

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU BOILER CANGKANG
SAWIT SEBAGAI *FILLER* UNTUK CAMPURAN LAPIS TIPIS
ASPHALT BETON (HRS) 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:

DICKY ALAMSYAH
1307210057



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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Dicky Alamsyah

NPM : 1307210057

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis pengaruh penggunaan abu boiler cangkang sawit sebagai *filler* untuk campuran lapis tipis asphalt beton (HRS) 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, september 2017

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II/Penguji

M. 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 : Dicky alamsyah
Tempat /Tanggal Lahir : sei semayang / 09 february 1995
NPM : 1307210057
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 lapis tipis asphalt beton (HRS) menggunakan spesifikasi bina marga 2010”,

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

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

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

Medan, September 2017



Saya yang menyatakan,

Dicky Alamsyah

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU BOILER CANGKANG SAWIT SEBAGAI *FILLER* UNTUK CAMPURAN LAPIS TIPIS ASPHALT BETON (HRS) MENGGUNAKAN SPESIFIKASI BINA MARGA 2010 (*STUDI PENELITIAN*)

Dicky Alamsyah
1307210057
M. Husin Gultom, ST, MT
Mizanuddin Sitompul, ST, MT

Lapis tipis aspal beton adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural. Salah satu jenis lapis tipis aspal beton tersebut adalah, *Hot Rolled Sheet* (HRS) sebagai lapisan yang paling atas dalam perkerasan lentur. Material utama penyusun adalah agregat dan aspal, termasuk jenis *filler* dalam penggunaannya. Penelitian ini mencoba menggunakan limbah abu boiler cangkang sawit dengan variasi kadar yang berbeda sebagai bahan campuran aspal panas jenis HRS yang diharapkan menambah daya tahan lapis perkerasan beton aspal terhadap kerusakan yang disebabkan oleh cuaca dan beban lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai karakteristik *Marshall* pada campuran aspal beton yang menggunakan aspal pertamina sebagai bahan ikat pada campuran HRS, dan limbah abu boiler cangkang sawit sebagai *filler* dengan variasi 2% dan 4%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu boiler cangkang sawit akan mempengaruhi karakteristik campuran aspal beton. Dari data *Marshall Test* yang didapatkan, semua variasi abu boiler cangkang sawit sebagai *filler* memenuhi persyaratan spesifikasi bina marga 2010. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa kandungan abu boiler cangkang sawit 2%, memiliki nilai karakteristik sifat *marshall* yang lebih bagus dari kandungan *filler* 4%, yaitu nilai stabilitas sebesar 1040 kg, *flow* 3.82 mm, MQ 295 kg/mm, VIM 7.51%, VMA 19.71%, dan VFB 72.21%.

Kata kunci: *Filler*, Abu boiler cangkang sawit, *Marshall*, lapisan HRS, Spesifikasi bina marga 2010.

ABSTRACT

ANALYSIS OF INFLUENCE OF USE ABB BOILER CANGKANG ASWIT AS FILLER FOR MIXED LAYER ASPHALT CONCRETE (CONCRETE) USING SPECIFICATION BINA MARGA 2010 (RESEARCH STUDIES)

Dicky Alamsyah

1307210057

M. Husin Gultom, ST, MT

Mizanuddin Sitompul, ST, MT

Concrete pavement asphalt is layer cover of pavement construction that has structural value. One type of thin asphalt concrete is, Hot Rolled Sheet (HRS) as the top most layer in flexible pavement. The main constituent material is aggregate and asphalt, including the type of filler in its use. This research tries to use waste ash of boiler shell of palm shell with variation of different level as material of HRS hot asphalt mixture which is expected to increase asphalt pavement asphalt layer against damage caused by weather and traffic load. The objective of this research is to observe how much marshall characteristic value in concrete asphalt mixture using pertamina asphalt as binder on HRS mixture, and ash waste boiler shell as filler with variation 2% and 4%. The results showed that the use of ash boiler shells will affect the characteristics of concrete asphalt mixture. From the marshall test data obtained, all the variations of the palm shell ash fillers meet the requirements of the 2010 clan specification. from the analysis results can be concluded that ash content boiler shell palm 2% has a characteristic value of marshall properties better than filler content 4%, that is stability of 1040 kg, flow 3.82 mm, MQ 295 kg/mm, VIM 7.51%, VMA 19.71%, and VFB 72.21%.

Keywords: Filler, palm shell boiler shelf, marshalls, HRS layer, specification of clinic 2010

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis pengaruh penggunaan abu boiler cangkang sawit sebagai *filler* untuk campuran lapis tipis asphalt beton (HRS) 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 mizanuiddin sitompul, ST, MT, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Andri, ST, MT, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ade Faisal, ST, Msc, yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
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: Sudarto.A, dan Sugihartini, terimakasih untuk semua doa dan kasih sayang tulus yang tak ternilai harganya, serta telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
9. Teristimewa keluarga saya: Lis Nur Cahaya Sari, Dedi Sugestiawan Putra, SE, Prilly Chairunnisa dan semua keluarga.
10. Keluarga kedua saya: Sarikem, H.Saniman, Sudarwanto, Herlian, Herman, Mujiman, Suparwati, Netty, Nanda Putri Ramadani, Yogi Indrawan, Dian Syahputra.
11. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
12. Sahabat-sahabat penulis: Ahmad Mustaqim Yusuf, Muhammad Said Zulhamsyah, Zulfuadi Nasution, Muhammad Riski Faujan, All Akbar, Muhammad Reski, Alif Zabawi, Muhammad Nahari Harahap, ST, Reza Falevi Nasution, ST, 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, September 2017

Dicky alamsyah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Ruang lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Umum	5
2.2. Agregat	6
2.2.1. Gradasi	9
2.2.2. Gradasi Agregat gabungan	11
2.2.3. Bentuk Butir Agregat	11
2.3. Aspal	12
2.3.1. Sumber Aspal	13
2.3.2. Aspal beton Campuran Panas	14
2.3.3. Jenis Campuran Aspal Panas	15
2.4. Abu boiler	16
2.5. Metode Pengujian Campuran	16
2.5.1. Parameter Pengujian Aspal	16

BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	
3.1.	Bagan Alir Metode Penelitian	19
3.2.	Metode Penelitian	20
3.3.	Material Untuk Penelitian	20
3.4.	Pengumpulan Data	20
3.5.	Prosedur Penelitian	20
3.6.	Pemeriksaan Bahan Campuran	21
3.6.1.	Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar Dan Halus	21
3.6.2.	Alat Yang Digunakan	21
3.7.	Prosedur Kerja	22
3.7.1.	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	22
3.7.2.	Tahapan Pembuatan Benda Uji	23
3.7.3.	Metode Pengujian Sampel	24
3.7.4.	Penentuan Berat Jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	24
3.7.5.	Pengujian Stabilitas Dan Kelelehan (<i>Flow</i>)	25
BAB 4	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Hasil Penelitian	27
4.1.1.	Pemeriksaan Gradasi Agregat	27
4.1.2.	Hasil Uji Berat Jenis Agregat	36
4.1.3.	Hasil Pemeriksaan Aspal	39
4.1.4.	Pemeriksaan Terhadap Campuran Aspal	39
4.1.5.	Perbandingan Sifat <i>Marshall</i>	53
4.2.	Pembahasan dan Analisis	58
4.2.1.	Penentuan Kadar Aspal Optimum	58
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	61
5.2.	Saran	62
	DAFTAR PUSTAKA	63
	LAMPIRAN	64
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal	11
Tabel 2.2	Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal	15
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) ¾ Inchi	27
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ma) ½ Inchi	28
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu (Cr)	28
Tabel 4.4	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Pasir (<i>sand</i>)	29
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan ASgregat Halus abu Boiler(<i>filler</i>)	30
Tabel 4.6	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Standard	31
Tabel 4.7	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Dengan Campuran <i>filler</i> 2%	32
Tabel 4.8	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Dengan Campuran <i>filler</i> 4%	33
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Standard	35
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji <i>Filler</i> 2%	35
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji <i>Filler</i> 4%	35
Tabel 4.12	Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar CA ¾ Inch	36
Tabel 4.13	Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar MA ½ Inch	37
Tabel 4.14	Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu (Cr)	37

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>)	38
Tabel 4.16 Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Abu Boiler (<i>filler</i>)	38
Tabel 4.17 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70	39
Tabel 4.18 Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Beton Aspal standard	42
Tabel 4.19 Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Beton Aspal Yang Menggunakan <i>Filler</i> 2%	43
Tabel 4.20 Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Beton Aspal Yang Menggunakan <i>Filler</i> 4%	43
Tabel 4.21 Kadar Aspal Optimum Untuk Campuran Aspal Standard Dan Campuran <i>Filler</i> 2% Dan 4%	60

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Struktur Perkerasan Jalan	5
Gambar 2.2	Contoh Tipikal Macam-Macam Gradasi Agregat	10
Gambar 2.3	Tipikal Bentuk Butir, Lonjong, dan Pipih	12
Gambar 2.4	Ilustrasi Proses Penyulingan Minyak	14
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	19
Gambar 4.1	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Standard	31
Gambar 4.2	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Dengan <i>filler</i> 2%	32
Gambar 4.3	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Dengan <i>filler</i> 4%	33
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density</i> (<i>gr/cc</i>) aspal Standar	44
Gambar 4.5	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density</i> (<i>gr/cc</i>) <i>Filler</i> 2%	44
Gambar 4.6	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density</i> (<i>gr/cc</i>) <i>Filler</i> 4%	45
Gambar 4.7	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan <i>Stability</i> (<i>kg</i>) aspal Standar	45
Gambar 4.8	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan <i>Stability</i> (<i>kg</i>) <i>Filler</i> 2%	46
Gambar 4.9	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dan <i>Stability</i> (<i>kg</i>) <i>Filler</i> 4%	46
Gambar 4.10	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VIM (%) aspal Standar	47
Gambar 4.11	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VIM (%) <i>Filler</i> 2%	47
Gambar 4.12	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VIM (%) <i>Filler</i> 4%	47
Gambar 4.14	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VFB (%) Aspal standar	48

Gambar 4.14	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VFB (%) <i>Filler 2%</i>	48
Gambar 4.15	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VFB (%) <i>Filler 4%</i>	49
Gambar 4.16	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) Aspal Standar	49
Gambar 4.17	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) Aspal <i>Filler 2%</i>	50
Gambar 4.18	Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) Aspal <i>Filler 4%</i>	50
Gambar 4.19	Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan <i>Flow</i> (mm) Aspal standar	51
Gambar 4.20	Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan <i>Flow</i> (mm) <i>Filler 2%</i>	51
Gambar 4.21	Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan <i>Flow</i> (mm) <i>Filler 4%</i>	51
Gambar 4.22	Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan <i>Marshall</i> <i>Quotient</i> aspal standar	52
Gambar 4.23	Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan <i>Marshall</i> <i>Quotient Filler 2%</i>	52
Gambar 4.24	Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan <i>Marshall</i> <i>Quotient Filler 4%</i>	53
Gambar 4.25	Perbandingan nilai <i>Bulk Density</i> campuran aspal Standar dan Campuran <i>filler 2%, 4%</i>	53
Gambar 4.26	Perbandingan nilai <i>Stability</i> campuran aspal Standar dan Campuran <i>filler 2%, 4%</i>	54
Gambar 4.27	Perbandingan nilai <i>Flow</i> campuran aspal Standard dan Campuran <i>filler 2%, 4%</i>	55
Gambar 4.28	Perbandingan nilai VIM campuran aspal Standard dan Campuran <i>filler 2%, 4%</i>	55
Gambar 4.29	Perbandingan nilai VFB campuran aspal Standard dan Campuran <i>filler 2%, 4%</i>	56

Gambar 4.30	Perbandingan nilai VMA campuran aspal Standard dan Campuran <i>filler</i> 2%, 4%	57
Gambar 4.31	Perbandingan nilai MQ campuran aspal Standard dan Campuran <i>filler</i> 2%, 4%	57
Gambar 4.32	Penentuan rentang (<i>range</i>) kadar aspal optimum campuran Aspal standard	58
Gambar 4.33	Penentuan rentang (<i>range</i>) kadar aspal optimum campuran Aspal <i>filler</i> 2%	59
Gambar 4.34	Penentuan rentang (<i>range</i>) kadar aspal optimum campuran Aspal <i>filler</i> 4%	59

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
S_{mix}	= Modulus kekakuan campuran (Mpa)
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 (%)

V_{pp} = Volume pori meresap aspal

$V_{pp} - V_{ap}$ = 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

HRS	= <i>Hot Rolled Sheet</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>
PRD	= <i>Persentase Refusal Density</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan merupakan infrastruktur dasar dan utama dalam menggerakkan roda perekonomian nasional dan daerah. Kerusakan jalan di Indonesia umumnya disebabkan oleh pembebanan yang terjadi berlebihan (*overload*), banyaknya arus kendaraan yang lewat (repetisi beban) sebagai akibat pertumbuhan jumlah kendaraan yang cepat terutama kendaraan komersial dan perubahan lingkungan atau oleh karena fungsi drainase yang kurang baik. Untuk itu, dibutuhkan penggunaan material untuk perkerasan jalan (beton aspal) dengan kualitas yang lebih tinggi, yang berupa agregat sebagai bahan pengisi dan aspal sebagai bahan pengikat.

Lapisan Aspal Beton Laston, HRS memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi sehingga penempatan langsung di atas lapisan seperti lapisan membuat lapisan ini rentan terhadap kerusakan akibat temperatur yang tinggi dan beban lalu lintas berat. Jenis kerusakan yang sering terjadi pada Laston adalah pelepasan butiran dan retak. Ketersediaan bahan lapis keras yang mencukupi dan memenuhi spesifikasi dituntut mutlak keberadaannya dalam pembangunan prasarana jalan yang berkelanjutan. Kondisi seperti ini mengakibatkan usaha untuk pengadaan bahan yang memenuhi spesifikasi menjadi tidak mudah walaupun banyak bahan lokal yang mulai dikenal tapi belum banyak dimanfaatkan secara maksimal.

Sebagai bahan penyusun beton aspal, agregat haruslah memenuhi spesifikasi tertentu. Dalam beberapa kondisi dijumpai penggunaan bahan lokal seperti bahan pengisi dari sumber lain. Bahan tersebut mudah didapatkan dan ada kemungkinan memiliki berat jenis dan kualitas yang berbeda. Seperti halnya limbah pembuangan hasil olahan pabrik sawit.

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*. Menurut hasil penelitian (Pratomo, 2001, dalam Muhandi dkk, 2004) diketahui bahwa abu kelapa sawit dari sisa pembakaran cangkang dan serabut buah kelapa sawit mengandung unsur kimia Silika (SiO_2) sebanyak 31,45% dan unsur Kapur (CaO) sebanyak 15,2%. Abu sawit yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah abu terbang boiler industri sawit, sisa pembakaran yang ditangkap kemudian dikeringkan dan disaring untuk digunakan sebagai bahan campuran *aspal*. Abu sawit tersebut diperoleh dari Pabrik Kelapa Sawit (PKS) PT. Perkebunan Nusantara IV (PTPN IV).

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 perkerasan lapis tipis aspal beton (*Hot Rolled Sheet, HRS*)

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian tugas akhir ini permasalahan yang di bahas yaitu, Bagaimanakah penggunaan variasi *filler* dalam penelitian ini dengan, menggunakan abu boiler cangkang sawit sebagai bahan campuran aspal panas jenis lapis tipis aspal beton (HRS) dapat memenuhi persyaratan terhadap karakteristik sifat *Marshall*.

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 HRS
3. Penelitian ini hanya meneliti berbandingan sifat *Marshall* yang menggunakan variasi *filler* dengan penggunaan abu boiler cangkang sawit sebagai campuran aspal jenis HRS.

1.4. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana karakteristik sifat *Marshall* pada campuran aspal beton yang menggunakan aspal Pertamina sebagai bahan ikat pada campuran aspal HRS, dengan variasi *filler* 2% dan 4%.

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 (HRS) sebagai lapis 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 analisis data yang didapat, penulis dapat memberikan kesimpulan dan saran yang berkaitan dengan judul tugas akhir ini.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Aspal merupakan bahan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler* yang berasal dari berbagai macam agregat yang masing-masing mempunyai berat jenis sendiri-sendiri jenis perkerasan ini merupakan campuran antara agregat dan aspal sebagai pengikat untuk konstruksi perkerasan jalan pada suhu tertentu. Kontruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan yang di letakkan di atas tanah dasar yang dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya kelapisan bawahnya. Proses pengerjaan kontruksi ini cukup rumit dan membutuhkan proses pengerjaan yang cukup lama, dalam kontruksi jalan raya terdapat struktur perkerasan jalan pada Gambar 2.1.

Kontruksi perkerasan terdiri dari:

1. Lapisan permukaan (*surface*)
2. Lapisan pondasi atas (*base course*)
3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)
4. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)



Gambar 2.1: Struktur perkerasan jalan (Kementrian Pekerjaan Umum, 1987).

Berdasarkan gambar di atas, maka lapisan yang paling berat menerima beban adalah lapisan *subbase course*. Karena lapisan *subbase course* terdapat pada

lapisan permukaan yang langsung bergesekan dengan roda kendaraan yang kemudian di distribusikan kelapisan bawahnya.

Lapisan permukaan pada umumnya dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal, sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama. Lapisan ini terletak paling atas, yang berfungsi sebagai berikut:

- menahan beban roda, oleh karena itu lapisan perkerasan ini harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa layan.
- Lapis kedap air, sehingga air hujan tidak meresap ke lapisan di bawahnya yang akan mengakibatkan kerusakan pada lapisan tersebut.
- Lapis aus, lapisan yang langsung terkena gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- Lapis yang menyebarkan beban ke lapisan bawahnya, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain.

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 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 digunakan. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan.

A. Klasifikasi jenis batuan

Batuan diklasifikasikan menjadi 3 berdasarkan proses pembentukannya, yaitu batu sedimen (*sedimentary rocks*), batuan beku (*igneous rocks*) dan batuan metamorfik (*metamorphic*).

a. Batuan beku

Batuan beku dalam terbentuk dari magma yang mendingin dan memadat. Pada dasarnya ada 2 jenis batuan beku yaitu:

1. Batuan beku dalam ()
2. Batuan beku luar

Batuan beku dalam terbentuk dari magma yang terjebak dalam patahan kulit bumi dan kemudian mendingin dan membeku membentuk suatu struktur Kristal. Oleh sebab itu batuan jenis ini banyak dijumpai dalam bentuk dan penampakan kristalian. Contoh dari batuan ini adalah granit, diorit dan gabro. Proses pergeseran kulit bumi dan erosi menyebabkan terangkutnya atau keluarnya batuan beku dalam ini ke permukaan sehingga batuan ini bisa ditambang dan digunakan.

Batuan beku luar terbentuk dari magma yang keluar ke permukaan bumi selama aktivitas erupsi vulkanis dan aktivitas geologi lainnya. Karena berada di daerah terbuka, maka magma ini cepat mendingin dan membentuk struktur penampakan batuan seperti kaca, contohnya koalit, andesit, obsidian, batu apung dan basal.

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

1. Agregat alam (*Natural aggregates*)

Agregat alam adalah agregat yang dapat dipergunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Bentuk partikel dari agregat alam ditentukan dari proses pembentukannya. Aliran air sungai membentuk partikel-partikel bulat-bulat dengan permukaan yang licin. Degradasi agregat dibukit-bukit membentuk partikel-partikel yang bersudut dengan permukaan yang kasar.

Dua bentuk agregat alam yang sering dipergunakan yaitu kerikil dan pasir. Kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel $> \frac{1}{4}$ inch (6,35 mm), pasir adalah agregat dengan ukuran partikel $< \frac{1}{4}$ inch 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 (*Stream bank*) disebut material sungai (*Stream bank materials*).

Deposit batu koral memiliki komposisi yang bervariasi tetapi biasanya mengandung pasir dan lempung. Pasir pantai terdiri atas partikel yang agak seragam, sementara pasir sungai mengandung koral, lempung dan lanau dalam jumlah yang lebih banyak.

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.
- Untuk mengurangi serta meningkatkan distribusi dan rentang ukuran partikel.

Untuk batuan krakal yang besar, tujuan pemecahan krakal yang besar 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*).

Slag adalah contoh agregat yang didapat sebagai hasil sampingan produksi. Batuan ini adalah *substansi nonmetalik* yang timbul ke permukaan dari pencairan/peleburan biji besi selama proses peleburan. Pada saat menarik besi dari cetakan, *slag* ini akan pecah menjadi partikel yang lebih kecil baik melalui perendaman ataupun memecahkannya setelah dingin.

Pembuatan agregat buatan secara langsung adalah suatu yang relatif baru. Agregat ini dibuat dengan membakar tanah liat dan material lainnya. Produk akhir yang dihasilkan biasanya agak ringan dan tidak memiliki daya tahan terhadap keausan yang tinggi. Agregat buatan dapat digunakan untuk dek jembatan atau untuk perkerasan jalan dengan mutu sebaik lapisan permukaan yang mensyaratkan ketahanan gesek maksimum.

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

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

Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

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

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

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

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

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

$$P = 100(d/D)^n \quad (2.1)$$

Dengan pengertian:

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm

d = Ukuran saringan yang ditinjau

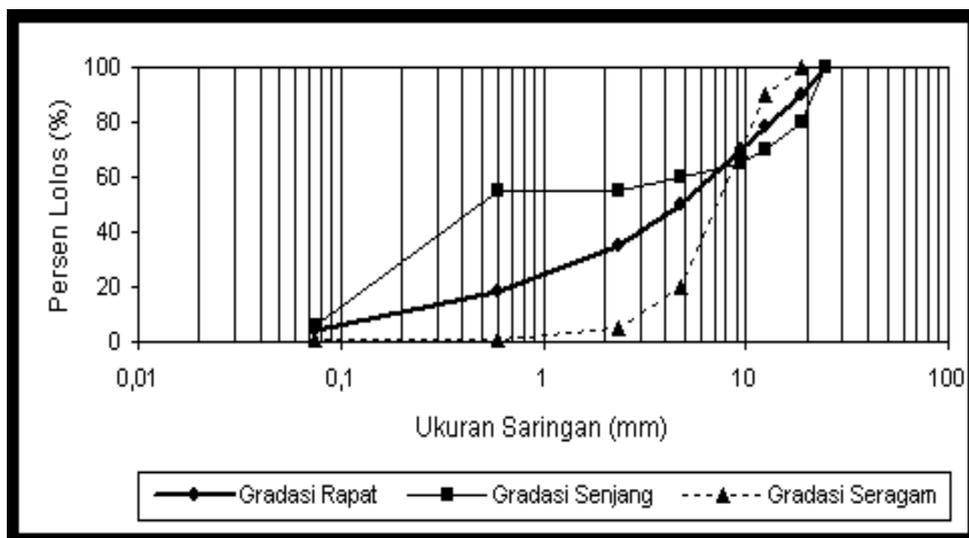
D = Ukuran agregat maksimum dari gradasi tersebut

n = 0,35 – 0,45

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

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

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



Gambar 2.2: contoh tipikal macam-macam gradasi agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, DPPW, 2002).

Bentuk gradasi agregat biasanya digambarkan dalam suatu grafik hubungan antara ukuran saringan dinyatakan pada sumbu horizontal dan presentase agregat yang lolos saringan tertentu dinyatakan pada sumbu vertikal. ditunjuk pada Gambar 2.2.

2.2.2. 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 2.1. Rancangan dan Perbandingan Campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal (Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3).

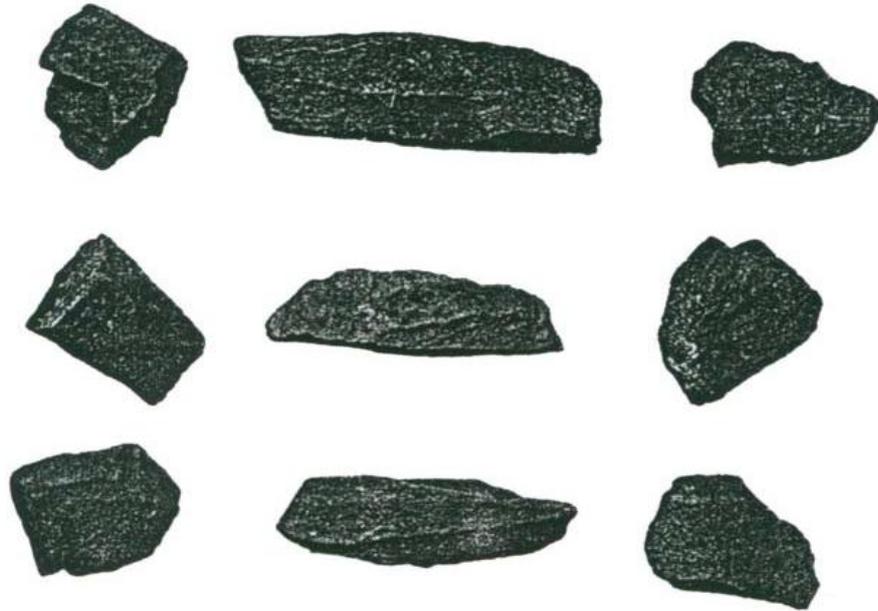
Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang lolos Terhadap total Agregat Dalam campuran								
	Latasir (SS)		Latasir (HRS)				Laston (AC)		
	Kelas A	Kelas B	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang		WC	BC	Base
WC			Base	WC	Base				
37.5									
25							100	90-100	
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-100
12.5			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

2.2.3 Bentuk Butir Agregat

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

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

Dalam campuran beraspal, penggunaan agregat yang bersudut saja atau bulat saja tidak akan menghasilkan campuran beraspal yang baik. Kombinasi penggunaan kedua bentuk partikel agregat ini sangatlah dibutuhkan untuk menjamin kekuatan pada struktur perkerasan dan *workabilitas* yang baik dari campuran tersebut, contoh macam-macam bentuk butir agregat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3: Tipikal bentuk butir kubikal, lonjong, dan pipih (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.3. Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam 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 yang umumnya hanya 4 - 10% berdasarkan berat atau 10 – 15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relative mahal.

Hydrocarbon adalah bahan dasar utama dari aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering juga disebut bitumen. Aspal yang umum digunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil proses destilasi minyak bumi dan disamping itu mulai banyak pula dipergunakan aspal alam yang berasal dari pulau Buton.

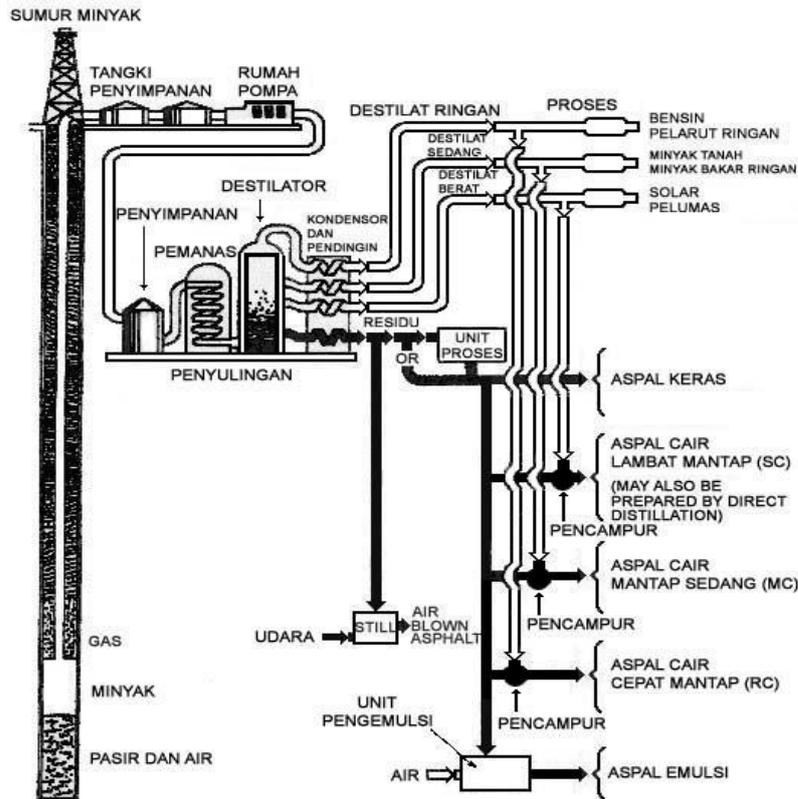
Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan merupakan proses hasil residu dari destilasi minyak bumi, sering disebut sebagai aspal semen. Aspal semen bersifat mengikat agregat pada campuran aspal beton dan memberikan lapisan kedap air, serta tahan terhadap pengaruh asam, basa, dan garam. Ini berarti jika dibuatkan lapisan dengan mempergunakan aspal sebagai pengikat dengan mutu yang baik dapat diberikan lapisan kedap air dan tahan terhadap pengaruh cuaca dan reaksi kimia yang lain.

Sifat aspal akan berubah akibat panas dan umur, aspal akan menjadi kaku dan rapuh dan akhirnya daya adhesinya terhadap partikel agregat akan berkurang. Perubahan ini dapat diatasi/dikurangi jika sifat-sifat aspal dikuasai dan dilakukan langkah-langkah yang baik dalam proses pelaksanaan (Sukirman, 2003).

2.3.1. Sumber Aspal

Aspal merupakan suatu produk berbasis minyak yang merupakan turunan dari proses penyulingan minyak bumi, dan dikenal dengan aspal keras. Selain itu, aspal juga terdapat di alam secara alamiah, aspal ini disebut aspal alam. Aspal modifikasi saat ini juga telah dikenal luas. Aspal ini dibuat dengan menambahkan bahan tambah ke dalam aspal yang bertujuan untuk memperbaiki atau memodifikasi sifat *rheologinya* sehingga menghasilkan jenis aspal baru yang disebut aspal modifikasi.

Minyak mentah disuling dengan cara *destilasi*, yaitu suatu proses dimana berbagai fraksi dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Proses *destilasi* ini disertai oleh kenaikan temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Pada setiap temperatur tertentu dari proses destilasi akan dihasilkan produk-produk berbasis minyak seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Ilustrasi proses penyulingan minyak (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.3.2. Aspal Beton Campuran Panas

Aspal beton campuran panas merupakan salah satu jenis lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari aspal sehingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya, maka kedua material harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum dicampur. Karena sering dicampur dalam keadaan panas maka sering kali disebut sebagai “*Hot Mix*” (Sukirman 1999).

2.3.3. Jenis Campuran Aspal Panas

Jenis Campuran Aspal Panas yang umum digunakan di Indonesia antara lain:

a. Lapis Tipis Aspal Pasir (*Sand Sheet, SS*)

Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) yang selanjutnya disebut SS, terdiri dari dua jenis campuran, SS-A dan SS-B. Pemilihan SS-A dan SS-B tergantung pada tebal nominal minimum. Latasir biasanya memerlukan penambahan *filler* agar memenuhi kebutuhan sifat-sifat yang disyaratkan.

b. Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet, HRS*)

Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS Pondasi (*HRS-Base*) dan HRS Lapis Aus (*HRS Wearing Course, HRS-WC*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. *HRS-Base* mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar dari pada *HRS-WC*.

c. Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concrete, AC*)

Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis campuran, AC Lapis Aus (*AC-WC*), AC Lapis Antara (*AC-Binder Course, AC-BC*) dan AC Lapis Pondasi (*AC-Base*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan Aspal Polimer atau Aspal dimodifikasi dengan Aspal Alam disebut masing-masing sebagai *AC-WC Modified*, *AC-BC Modified*, dan *AC-Base Modified*, dalam jenis campuran aspal terdapat nominal minimum campuran beraspal pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Tebal nominal minimum campuran beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2010).

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
Latasir Kelas A		SS-A	1,5
Larasir Kelas B		SS-B	2,0
Lataston	Lapis Aus	HRS-WC	3,0
	Lapis Pondasi	HRS-Base	3,5
Laston	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Pondasi	AC-Base	7,5

2.4. Abu boiler

Secara umum abu boiler dapat di definisikan sebagai materi sisa yang tidak habis terbakar dan berfungsi dalam proses pembakaran karbon, hidrogen, sulfur, oksigen dan penguapan air yang terkandung dalam tandan buah sawit dan cangkang buah sawit. Abu boiler tersebut berwarna gelap (hitam keabu-abuan) dan ukuran butiran bervariasi dari ukuran pasir hingga kerakal (*pebble*) komposisi kimia abu boiler didominasi oleh SiO_2 , Al_2O_3 , CaO dan lainnya. Pada dasarnya abu boiler mempunyai komposisi kimia yang mempunyai aluminosilikat lainnya, seperti lempung bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatis (puti farida, erlangga jogaswara, jurnal). Karena partikel-partikel ini memadat selama tersuspensi di dalam gas-gas buangan, partikel-partikel abu ini umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel abu yang terkumpul pada presipitator elektrostatis biasanya berukuran silt (0,074 – 0,005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3).

2.5. Metode Pengujian Campuran

Pengujian *marshall* merupakan pengujian yang paling banyak dan paling umum di pakai saat ini. Hal ini disebabkan karena alatnya sederhana dan cukup praktis untuk dimobilisasi.

Pengujian *marshall* bertujuan untuk mengukur daya tahan (*stabilitas*) campuran agregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*). *Flow* didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum dan dinyatakan dalam millimeter atau 0.01”.

2.5.1. Parameter Pengujian Aspal

Beton aspal dibentuk dari agregat, aspal dan tanpa bahan tambahan yang dicampur secara merata pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan dan dipadatkan, sehingga terbentuk beton aspal padat.

Sifat-sifat campuran beton aspal dapat dilihat dari parameter-parameter pengujian *marshall* antara lain :

a. Stabilitas *marshall*

Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Stabilitas merupakan parameter yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

b. Kelelehan (*flow*)

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja jarum dial *flow* biasanya dalam mm (millimeter).

c. Hasil bagi *marshall* (*Marshall Quotient*)

Hasil bagi *marshall* merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelehan. Semakin tinggi nilai *marshall quotient*, maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan, dihitung dengan Pers. 2.2.

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{stabilitas}}{\text{flow}} \quad (2.2)$$

d. Rongga Terisi Aspal (VFA atau VFB)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat, dihitung dengan Pers. 2.3.

$$\text{VFA} = 100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \quad (2.3)$$

Dimana:

VFA = Rongga udara yang terisi aspal, persentase dari VMA, (%)

VMA = Rongga udara pada mineral agregat, persentase dari volume total, (%)

VIM = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

e. Rongga antara agregat (VMA)

Rongga antara agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasa, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang disersap agregat). Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat dari campuran total, maka VMA dihitung dengan Pers. 2.4.

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gmb * ps}{Gsb} \right) \quad (2.4)$$

Dengan pengertian:

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Gsb = berat jenis curah agregat

Ps = agregat persen berat total campuran

Gmb = berat jenis curah campuran padat

Atau, jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat agregat, maka VMA dihitung dengan Pers. 2.5.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100 + pb} \quad (2.5)$$

Dengan pengertian :

Pb = aspal persen berat agregat

Gmb = berat jenis curah campuran padat

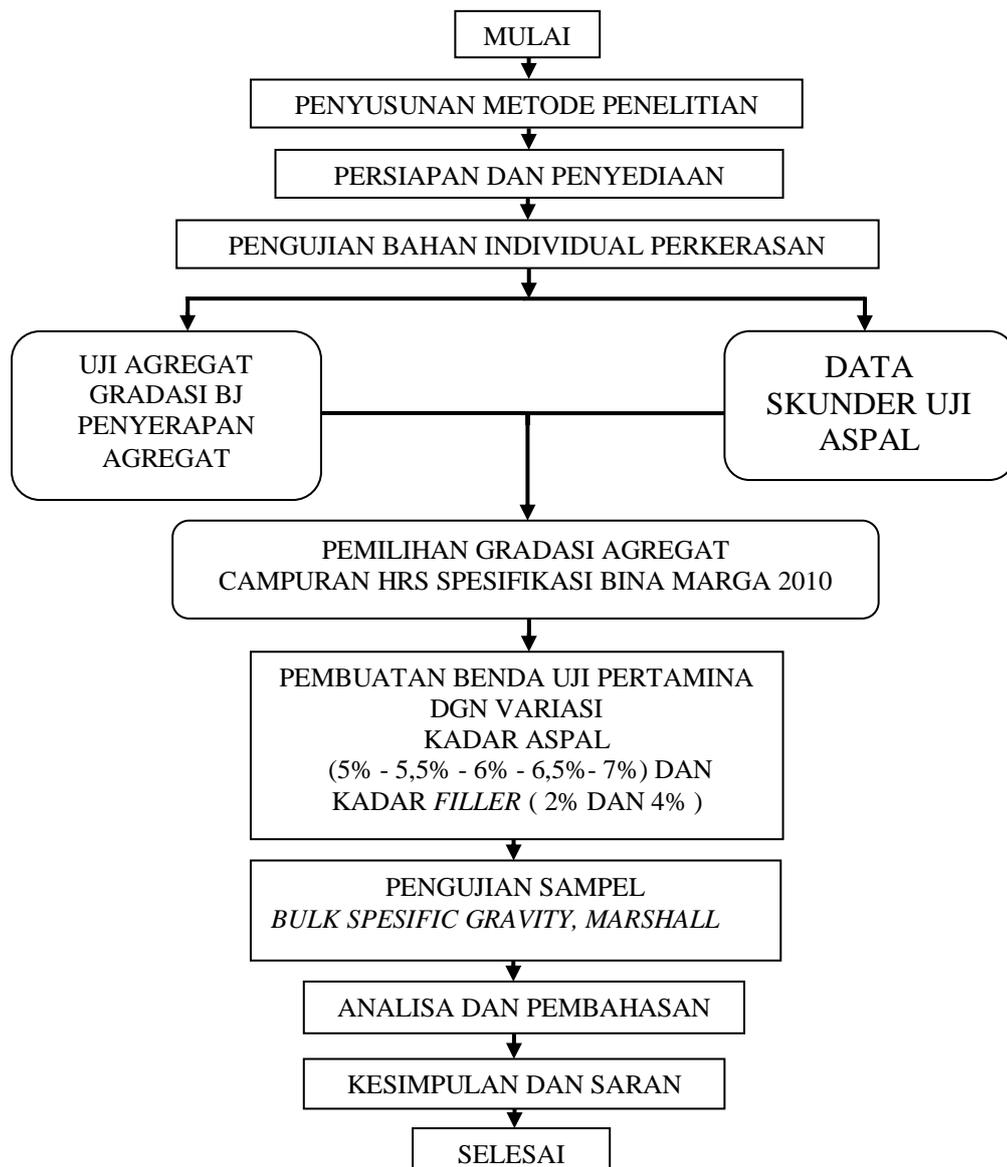
Gsb = berat jenis curah agregat

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Metode Penelitian

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



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

3.2. Metode Penelitian

Tahap awal penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan adalah pengambilan data 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 dari *Asphalt Mixing Plant* PT. Bangun Cipta Kontraktor Medan, dan abu boiler cangkang sawit dari perkebunan kelapa sawit 4 (PTPN4).

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 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 sampel campuran lapis tipis aspal beton HRS.
4. Merencanakan sampel 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 tipis aspal beton HRS yang berkualitas ditentukan dari penyusunan campuran agregat. Bahan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sifat dan karakteristiknya.

3.6.1. Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar dan Halus

Agar kualitas agregat dapat dijamin untuk mendapatkan lapis tipis aspal beton HRS 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

Alat-alat yang digunakan dalam tahapan pengerjaan terdiri dari:

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

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

3.7. Prosedur Kerja

3.7.1. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan aspal beton meliputi perencanaan gradasi dan komposisi agregat untuk campuran serta jumlah benda uji untuk pengujian. Gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi menerus lapisan antara laston/HRS (*Hot Rolled Sheet*). Dan dilihat pada gradasi yang ideal.

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

- | | | |
|---|---|------|
| 1. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inchi | = | 16% |
| 2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi | = | 10 % |
| 3. Agregat halus (Cr) | = | 63% |
| 4. Agregat halus (Sand) | = | 11 % |

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

Tahap-tahap pembuatan benda uji terdiri dari:

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 $90 \text{ }^\circ\text{C} - 150 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Letakan cetakan di atas landasan pematik dan ditahan dengan pemegang cetakan.
 - Letakkan kertas saring atau kertas penghisap dengan ukuran sesuai ukuran dasar cetakan.
 - Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali sekeliling pinggirannya dan 10 kali bagian tengahnya.
 - Letakkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan

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

3.7.3. Metode Pengujian Sampel

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

Pengujian sampel terbagai atas 2 bagian pengujian, yaitu:

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

Peralatan yang digunakan untuk pengujian sampel sebagai berikut:

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

3.7.4. Penentuan berat jenis (*Bulk 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 gravity* 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. Merendam 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°C - 37°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 kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan.
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.

Bersihkan alat dan selesai

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Untuk memperoleh campuran lapis tipis aspal beton HRS yang baik, maka gradasi dari agregat harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga 2010. 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
1 $\frac{1}{2}$	37.50	100
1	25.40	100
$\frac{3}{4}$	19.00	100
$\frac{1}{2}$	12.50	41.16
$\frac{3}{8}$	9.50	24.16
No. 4	4.75	0.00
No. 8	2.36	0.00
No. 16	1.18	0.00
No. 30	0.60	0.00
No. 50	0.30	0.00
No. 100	0.15	0.00
No. 200	0.075	0.00

Tabel 4.2: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (MA) ½ inchi.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37.50	100
1	25.40	100
¾	19.00	100
½	12.50	100
3/8	9.50	98.08
No. 8	2.36	10.54
No. 16	1.18	0.00
No. 30	0.60	1.66
No. 50	0.30	1.62
No. 100	0.15	0.00
No. 200	0.075	0.20

Tabel 4.3: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37.50	100
1	25.40	100
¾	19.00	100
½	12.50	100
3/8	9.50	100
No. 4	4.75	0.00
No. 8	2.36	65.80

Tabel 4.3: *Lanjutan.*

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
No. 16	1.18	0.00
No. 30	0.60	29.30
No. 50	0.30	21.00
No. 100	0.15	0.00
No. 200	0.075	9.40

Tabel 4.4: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus (*Sand*).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37.50	100
1	25.40	100
¾	19.00	100
½	12.50	100
3/8	9.50	100
No. 4	4.75	100.00
No. 8	2.36	97.40
No. 16	1.18	0.00
No. 30	0.60	82.55
No. 50	0.30	69.30
No. 100	0.15	0.00
No. 200	0.075	0.65

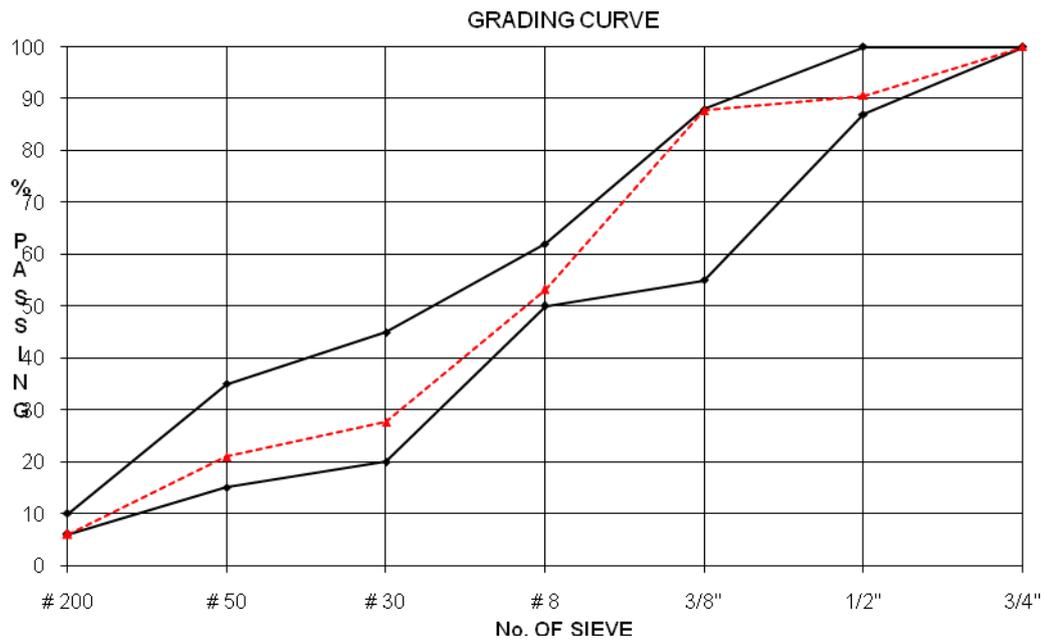
Tabel 4.5: Hasil pemeriksaan analisis saringan abu boiler *filler*.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37.50	100
1	25.40	100
¾	19.00	100
½	12.50	100
3/8	9.50	100
No. 4	4.75	100.00
No. 8	2.36	100.00
No. 16	1.18	0.00
No. 30	0.60	99.90
No. 50	0.30	99.50
No. 100	0.15	0.00
No. 200	0.075	84.15

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk pekerasan Latahir HRS harus berada di dalam batas atas, batas bawah yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010. Dari hasil pemeriksaan analisis saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada Tabel 4.6 – 4.8.

Tabel 4.6: Hasil kombinasi gradasi agregat standar.

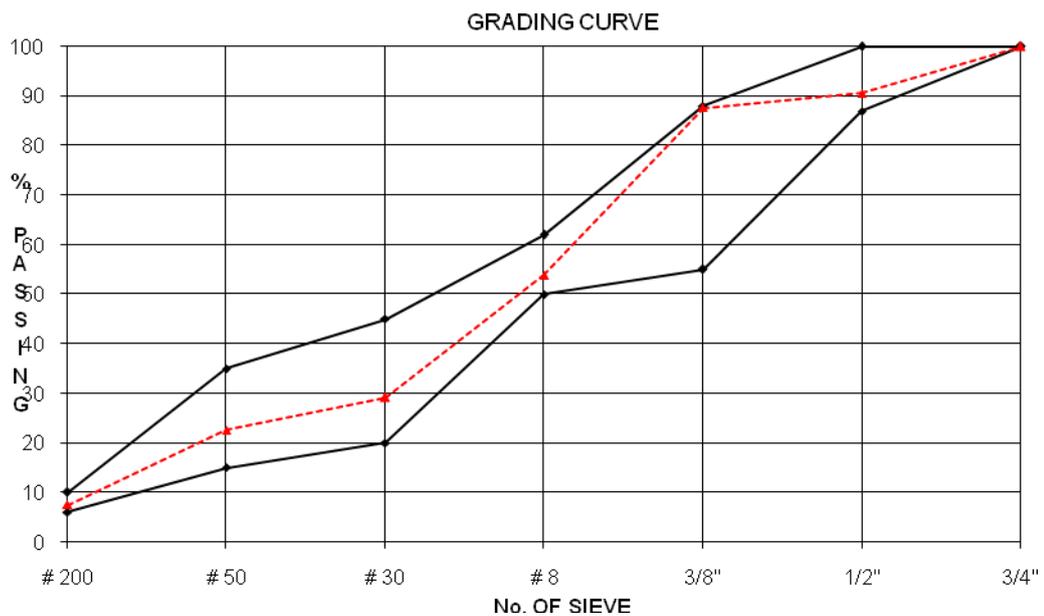
No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat				AVG
			CA ¾	MA ½	Cr	Sand	
			16%	10%	63%	11%	
¾"	100	100	16.00	10.00	63.00	11.00	100.00
½"	87	100	6.59	10.00	63.00	11.00	90.59
⅜"	55	88	3.87	9.81	63.00	11.00	87.67
No. 8	50	62	0.01	1.05	41.45	10.71	53.23
No. 30	20	45	0.01	0.17	18.46	9.08	27.71
No. 50	15	35	0.01	0.16	13.23	7.62	21.02
No. 200	6	10	0.01	0.02	5.92	0.07	6.02



Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat standar.

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

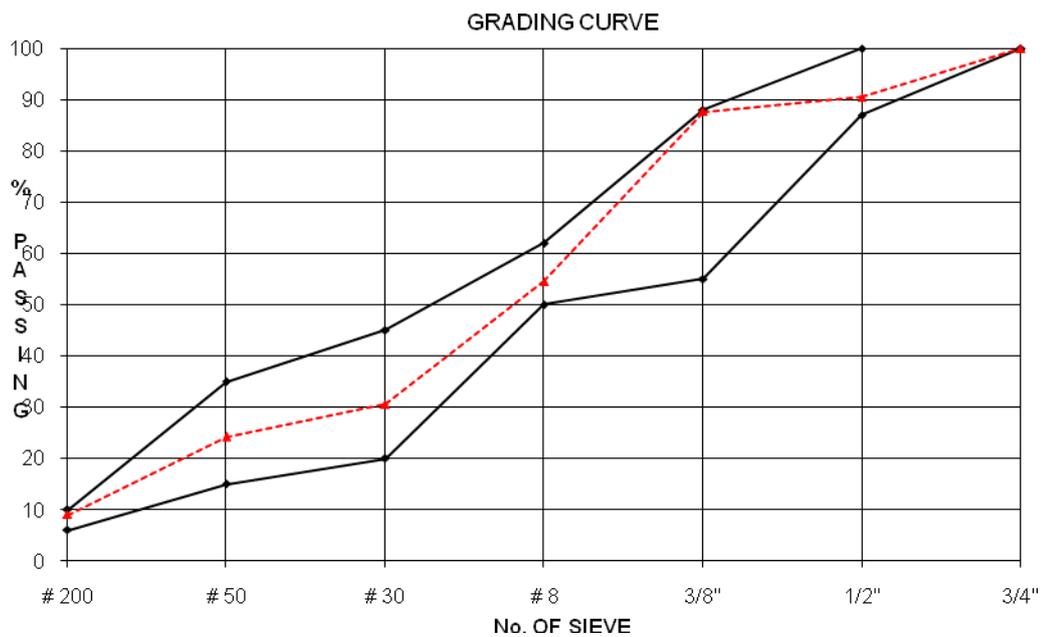
No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			CA $\frac{3}{4}$	MA $\frac{1}{2}$	Cr	Sand	<i>filler</i>	
			16%	10%	61%	11%	2%	
3/4"	100	100	16.00	10.00	61.00	11.00	2.00	100.00
1/2"	87	100	6.59	10.00	61.00	11.00	2.00	90.59
3/8"	55	88	3.87	9.81	61.00	11.00	2.00	87.67
No. 8	50	62	0.01	1.05	40.14	10.71	2.00	53.91
No. 30	20	45	0.01	0.17	17.87	9.08	2.00	29.12
No. 50	15	35	0.01	0.16	12.81	7.62	1.99	22.59
No. 200	6	10	0.01	0.02	5.73	0.07	1.68	7.51



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

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

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			CA $\frac{3}{4}$	MA $\frac{1}{2}$	Cr	Sand	<i>filler</i>	
			16%	10%	59%	11%	4%	
3/4"	100	100	16.00	10.00	59.00	11.00	4.00	100.00
1/2"	87	100	6.59	10.00	59.00	11.00	4.00	90.59
3/8"	55	88	3.87	9.81	59.00	11.00	4.00	87.67
No. 8	50	62	0.01	1.05	38.82	10.71	4.00	54.60
No. 30	20	45	0.01	0.17	17.29	9.08	4.00	30.54
No. 50	15	35	0.01	0.16	12.39	7.62	3.98	24.16
No. 200	6	10	0.01	0.02	5.55	0.07	3.37	9.01



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

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

Data persen agregat yang di peroleh untuk standard:

- Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 16 %
- Agregat medium MA $\frac{1}{2}$ inch = 10 %
- Agregat halus abu batu (Cr) = 63 %
- Agregat halus pasir (*Sand*) = 11 %

Data persen agregat yang di peroleh untuk *filler* 2%:

- Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 16 %
- Agregat medium MA $\frac{1}{2}$ inch = 10 %
- Agregat halus abu batu (Cr) = 61 %
- Agregat halus pasir (*Sand*) = 11 %
- Agregat halus abu boiler (*filler*) = 2%

Data persen agregat yang di peroleh untuk *filler* 4%:

- Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 16 %
- Agregat medium MA $\frac{1}{2}$ inch = 10 %
- Agregat halus abu batu (Cr) = 59 %
- Agregat halus pasir (*Sand*) = 11 %
- Agregat halus abu boiler (*filler*) = 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- Tabel 4.11

- kadar aspal 5% : $1200 \times 5\%$ = 60 gr
- Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch : $(1200-60) \times 13\%$ = 148,2 gr
- Agregat medium MA $\frac{1}{2}$ inch : $(1200-60) \times 35\%$ = 399,0 gr

- Agregat halus abu batu (Cr) : (1200-60) X 40 % = 456,0 gr
- Agregat halus pasir (*Sand*) : (1200-60) X 12% = 136,8 gr
- Total = 1200 gr

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

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	CA 1 inch (gram)	CA ¾ inch (gram)	MA ½ inch (gram)	Abu batu (gram)	Pasir (gram)
5,0%	60	0	182.4	114	718.2	125.4
5,5%	66	0	181.4	113.4	714.4	124.7
6,0%	72	0	180.5	112.8	710.6	124.1
6,5%	78	0	179.5	112.2	706.9	123.4
7,0%	84	0	178.6	111.6	703.1	122.8

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

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	filler (gram)	CA ¾ inch (gram)	MA ½ inch (gram)	Abu batu (gram)	Pasir (gram)
5,0%	60	23	182.4	114	695.4	125.4
5,5%	66	23	181.4	113.4	691.7	124.7
6,0%	72	23	180.5	112.8	688.1	124.1
6,5%	78	22	179.5	112.2	684.4	123.4
7,0%	84	22	178.6	111.6	680.8	122.8

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

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	filler (gram)	CA ¾ inch (gram)	MA ½ inch (gram)	Abu batu (gram)	Pasir (gram)
5,0%	60	46	182.4	114	672.6	125.4
5,5%	66	45	181.4	113.4	669.1	124.7
6,0%	72	45	180.5	112.8	665.5	124.1
6,5%	78	45	179.5	112.2	662	123.4
7,0%	84	45	178.6	111.6	658.4	122.8

4.1.2. Hasil Uji Berat Jenis Agregat

1. Berat jenis agregat CA ¾ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

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

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat CA ¾ inch dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.12: Hasil pengujian berat jenis agregat kasar CA ¾ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S_d)	2,599	2,618	2,609
Berat jenis curah kering permukaan (S_s)	2,629	2,643	2,636
Berat jenis semu (S_s)	2,679	2,686	2,683
Penyerapan (S_w)	1,146	0,978	1,061

2. Berat jenis agregat MA ½ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

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

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 10 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat MA ½ inch dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13: Hasil pengujian berat jenis agregat Medium MA ½ inch.

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

3. Berat jenis agregat halus abu batu (Cr)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

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

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 10 dan rekapitulasi data hasil pengujian abu batu dapat dilihat pada Tabel.4.14.

Tabel 4.14: Hasil pengujian berat jenis agregat halus abu batu (Cr).

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

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{495}{500+667-977} = 2,605 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{500}{495+667-977} = 2,632 \text{ gr} \end{aligned}$$

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

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500-495)}{495} \times 100\% = 1,010 \%$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9 dan rekapitulasi data hasil pengujian pasir dapat dilihat pada Tabel.4.15.

Tabel 4.15: Hasil pengujian berat jenis agregat halus pasir (*Sand*)

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

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

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

$$\text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} = \frac{200}{189+666-752} = 1,754 \text{ gr}$$

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

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

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 10 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat halus abu cangkang sawit dapat dilihat pada Tabel.4.16.

Tabel 4.16: Hasil pengujian berat jenis agregat halus abu cangkang sawit (*filler*)

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

4.1.3. Hasil Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji campuran aspal beton dalam penelitian ini adalah aspal keras Pertamina Pen 60/70. Data hasil pemeriksaan uji aspal diperoleh dari data sekunder dari PT. Bangun Cipta Kontraktor yang dilakukan di Laboratorium. Dari pemeriksaan karakteristik aspal keras yang telah dilakukan perusahaan dan di uji di balai pengujian material diperoleh hasilnya seperti Tabel 4.17.

Tabel 4.17: Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Keras Pertamina Pen 60/70 (PT. Bangun Cipta Kontraktor).

No.	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Metode Pengujian	Satuan
1	Penetrasi pada 25 °C	68,00	SNI 06-2456-2011	0,1 mm
2	Titik Lembek	49	SNI 06-2434-2011	°C
3	Daktalitas pada 25 °C, 5cm/menit	135	SNI 06-2432-2011	cm
4	Titik Nyala	-	SNI 06-2433-2011	°C
5	Berat Jenis	1,035	SNI 06-2441-2011	

Dari pemeriksaan laboratorium diperoleh hasil bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 memenuhi standart pengujian spesifikasi Bina Marga 2010, sebagai bahan ikat campuran aspal beton. Hasil pemeriksaan menunjukkan adanya perbedaan karakteristik dan perbedaan mutu dari kedua jenis aspal keras tersebut.

4.1.4. Pemeriksaan Terhadap Campuran Aspal

Nilai parameter *Marshall* diperoleh dengan melakukan perhitungan terhadap hasil percobaan 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 $= 100 - \left(\frac{2,287 \times 5\%}{1,035}\right)$
 $= 16,999 \%$
- m. Persentase rongga terisi aspal $= 100 \times \left(\frac{16,99 - 7,642}{16,99}\right)$
 $= 55,043 \%$
- n. Kadar aspal efektif $= 4,236$
- o. Pembacaan arloji stabilitas $= 106$
- p. Kalibrasi proving ring $= (7,693 \times 106) + 0,316$
- q. Stabilitas akhir $= (134434 \times 523^{-1,8897}) \times 106$
 $= 800$
- r. Kelelehan $= 2,54 \text{ mm}$

Untuk rekapitulasi perhitungan campuran normal serta penggunaan abu boiler cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4% dapat dilihat pada Lampiran

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan nilai sifat karakteristik Marshall yaitu *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, *VMA*, *Flow*, dan *marshall quotient*, untuk kadar aspal 5%.

1. *Bulk density*

$$\begin{aligned} \text{Bulk density} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\ &= \frac{2.293 + 2.284 + 2.278}{3} \\ &= 2.285 \end{aligned}$$

2. *Stability*

$$\begin{aligned} \text{Stability} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\ &= \frac{1.045 + 1.090 + 1.069}{3} \\ &= 1.068 \end{aligned}$$

3. *Air voids*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\ &= \frac{7.658 + 8.011 + 8.273}{3} \\ &= 7.981 \end{aligned}$$

4. *Voids filled*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\ &= \frac{55.517 + 54.308 + 53.436}{3} \\ &= 54.420 \end{aligned}$$

5. *VMA*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\ &= \frac{17.216 + 17.532 + 17.768}{3} \\ &= 17.505 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6. \text{Flow} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{3.080 + 3.090 + 3.090}{3} \\
 &= 3.087
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 7. \text{Marshall quotient} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{339 + 353 + 346}{3} \\
 &= 346
 \end{aligned}$$

Dari hasil pemeriksaan uji *Marshall* yang dilakukan pada di Laboratorium Jalan Raya Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara menghasilkan nilai sifat karakteristik *Marshall* yaitu *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, *VMA*, *Flow*, *marshall quotient*, PRD. Hasil pengujian sifat karakteristik *Marshall* untuk jenis campuran aspal kadar 5,5%-7.0%, terdapat pada Tabel 4.18 - 4.20.

Tabel 4.18: Hasil Uji *Marshall* Campuran Beton Aspal standar

No	Karakteristik	Kadar aspal (5,0%)	Kadar aspal (5,5%)	Kadar aspal (6,0%)	Kadar aspal (6,5%)	Kadar aspal (7,0%)
1.	Bulk density (gr/cc)	2.285	2.295	2.308	2.299	2.282
2.	Stability (kg)	1.068	1.047	1.080	944	837
3.	Air voids (%)	7.98	6.90	5.70	5.38	5.40
4.	VMA (%)	17.48	17.58	18.06	18.82	19.84
5.	Flow (mm)	3.06	3.15	3.24	3.30	3.38
6.	Voids filled (%)	54.42	60.78	68.43	71.48	72.84
7.	Mashall quotient	349	333	334	286	248
8.	Prd		5.98	5.29	4.39	

Tabel 4.19: Hasil Uji *Marshall* Campuran Beton Aspal Yang Menggunakan *filler* 2%.

No	karakteristik	Kadar aspal (5,0%)	Kadar aspal (5,5%)	Kadar aspal (6,0%)	Kadar aspal (6,5%)	Kadar aspal (7,0%)
1.	Bulk density (gr/cc)	2.276	2.281	2.287	2.272	2.261
2.	Stability (kg)	1.025	1.015	1.040	988	964
3.	Air voids (%)	7.51	6.64	5.72	5.67	5.47
4.	VMA (%)	16.89	17.15	17.91	18.88	19.71
5.	Flow (mm)	3.48	3.55	3.63	3.74	3.82
6.	Voids filled (%)	55.53	61.27	68.00	69.93	72.21
7.	Mashall quotient	295	286	286	264	253
8.	prd		5.14	4.45	3.56	

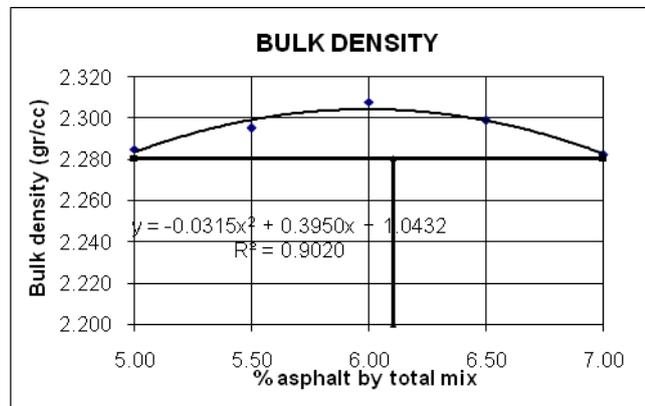
Tabel 4.20: Hasil Uji *Marshall* Campuran Beton Aspal Yang Menggunakan *filler* 4%.

No	karakteristik	Kadar aspal (5,0%)	Kadar aspal (5,5%)	Kadar aspal (6,0%)	Kadar aspal (6,5%)	Kadar aspal (7,0%)
1.	Bulk density (gr/cc)	2.255	2.261	2.270	2.263	2.253
2.	Stability (kg)	958	995	1.011	968	948
3.	Air voids (%)	7.55	6.64	5.59	5.24	5.01
4.	VMA (%)	16.73	16.94	17.61	18.32	19.12
5.	Flow (mm)	3.36	3.45	3.54	3.63	3.75
6.	Voids filled (%)	54.85	60.86	68.22	71.35	73.78
7.	Mashall quotient	285	289	286	267	253
8.	prd		4.30	3.62	2.73	

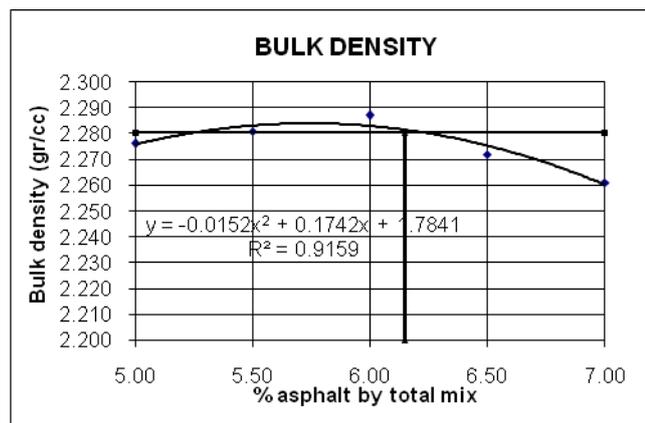
Hasil nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, *VMA*, *Flow*, *Marshall quotient* pada campuran aspal Pertamina dan campuran *filler* 2%, 4% dapat juga dilihat pada grafik-grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4-4.24. dari grafik-grafik tersebut dapat dilihat bagaimana sifat karakteristik *Marshall* setiap kadar persenan kadar aspal.

1. *Bulk Density*

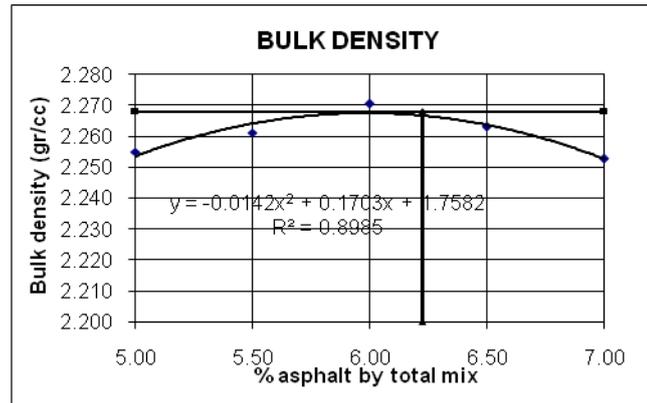
Hasil nilai *Bulk Density* pada campuran aspal standart dan campuran *filler* 2%, dan 4% dapat dilihat pada gambar Grafik 4.4 - 4.6.



Gambar 4.4: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) aspal standar.



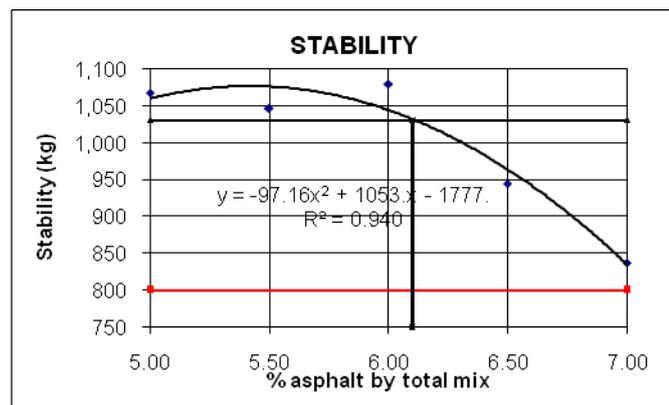
Gambar 4.5: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) *filler* 2%.



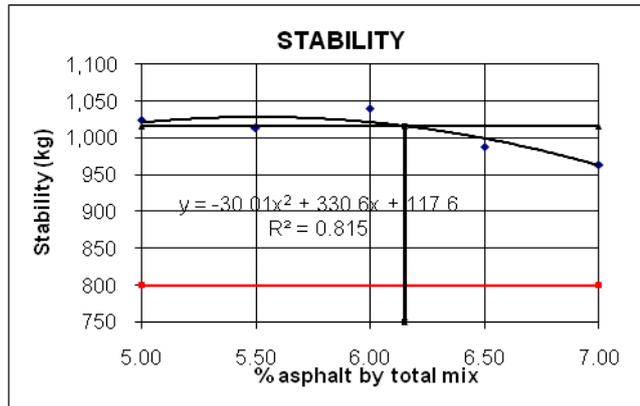
Gambar 4.6: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) filler 4%.

2. *Stability*

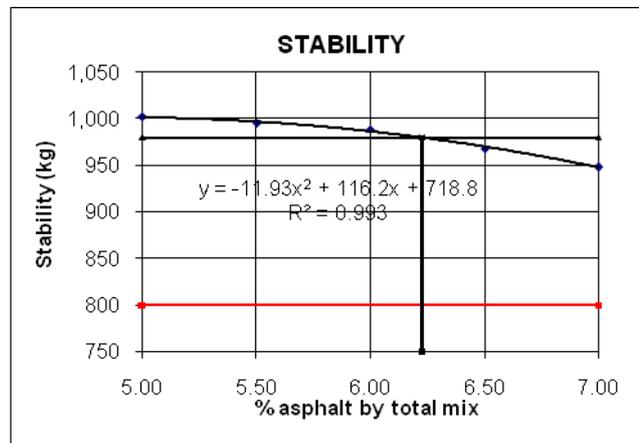
Hasil nilai *Stability* untuk campuran aspal standart dan campuran *filler* 2%, dan 4%. dapat dilihat pada gambar Grafik 4.7 - 4.9.



Gambar 4.7: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dan *Stability* (kg) aspal standart.



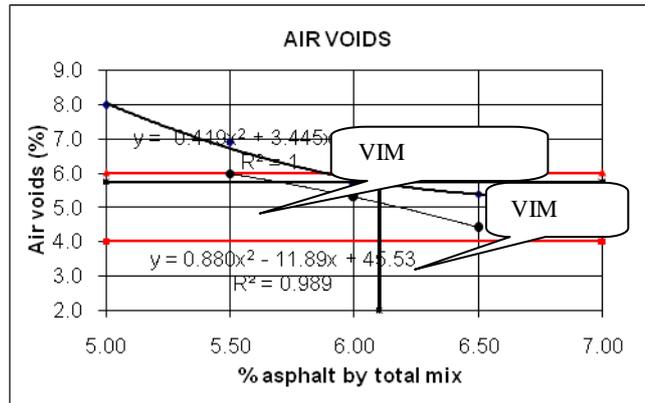
Gambar 4.8: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dan *Stability (kg) filler 2%*.



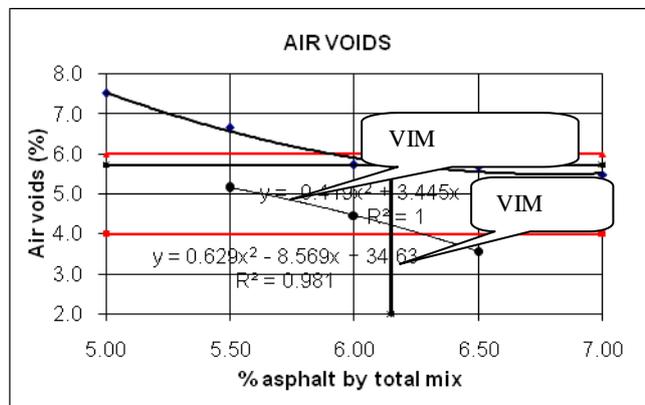
Gambar 4.9: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dan *Stability (kg) filler 4%*.

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

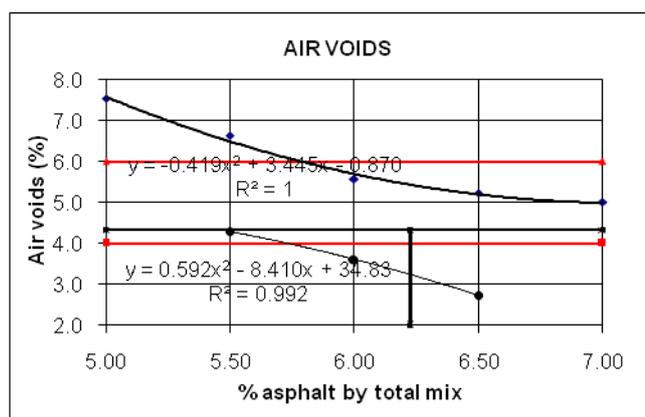
Hasil nilai *Air Voids (VIM)* untuk campuran aspal standart dan campuran *filler 2%*, dan *4%*. dapat dilihat pada gambar Grafik 4.10 - 4.12.



Gambar 4.10: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan VIM (%) aspal standar.



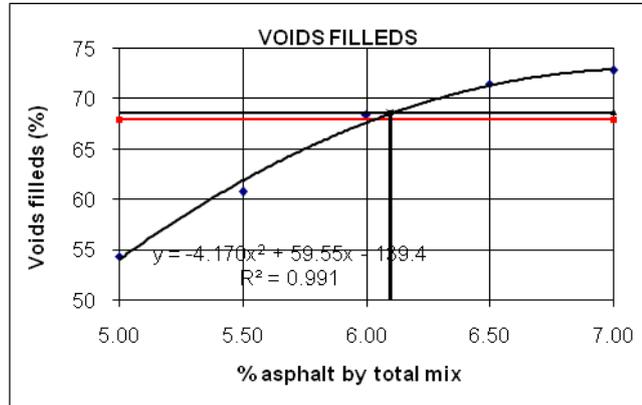
Gambar 4.11: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan VIM (%) filler 2%.



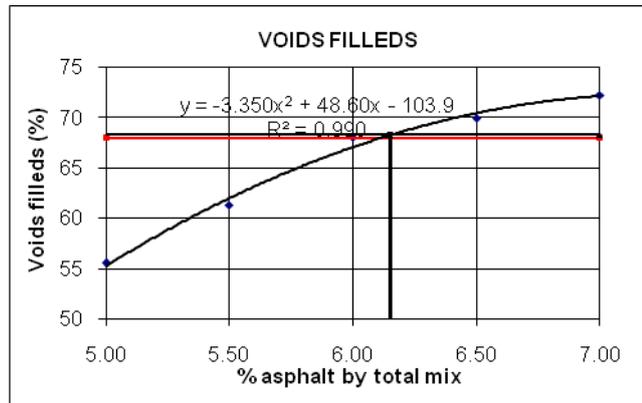
Gambar 4.12: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan VIM (%) filler 4%.

4. *Voids Filled* (VFB)

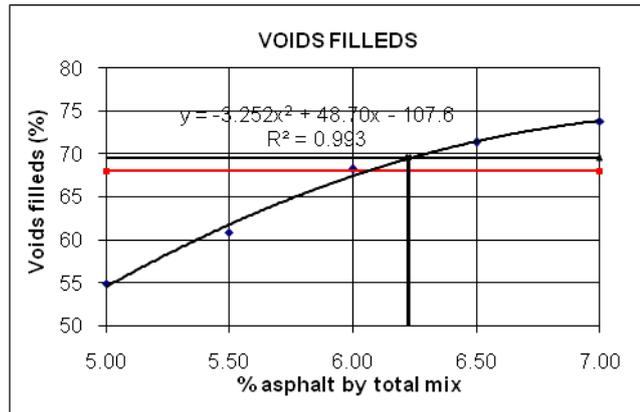
Hasil nilai *Voids Filled* (VFB) untuk campuran aspal standart dan campuran *filler* 2%, dan 4%. dapat dilihat pada gambar Grafik 4.13 - 4.15.



Gambar 4.13: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan VFB (%) aspal standar.



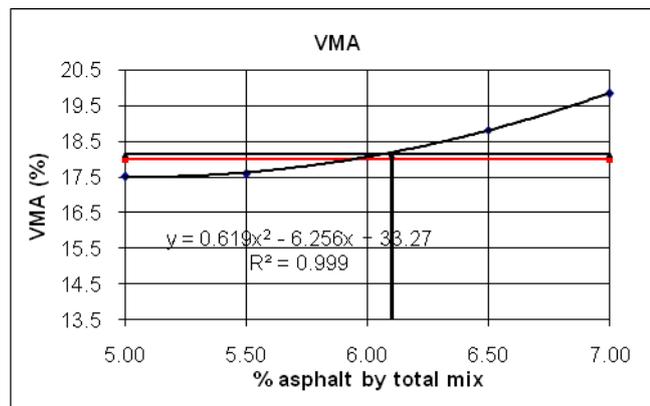
Gambar 4.14: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan VFB (%) *filler* 2%.



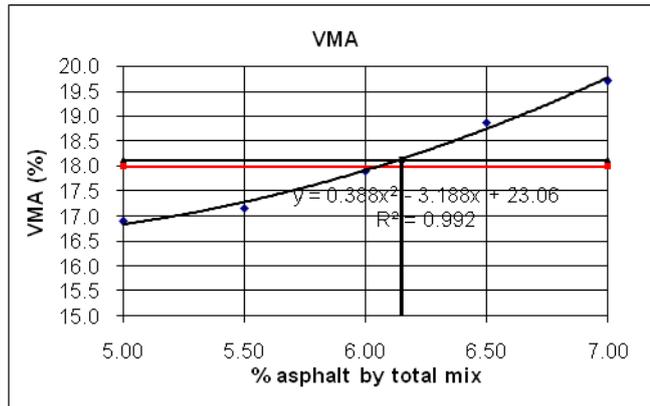
Gambar 4.15: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan VFB (%) *filler* 4%.

5. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

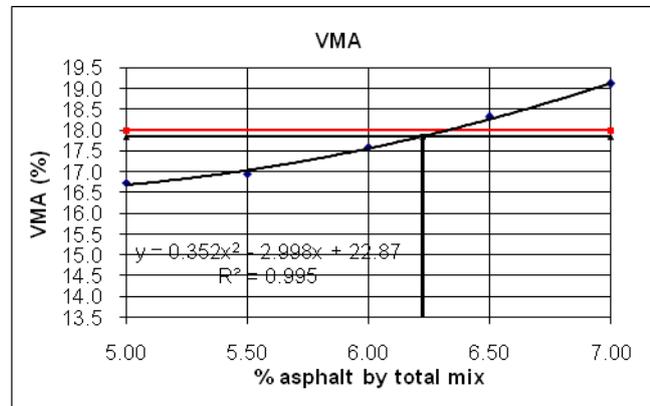
Hasil nilai *Void in Mineral Agregat (VMA)* untuk campuran aspal standart dan campuran *filler* 2%, dan 4%, dapat dilihat pada gambar Grafik 4.16 - 4.18.



Gambar 4.16: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan VMA (%) aspal standar.



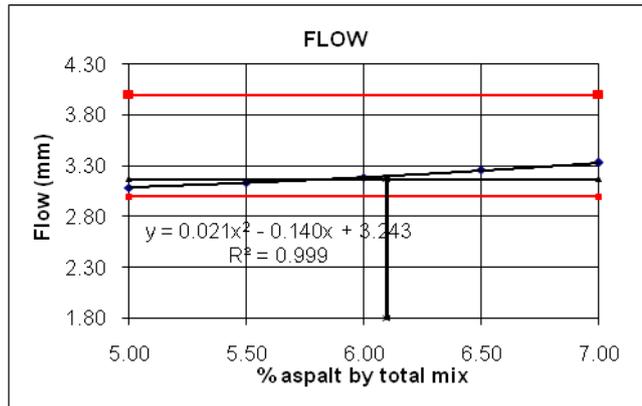
Gambar 4.17: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan VMA (%)
filler 2%.



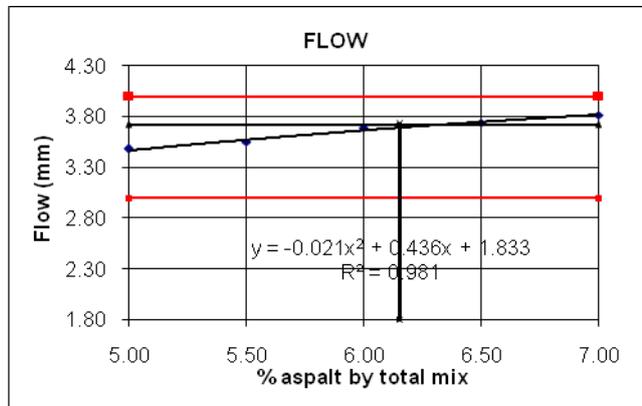
Gambar 4.18: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan VMA (%)
filler 4%.

6. Flow

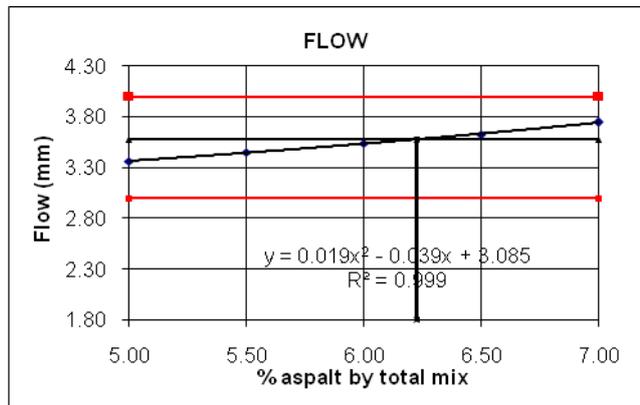
Hasil nilai *Flow* untuk campuran aspal standart dan campuran *filler 2%*, dan *4%*, dapat dilihat pada Gambar 4.19 - 4.21.



Gambar 4.19: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) aspal standar.



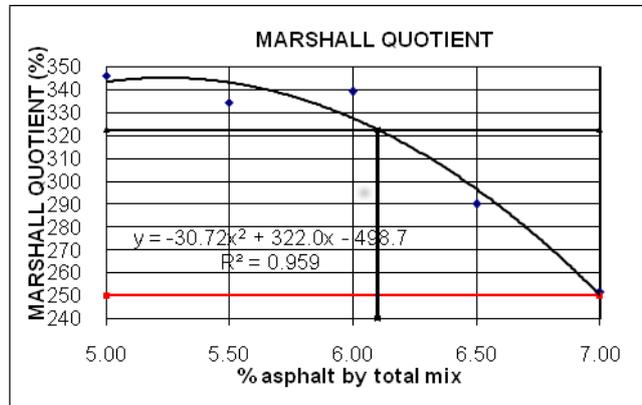
Gambar 4.20: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) filler 2%.



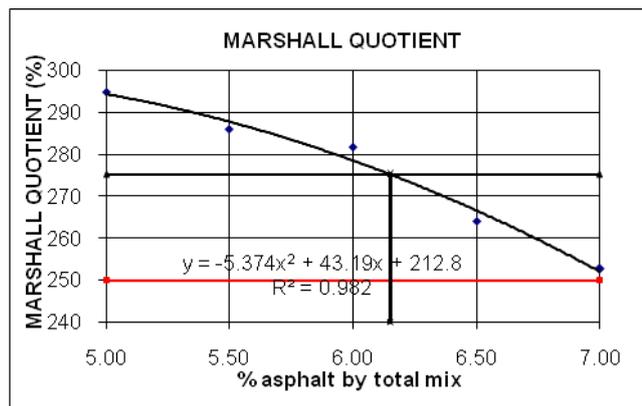
Gambar 4.21: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) filler 4%.

7. Marshall quotient

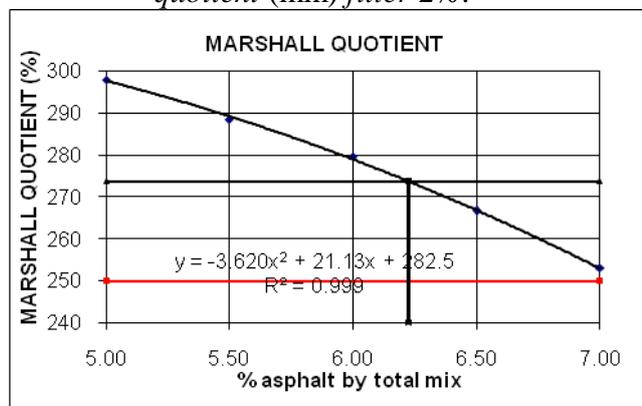
Hasil nilai *marshall quotient* untuk campuran aspal standart dan campuran *filler* 2%, dan 4%, dapat dilihat pada Gambar 4.22 - 4.24.



Gambar 4.22: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan *marshall quotient* (mm) aspal standart.



Gambar 4.23: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan *marshall quotient* (mm) *filler* 2%.



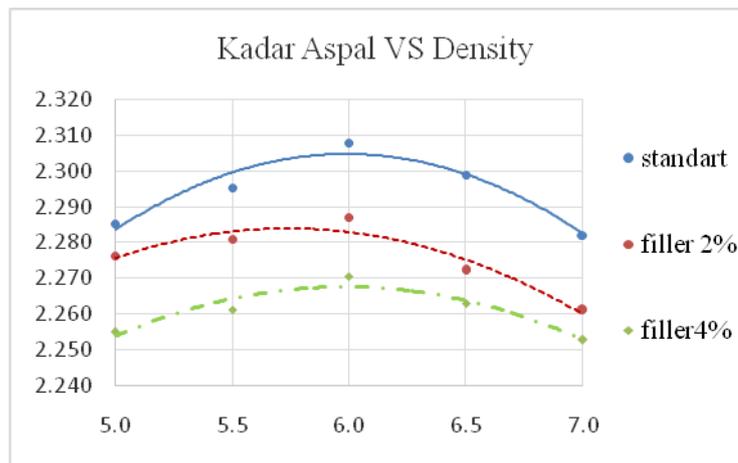
Gambar 4.24: Grafik hubungan antara Kadar aspal (%) dengan *marshall quotient* (mm) *filler* 4%.

4.1.5. Perbandingan Sifat Marshall

Dari hasil nilai pengujian sifat *Marshall* campuran aspal standart dan campuran *filler* 2% dan 4% untuk nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, *VMA Flow* dan *marshall quotient*, dapat dilihat perbandingan diantara kedua jenis campuran tersebut seperti yang di tunjukan pada Gambar 4.25 - 4.31.

1. *Bulk Density*

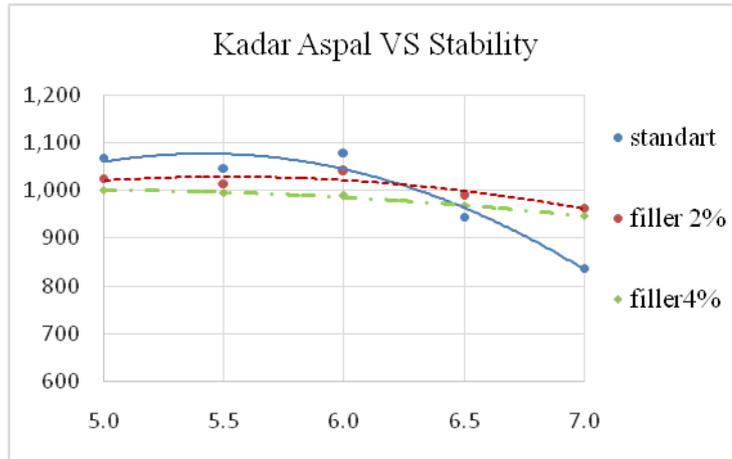
Dari hasil percobaan *Bulk Density* menunjukkan perbedaan nilai *Bulk Density* antara aspal standart, *filler* 2% dan 4%. Hasil *Bulk Density* menunjukkan bahwa nilai *Bulk Density* aspal standart lebih tinggi dari pada nilai *Bulk Density* aspal *filler* 2% dan 4%, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25: Perbandingan nilai *Bulk Density* campuran aspal standart dan campuran *filler* 2% dan 4%.

2. *Stability*

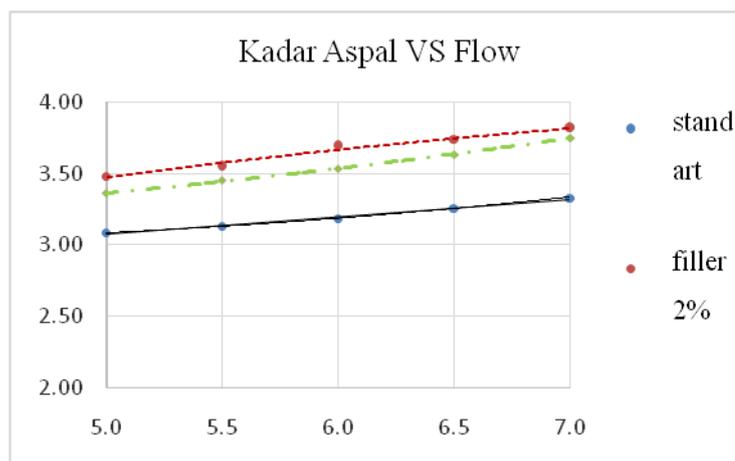
Hasil nilai *Stability* pada campuran aspal standart dan campuran *filler* 2% dan 4%. menunjukkan perbandingan diantara kedua jenis campuran tersebut. Nilai *Stability* untuk campuran *filler* 2% dan 4%. lebih rendah dibandingkan dengan nilai *Stability* campuran aspal standart, tetapi disaat kadar aspal 6,5-7,0 pada campuran aspal standart nilai campuran menurun, Perbandingan nilai *Stability* diantara kedua campuran aspal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26: Perbandingan nilai *Stability* campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%.

3. *Flow*

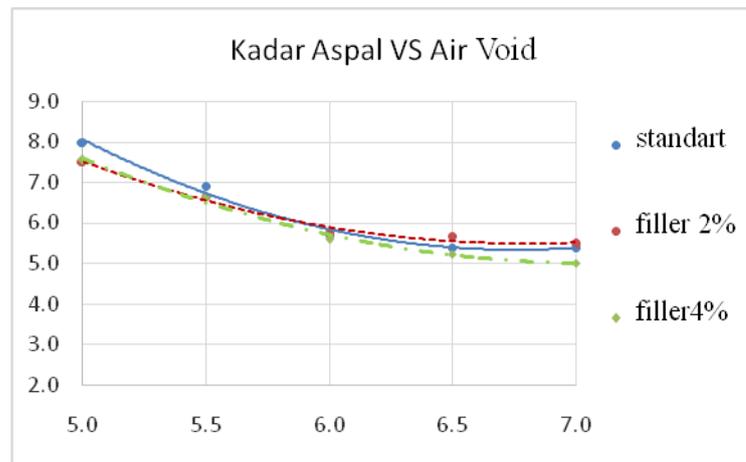
Hasil uji *Marshall Flow* menunjukkan bahwa nilai *Flow* pada campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%. menunjukkan berbanding karakteristik *Marshall Flow*. Perbandingan diantara dua jenis campuran tersebut menunjukkan bahwa nilai *Flow* campuran aspal standard pada kadar aspal 5% lebih rendah dibandingkan nilai *Flow* campuran *filler* 2% dan 4%. seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27: Perbandingan nilai *Flow* campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%.

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

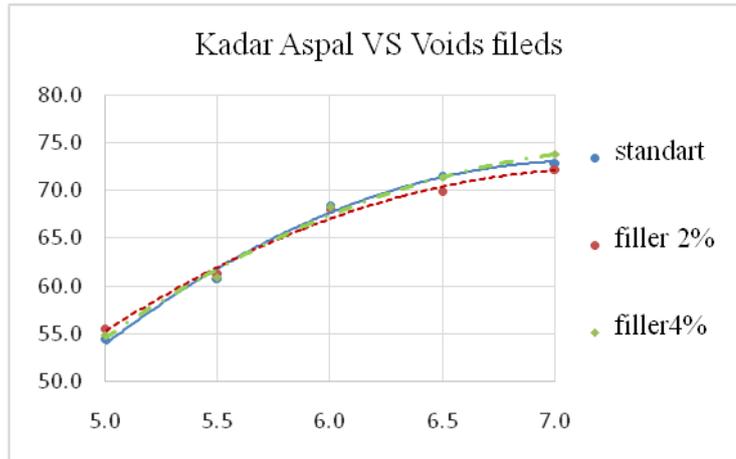
Hasil nilai VIM menunjukkan bahwa nilai VIM campuran aspal standard 5,0% lebih tinggi dibandingkan nilai VIM pada campuran *filler* 2% dan 4%, dan campuran *filler* 2% dan 4% hampir sama, tetapi pada campuran aspal 6,5%-7,0% campuran aspal *filler* 2% lebih tinggi dibandingkan nilai VIM pada campuran standard dan *filler* 4%. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28: Perbandingan nilai VIM campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%.

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

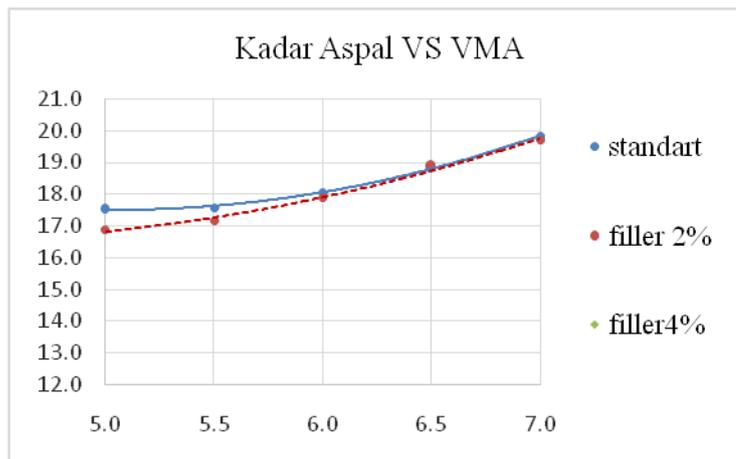
Dari hasil pengujian karakteristik sifat *Marshall* untuk campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%. didapat berbanding diantara kedua jenis campuran tersebut. Nilai VFB campuran aspal standard pada kadar aspal 5% terlihat lebih rendah dibandingkan dengan nilai VFB campuran *filler* 2% dan 4%, Namun pada kadar aspal 5,5% terjadi peningkatan nilai VFB pada campuran aspal standard sehingga dapat dilihat bahwa pada kadar aspal 5,5% nilai VFB campuran aspal standard hampir sama dengan nilai VFB campuran *filler* 2% dan 4%, Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29: Perbandingan nilai VFB campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%.

6. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

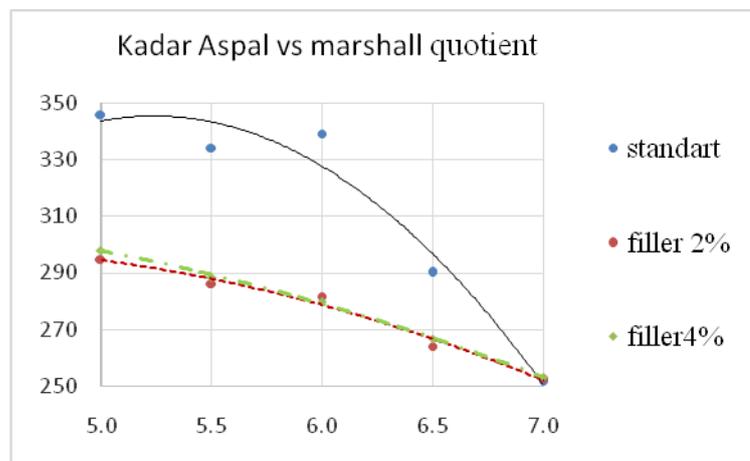
Nilai VMA pada campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%, menunjukkan perbandingan. Hasil nilai VMA menunjukkan bahwa nilai VMA campuran aspal standard pada kadar aspal 5%-5,5% lebih tinggi dibandingkan dengan nilai VMA campuran *filler* 2% dan 4%, namun pada kadar campuran aspal 6,0%-7,0% hamper sama. Perbandingan nilai VMA campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%, dapat dilihat pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30: Perbandingan nilai VMA campuran aspal standard dan campuran *filler* 2%, dan 4%.

7. Marshall quotient (MQ)

Nilai MQ pada campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%, menunjukkan perbandingan yang signifikan. Hasil nilai MQ menunjukkan bahwa nilai MQ campuran aspal standard pada kadar aspal 5% sampai 6,5% lebih tinggi dibandingkan dengan nilai MQ campuran *filler* 2% dan 4%, sedangkan pada campuran aspal 5%-7% nilai MQ campuran *filler* 2% dan 4% hampir sama. Perbandingan nilai MQ campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%, dapat dilihat pada Gambar 4.31.



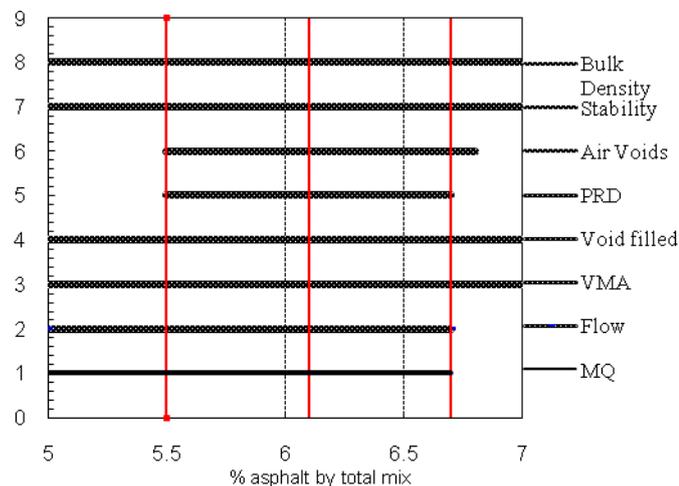
Gambar 4.31: Perbandingan nilai MQ campuran aspal standard dan campuran *filler* 2%, dan 4%.

Hasil pemeriksaan karakteristik sifat campuran *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, *VMA Flow* dan *marshall quotient* pada jenis campuran aspal standard dan campuran *filler* 2% dan 4%, menunjukkan bahwa kedua jenis campuran tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010. Dari hasil nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, *VMA*, *Flow* dan *marshall quotient* dapat dilihat bahwa karakteristik kedua jenis campuran tersebut memiliki perbandingan disetiap karakteristik sifat *Marshall*.

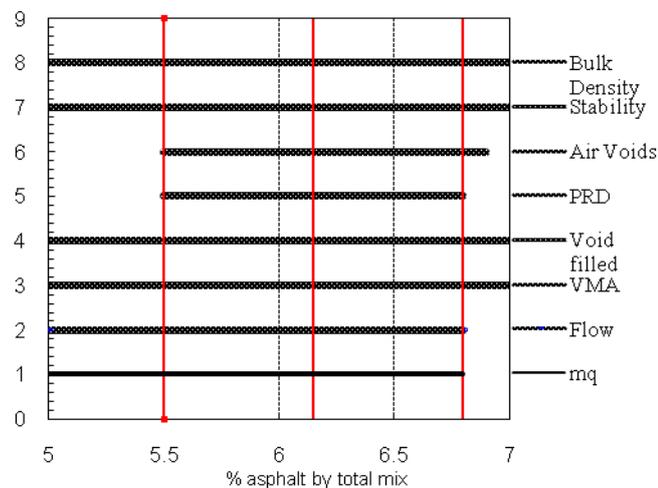
4.2. Pembahasan dan Analisis

4.2.1. Penentuan Kadar Aspal Optimum

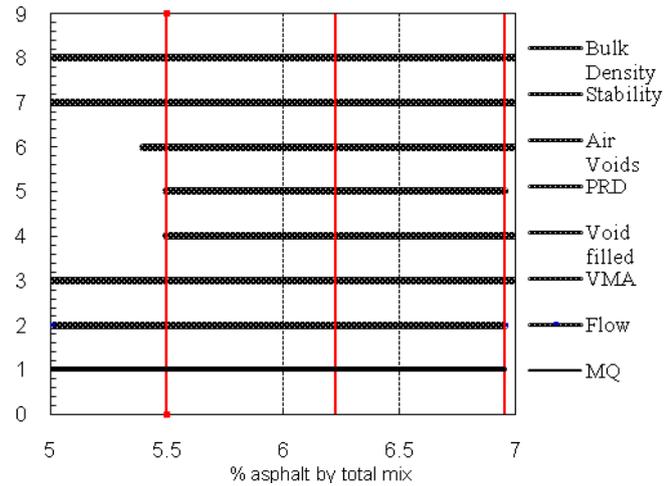
Setelah selesai melakukan pengujian di Laboratorium dan menghitung nilai-nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Void Filled*, *VMA*, *Flow* dan *marshall quotient* maka secara grafis dapat ditentukan kadar aspal optimum campuran dengan cara membuat grafik hubungan antara nilai-nilai tersebut diatas dengan kadar aspal, yang kemudian memplotkan nilai-nilai yang memenuhi spesifikasi terhadap kadar aspal, sehingga diperoleh rentang dan batas koridor kadar aspal yang optimum. Penentuan kadar aspal optimum untuk campuran aspal beton standart dan campuran *filler* 2%, dan 4% dapat dilihat pada Gambar 4.32 - 4.34.



Gambar 4.32: Penentuan rentang kadar aspal optimum campuran aspal standar.



Gambar 4.33: Penentuan rentang kadar aspal optimum campuran *filler* 2%.



Gambar 4.34: Penentuan rentang kadar aspal optimum campuran *filler* 4%.

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

Tabel 4.21: Kadar Aspal Optimum untuk campuran aspal standart dan campuran *filler* 2%, dan 4% (Hasil Pengujian Laboratorium).

Karakteristik Sifat Marshall	Jenis Aspal		
	standard	filler 2%	filler 4%
Bulk Density (gr/cc)	2,281	2,281	2,268
Stability (Kg)	1,031	1,016	980
Flow (mm)	3,17	3,72	3,58
Air Voids (%)	5,75	5,72	4,34
PRD (%)	4,48	4,39	4,26
Voids Filled (%)	68,69	68,28	69,54
VMA (%)	18,14	18,13	17,85
Asphalt Optimum (%)	6,10	6,15	6,23
Marshall quotient	322	275	274

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan mengenai analisis pengaruh penggunaan abu boiler cangkang sawit sebagai *filler* untuk campuran lapis tipis asphalt beton (HRS) menggunakan spesifikasi bina marga 2010 yang dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam penelitian ini dapat dilihat bahwa nilai rongga udara dalam campuran (VIM) menurun seiring peningkatan kadar *filler* abu boiler dalam campuran, *filler* tersebut akan makin banyak mengisi rongga-rongga dan menyelimuti agregat sehingga rongga yang tersisa dalam campuran semakin sedikit.
2. Dari hasil pemeriksaan karakteristik sifat *Marshall* pada campuran aspal beton HRS yang menggunakan aspal keras Pertamina Pen 60/70 dan *filler* abu boiler cangkang sawit dengan persentase 2% dan 4%, diketahui bahwa kedua jenis campuran aspal tersebut secara umum memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga 2010. Hasil pemeriksaan *Marshall* menunjukkan perbandingan nilai karakteristik sifat campuran pada kedua jenis campuran tersebut.

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 Normal. Laporan Tugas Akhir S1, Universitas Sumatera Utara*.
- Gultom, M. H. (1995) *Evaluasi Kadar Aspal Optimum Dan Modulus Kekakuan Campuran Beton Aspal Yang Menggunakan Bahan Susun Batu Adesit Dan Bahan Susun Batu Putih, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta*.
- Maulana, B. M. (2016) *Evaluasi Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Beton Menggunakan Filler Abu Vulkanik, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*.
- Saputra, D. (2016) *Evaluasi Perbandingan Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton AC-WC Yang Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Aspal Esso Pen60/70 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.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : Dicky Alamsyah
Panggilan : Dicky
Tempat, Tanggal Lahir : Sei Semayang, 09 Februari 1995
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Alamat KTP : Dusun XIII Pondok Miri No.92. Sei Semayang
Sunggal, Deli Serdang.
No. HP : 082165488429
E-mail : dicky.pcl@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1307210057
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 Chairul Bariyah, Sunggal	2007
2	SMP	SMP Tekad Mulia, Sunggal	2010
3	SMA	SMK Putra Anda, Binjai	2013
4	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2013 Sampai Selesai.		

