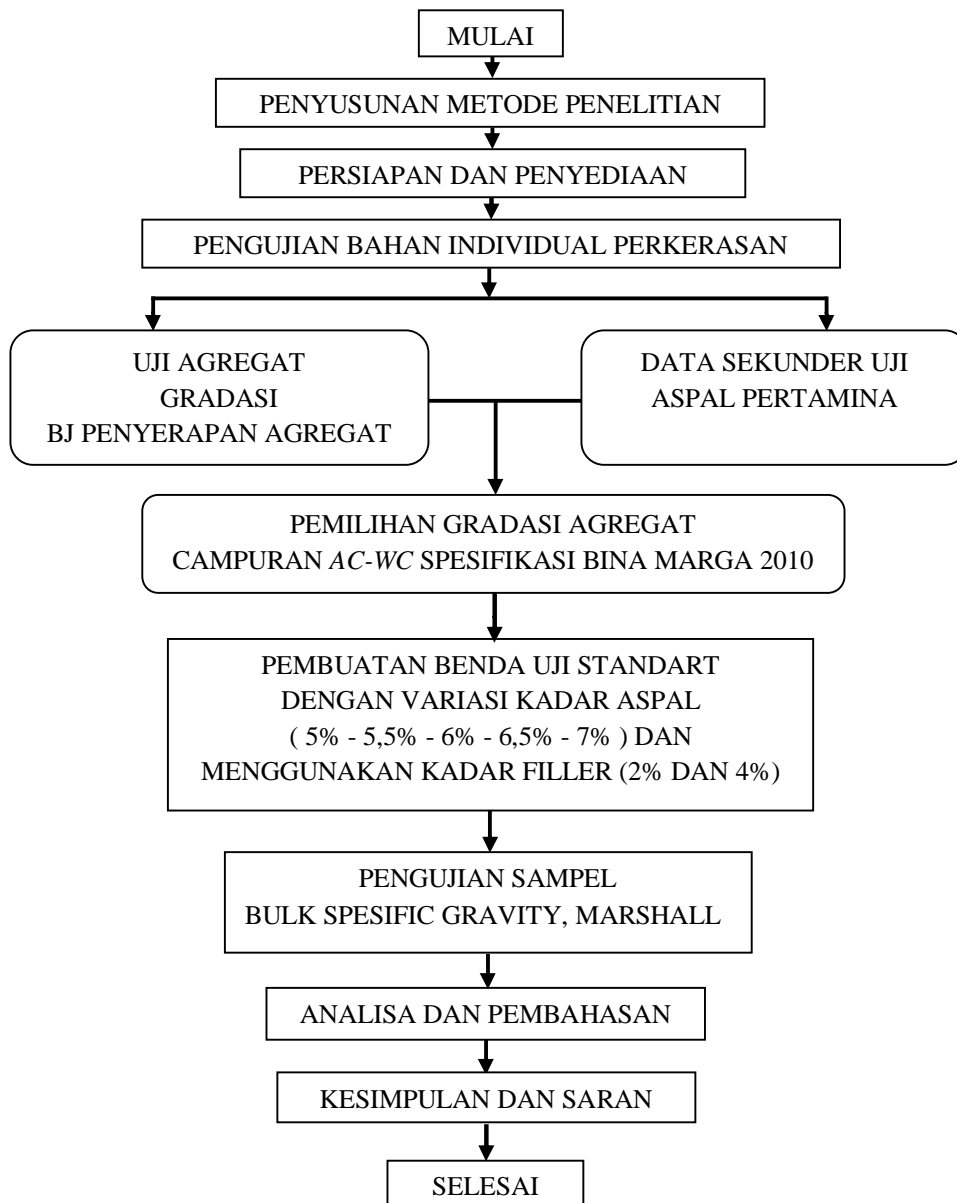
Absorpsi dalam campuran tidak boleh besar, hal ini untuk meminimalkan potensi *stripping* atau pelemahan ikatan antara aspal dan agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Metode Penelitian

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



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

3.2. Metode Penelitian

Pengerjaan awal penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan yaitu pengambilan data sekunder pengujian aspal dan memeriksa 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 didapatkan dari *Asphalt Mixing Plant* PT. Bangun Cipta Kontraktor Medan dan abu boiler cangkang sawit sebagai filler 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 berlangsung.

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 sempel campuran lapis aspal beton AC-WC.
4. Merencanakan sempel 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-WC yang berkualitas ditentukan dari penyusunan campuran agregat. Bahan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sifat dan karekateristiknya.

3.6.1. Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar dan Halus

Agar kualitas agregat dapat dijamin untuk mendapatkan lapis aspal beton AC-WC 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. Alat Yang Digunakan

1. Saringan atau ayakan ayakan $1\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 dan pan.
2. Sekop digunakan sebagai alat mengambil sampel material di laboratorium maupun pada saat pengambilan material di AMP.
3. Goni, kantong plastik 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 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. 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-WC (*Asphalt Concrete Wearing 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:

- A. Untuk standart
 1. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
 2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi = 35 %
 3. Agregat halus (Cr) = 40 %
 4. Agregat halus (Sand) = 12 %

B. Untuk filler 2%

1. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi = 35 %
3. Agregat halus (Cr) = 38 %
4. Agregat halus (Sand) = 12 %
5. Agregat halus (filler) = 2 %

C. Untuk filler 4%

1. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi = 35 %
3. Agregat halus (Cr) = 36 %
4. Agregat halus (Sand) = 12 %
5. Agregat halus (filler) = 4 %

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 kumulatif 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. Pemasakan benda uji
- Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara 90 °C – 150 °C.
 - Letakan cetakan di atas landasan pematat 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 *Stability* 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 Specific 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 grafity* sampel merupakan perbandingan antara benda uji diudara dengan volume bulk benda uji (gr/cm^3).

Adapun proses tahapan penimbangan sebagai berikut:

- Menimbang benda uji diudara.
- Merendam benda uji di dalam air.
- Menimbang benda uji SSD di udara.
- Menimbang benda uji di dalam air.

3.7.5. Pengujian *Stability* dan *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. 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.
3. 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.
4. Pasang bagian atas alat penekan uji *Marshall* di atas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*.
5. Pasang arloji pengukur pelelehan (*Flow*) pada kedudukanya 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.
6. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
7. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
8. 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.

9. Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.
10. Bersihkan alat dan selesai.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat

Pada pembuatan aspal beton maka komponen utama pembentuknya adalah aspal dan agregat. Untuk menentukan suatu gradasi agregat pada lapisan AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) maka agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal $\frac{3}{4}$ " , agregat halus adalah campuran batu pecah dengan pasir, sedangkan untuk bahan pengisi adalah abu batu dan abu boiler cangkang sawit sebagai pengganti. Untuk memperoleh aspal beton yang baik maka gradasi dari agregat harus memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yang telah ditetapkan dengan acuan (SNI 03-1968-1990). Dari percobaan pencampuran agregat diperoleh hasil perbandingan campuran agregat hasil analisis saringan seperti yang tertera pada Tabel 4.1. – 4.5.

Tabel 4.1: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (Ca) $\frac{3}{4}$ inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	36,96%
3/8	9.50	18,36%
4	4.75	100%
8	2.36	100%
16	1.18	100%
30	0.60	100%

Tabel 4.1: *Lanjutan.*

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
50	0.30	100%
100	0.15	100%
200	0.075	100%

Tabel 4.2: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (Ma) ½ inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	100%
3/8	9.50	97,56%
4	4.75	42,30%
8	2.36	10,54%
16	1.18	2,16%
30	0.60	1,84%
50	0.30	1,38
100	0.15	0,90
200	0.075	0,34

Tabel 4.3: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus pasir (*Sand*).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%

Tabel 4.3: *Lanjutan.*

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1	25.40	100%
$\frac{3}{4}$	19.00	100%
$\frac{1}{2}$	12.50	100%
$\frac{3}{8}$	9.50	100%
4	4.75	100%
8	2.36	97,70%
16	1.18	91,85%
30	0.60	82,40%
50	0.30	62,25%
100	0.15	16,00%
200	0.075	2,45%

Tabel 4.4: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
$1\frac{1}{2}$	37.50	100%
1	25.40	100%
$\frac{3}{4}$	19.00	100%
$\frac{1}{2}$	12.50	100%
$\frac{3}{8}$	9.50	100%
4	4.75	100%
8	2.36	67,90%
16	1.18	42,70%
30	0.60	31,00%

Tabel 4.4: *Lanjutan.*

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
50	0.30	22,60%
100	0.15	15,30%
200	0.075	10,00%

Tabel 4.5: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu cangkang sawit (*filler*).

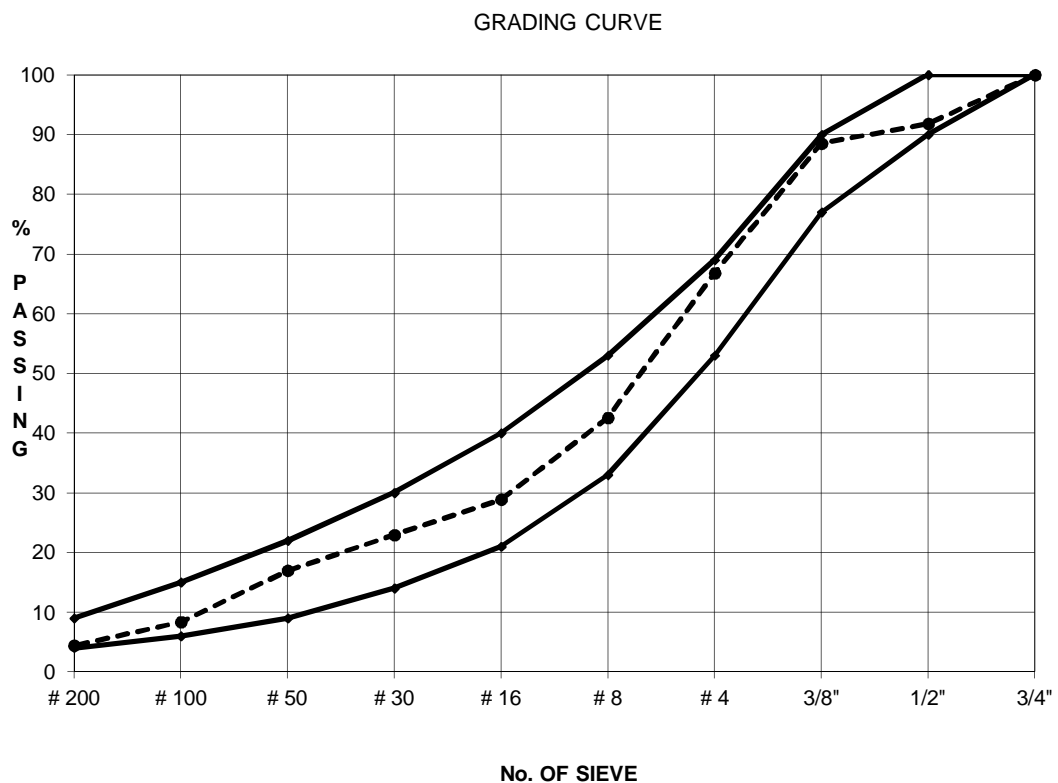
No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	100%
3/8	9.50	100%
4	4.75	100%
8	2.36	100%
16	1.18	100%
30	0.60	99,90%
50	0.30	99,55%
100	0.15	95,65%
200	0.075	83,25

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk Laston harus berada di antara batas atas dan batas bawah. Dari hasil analisis saringan maka terdapat 3 gradasi agregat yaitu standart, penggunaan filler 2% dan penggunaan filler 4%. Dari hasil analisis saringan maka gradasi agregat diperoleh

seperti Table 4.6 – 1 4.8. Dan Gambar 4.1. – Gambar 4.3. yang menunjukkan grafik.

Tabel 4.6: Hasil pemeriksaan kombinasi gradasi agregat normal.

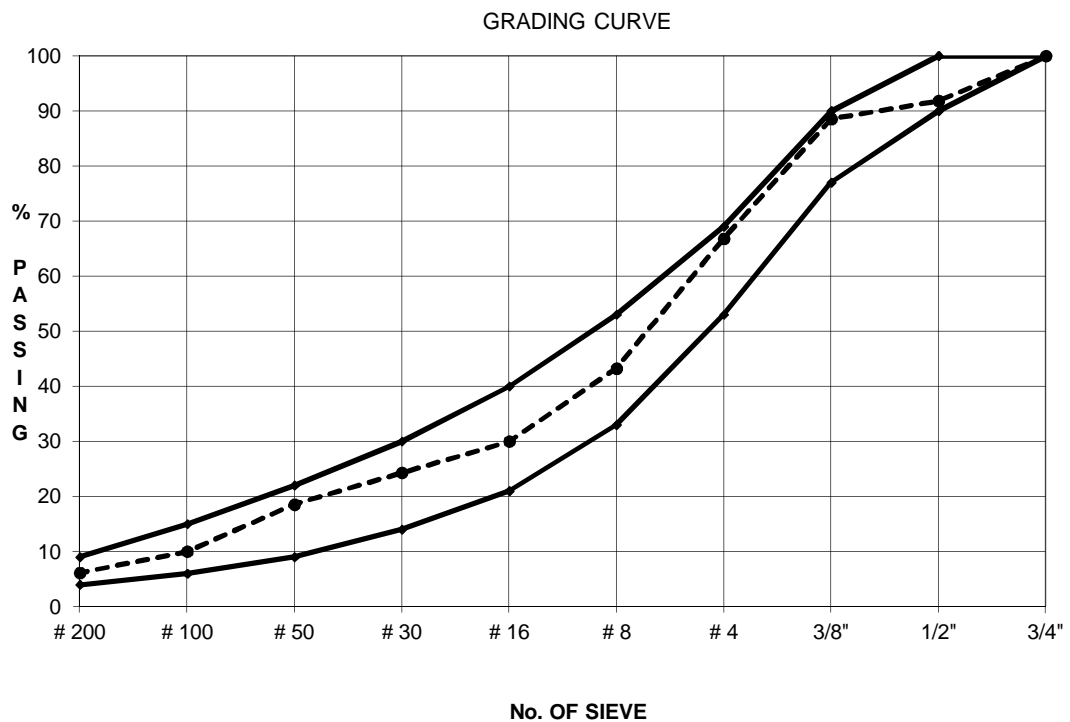
No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat				AVG
			CA $\frac{3}{4}$	MA $\frac{1}{2}$	Cr	Sand	
			13%	35%	40%	12%	
3/4"	100	100	13,00	35,00	40,00	12,00	100,00
1/2"	90	100	4,80	35,00	40,00	12,00	91,80
3/8"	77	90	2,39	34,15	40,00	12,00	88,53
No. 4	53	69	0,00	14,81	40,00	12,00	66,81
No. 8	33	53	0,00	3,69	27,16	11,72	42,57
No. 16	21	40	0,00	0,76	17,08	11,02	28,86
No. 30	14	30	0,00	0,64	12,40	9,89	22,93
No. 50	9	22	0,00	0,48	9,04	7,47	16,99
No. 100	6	15	0,00	0,32	6,12	1,92	8,36
No. 200	4	9	0,00	0,12	4,00	0,29	4,41



Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat normal.

Tabel 4.7: Hasil pemeriksaan kombinasi gradasi agregat dengan campuran abu cangkang sawit 2% pada *filler*.

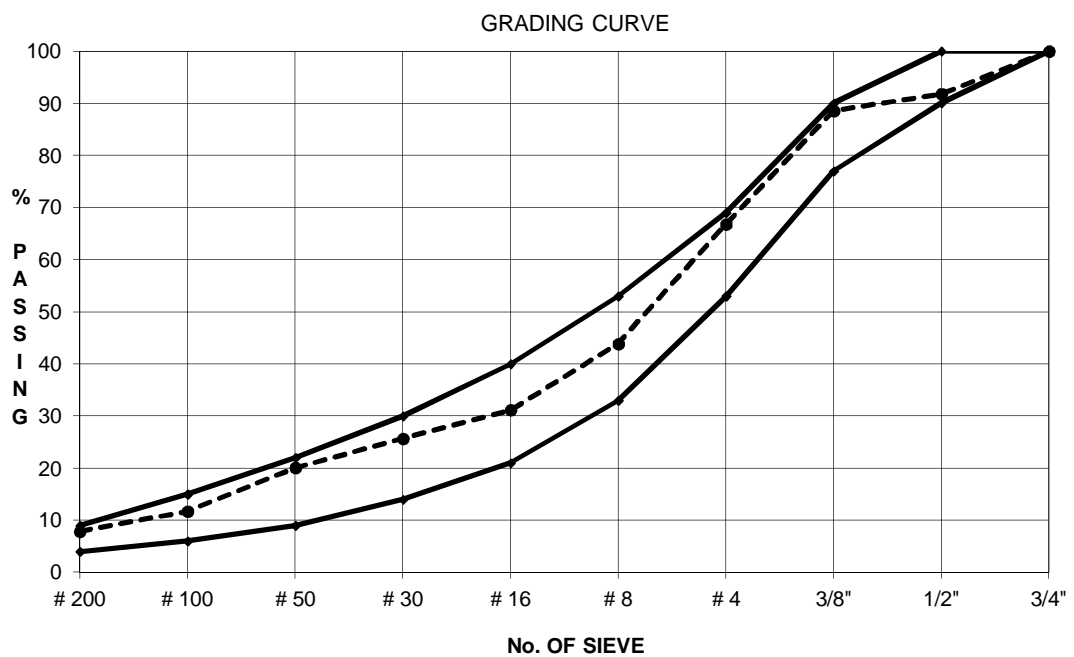
No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			CA $\frac{3}{4}$	MA $\frac{1}{2}$	Cr	Sand	boiller	
			13%	35%	38%	12%	2%	
3/4"	100	100	13,00	35,00	38,00	12,00	2,00	100,00
1/2"	90	100	4,80	35,00	38,00	12,00	2,00	91,80
3/8	77	90	2,39	34,15	38,00	12,00	2,00	88,53
No. 4	53	69	0,00	14,81	38,00	12,00	2,00	66,81
No. 8	33	53	0,00	3,69	25,80	11,72	2,00	43,22
No. 16	21	40	0,00	0,76	16,23	11,02	2,00	30,00
No. 30	14	30	0,00	0,64	11,78	9,89	2,00	24,31
No. 50	9	22	0,00	0,48	8,59	7,47	2,00	18,54
No. 100	6	15	0,00	0,32	5,81	1,92	1,99	10,04
No. 200	4	9	0,00	0,12	3,80	0,29	1,91	6,13



Gambar 4.2: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat campuran abu cangkang sawit 2% pada *filler*.

Tabel 4.8: Hasil pemeriksaan kombinasi gradasi agregat dengan campuran abu cangkang sawit 4% pada *filler*.

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			CA $\frac{3}{4}$	MA $\frac{1}{2}$	Cr	Sand	boiller	
			13%	35%	36%	12%	4%	
11/2"	100	100	13,00	35,00	36,00	12,00	4,00	100,00
1"	100	100	13,00	35,00	36,00	12,00	4,00	100,00
3/4"	100	100	13,00	35,00	36,00	12,00	4,00	100,00
1/2"	90	100	4,80	35,00	36,00	12,00	4,00	91,80
3/8"	77	90	2,39	34,15	36,00	12,00	4,00	88,53
No. 4	53	69	0,00	14,81	36,00	12,00	4,00	66,81
No. 8	33	53	0,00	3,69	24,44	11,72	4,00	43,86
No. 16	21	40	0,00	0,76	15,37	11,02	4,00	31,15
No. 30	14	30	0,00	0,64	11,16	9,89	4,00	25,69
No. 50	9	22	0,00	0,48	8,14	7,47	4,00	20,09
No. 100	6	15	0,00	0,32	5,51	1,92	3,98	11,73
No. 200	4	9	0,00	0,12	3,60	0,29	3,83	7,84



Gambar 4.3: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat campuran abu cangkang sawit 4% pada *filler*.

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

A. Data persen agregat yang di peroleh pada normal

- Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
- Agregat medium MA $\frac{1}{2}$ inch = 35 %
- Agregat halus abu batu (Cr) = 40 %
- Agregat halus pasir (*Sand*) = 12%

B. Data persen agregat yang di peroleh pada campuran abu cangkang sawit 2% pada *filler*.

- Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
- Agregat medium MA $\frac{1}{2}$ inch = 35 %
- Agregat halus abu batu (Cr) = 38 %
- Agregat halus pasir (*Sand*) = 12%
- Abu cangkang sawit = 2%

C. Data persen agregat yang di peroleh pada campuran abu cangkang sawit 4% pada *filler*.

- Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
- Agregat medium MA $\frac{1}{2}$ inch = 35 %
- Agregat halus abu batu (Cr) = 36 %
- Agregat halus pasir (*Sand*) = 12 %
- Abu cangkang sawit = 4 %

Setiap pembuatan benda uji diperlukan agregat dan aspal sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$. Dari data persen agregat didapatlah hasil proporsi untuk masing-masing benda uji, berikut analisis perhitungan untuk berat agregat yang di perlukan pada benda uji normal dengan kadar aspal 5%, serta rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 4.9-4.11.

Ø kadar aspal 5%	: 1200 X 5%	= 60	gr
Ø Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch	: (1200-60) X 13%	= 148,2	gr
Ø Agregat medium MA $\frac{1}{2}$ inch	: (1200-60) X 35 %	= 399,0	gr
Ø Agregat halus abu batu (Cr)	: (1200-60) X 40 %	= 456,0	gr

$$\begin{aligned} \emptyset \text{ Agregat halus pasir (Sand)} & : (1200-60) \times 12\% = 136,8 \text{ gr} \\ \text{Total} & = 1200 \text{ gr} \end{aligned}$$

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

KADAR ASPAL (%)	ASPAL (gram)	CA ¾ inch (gram)	MA ½ inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)
5.0%	60	148.2	399,0	456,0	136.8
5.5%	66	147.4	396,9	453,6	136.1
6.0%	72	146.6	394,8	451,2	135.4
6.5%	78	145.9	392,7	448,8	134.6
7.0%	84	145.1	390,6	446,4	133.9

Tabel 4.10: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji penggunaan *filler* 2%.

KADAR ASPAL (%)	ASPAL (gram)	CA ¾ " (gram)	MA ½ " (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	Abu cangkang sawit
5.0%	60	148.2	399,0	433,2	136.8	22,8
5.5%	66	147.4	396,9	430,9	136.1	22,7
6.0%	72	146.6	394,8	428,6	135.4	22,6
6.5%	78	145.9	392,7	426,4	134.6	22,4
7.0%	84	145.1	390,6	424,1	133.9	22,3

Tabel 4.11: Hasil Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji penggunaan *filler* 4%.

KADAR ASPAL (%)	ASPAL (gram)	CA ¾ " (gram)	MA ½ " (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	Abu cangkang sawit
5.0%	60	148.2	399,0	410,4	136.8	45,6
5.5%	66	147.4	396,9	408,2	136.1	45,4
6.0%	72	146.6	394,8	406,1	135.4	45,1
6.5%	78	145.9	392,7	403,9	134.6	44,9
7.0%	84	145.1	390,6	401,8	133.9	44,6

Setelah dilakukan pengujian gradasi agregat dan didapat proporsi masing-masing pada benda uji, selanjutnya dilakukan pengujian berat jenis agregat.

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Pemeriksaan agregat ini dilakukan untuk agregat kasar dan agregat halus yang mengacu pada (SNI 03-1968-1990). Dari hasil pemeriksaan tersebut didapat data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.12. – 4.16.

1. Berat jenis agregat kasar CA ¾ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

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

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 10 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat CA ¾ inch dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar CA ¾ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,599	2,618	2,609
Berat jenis curah kering permukaan (Ss)	2,629	2,643	2,636
Berat jenis semu (Ss)	2,679	2,686	2,68
Penyerapan (Sw)	1,146	0,976	1,061

2. Berat jenis agregat kasar MA ½ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

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

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 11 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat CA ½ inch dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar MA ½ inch.

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

3. Berat jenis agregat halus abu batu (Cr)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

$$\begin{aligned} \emptyset \text{ Berat Jenis Curah} &= \frac{492}{500+666-980} = 2,645 \text{ gr} \\ \emptyset \text{ Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{500}{492+500-980} = 2,688 \text{ gr} \\ \emptyset \text{ Berat jenis semu} &= \frac{492}{492+666-980} = 2,764 \text{ gr} \\ \emptyset \text{ Penyerapan} &= \frac{(500-492)}{492} \times 100\% = 1,600 \% \end{aligned}$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 11 dan rekapitulasi data hasil pengujian abu batu dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu batu (cr).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,645	2,656	2,651
Berat jenis curah kering permukaan (Ss)	2,688	2,688	2,688
Berat jenis semu (Ss)	2,764	2,744	2,754
Penyerapan (Sw)	1,600	1,200	1,400

4. Berat jenis agregat halus pasir (*Sand*)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

$$\emptyset \text{ Berat Jenis Curah} = \frac{495}{500+667-977} = 2,605 \text{ gr}$$

$$\emptyset \text{ Berat Jenis kering permukaan jenuh} = \frac{500}{500+667-977} = 2,632 \text{ gr}$$

$$\emptyset \text{ Berat jenis semu} = \frac{495}{495+667-977} = 2,676 \text{ gr}$$

$$\emptyset \text{ Penyerapan} = \frac{(500-495)}{495} \times 100\% = 1,000 \%$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 10 dan rekapitulasi data hasil pengujian pasir dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir (*sand*).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,605	2,583	2,594
Berat jenis curah kering permukaan (Ss)	2,632	2,604	2,618
Berat jenis semu (Ss)	2,676	2,638	2,657
Penyerapan (Sw)	1,010	0,806	2,01

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\emptyset \text{ Berat Jenis Curah} = \frac{200}{200+666-752} = 1,658 \text{ gr}$$

$$\emptyset \text{ Berat Jenis kering permukaan jenuh} = \frac{200}{200+666-752} = 1,754 \text{ gr}$$

$$\emptyset \text{ Berat jenis semu} = \frac{189}{189+666-752} = 1,835 \text{ gr}$$

$$\emptyset \text{ Penyerapan} = \frac{(200-189)}{189} \times 100\% = 5,500 \%$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat halus abu cangkang sawit dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu cangkang sawit (*Filler*).

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

4.1.3. Hasil Pengujian Aspal

Dalam penelitian ini, aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji aspal keras Pertamina Pen 60/70 adalah data sekunder. Yaitu data hasil pemeriksaan karakteristik aspal keras yang telah dilakukan perusahaan P.T Bangun Cipta Kontraktor dan di uji di balai pengujian material diperoleh hasilnya seperti pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17: Hasil pemeriksaan karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70 (PT. Bangun Cipta Kontraktor).

No.	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Metode Pengujian	Satuan
1	Penetrasi pada 25 ⁰ C	68,00	SNI 06-2456-2011	0,1 mm
2	Titik Lembek	49	SNI 06-2434-2011	⁰ C
3	Daktilitas pada 25 ⁰ C, 5cm/menit	135	SNI 06-2432-2011	Cm
4	Titik Nyala	-	SNI 06-2433-2011	⁰ 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 spesifikasi Bina Marga 2010 sebagai bahan ikat campuran beton aspal tersebut.

4.1.4. Perhitungan Parameter Pengujian Benda Uji

Nilai parameter *Marshall* diperoleh dengan melakukan perhitungan terhadap hasil-hasil percobaan di laboratorium. Berikut analisis yang digunakan untuk menghitung parameter pengujian *Marshall* pada campuran normal dengan kadar aspal 5% :

- a. Persentase terhadap batuan = 5,3 %
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 5 %
- c. Berat sampel kering = 1196 gram
- d. Berat sampel jenuh = 1207 gram
- e. Berat sampel dalam air = 684 gram
- f. Volume sampel = 1207 – 684
= 523 cc
- g. Berat isi sampel = 1196 / 523
= 2,287 gr/cc
- h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\left(\frac{95\%}{2,672}\right) - \left(\frac{5\%}{1,035}\right)}$
= 2,476 %
- i. Persentase volume aspal = $\frac{5\% \times 2,287}{1,035}$
= 11,044 %
- j. Persentase volume agregat = $\frac{(100-5\%) \times 2,287}{2,617}$
= 83,001 %
- k. Persentase rongga terhadap campuran = $100 - \left(\frac{100 \times 2,287}{2,476}\right)$
= 7,642 %
- l. Persentase rongga terhadap agregat = $100 - \left(\frac{2,287 \times 5\%}{2,617}\right)$
= 16,999 %
- m. Persentase rongga terisi aspal = $100 \times \left(\frac{16,99 - 7,642}{16,99}\right)$

- n. Kadar aspal efektif = 55,043 %
- o. Pembacaan arloji stabilitas = 4,236
- p. Kalibrasi proving ring = 106
- q. Stabilitas akhir = $(7,693 \times 106) + 0,316$
= 816
- r. Kelelahan = $(134434 \times 523^{-1,8897}) \times 106$
= 800
- r. Kelelahan = 2,54 mm

Untuk rekapitulasi perhitungan campuran normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada filler 2% dan 4% dapat dilihat pada lampiran 17 – lampiran 18.

Dari hasil pemeriksaan uji *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*), kelelahan (*Flow*). Berikut analasi perhitungan untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5% serta rekapitulasi hasil uji *marshall* pada campuran aspal normal dan penggunaan *filler* 2% dan 4% dapat dilihat pada Tabel 4.18 – 4.20.

1. *Bulk density* = $\frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3}$
= $\frac{2,287 + 2,312 + 2,318}{3} = 2,306$
2. *Stability* = $\frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3}$
= $\frac{800 + 805 + 785}{3} = 796$
3. *Air voids* = $\frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3}$
= $\frac{7,642 + 6,624 + 6,634}{3} = 6,877$
4. *Voids filled* = $\frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3}$
= $\frac{55,043 + 58,815 + 63,759}{3} = 54,420$

$$\begin{aligned}
 5. \text{ VMA} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{16,999 + 17,532 + 17,768}{3} = 17,505 \\
 6. \text{ Flow} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{2,54 + 2,61 + 2,64}{3} = 2.60
 \end{aligned}$$

Tabel 4.18: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran Normal.

Karakteristik	Kadar Aspal (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Bulk Density (gr/cc)	2,306	2,334	2,341	2,330	2,322
Stability (kg)	796	913	999	938	828
Air Voids (%)	6,877	5,064	4,076	3,836	3,430
VMA (%)	16,882	16,320	16,500	17,335	18,045
Flow (mm)	2,597	3,017	3,740	4,173	4,633
Voids Filled (%)	59,206	68,891	75,349	77,857	80,807
PRD		4,952	4,529	3,719	

Tabel 4.19: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran penggunaan filler 2%.

Karakteristik	Kadar Aspal (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Bulk Density (gr/cc)	2,283	2,291	2,295	2,289	2,288
Stability (kg)	804	860	890	840	806
Air Voids (%)	6,946	5,968	5,120	4,690	4,090
VMA (%)	16,780	16,947	17,234	17,885	18,835
Flow (mm)	2,237	2,907	3,407	3,887	4,480
Voids Filled (%)	58,501	64,688	70,204	73,701	77,698
PRD		4,866	3,810	3,248	

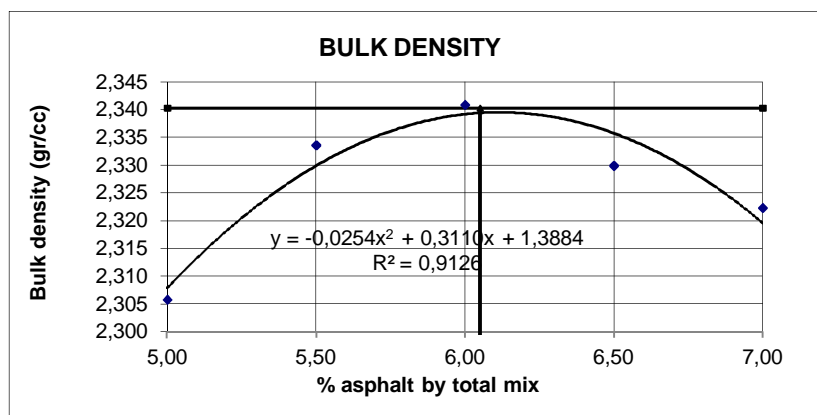
Tabel 4.20: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran penggunaan filler 4%.

Karakteristik	Kadar Aspal (%)				
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Bulk Density (gr/cc)	2,286	2,299	2,306	2,294	2,282
Stability (kg)	811	846	945	852	818
Air Voids (%)	5,998	4,798	3,854	3,661	3,498
VMA (%)	15,770	15,743	15,951	16,811	17,688
Flow (mm)	2,147	2,730	3,480	4,117	4,780
Voids Filled (%)	61,865	69,446	75,753	78,186	80,197
PRD		4,385	3,670	3,062	

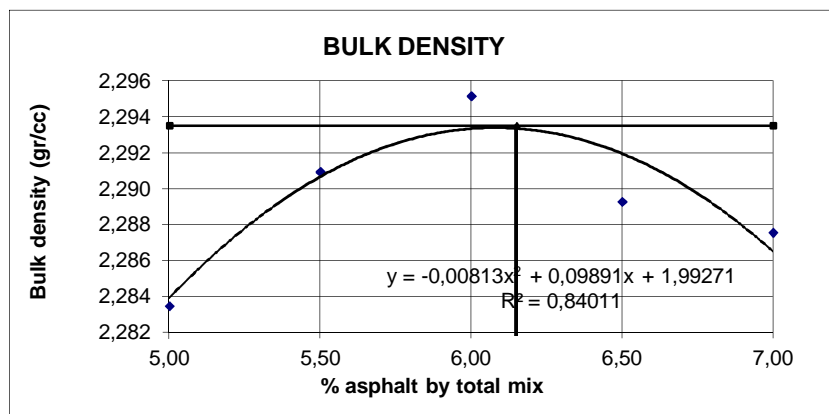
Dari hasil nilai Berat Isi (*Bulk Density*), *stabilitas (Stability)*, Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), kelelehan (*Flow*) untuk campuran aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler 2%* dan 4% dapat juga dilihat pada Gambar 4.4 – 4.15.

a. *Bulk Density*

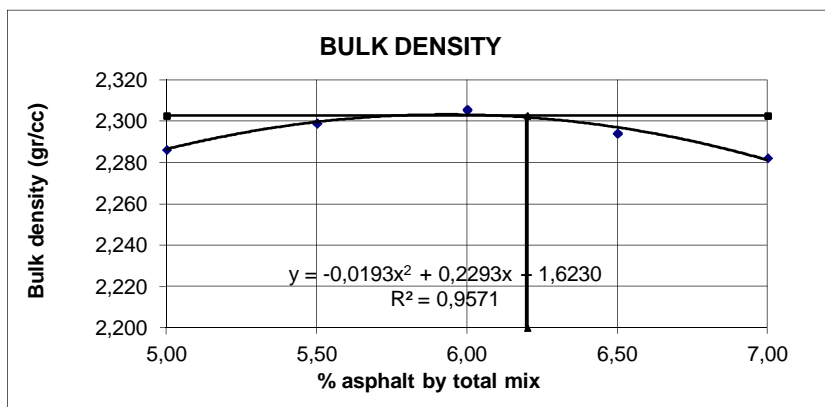
Hasil nilai *Bulk Density* pada aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit (Fly ash) pada *filler 2%* dan 4%, dilihat pada Gambar 4.4. – 4.6.



Gambar 4.4: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (*gr/cc*) campuran normal.



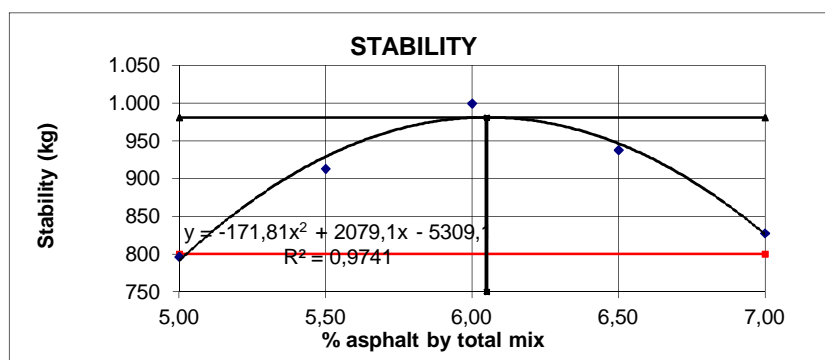
Gambar 4.5: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (*gr/cc*) Filler 2%.



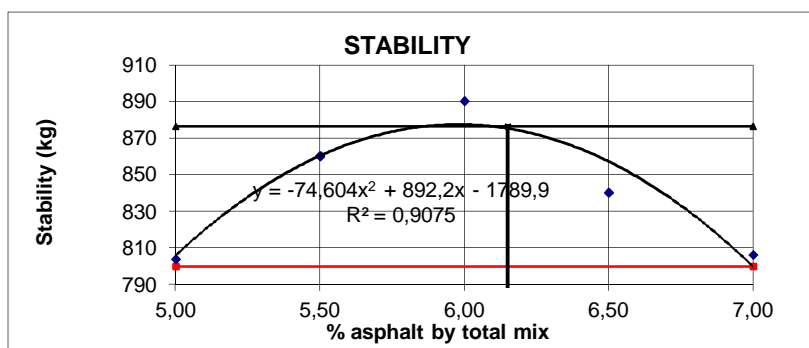
Gambar 4.6: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) Filler 4%.

b. *Stability*

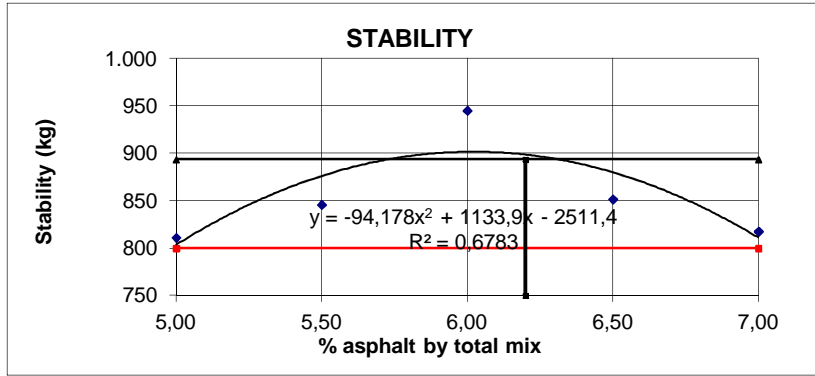
Hasil nilai *Stability* pada aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4% dapat dilihat pada Gambar 4.7. – 4.9.



Gambar 4.7: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* campuran normal.



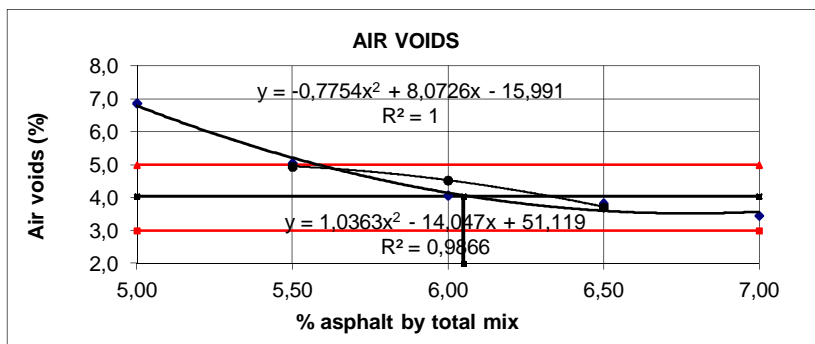
Gambar 4.8: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* (kg) campuran Filler 2%.



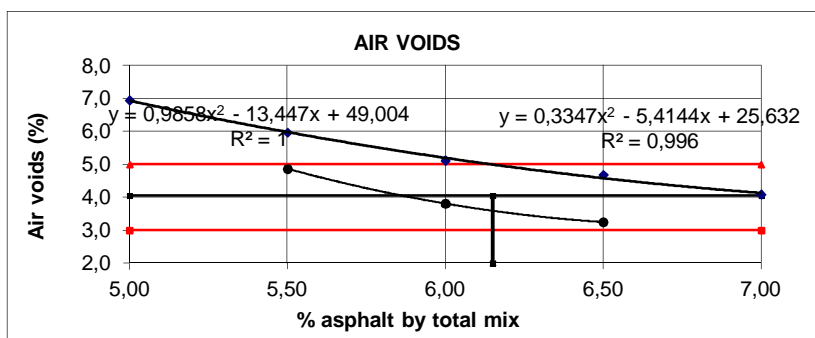
Gambar 4.9: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* (kg) campuran *Filler* 4%.

c. *Air Voids/Voids in Mix Marshall (VIM)*

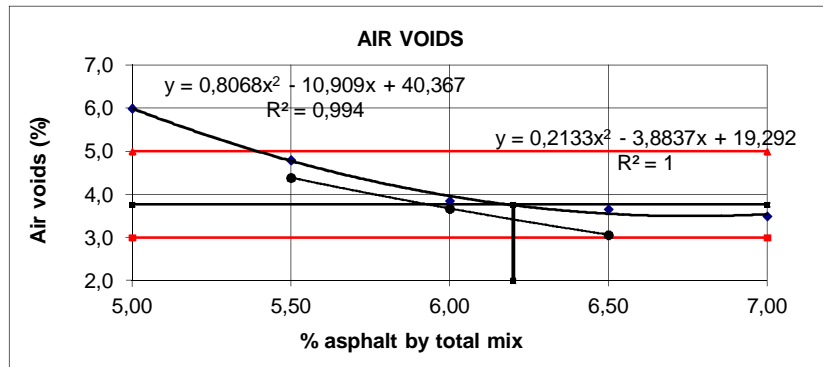
Hasil nilai *Air Voids* (VIM) pada aspal Pertamina normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4% dapat dilihat pada Gambar 4.10. –4.12.



Gambar 4.10: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran normal.



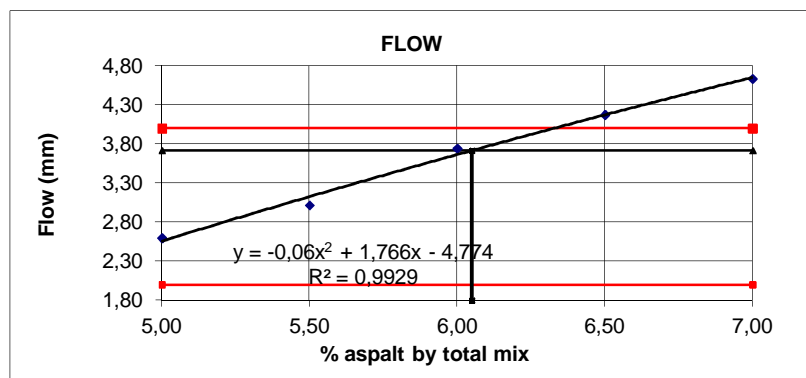
Gambar 4.11: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran *Filler* 2%.



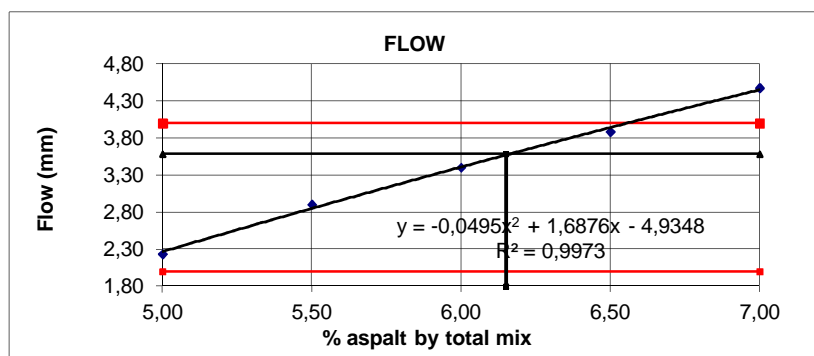
Gambar 4.12: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran *Filler* 4%.

d. *Flow*

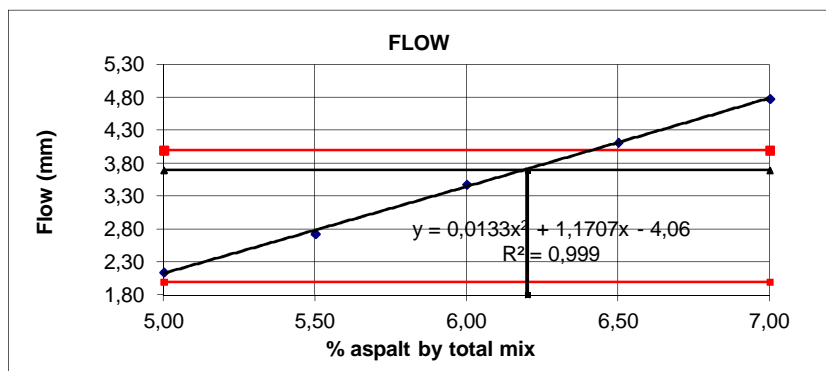
Hasil nilai *Flow* untuk campuran aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4% dapat dilihat pada Gambar 4.13. – 4.15.



Gambar 4.13: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) Campuran normal.



Gambar 4.14: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) Campuran *Filler* 2%.



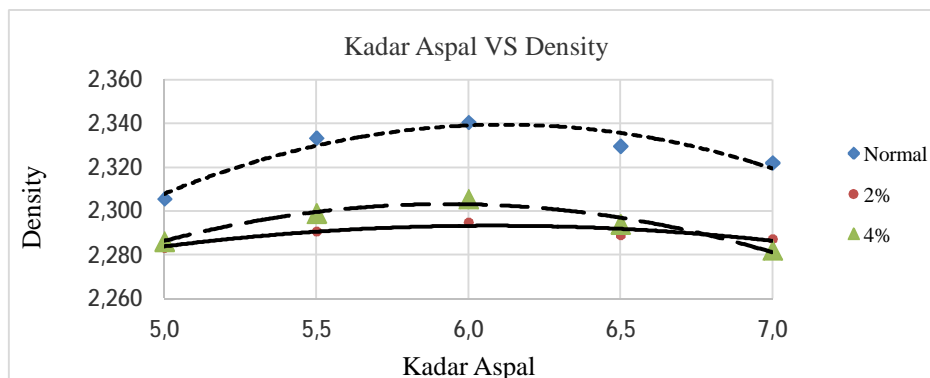
Gambar 4.15: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) *Filler* 4%.

4.1.5. Perbandingan Sifat *Marshall*

Dari hasil nilai pengujian sifat *Marshall* campuran aspal Pertamina normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4% untuk nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, *VMA* dan *Flow* dapat dilihat perbandingan di antara kedua jenis campuran tersebut seperti yang ditunjukkan berikut.

a. Bulk Density

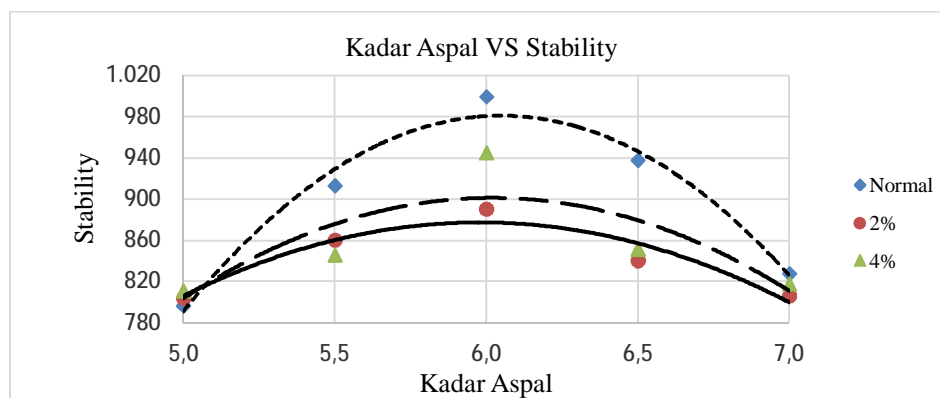
Dari hasil percobaan *Bulk Density* menunjukkan perbedaan nilai *Bulk Density* antara campuran aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4%. Hasil *Bulk Density normal* lebih tinggi di banding pada penggunaan *filler* 2% dan 4%, pada penggunaan *filler* nilai bulk density 4% berada di atas 2% namun terjadi penurunan pada kadar aspal 7% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16: Perbandingan nilai *Bulk Density* campuran aspal normal serta penggunaan campuran abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4%.

b. *Stability*

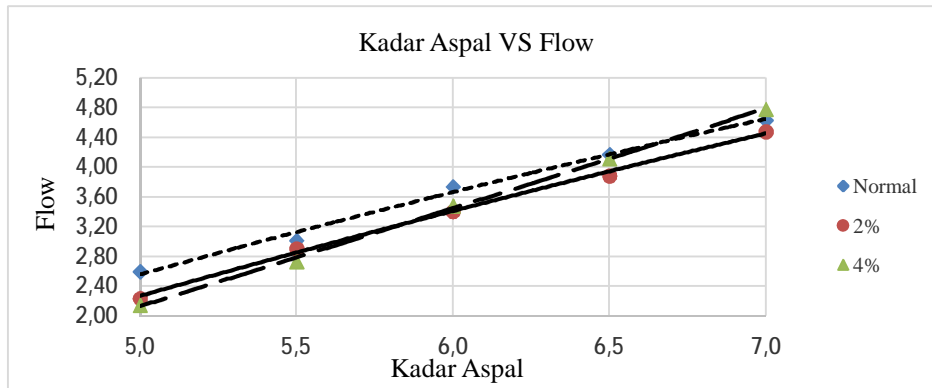
Hasil nilai *Stability* pada *Marshall* campuran aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4% menunjukkan perbandingan. Nilai *Stability* untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5% berada di bawah penggunaan *filler*, namun pada kadar aspal 5,5%-7% berada di atas nilai *Stability* campuran aspal *filler* 2% dan 4%. Serta pada penggunaan *filler* nilai *Stability* campuran *filler* 4% berada di bawah 2%. Perbandingan nilai *Stability* di antara kedua campuran aspal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Gambar 4.17: Perbandingan nilai *Stability* campuran aspal normal serta penggunaan campuran abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4%.

c. *Flow*

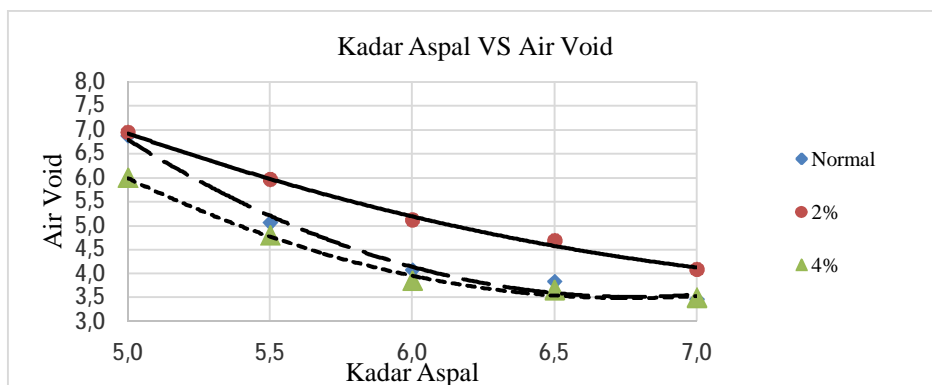
Hasil uji *Marshall Flow* menunjukkan bahwa nilai *Flow* pada campuran normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4% menunjukkan perbandingan karakteristik *Marshall Flow*. Perbandingan di antara tiga jenis campuran tersebut menunjukkan bahwa nilai *Flow* campuran aspal normal 5%-6,5% berada diatas namun pada kadar aspal 7% lebih rendah dari penggunaan *Filler* 4%, pada campuran penggunaan *filler* 2% dan 4% pada kadar aspal 5%-6% menunjukkan nilai yang hampir sama namun pada kadar aspal 6,5%-7% nilai flow penggunaan *filler* 4% berada di atas 2% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18: Perbandingan nilai *flow* campuran aspal normal serta penggunaan campuran abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4%.

d. *Air Voids/Voids in Mix Marshall* (VIM)

Hasil nilai VIM menunjukkan bahwa nilai VIM campuran aspal *Filler* 2% pada kadar aspal 5% menunjukkan nilai yang sama pada campuran normal namun pada kadar aspal 5,5%-7% lebih tinggi dibandingkan nilai VIM pada campuran Normal dan *Filler* 4%. Sedangkan campuran *Filler* 4% pada kadar aspal 5%-6% berada di bawah campuran normal dan pada kadar aspal 6,5%-7% menunjukkan nilai VIM yang hampir sama. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.19.

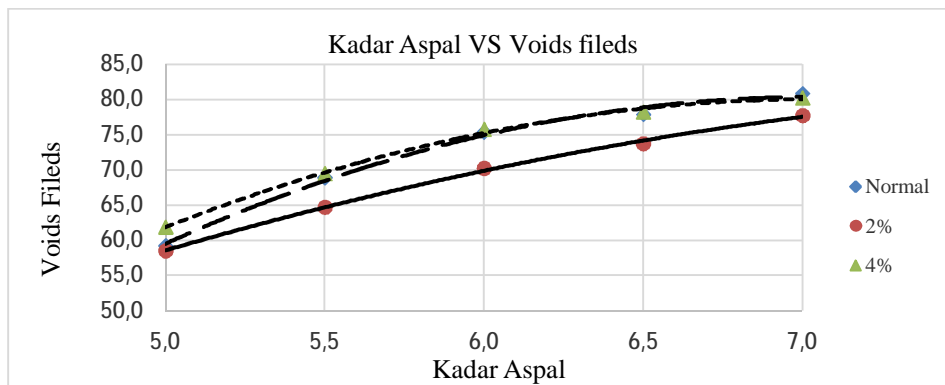


Gambar 4.19: Perbandingan nilai VIM campuran aspal normal serta penggunaan campuran abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4%.

e. *Void Filled/Void Filled Bitumen* (VFB)

Dari hasil pengujian karakteristik sifat *Marshall* nilai VFB untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5%-5,5% berada di bawah campuran penggunaan

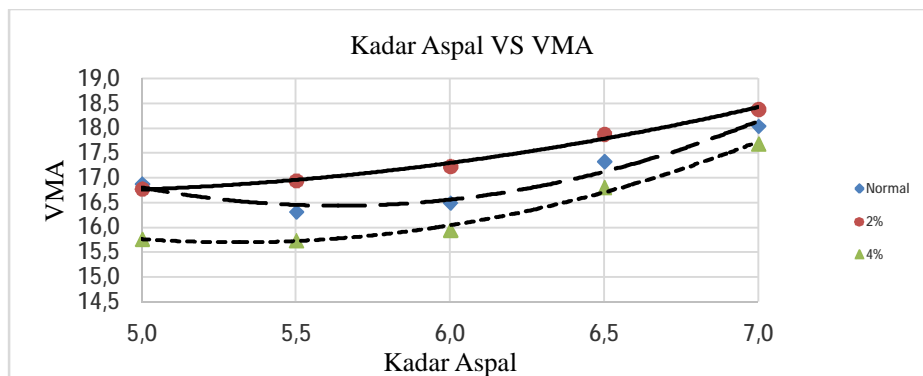
filler 4% namun pada kada aspal 6%-7% menunjukkan nilai yang hampir sama dan pada penggunaan campuran 2% nilai VFB berada di bawah campuran normal dan penggunaan *filler* 2%. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20: Perbandingan nilai VFB campuran aspal normal serta penggunaan campuran abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4%.

f. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

Perbedaan nilai VMA pada campuran Normal kadar aspal 5% dan campuran aspal penggunaan *Filler* 2% tidak terlalu signifikan, berbeda pada kadar aspal 5,5%-7% nilai VMA campuran aspal penggunaan *Filler* 2% berada di atas campuran Normal begitu juga dengan campuran penggunaan *Filler* 4% menunjukkan perbandingan berada di bawah campuran normal dan campuran penggunaan *Filler* 2%. Perbandingan nilai VMA dapat dilihat pada Gambar 4.21.



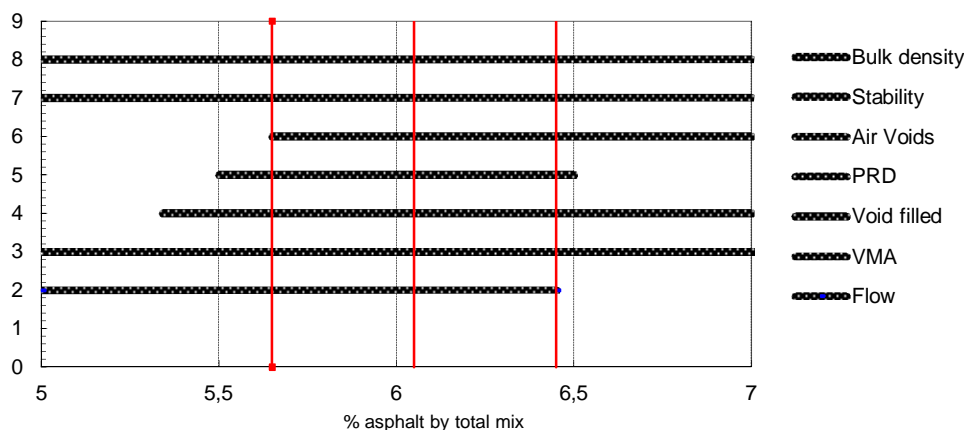
Gambar 4.21: Perbandingan nilai VMA campuran aspal normal serta penggunaan campuran abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4%.

Hasil pemeriksaan karakteristik sifat campuran *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Void Filled*, VMA dan *Flow* pada jenis campuran campuran aspal normal serta penggunaan campuran abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4%. Menunjukkan bahwa ketiga jenis campuran tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010. Dari hasil nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Void Filled*, VMA dan *Flow* dapat dilihat bahwa karakteristik jenis campuran tersebut memiliki perbandingan disetiap karakteristik sifat *Marshall*.

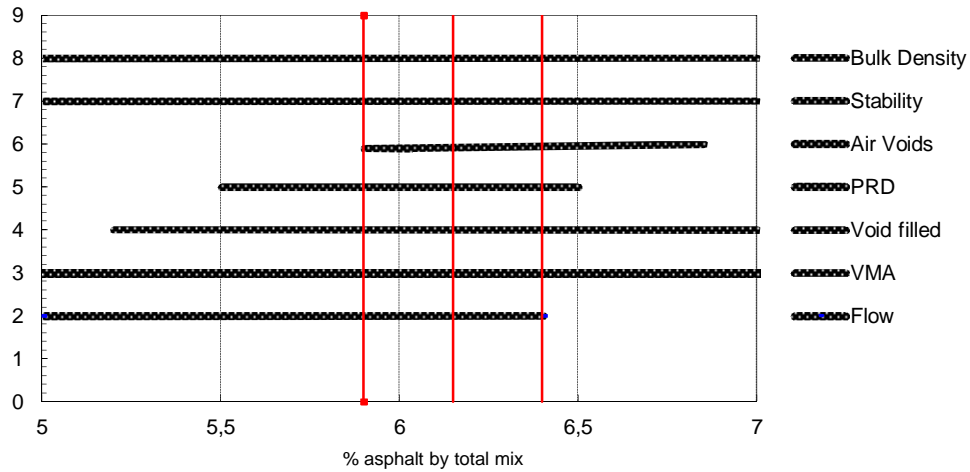
4.2. Pembahasan dan Analisis

4.2.1. Perhitungan Kadar Aspal Optimum

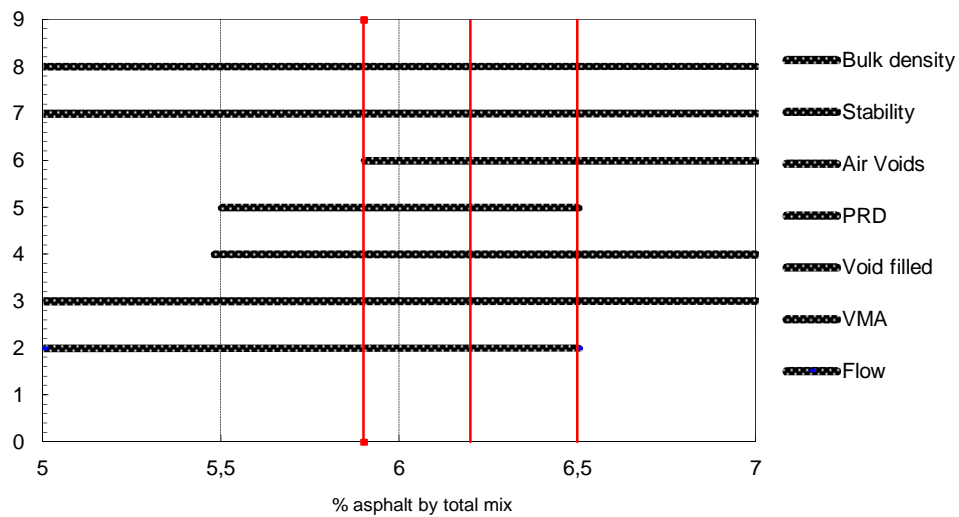
Setelah selesai melakukan pengujian di Laboratorium dan menghitung nilai-nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Void Filled*, VMA, *Flow* maka secara grafis dapat ditentukan kadar aspal optimum campuran dengan cara membuat grafik hubungan antara nilai-nilai tersebut di atas dengan kadar aspal, yang kemudian memplotkan nilai-nilai yang memenuhi spesifikasi terhadap kadar aspal, sehingga diperoleh rentang (*range*) dan batas koridor kadar aspal yang optimum. Penentuan kadar aspal optimum untuk campuran aspal Pertamina normal serta penggunaan abu cangkang sawit (Fly ash) pada *filler* 2% dan 4% dapat dilihat pada Gambar 4.16 - 4.18.



Gambar 4.22: Penentuan rentang (*range*) kadar aspal optimum campuran aspal normal.



Gambar 4.23: Penentuan rentang (*range*) kadar aspal optimum campuran aspal *Filler 2%*.



Gambar 4.24: Penentuan rentang (*range*) kadar aspal optimum campuran aspal *Filler 4%*.

Kadar aspal optimum diperoleh dengan cara mengambil nilai tengah dari batas koridor seperti yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21: Kadar aspal optimum untuk campuran aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler 2%* dan *4%*.

No.	Karakteristik Campuran	Jenis Aspal		
		Normal	<i>Filler 2%</i>	<i>Filler 4%</i>
1	Bulk Density (gr/cc)	2,340	2,294	2,303
2	Stability (kg)	981	876	894

Tabel 4.21: *Lanjutan.*

No.	Karakteristik Campuran	Jenis Aspal		
		Normal	<i>Filler</i> 2%	<i>Filler</i> 4%
3	Flow (mm)	3,714	3,588	3,694
4	Air Voids (%)	4,052	4,050	3,763
5	PRD (%)	4,675	4,967	4,548
6	Voids Filled (%)	75,497	71,206	76,491
7	VMA (%)	16,600	17,416	16,241
8	Asphalt Optimum (%)	6,050	6,150	6,200

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis pembahasan terhadap pengujian campuran jenis *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)* yang menggunakan abu boiler cangkang sawit sebagai *filler* diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian karakteristik sifat marshall pada campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)* yang menggunakan abu boiler cangkang sawit sebagai filler dengan persen variasi 2% dan 4% didapat bahwa hasil pengujian tersebut memenuhi standart spesifikasi Bina Marga 2010.
2. Hasil pemeriksaan karakteristik sifat *Marshall* didapat bahwa sifat *Marshall* dalam keadaan optimum pada campuran aspal normal lebih tinggi di beberapa karakteristik, seperti *bulk density*, *stability*, *flow* dan *air voids* namun lebih rendah dibandingkan campuran aspal penggunaan *filler* abu boiler cangkang sawit pada karakteristik campuran seperti, *voids filled* dan VMA. Hal itu di sebabkan karena semakin banyak kadar *filler* abu cangkang sawit dalam campuran penggunaan filler tersebut maka akan semakin banyak persen rongga yang akan terisi aspal (*void filled*) dan juga semakin bertambahnya ronggan volume udara yang dibutuhkan untuk mengisi aspal yang di sebabkan bertambahnya rongga udara antar agregat (VMA).
3. Hasil *Marshall test* yang di dapatkan, dengan nilai tertinggi dalam keadaan optimum dan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 dan terdapat pada campuran yang menggunakan *filler 4%*. Dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 894 kg, *Bulk Density* 2,303 gr/cc, flow 3,694 mm, VIM 3.763%, VIM PRD 4.548%, VMA sebesar 16.421%, VFB 76.491% dan Indeks Kekuatan Sisa (*Marshall* sisa) 91.98% dimana berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010 nilai *Marshall* sisa minimal 90 %.

5.2. Saran

1. Dalam melakukan penelitian ini untuk merencanakan suatu campuran aspal hendaklah dilakukan dengan sangat teliti pada saat pemeriksaan gradasi dan berat jenis. Dan juga pada saat pencampuran (*mix design*) haruslah teliti.
2. Diharapkan agar lebih memahami prosedur pembuatan campuran aspal yang telah ditetapkan oleh SNI 03-6758-2002 agar memperkecil kesalahan dalam penhijmbuatan benda uji dan pengujian *Marshall*.
3. Jika ada yang ingin melakukan penelitian lebih lanjut, gunakan 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. Laporan Tugas Akhir, Universitas Sumatera Utara.*
- Saputra, D. (2016) *Evaluasi Perbandingan Modulus Kekakuan Aspal Beton AC-BC Yang Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Aspal Esso Pen 60/70 Dengan Variasi Kadar Aspal Yang Berbeda, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*
- Khoiriah (2016) *Evaluasi Perbandingan Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton AC-WC Yang Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Aspal Esso Pen 60/70 Dengan Variasi Kadar Aspal Yang Berbeda, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.*
- Sukirman, S. (1999) *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Politeknik Bandung.
- Suprpto, T.M. (2004) *Bahan dan Struktur jalan raya.* Yogyakarta : Biro Penerbit KMTS FT UGM.
- SNI 03-6723 (2002) *Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Aspal*
- SNI 03-1969 (1990) *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*
- SNI 03-1970 (1990) *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*
- SNI 06-2489 (1991) *Metode Pengujian Campuran Campuran Dengan Alat Marshall*

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : Ahmad Mustaqim Yusuf
Panggilan : akim
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 03 januari 1993
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Alamat KTP : Jln. Snggal. Gang sri No. 5b
Medan Sunggal.
No. HP : 082276736292
E-mail : ahmad.mustaqim.yusuf@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1307210096
Fakultas : Teknik
Jurusan : Teknik Sipil
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	Sekolah Dasar	SD PAB 6	2001
2	SMP	SMP PAB 15	2007
3	SMA	SMK Panca Budi Medan	2010
4	Melanjutkan Kuliah di	Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara	Tahun 2013
	Sampai Selesai.		