

TUGAS AKHIR

PENINJAUAN NILAI-NILAI MARSHAL PADA CAMPURAN ASPAL LASTON AC-WC MEMAKAI *CRUMB RUBBER* PADA ASPAL DAN *FILLER* ABU CANGKANG SAWIT (*Studi Penelitian*)

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

Disusun Oleh:

MUHAMMAD SUKRON SITORUS
1407210191



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2018



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan 20238 Telp.(061) 6623301
Website: <http://www.umsu.ac.id> Email: rektor@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : MUHAMMAD SUKRON SITORUS

NPM : 1407210191

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Peninjauan Nilai-nilai Marshall Pada Campuran Aspal Laston AC-WC Memakai Crumb rubber Pada Aspal dan Filler Abu Cangkang Sawit

Bidang Ilmu : Transportasi.

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 8 Januari 2019

Pembimbing I

Muhammad Husin Gultom, ST, MT

Pembimbing II

Ir. Zurkiyah, MT

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Sukron Sitorus

NPM : 1407210191

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Peninjauan Nilai-Nilai Marshall Pada Campuran Aspal Laston AC-WC Memakai *Crumb Rubber* Pada Aspal Dan Filler Abu Cangkang Sawit (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, Maret 2019

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Muhammad Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji



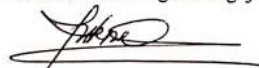
Ir. Zurkiyah, MT

Dosen Pembimbing I / Penguji



Dr. Ade Faisal, S.T., M.Sc

Dosen Pembimbing II/Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T., M.Sc


Program Studi Teknik Sipil
Ketua,

Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Sukron Sitorus

Tempat /Tanggal Lahir : P.Siantar / 25 juni 1996

NPM : 1407210191

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil

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

“Peninjauan Nilai-Nilai Marshall Pada Campuran Aspal Laston AC-WC Memakai *Crumb Rubber* Pada Aspal Dan *Filler* Abu Cangkang Sawit (*Studi Penelitian*)”

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

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

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

Medan, maret 2019

Saya yang menyatakan,

Muhammad Sukron Sitorus



ABSTRAK

PENINJAUAN NILAI-NILAI MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL LASTON AC-WC MEMAKAI CRUMB RUBBER PADA ASPAL DAN FILLER ABU CANGKANG SAWIT (STUDI PENELITIAN)

Muhammad Sukron Sitorus
1407210191
M. Husin Gultom, ST, MT
Ir.Zurkiyah, MT

Crumb rubber merupakan karet ban yang tidak terpakai lagi yang dikategorikan sebagai limbah. Karena jarang sekali dimanfaatkan limbah, *Crumb rubber* salah satu jenis polimer tipe termoplastik, jika dicampurkan dengan aspal memiliki keunggulan mampu pada suhu tinggi, lalu lintas berat serta lebih fleksibel. *crumb rubber* ini biasanya berbentuk partikel-partikel halus yang keberadaannya dapat dimanfaatkan. Benar, seiring dengan kemajuan teknologi maka saat ini keberadaan *crumb rubber* tidak hanya sebagai limbah yang tidak bermanfaat tetapi telah dipergunakan untuk campuran aspal, *Filler* adalah salah satu bahan yang digunakan dalam campuran lapisan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (lapisan aus), Dalam Penelitian ini pembuatan benda uji (*bricket*) dicampur secara panas (*hot mix*) pada suhu 150°C dan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3. Pada penelitian ini digunakan variasi *crumb rubber* dengan penambahan kadar 3%, 4%, 5%, 6%, 7% dan abu cangkang sawit sebagai filler 2%. Dari data *Marshall Test* yang didapatkan didapat bahwa hasil pengujian tersebut memenuhi standart spesifikasi Bina Marga 2010. Dan yang memiliki nilai tertinggi dalam keadaan optimum terdapat pada campuran yang menggunakan *crumb rubber* 3% Dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 904 kg, *Bulk Density* 2,279 (gr/cc), flow 3,233 mm, VIM 4.504%, VMA sebesar 17.450%, VFB 73.711% .

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

ABSTRACT

REVIEW OF MARSHALL VALUES IN ASPHALT LASTON AC-WC MIXTURES USING CRUMB RUBBER ON PALM SHELL ASH ASPHALT AND FILLER (RESEARCH STUDY)

Muhammad Sukron Sitorus
1407210191
M. Husin Gultom, ST, MT
Ir.Zurkiyah, MT

Crumb rubber is an unused tire rubber that is categorized as waste. Because waste is rarely used, crumb rubber is one type of thermoplastic type polymer, when mixed with bitumen it has the advantage of being able to at high temperatures, heavy traffic and flexible discharge, This crumb rubber is usually in the form of fine particles whose existence can be utilized. True, along with technological advancements, the current presence of crumb rubber is not only a waste that is not useful but has been used for asphalt mixture, Fillers are one of the materials used in the mixture of the Asphalt Concrete-Wearing Course (wear layer), In this research the making of bricket was mixed hot at a temperature of 150°C and referred to the Highways Specifications 2010 revision 3. This study used variations of crumb rubber with the addition of levels of 3%, 4%, 5%, 6%, 7% and palm shell ash as a 2% filler. From the Marshall Test data, it was found that the test results met the Bina Marga specification standards in 2010. And those with the highest values in optimum conditions were found in the mixture using 3% crumb rubber. Where a stability value of 904 kg was obtained, Bulk Density 2,279 (gr / cc), flow 3,233 mm, VIM 4.504%, VMA of 17.450%, VFB 73.711%.

Keywords: crumb rubber, palm shell ash, AC-WC coating, Bina Marga specifications 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 “Peninjauan Nilai-Nilai Marshall Pada Campuran Aspal Laston AC-WC Memakai *Crumb Rubber* Pada Aspal Dan *Filler* Abu Cangkang Sawit (*Studi Penelitian*) Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3” 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. Ibu Ir.Zurkiyah, MT, selaku Dosen Pimbimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr.Ade Faisal, S.T.,M.Sc, selaku Dosen Pembanding I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr.Fahrizal Zulkarnain selaku Dosen Pembanding II dan Penguji serta ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Hj. Irma Dewi, ST, MSi, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury Siregar,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: Awalsyah Sitorus dan Ramaiah Damanik terimakasih untuk semua doa dan kasih sayang tulus yang tak ternilai harganya, serta telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis saya.
9. Teristimewa keluarga saya Adik saya Rafika Syahraini Sitorus terimakasih untuk semua do'a dan dukungannya.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Sahabat-sahabat penulis: Denny Azhari, Marwan Syahputra, Abdur Razak Purba, Rengga Yonni, dan seluruh angkatan 2014 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, Maret 2019

Muhammad Sukron Sitorus

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Rang Lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Umum	5
2.2. Agregat	7
2.2.1. Sifat Agregat	8
2.2.2. Klasifikasi Agregat	9
2.2.3. Jenis Agregat	9
2.2.4. Bahan pengisi (<i>filler</i>)	10
2.2.5. Gradasi	11
2.2.6. Gradasi Agregat Gabungan	13
2.2.7. Pengujian Agregat	13
2.3. Aspal (<i>Asphalt</i>)	19
2.3.1. Jenis Aspal	20

2.3.2. Sifat Aspal	21
2.3.3. Klasifikasi Aspal	22
2.3.4. Pemeriksaan Properties Aspal	24
2.4. Metode Pengujian Campuran	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Bagan Alir Metode Penelitian	31
3.2. Metode Penelitian	32
3.3. Material Untuk Penelitian	32
3.4. Pengumpulan Data	32
3.5. Prosedur Penelitian	32
3.6. Pemeriksaan Bahan Campuran	33
3.6.1. Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar Dan Halus	33
3.6.2. Alat Yang Digunakan	33
3.7. Prosedur Kerja	34
3.7.1. Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	34
3.7.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji	36
3.7.3. Metode Pengujian Sampel	37
3.7.4. Penentuan Berat Jenis <i>Bulk Gravity</i>	38
3.7.5. Pengujian Stabilitas Dan Kelelehan (<i>Flow</i>)	39
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Penelitian	39
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat	39
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat	47
4.1.3. Hasil Pengujian Aspal	50
4.1.4. Perhitungam Parameret Pengujian Benda Uji	51
4.1.5. Perbandingan Sifat <i>Marshall</i>	64
4.2. Pembahasan dan Analisa	69
4.2.1. Perhitungan Kadar Aspal Optimum	70
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	71
5.2. Saran	71

DAFTAR PUSTAKA

72

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (<i>AC</i>)	6
Tabel 2.2	<i>Lanjutan</i>	7
Tabel 2.3	Gradasi Bahan Pengisi	11
Tabel 2.4	Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal	13
Tabel 2.5	Ukuran saringan menurut ASTM	14
Tabel 2.6	<i>Lanjutan</i>	15
Tabel 2.7	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Viskositas	23
Tabel 2.8	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Hasil RTFOT	24
Tabel 2.9	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi Aspal	24
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) $\frac{3}{4}$ Inch	39
Tabel 4.2	<i>Lanjutan</i>	40
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ma) $\frac{1}{2}$ Inch	40
Tabel 4.4	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Pasir (Sand)	41
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu (Cr)	41
Tabel 4.6	<i>Lanjutan</i>	42
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Abu Cangkang Sawit (<i>Filler</i>)	42
Tabel 4.8	Hasil Pemeriksaan Kombinasi Gradasi Agregat Normal	43
Tabel 4.9	Hasil Pemeriksaan Kombinasi Gradasi Agregat Dengan Campuran Abu Cangkang Sawit 2% Pada <i>Filler</i>	44
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Normal	45
Tabel 4.11	<i>Lanjutan</i>	46

Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Penggunaan <i>Filler 2%</i> Setelah KAO	46
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Penggunaan KAO + CR 3%,4%,5%,6%,7%	46
Tabel 4.14	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Penggunaan KAO + CR 3%,4%,5%,6%,7% + Filler 2%	46
Tabel 4.15	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar CA $\frac{3}{4}$ Inch	47
Tabel 4.16	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar MA $\frac{1}{2}$ inch	48
Tabel 4.17	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu (<i>cr</i>)	48
Tabel 4.18	<i>Lanjutan</i>	49
Tabel 4.19	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>).	49
Tabel 4.20	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Abu Cangkang Sawit (<i>Filler</i>)	50
Tabel 4.21	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70	50
Tabel 4.22	Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran Normal	53
Tabel 4.23	Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran penggunaan <i>filler 2%</i>	53
Tabel 4.24	Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran CR 3%,4%,5%,6%,7%.	54
Tabel 4.25	Hasil uji <i>Marshall</i> campuran CR 3%,4%,5%,6%,7% + filler 2%	54
Tabel 4.26	Kadar Aspal Optimum Untuk Campuran Aspal Pertamina Normal	70

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis Gradasi Agregat	12
Gambar 2.2	Berat Jenis Agregat	16
Gambar 2.3	Hubungan Volume Dan Rongga-Density Benda Uji Campuran Aspal Panas Padat	27
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	31
Gambar 4.1	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Normal	43
Gambar 4.2	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Campuran Abu Cangkang Sawit 2% Pada <i>Filler</i>	44
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Bulk Density (Gr/Cc)</i> Campuran Normal	55
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Bulk Density (Gr/Cc)</i> Campuran <i>Filler</i> 2%.	55
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Bulk Density (Gr/Cc)</i> Campuran <i>Crumb Rubber</i> .	56
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Bulk Density (Gr/Cc)</i> Campuran <i>Crumb Rubber + filler</i> .	56
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Stability</i> Campuran Normal	57
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Stability (Kg)</i> Campuran <i>Filler</i> 2%	57
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Stability (Kg)</i> Campuran <i>Crumb Rubber</i>	58
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Stability (Kg)</i> Campuran <i>Crumb Rubber + filler</i>	58
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Air Voids (VIM) (%)</i> Campuran Normal	59
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Air Voids (VIM) (%)</i> Campuran <i>Filler</i> 2%	59
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Air Voids (VIM) (%)</i> Campuran <i>Crumb Rubber</i>	60

Gambar 4.14	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) Campuran <i>Crumb Rubber + Filler</i>	60
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran Normal	61
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran <i>Filler 2%</i>	61
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran <i>Filler 2%</i>	63
Gambar 4.18	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran <i>Crumb rubber + filler 2 %</i>	63
Gambar 4.19	Grafik Nilai perbandingan <i>bulk density</i> campuran aspal normal dengan campuran <i>crumb rubber</i> dan <i>filler</i>	64
Gambar 4.20	Grafik Nilai perbandingan <i>stability</i> campuran aspal normal dengan campuran aspal + <i>crumb rubber</i> dan campuran aspal + <i>filler</i>	65
Gambar 4.21	Grafik Nilai perbandingan <i>flow</i> campuran aspal normal dengan campuran aspal + <i>crumb rubber</i> dan campuran aspal + <i>filler</i>	66
Gambar 4.22	Grafik Nilai perbandingan <i>VIM</i> campuran aspal normal dengan campuran aspal + <i>crumb rubber</i> dan campuran aspal + <i>filler</i>	67
Gambar 4.23	Grafik Nilai perbandingan <i>Voids Filled</i> campuran aspal normal dengan campuran aspal + <i>crumb rubber</i> dan campuran aspal + <i>filler 65</i>	68
Gambar 4.24	Grafik Nilai perbandingan <i>VMA</i> campuran aspal normal dengan campuran aspal + <i>crumb rubber</i> dan campuran aspal + <i>filler</i>	69

DAFTAR NOTASI

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

V_s = Volume bagian padat agregat
 W_s = Berat agregat kering (gr)
 γ_w = Berat isi air .

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

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

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Prasarana jalan memiliki peranan yang sangat penting dalam pembangunansuatu daerah. Hal ini menuntut peningkatan sarana transportasi, baik dari segi kualitas maupun kuantitas sesuai dengan tuntutan perkembangan lalulintas. Dari segi kualitasnya ternyata dituntut adanya kualitas jalan dengan konstruksi perkerasan yang memadai, yaitu yang memenuhi persyaratan aman, nyaman, dan ekonomis sehingga jalan dapat memberikan pelayanan yang optimal kepada lalu lintas sesuai dengan fungsinya.

Kondisi jalan baik ditunjang dari perencanaan perkerasan yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Perkerasan jalan di Indonesia harus dapat tahan terhadap cuaca dengan suhu tinggi dan curah hujan yang tinggi. Perkerasan jalan di Indonesia pada saat ini umumnya menggunakan jenis perkerasan kaku dan perkerasan fleksibel. Perkerasan fleksibel berupa perkerasan dengan campuran aspal. Perkerasan fleksibel pada umumnya memberikan layanan yang nyaman, lebih cepat dibuka untuk lalulintas dan tidak menimbulkan suara gesekan antara roda dan perkerasan.

Dalam beberapa kasus yang terjadi, banyak konstruksi jalan yang mengalami masa kerusakan dalam masa pelayanan tertentu, padahal tujuan akhir adalah tersedianya jalan dengan standar baik sesuai dengan fungsinya. Untuk mencapai tujuan ini, salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan umur pelayanan adalah dengan meningkatkan fungsi aspal sebagai bahan pengikat dengan menggunakan bahan tambah / *additive*. Dalam hal ini penyusun mencoba untuk menggunakan *crumb rubber* yang berasal dari limbah karet ban yang tidak terpakai lagi.

Berdasarkan hasil penelitian Sugiyanto (2008) penggantian agregat dengan serbuk ban bekas mampu menambah ketahanan campuran aspal terhadap air, sehingga dapat mengurangi kerusakan jalan. Penggunaan *crumb rubber* pada campuran lapis tipis aspal beton untuk mendaur ulang atau memberikan manfaat

kembali limbah karet pada karet kendaraan di lingkungan. Limbah karet kendaraan tidak dapat dipakai kembali dan tidak larut di dalam tanah maupun air tanah, sehingga sangat membahayakan bagi lingkungan. Penggunaan *crumb rubber* pada umumnya hanya sebagai aspal binder.

Aspal yang ditambah dengan karet remah telah lama dikenal untuk memperbaiki sifat reologi pada suhu rendah dan tinggi dan membuat daya tahan lebih lama 3 kali lipat dibandingkan dengan aspal konvensional. Meskipun harga aspal yang ditambah dengan karet remah tersebut jauh lebih tinggi dari pada aspal konvensional, keuntungan yang diperoleh dengan penambahan umur aspal setersebut menjadikan total harga yang lebih murah.

Dari hal tersebut maka penulis akan mengkombinasikan aspal dengan penambahan *Crumb Rubber* dan menggunakan abu cangkang sawit sebagai *filler*, dalam hal ini diharapkan dapat memberikan dampak yang baik dan agar dapat diperoleh aspal yang memiliki kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air yang lebih baik dari aspal biasa di pakai di jalan – jalan Indonesia yang beriklim Tropis.

1.2. RUMUSAN MASALAH

Dalam tugas akhir ini, maka permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut :

1. Bagaimanakah karakteristik Sifat Marshall dengan perbandingan campuran beton aspal yang menggunakan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7% dan *filler* abu cangkang sawit 2%.
2. Campuran aspal manakah yang memiliki karakteristik sifat Marshall dan memenuhi syarat spesifikasi bina marga (revisi 3) diantara kedua jenis campuran aspal tersebut.

1.3. RUANG LINGKUP

Didalam pembuatan penelitian ini. Penulis harus memberikan batasan-batasan masalah di dalam penelitian supaya bisa menghindari hal-hal yang tidak perlu dibahas dalam tugas akhir ini . Untuk menghindari pembahasan yang terlalu luas dan untuk memberikan arah yang lebih baik serta memudahkan dalam

penyelesaian masalah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai , maka pembahasan hanya dititik berat kan pada:

1. Tinjauan terhadap karakteristik campuran terbatas pada pengamatan terhadap hasil pengujian *Marshall* dan penelitian ini tidak melakukan pengujian aspal di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara karena hasil pengujian aspal telah diperoleh dari data sekunder.
2. Sifat Campuran Aspal dan Pengujian *Marshall* berdasarkan spesifikasi umum bina marga 2010 revisi III.

1.4. TUJUAN PENELITIAN

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Untuk mengetahui apakah material pembentuk campuran laston AC-WC memakai *Crumb rubber* dan *filler* abu cangkang sawit memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Dinas Bina Marga (2010) revisi 3.
2. Untuk mengetahui pengaruh campuran *Crumb Rubber* serta abu cangkang sawit sebagai *filler* pada aspal penetrasi 60/70 terhadap kekuatan tekan, dengan kadar *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% dan abu cangkang sawit (*filler*) 2%.

1.5. MANFAAT PENELITIAN

Manfaat penelitian ini dapat ditinjau dari:

1. Aspek keilmuan atau akademis
Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang luas serta mengembangkan pola pikir tentang aspal *Crumb Rubber* yang kemudian mampu memberikan gagasan dalam inovasi aspal yang lebih baik.
2. Aspek praktek
Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan pada jalan yang ada di Indonesia yang memiliki lalu lintas yang padat.
3. Untuk memanfaatkan potensi alam *Crumb Rubber* yang berasal dari limbah karet ban.

1.6. SISTEMATIS PENULISAN

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

1. BAB 1 PENDAHULUAN

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

2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

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

3. BAB 3 METODE PENELITIAN

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

4. BAB 4 ANALISIS DATA

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

5. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

Perkerasan lentur merupakan perkerasan jalan yang umum dipakai di Indonesia. Konstruksi perkerasan lentur disebut “lentur” karena konstruksi ini mengizinkan terjadinya deformasi vertikal akibat beban lalu lintas yang terjadi. Perkerasan lentur biasanya terdiri dari 3 lapis material konstruksi jalan diatas tanah dasar, yaitu lapis pondasi bawah, lapis pondasi atas, dan lapis permukaan (Sukirman, 2003).

Lapis permukaan merupakan lapisan yang letaknya berada paling atas dari sebuah perkerasan lentur dan merupakan lapisan yang berhubungan langsung dengan kendaraan sehingga lapisan ini rentan terhadap kerusakan akibat aus. Oleh karena itu perencanaan dan pembuatan lapisan ini harus dibuat dengan tepat agar mampu memberikan pelayanan yang baik kepada sarana transportasi yang melewati jalan tersebut (Sukirman, 2003).

Lapis aspal beton adalah salah satu jenis campuran beraspal yang digunakan sebagai lapis permukaan pada perkerasan lentur. Lapisan penutup konstruksi jalan ini mempunyai nilai struktural yang pertama kali dikembangkan di Amerika oleh *Asphalt Institute* dengan nama *AC (Asphalt Concrete)*, Campuran beraspal ini terdiri dari dari agregat menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Sedangkan yang dimaksud gradasi menerus adalah komposisi yang menunjukkan pembagian butiran yang merata mulai dari ukuran yang terbesar sampai ukuran yang terkecil. Ciri lainnya adalah memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu aspal beton memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku (Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan umum 2010 rev 3).

Campuran beraspal adalah suatu kombinasi campuran antara agregat dan aspal.

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

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

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

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

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

sifat sifat campuran		Lataston			
		Lapis aus	Lapis antara	Pondasi	
Jumlah tumbukan per bidang		75		112	
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 dengan kadar aspal efektif	Min.	1			
	Maks.	1,4			
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0			
	Maks.	5,0			
Rongga dalam agregat (VMA) (%)		Min.	15	14	13

Tabel 2.2: *Lanjutan*

sifat sifat campuran		Laston		
		Lapis aus	Lapis antara	Pondasi
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
stabilias Marshall (Kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
stabilias Marshall sisa (%) setelah peredaman selama 24 jam, 60° C	Min.	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min.	2500		

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

2.2 Agregat

Agregat atau batu, atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat/batuan di definisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan penyal (*solid*). ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat/batuan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan di tentukan daya dukung, keawetan dan mutu perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya dalam hal ini pada perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan sebagian besar oleh karakteristik agregat yang di gunakan. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan.

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis dan daya pelekatan dengan aspal (Sukirman, 1999).

2.2.1. Sifat Agregat

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

1. Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh:
 - a. Gradasi
 - b. Ukuran maksimum
 - c. Kadar lempung
 - d. Kekerasan dan ketahanan
 - e. Bentuk butir
 - f. Tekstur permukaan

2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, dipengaruhi oleh:
 - a. Porositas
 - b. Kemungkinan basah
 - c. Jenis agregat

3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh:
 - a. Tahanan geser (*skid resistance*)
 - b. Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminous mix workability*)

2.2.2. Klasifikasi Agregat

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

1. Batuan beku

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

2. Batuan sedimen

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

3. Batuan metamorf

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

2.2.3. Jenis Agregat

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

1. Agregat alam (*natural aggregates*)

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

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

2. Agregat yang diproses

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

3. Agregat buatan

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

2.2.4. Bahan Pengisi (*filler*)

Yang dimaksud bahan pengisi adalah bahan yang lolos ukuran saringan no.30 (0,59 mm) dan paling sedikit 65% lolos saringan no.200 (0.075 mm). Pada waktu digunakan bahan pengisi harus cukup kering untuk dapat mengalir bebas dan tidak boleh menggumpal. Macam bahan pengisi yang dapat digunakan ialah: abu batu, kapur padam, *portland cement (PC)*, debu dolomite, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Banyaknya bahan pengisi dalam campuran aspal beton sangat dibatasi. Kebanyakan bahan pengisi, maka campuran akan sangat kaku dan mudah retak disamping memerlukan aspal yang banyak untuk memenuhi *workability*. Sebaliknya kekurangan bahan pengisi campuran menjadi sangat lentur dan mudah terdeformasi oleh roda kendaraan sehingga menghasilkan jalan yang bergelombang, berikut gradasi bahan pengisi pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Gradasi Bahan Pengisi (SNI 03-6723-2002)

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

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

2.2.5. Gradasi

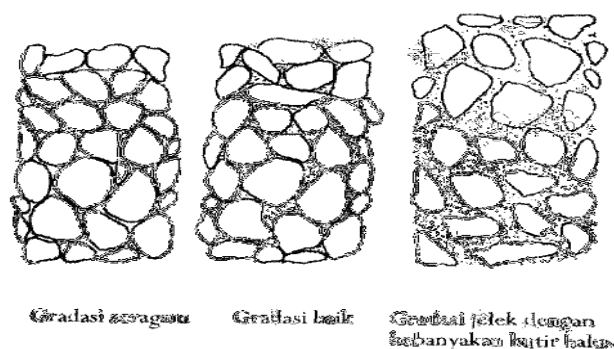
Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan *workabilitas* (sifat mudah dikerjakan) dan *stabilitas* campuran. Untuk menentukan apakah gradasi agregat memenuhi spesifikasi atau tidak, diperlukan suatu pemahaman bagaimana ukuran partikel dan gradasi agregat diukur.

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

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

Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

1. Gradasi seragam (*uniform graded*) / gradasi terbuka (*open graded*)
Adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki *permeabilitas* yang tinggi, *stabilitas* rendah dan memiliki berat isi yang kecil.
2. Gradasi rapat (*dense graded*)
Adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi baik (*well graded*). Suatu campuran dikatakan bergradasi sangat rapat bila persentase lolos dari masing-masing saringan memenuhi. Campuran dengan gradasi ini memiliki *stabilitas* yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.
3. Gradasi senjang (*gap graded*)
Adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali, oleh sebab itu gradasi ini disebut juga gradasi senjang (*gap grade*). Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebutkan di atas.



Gambar 2.1 : Jenis gradasi agregat (Sukirman, 1999).

2.2.6. Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.3. Rancangan dan Perbandingan Campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.4: 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

2.2.7. Pengujian Agregat

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

Jenis agregat yang ada bervariasi, misalnya pasir vulkanis yang mempunyai tahanan geser tinggi dan akan membuat campuran beraspal sangat kuat. Pasir yang sangat mengkilat, misalnya kuarsa umumnya sukar dipadatkan. Pasir laut

yang halus mudah dipadatkan tetapi menyebabkan campuran beraspal relatif rendah kekuatannya.

1. Pengujian Analisis Ukuran Butir (Gradasi)

Suatu material yang mempunyai grafik gradasi di dalam batas-batas gradasi tetapi membelok dari satu sisi batas gradasi ke batas yang lainnya, dinyatakan sebagai gradasi yang tidak baik karena menunjukkan terlalu banyak untuk ukuran tertentu dan terlalu sedikit untuk ukuran lainnya. Gradasi ditentukan dengan melakukan penyaringan terhadap contoh bahan melalui sejumlah saringan yang tersusun sedemikian rupa dari ukuran besar hingga kecil, bahan yang tertinggal dalam tiap saringan kemudian ditimbang. Spesifikasi gradasi campuran beraspal panas sering dinyatakan dengan ukuran nominal maksimum dan ukuran maksimum agregat. Ukuran nominal maksimum agregat merupakan ukuran agregat dimana paling banyak 10% dari agregat tertahan pada saringan kedua urutan nomor susunan saringan. Ukuran maksimum agregat merupakan ukuran agregat dimana 100% agregat lolos pada saringan pertama urutan nomor susunan saringan.

Analisis saringan ada 2 macam yaitu analisis saringan kering dan analisis saringan dicuci (analisis saringan basah). Analisis saringan kering biasanya digunakan untuk pekerjaan rutin untuk agregat normal. Namun bila agregat tersebut mengandung abu yang sangat halus atau mengandung lempung, maka diperlukan analisis saringan dicuci. Untuk agregat halus umumnya digunakan analisis saringan dicuci (basah). Berikut adalah ukuran saringan menurut ASTM pada Tabel 2.5.

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

No. Saringan	Lubang Saringan	
	Inch	Mm
1 ½	1,50	38,1
1	1,00	25,4
¾	0,75	19,0

Tabel 2.6: *Lanjutan*

No. Saringan	Lubang Saringan	
	Inch	Mm
½	0,50	12,7
3/8	0,375	9,51
No. 4	0.187	4,76
No. 8	0,0937	2,38
No. 16	0,0469	1,19
No. 30	0,0234	0,595
No. 50	0,0117	0,297
No. 100	0,0059	0,149
No. 200	0,0029	0,074

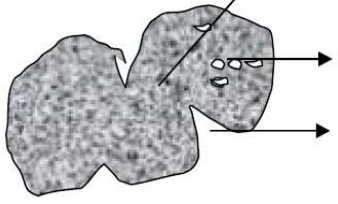
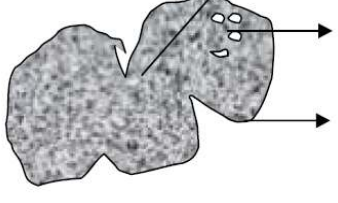
Ukuran saringan yang digunakan ditentukan dalam spesifikasi. Analisis saringan ada 2 macam yaitu analisis saringan kering dan analisis saringan dicuci (analisis saringan basah). Analisis saringan kering biasanya digunakan untuk pekerjaan rutin untuk agregat normal. Namun bila agregat tersebut mengandung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

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

Berat jenis suatu agregat adalah perbandingan berat dari suatu volume bahan terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur 20°-25°C (68°-77° F) (Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

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

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

Gambar 2.2: Berat Jenis Agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

Berat Jenis dapat dinyatakan dengan Pers. 2.1 – Pers. 2.4.

Berat Jenis Semu:

$$Gsa = \frac{Ws}{Vs \cdot \gamma_w} \quad (2.1)$$

Berat Jenis Curah:

$$Gsb = \frac{Ws}{(Vs + V_{pp}) \cdot \gamma_w} \quad (2.2)$$

Berat Jenis Efektif:

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

Dengan pengertian:

W_s = Berat agregat kering

γ_w = Berat Isi air = 1 g/cm^3

V_s = Volume bagian padat agregat

V_{pp} = Volume pori meresap aspal

V_{pp-Vap} = Volume pori meresap air yang tidak meresap aspal

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

1. Berat Jenis dan penyerapan agregat kasar

Alat dan prosedur pengujian sesuai dengan SNI 03-1969-1990. Berat Jenis Penyerapan agregat kasar dihitung dengan Pers. 2.5 – Pers. 2.8.

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

$$\frac{B_k}{B_j - B_a} \quad (2.4)$$

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

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

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

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

d. Penyerapan (*absorsi*) =

$$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dengan pengertian:

B_k = Berat benda uji kering oven, dalam gram.

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

B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air, dalam gram.

2. Berat Jenis dan penyerapan agregat halus

Alat dan prosedur pengujian sesuai dengan SNI-13-1970-1990. Berat Jenis dan Penyerapan agregat halus dihitung dengan Pers. 2.9 – Pers. 2.12.

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

$$\frac{B_k}{B + A - B_t} \quad (2.8)$$

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

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

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

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

d. Penyerapan (*absorsi*) =

$$\frac{(A - B_k)}{B_k} \times 100\% \quad (2.11)$$

Dengan pengertian:

B_k = Berat benda uji kering oven, dalam gram.

B = Berat piknometer berisi air, dalam gram.

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

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

1. Penyerapan

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

2. Pemeriksaan daya lekat agregat terhadap aspal

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

2.3. Aspal (*Asphalt*)

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

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

akan menghasilkan aspal dengan sifat yang khusus yang cocok untuk pemakaian yang khusus pula, seperti untuk pembuatan campuran beraspal, pelindung atap dan penggunaan khusus lainnya (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.3.1. Jenis Aspal

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan atas:

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

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

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

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

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

3. Aspal padat

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

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

4. Aspal cair (*cutback asphalt*)

Aspal cair dihasilkan dengan melarutkan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak. Aspal ini dapat juga dihasilkan secara langsung dari proses destilasi, dimana dalam proses ini fraksi minyak ringan yang terkandung dalam minyak mentah tidak seluruhnya dikeluarkan. Aspal cair juga biasanya adalah aspal keras yang dicampur dengan pelarut. Jenis aspal cair tergantung dari jenis pengencer yang digunakan untuk mencampur aspal keras tersebut.

5. Ter

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

2.3.2. Sifat Aspal

Adapun sifat-sifat aspal adalah sebagai berikut:

1. Daya tahan (*durability*)

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

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

2. Adhesi dan kohesi

Adalah kemampuan aspal adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah

kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat agar tetap di tempatnya setelah jadi pengikat.

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

3. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur.

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

4. Pengerasan dan penuaan

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

2.3.3. Klasifikasi Aspal

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

Dalam sistem viskositas, satuan poise adalah satuan standar pengukuran viskositas absolut. Makin tinggi nilai poise suatu aspal makin kental aspal tersebut. Beberapa negara mengelompokkan aspal berdasarkan viskositas setelah penuaan. Untuk mensimulasikan penuaan aspal selama percampuran, aspal segar yang akan digunakan dituakan terlebih dahulu dalam oven melalui pengujian *Thin Film Oven Test* (TFOT) dan *Rolling Thin Film Oven Test* (RTFOT). Sisa aspal yang tertinggal (residu) kemudian ditentukan tingkatannya (grade) berdasarkan viskositasnya dalam satuan Poiseqa. Klasifikasi aspal keras dapat dilihat pada Tabel 2.7 – Tabel 2.8.

Tabel 2.7: Klasifikasi aspal keras berdasarkan viskositas (departemen Peremukimaa n dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

Klasifikasi aspal keras berdasarkan hasil RTFOT dapat dilihat Tabel 2.8. Dan Klasifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi aspal dapat dilihat pada Tabel 2.9.

Tabel 2.8: Klasifikasi aspal keras berdasarkan viskositas (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

Tabel 2.9: Klasifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi aspal (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

2.3.4. Pemeriksaan Properties Aspal

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

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

a. Uji penetrasi

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

b. Titik lembek

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

c. Daktilitas

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

d. Berat jenis

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

Berat jenis diperlukan untuk perhitungan dengan menggunakan Pers. 2.13.

$$\text{Berat jenis} = \frac{(C-A)}{[(B-A)-(D-C)]} \quad (2.12)$$

Dimana:

A = Berat piknometer (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi aspal (gram)

D = Berat piknometer berisi air dan aspal (gram)

E = Titik Nyala dan Titik Bakar

e. Titik Nyala

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

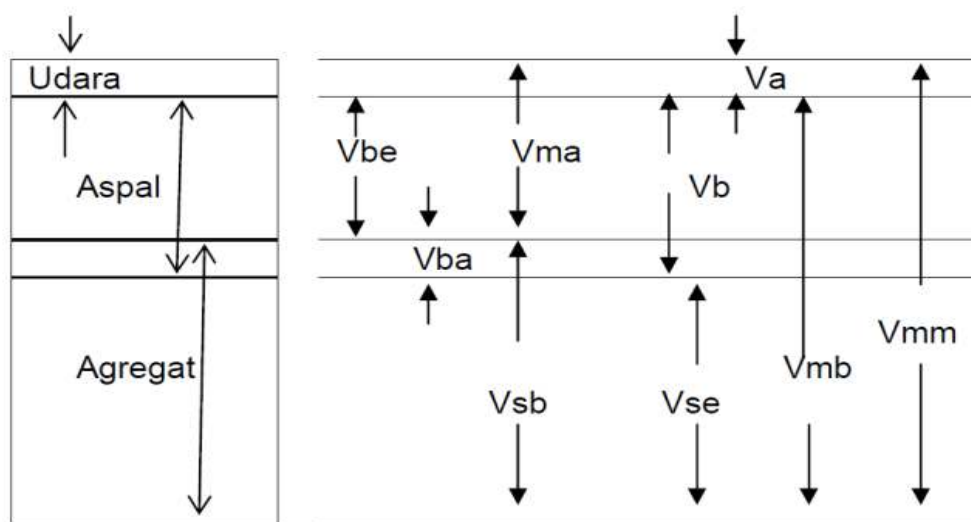
indikasi adanya minyak ringan dalam aspal. Semakin tinggi titik nyala dan bakar menunjukkan bahwa aspal semakin tahan terhadap temperatur tinggi.

f. Kelekatan Aspal pada Agregat

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

2.4. Metode Pengujian Rencana Campuran

Pengujian campuran tidak hanya dilakukan pada aspal atau agregatnya saja tetapi juga harus dilakukan terhadap campuran aspal dan agregat untuk memperoleh perbandingan dan karakteristik yang dikehendaki bagi campuran tersebut. Dalam bagian ini akan dibahas perhitungan yang seringkali dipergunakan pada pekerjaan di laboratorium untuk mengetahui karakteristik aspal beton yang telah dipadatkan. Secara skematis campuran aspal beton yang telah dipadatkan dapat digambarkan sebagai Gambar 2.3 dan menggunakan persamaan seperti Pers. 2.13 – Pers. 2.16.



Gambar 2.3: Hubungan volume dan rongga-density benda uji campuran aspal panas padat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Keterangan gambar:

V_{ma} = Volume rongga dalam agregat mineral

V_{mb} = Volume contoh padat

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

V_a = Volume rongga udara

V_b = Volume aspal

V_{ba} = Volume aspal terabsorpsi

V_{be} = Volume aspal efektif

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

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

W_b = Berat aspal

W_s = Berat agregat

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

G_{mb} = Berat jenis Curah contoh campuran padat

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

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

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

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

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

1. *Marshall Density*

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

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

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

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

Keterangan:

VIM = Rongga udara dalam campuran

G = Berat jenis maksimum dari campuran

H = Berat jenis yang telah dipadatkan

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

3. Rongga udara antara agregat (VMA)

VMA menggambarkan ruangan yang tersedia untuk menampung volume efektif aspal (seluruh aspal kecuali yang diserap oleh agregat) dan volume rongga udara yang dibutuhkan untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air atau beban lalu lintas. Dengan semakin bertambahnya nilai VMA dari campuran maka semakin besar pula ruangan yang tersedia untuk lapisan aspal. Semakin tebal lapisan aspal pada agregat maka daya tahan perkerasan semakin meningkat. Nilai VMA ini dapat dihitung dengan menggunakan Pers. 2.17.

$$VMA = 100 - \frac{Gxb}{bj \text{ agregat}} \quad (2.17)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara antara agregat

G = Berat jenis maksimum dari campuran

B = Berat jenis campuran yang telah di padatkan

4. Rongga terisi aspal (VFB)

VFB adalah merupakan persen (%) volume rongga di dalam agregat yang terisi oleh aspal. Untuk mendapatkan suatu campuran yang awet dan mempunyai tingkat oksidasi yang rendah maka pori diantara agregat halus terisi aspal cukup untuk membentuk lapisan aspal yang tebal. Nilai VFB ini dapat dihitung dengan menggunakan Pers. 2.17

$$VFB = 1000 \times \frac{I-K}{I} \quad (2.17)$$

VFB = Rongga terisi aspal

I = Rongga udara dalam campuran

K = Rongga udara antar agregat

5. *Marshall stability*

Marshall stability merupakan beban maksimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan keruntuhan dari sampel campuran perkerasan ketika di uji. *Stabilitas* merupakan salah satu cara faktor penentu aspal optimum campuran aspal beton. Angka *stabilitas* di dapat dari hasil pembacaan arloji tekan dikalikan dengan hasil kalibrasi cincin penguji serta angka korelasi beban yang dapat dilihat dari tabel hasil uji.

6. *Marshall Flow*

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

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

7. *Absorpsi* (penyerapan)

Absorpsi merupakan penyerapan air oleh campuran. Besarnya nilai *absorbs* dapat dihitung dengan Pers. 2.18.

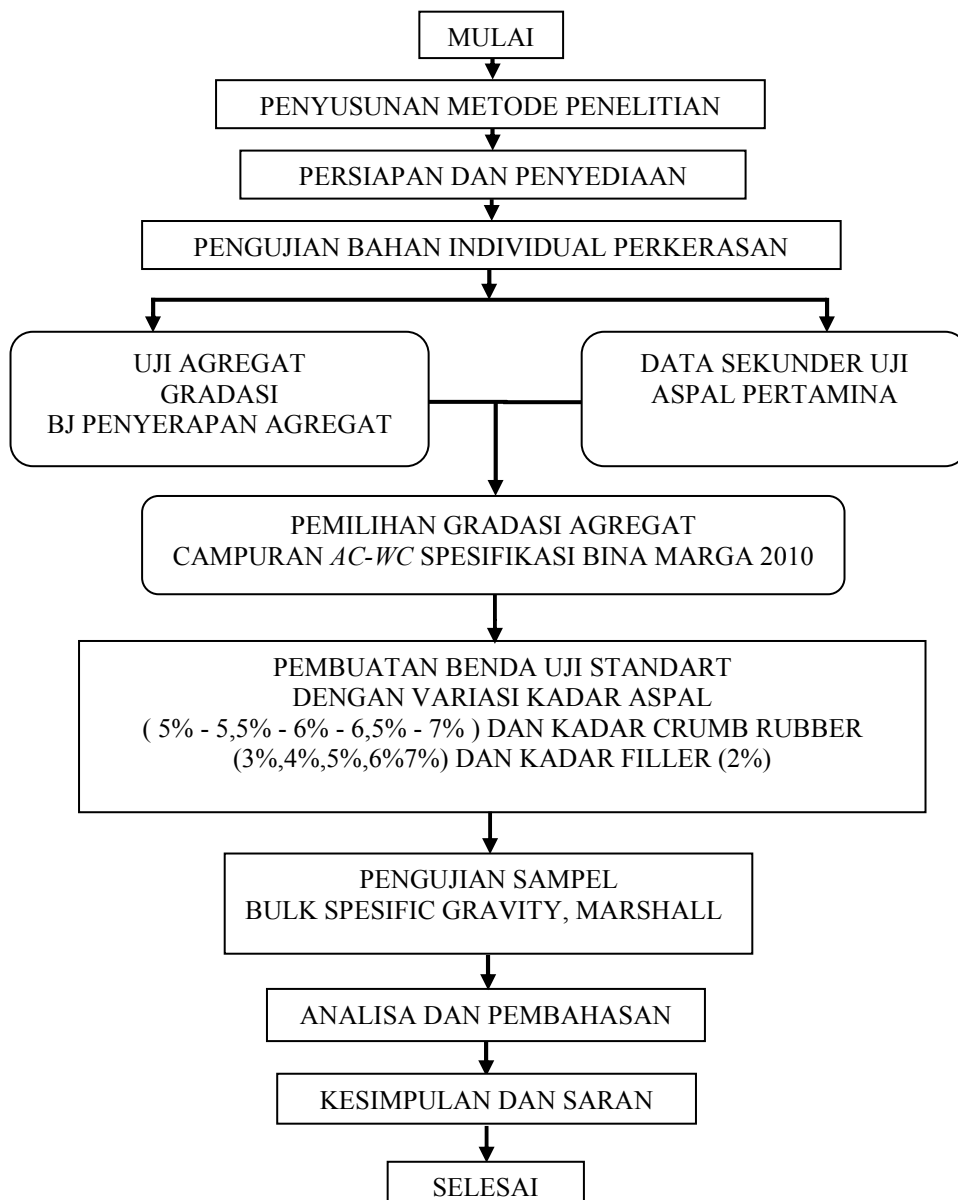
$$\text{Absorpsi} = \frac{\text{Berat campuran direndam} - \text{berat campuran}}{\text{berat campuran}} \quad (2.18)$$

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

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Metode Penelitian

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



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

3.2. Metode Penelitian

Pengerjaan awal penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Medan yaitu pengambilan data sekunder pengujian aspal dan memeriksa agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran.

3.3. Material Untuk Penelitian

Bahan-bahan dan material yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Agregat kasar, Agregat halus, Aspal Pertamina yang didapatkan dari *Asphalt Mixing Plant* PT. Bangun Cipta Kontraktor Medan dan Crumb Rubber dari PT. abu cangkang sawit sebagai *filler* dari PTPN IV.

3.4. Pengumpulan Data

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

3.5. Prosedur Penelitian

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

1. Pengadaan alat dan penyediaan bahan yang akan digunakan untuk melakukan penelitian.
2. Pemeriksaan terhadap bahan material yang akan digunakan untuk melakukan penelitian.
3. Merencanakan sampel campuran lapis aspal beton AC-WC.
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 aspal beton AC-WC yang berkualitas ditentukan dari penyusunan campuran agregat. Bahan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sifat dan karakteristiknya.

3.6.1. Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar dan Halus

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

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

3.6.2. Alat Yang Digunakan

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

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

3.7. Prosedur Kerja

3.7.1. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

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

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

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

1. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi = 35 %
3. Agregat halus (Cr) = 8 %
4. Agregat halus (Sand) = 12 %
5. Agregat halus (filler) = 2 %

C. Untuk filler 2% + Crumb Rubber 3 %,

1. gregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi = 35 %
3. Agregat halus (Cr) = 8 %
4. Agregat halus (Sand) = 12 %
5. Agregat halus (filler) = 2 %
6. Crumb rubber = 3%

D. Untuk filler 2% + Crumb Rubber 4 %,

1. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi = 35 %
3. Agregat halus (Cr) = 8 %
4. Agregat halus (Sand) = 12 %
5. Agregat halus (filler) = 2 %
6. Crumb rubber = 3%

E. Untuk filler 2% + Crumb Rubber 5 %,

1. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi = 35 %
3. Agregat halus (Cr) = 8 %
4. Agregat halus (Sand) = 12 %
5. Agregat halus (filler) = 2 %
6. Crumb rubber = 3%

F. Untuk filler 2% + Crumb Rubber 6 %,

1. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch = 13 %
2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi = 35 %
3. Agregat halus (Cr) = 8 %

- | | |
|----------------------------|--------|
| 4. Agregat halus (Sand) | = 12 % |
| 5. Agregat halus (filler) | = 2 % |
| 6. Crumb rubber | = 3% |
- G. Untuk filler 2% +Crumb Rubber 7 %,

1. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch	= 13 %
2. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi	= 35 %
3. Agregat halus (Cr)	= 8 %
4. Agregat halus (Sand)	= 12 %
5. Agregat halus (filler)	= 2 %
6. Crumb rubber	= 3%

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

3.7.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji

1. Merupakan tahap persiapan untuk mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan. Menentukan persentase masing-masing butiran untuk mempermudah pencampuran dan melakukan penimbangan secara kumulatif untuk mendapatkan proporsi campuran yang lebih tepat.
2. Pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang sudah ditentukan dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan.
3. Pencampuran benda uji
 - Untuk setiap benda uji diperlukan agregat dan aspal sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$ ($2,5 \pm 0,05 \text{ inc}$).
 - Panaskan agregat hingga suhu $150 \text{ }^\circ\text{C}$.

- Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan, kemudian aduk dengan cepat sampai agregat terselimuti aspal secara merata.

4. Pemasakan benda uji

- Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara 90 °C – 150 °C.
- Letakan cetakan di atas landasan pematat dan ditahan dengan pemegang cetakan.
- Letakkan kertas saring atau kertas penghisap dengan ukuran sesuai ukuran dasar cetakan.
- Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali sekeliling pinggirannya dan 10 kali bagian tengahnya.
- Letakkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan.
- Padatkan campuran dengan temperatur yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk sisi atas dan 75 kali untuk sisi bawah.
- Setelah kira-kira temperatur hangat keluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan *Extruder* dan letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan beri tanda pengenal serta biarkan selama 24 jam pada temperatur ruang.

3.7.3. Metode Pengujian Sampel

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

Pengujian sampel terbagi atas 2 bagian pengujian, yaitu:

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

Peralatan yang digunakan untuk pengujian sampel sebagai berikut:

1. Alat uji *Marshall*, alat uji listrik yang berkekuatan 220 volt, didesain untuk memberikan beban pada sampel untuk menguji semi *circular testing head*

dengan kecepatan konstan 51 mm (2 inch) permenit. Alat ini dilengkapi dengan sebuah *proving ring* (arloji tekan) untuk mengetahui stabilitas pada beban maksimum pengujian. Selain itu juga dilengkapi dengan *flow meter* (arloji kelelahan) untuk menentukan besarnya kelelahan pada beban maksimum pengujian.

2. *Water Bath*, alat ini dilengkapi pengaturan suhu minimum 20°C dan mempunyai kedalaman 150 mm (6 inch) serta dilengkapi rak bawah 50 mm.
3. Thermometer, ini adalah sebagai pengukur suhu air dalam *water bath* yang mempunyai menahan suhu sampai $\pm 200^{\circ}\text{C}$.

3.7.4. Penentuan berat jenis (*Bulk Specific Gravity*)

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

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

Adapun proses tahapan penimbangan sebagai berikut:

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

3.7.5. Pengujian *Stability* dan *Flow*

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

1. Rendamlah benda uji dalam penangas air selama 30 – 40 menit dengan temperatur tetap $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji.
2. Permukaan dalam *testing head* dibersihkan dengan baik. Suhu *head* harus dijaga dari 21°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 kedudukanya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan.
6. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
7. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
8. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50,8 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, untuk pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (*stabilitas*) yang dicapai. Untuk benda uji dengan tebal tidak sama dengan 63,5 mm, beban harus dikoreksi dengan factor pengali.
9. Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat

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

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
$\frac{3}{4}$	19.00	100%
$\frac{1}{2}$	12.50	32,44%
3/8	9.50	9,61%
4	4.75	0,03%
8	2.36	100%
16	1.18	100%

Tabel 4.2: *Lanjutan*

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
30	0.60	100%
50	0.30	100%
100	0.15	100%
200	0.075	100%

Tabel 4.3: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (Ma) ½ inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	100%
3/8	9.50	90,82%
4	4.75	39,72%
8	2.36	26,50%
16	1.18	18,80%
30	0.60	14,52%
50	0.30	8,42%
100	0.15	8,16%
200	0.075	6,76%

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	100%
3/8	9.50	100%
4	4.75	100%
8	2.36	96,95%
16	1.18	88,05%
30	0.60	76,65%
50	0.30	8,95%
100	0.15	8,00%
200	0.075	1,75%

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	100%
3/8	9.50	100%
4	4.75	100%
8	2.36	66,10%
16	1.18	40,90%
30	0.60	29,20%

Tabel 4.6: *Lanjutan.*

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
50	0.30	20,80%
100	0.15	13,50%
200	0.075	7,80%

Tabel 4.7: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu cangkang sawit (*filler*).

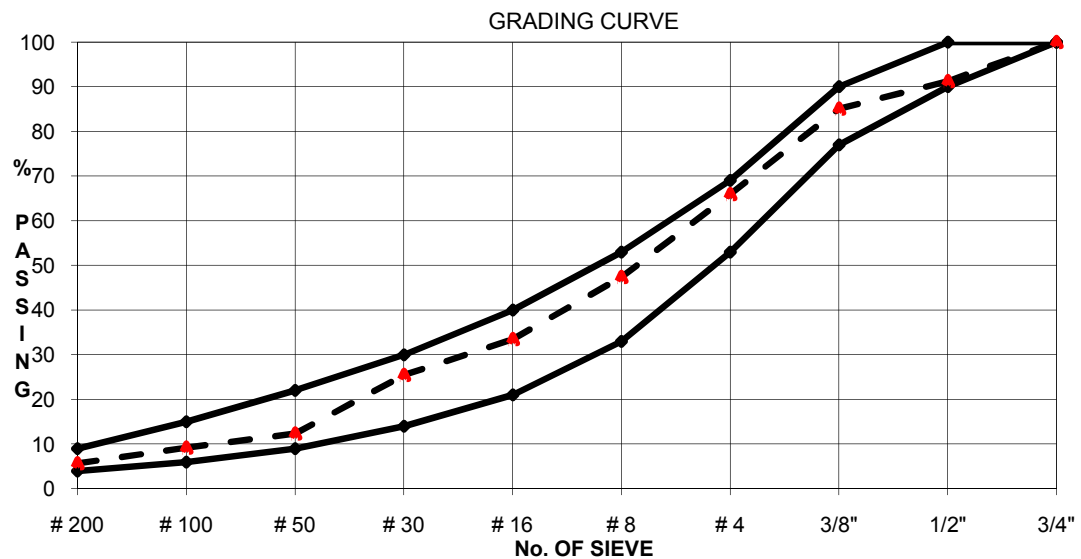
No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	100%
3/8	9.50	100%
4	4.75	100%
8	2.36	100%
16	1.18	100%
30	0.60	99,90%
50	0.30	99,55%
100	0.15	96,05%
200	0.075	83,65%

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

analisis saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti Table 4.9 – 4.10. Dan Gambar 4.1. – 4.3. yang menunjukkan grafik.

Tabel 4.8: Hasil pemeriksaan kombinasi gradasi agregat normal.

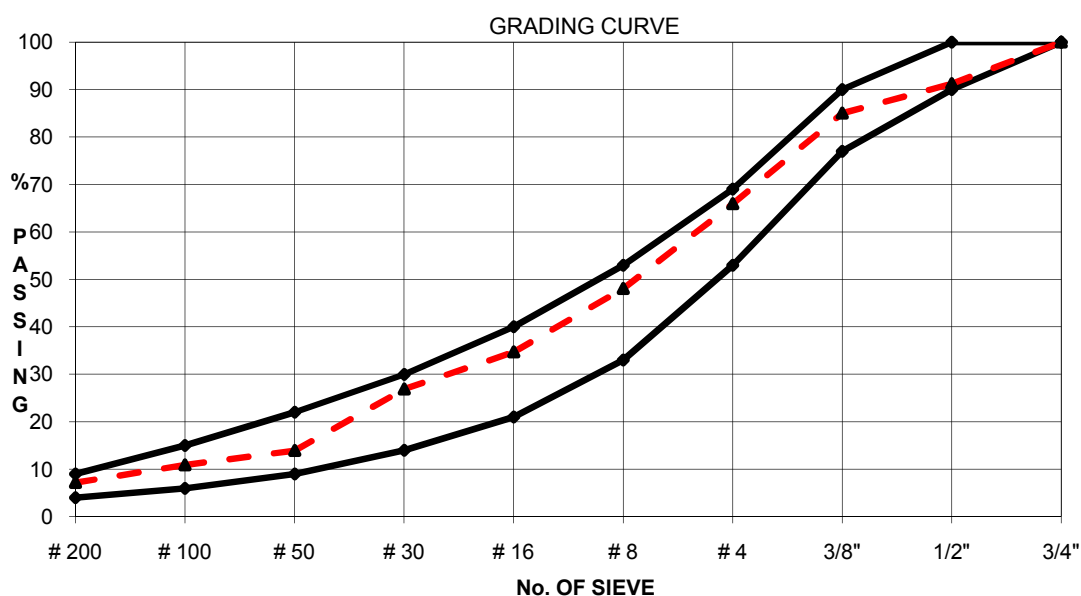
No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat				AVG
			CA $\frac{3}{4}$	MA $\frac{1}{2}$	Cr	Sand	
			13%	35%	40%	12%	
3/4"	100	100	13.00	35.00	40.00	12.00	100.00
1/2"	90	100	4.22	35.00	40.00	12.00	91.22
3/8"	77	90	1.25	31.79	40.00	12.00	85.04
No. 4	53	69	0.00	13.90	40.00	12.00	65.91
No. 8	33	53	0.00	9.28	26.44	11.63	47.35
No. 16	21	40	0.00	6.58	16.36	10.57	33.51
No. 30	14	30	0.00	5.08	11.68	8.72	25.48
No. 50	9	22	0.00	2.95	8.32	1.07	12.34
No. 100	6	15	0.00	2.86	5.40	0.96	9.22
No. 200	4	9	0.00	2.37	3.12	0.21	5.70



Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat normal mengacu kepada standart Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.

Tabel 4.9: Hasil pemeriksaan kombinasi gradasi agregat dengan campuran abu cangkang sawit 2% pada *filler*.

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			CA $\frac{3}{4}$	MA $\frac{1}{2}$	Cr	Sand	Abu C.Sawit	
			13%	35%	38%	12%	2%	
3/4"	100	100	13.00	35.00	38.00	12.00	2.00	100.00
1/2"	90	100	4.22	35.00	38.00	12.00	2.00	91.22
3/8"	77	90	1.25	31.79	38.00	12.00	2.00	85.04
No. 4	53	69	0.00	13.90	38.00	12.00	2.00	65.91
No. 8	33	53	0.00	9.28	25.12	11.63	2.00	48.03
No. 16	21	40	0.00	6.58	15.54	10.57	2.00	34.69
No. 30	14	30	0.00	5.08	11.10	8.72	2.00	26.89
No. 50	9	22	0.00	2.95	7.90	1.07	1.99	13.92
No. 100	6	15	0.00	2.86	5.13	0.96	1.92	10.87
No. 200	4	9	0.00	2.37	2.96	0.21	1.67	7.21



Gambar 4.2: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat campuran abu cangkang sawit 2% pada *filler* mengacu kepada standart Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.

Dari hasil pengujian analisis saringan di dapat hasil kombinasi gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3.

A. Data persen agregat yang di peroleh pada normal

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

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

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

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 didapatkan hasil proporsi untuk masing-masing benda uji, berikut analisis perhitungan untuk berat agregat yang di perlukan pada benda uji normal dengan kadar aspal 5,5%-7,5%, serta rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 4.10 - 4.14.

➤ kadar aspal 5,5%	: $1200 \times 5,5\%$	= 66	gr
➤ Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch	: $(1200-66) \times 13\%$	= 147,4	gr
➤ Agregat medium MA $\frac{1}{2}$ inch	: $(1200-66) \times 35\%$	= 396,9	gr
➤ Agregat halus abu batu (Cr)	: $(1200-66) \times 40\%$	= 453,6	gr
➤ Agregat halus pasir (<i>Sand</i>)	: $(1200-66) \times 12\%$	= 136,1	gr
Total		= 1200	gr

Tabel 4.10: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji normal.

KADAR ASPAL (%)	ASPAL (gram)	MA $\frac{3}{4}$ inch (gram)	CA $\frac{1}{2}$ inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)
5.5%	66	147.4	396.9	453.6	136.1
6.0%	72	146.6	394.8	451.2	135.4

Tabel 4.11: *Lanjutan*

KADAR ASPAL (%)	ASPAL (gram)	MA ¾ inch (gram)	CA ½ inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)
6.5%	78	145.9	392.7	448.8	134.6
7.0%	84	145.1	390.6	446.4	133.9
7.5%	90	144.3	388.5	444.0	133.2

Tabel 4.12: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji penggunaan *filler 2%*.setelah di dapat KAO

KADAR ASPAL (%)	ASPAL (gram)	MA ¾ “ (gram)	CA ½ “ (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	Abu cangkang sawit
6.39%	76.68	146.0	393.3	426.9	134.8	22,4

Tabel 4.13: Hasil Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji penggunaan KAO + *Crumb rubber 3%,4%,5%,6%,7%*

KADAR ASPAL (%)	ASPAL (gram)	MA ¾ “ (gram)	CA ½ “ (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	Crumb rubber (gram)
6.39%	76.68	146.0	393.2	449.3	134.8	2.3
6.39%	76.68	146.0	393.2	449.3	134.8	3.0
6.39%	76.68	146.0	393.2	449.3	134.8	3.8
6.39%	76.68	146.0	393.2	449.3	134.8	4.5
6.39%	76.68	146.0	393.2	449.3	134.8	5.3

Tabel 4.14: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji penggunaan KAO + *Crumb rubber 3%,4%,5%,6%,7%* + *filler 2%*

KADAR ASPAL (%)	ASPAL (gram)	MA ¾ “ (gram)	CA ½ “ (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	Crumb rubber (gram)	Filler (gram)
6.39%	76.68	146.0	393.2	426.9	134.8	2.3	22.4
6.39%	76.68	146.0	393.2	426.9	134.8	3.0	22.4
6.39%	76.68	146.0	393.2	426.9	134.8	3.8	22.4
6.39%	76.68	146.0	393.2	426.9	134.8	4.5	22.4
6.39%	76.68	146.0	393.2	426.9	134.8	5.3	22.4

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

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Pemeriksaan agregat ini dilakukan untuk agregat kasar dan agregat halus yang mengacu pada (SNI 03-1968-1990). Dari hasil pemeriksaan tersebut didapat data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.15. – 4.20.

1. Berat jenis agregat kasar CA ¾ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

$$\begin{aligned}
 &\text{➤ Berat Jenis Curah} &&= \frac{2949}{2968-1880} &&= 2,710 \text{ gr} \\
 &\text{➤ Berat Jenis kering permukaan jenuh} &&= \frac{2968}{2968-1880} &&= 2,759 \text{ gr} \\
 &\text{➤ Berat Jenis semu} &&= \frac{2949}{2949-1880} &&= 2,728 \text{ gr} \\
 &\text{➤ Penyerapan} &&= \frac{2968-2949}{2949} \times 100\% &&= 0.644 \%
 \end{aligned}$$

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

Tabel 4.15: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar CA ¾ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering	2,710	2,623	2,667
Berat jenis curah kering permukaan	2,759	2,597	2,678
Berat jenis semu	2,728	2,557	2,643
Penyerapan	0,644	0,986	0,815

2. Berat jenis agregat kasar MA ½ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

$$\begin{aligned}
 &\text{➤ Berat Jenis Curah} &&= \frac{1898}{1913-1189} &&= 2,698 \text{ gr} \\
 &\text{➤ Berat Jenis kering permukaan jenuh} &&= \frac{1913}{1913-1189} &&= 2,677 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

- Berat Jenis semu $= \frac{1898}{1898-1189} = 2,642 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{1913-1898}{1898} \times 100\% = 0.790 \%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat CA ½ inch dapat dilihat pada Tabel.4.15.

Tabel 4.16: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar MA ½ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering	2,698	2,709	2,704
Berat jenis curah kering permukaan	2,677	2,661	2,669
Berat jenis semu	2,642	2,585	2,614
Penyerapan	0,790	1,802	1,296

3. Berat jenis agregat halus abu batu (Cr)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{493}{670+500-977} = 2,554 \text{ gr}$
- Berat Jenis kering permukaan jenuh $= \frac{500}{670+500-977} = 2,688 \text{ gr}$
- Berat jenis semu $= \frac{493}{670+493-977} = 2,651 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{(500-493)}{493} \times 100\% = 1,400 \%$

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

Tabel 4.17: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu batu (cr).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering	2,554	2,598	2,576
Berat jenis curah kering permukaan	2,688	2,778	2,733

Tabel 4.18: *Lanjutan*

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis semu	2,651	2,728	2,689
Penyerapan	1,400	1,800	1,600

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{492}{670+500-978} = 2,605 \text{ gr}$
- Berat Jenis kering permukaan jenuh $= \frac{500}{670+500-978} = 2,632 \text{ gr}$
- Berat jenis semu $= \frac{492}{670+492-978} = 2,676 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{(500-492)}{492} \times 100\% = 1,000 \%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 10 dan rekapitulasi data hasil pengujian pasir dapat dilihat pada Tabel.4.19.

Tabel 4.19: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir (*sand*).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering	2,563	2,417	2,490
Berat jenis curah kering permukaan	2,717	2,538	2,628
Berat jenis semu	2,674	2,503	2,588
Penyerapan	1,600	1,400	1,500

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

- Berat Jenis Curah $= \frac{496}{650+500-1013} = 3,620 \text{ gr}$
- Berat Jenis kering permukaan jenuh $= \frac{500}{650+500-1013} = 3,759 \text{ gr}$
- Berat jenis semu $= \frac{496}{650+496-1013} = 3,729 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{(500-496)}{496} \times 100\% = 0,800 \%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat halus abu cangkang sawit dapat dilihat pada Tabel.4.20

Tabel 4.20: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu cangkang sawit (*Filler*).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering	3,620	3,181	3,401
Berat jenis curah kering permukaan	3,759	3,378	3,569
Berat jenis semu	3,729	3,331	3,530
Penyerapan	0,800	1,400	1,100

4.1.3. Hasil Pengujian Aspal

Dalam penelitian ini, aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji aspal keras Pertamina Pen 60/70 adalah data sekunder. Yaitu data hasil pemeriksaan karakteristik aspal keras yang telah dilakukan perusahaan P.T Bangun Cipta Kontraktor dan di uji di balai pengujian material diperoleh hasilnya seperti pada Tabel 4.21.

Tabel 4.21: Hasil pemeriksaan karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70 (PT. Bangun Cipta Kontraktor).

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

Dari pemeriksaan laboratorium diperoleh hasil bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 memenuhi standart pengujian spesifikasi Bina Marga 2010 sebagai bahan ikat campuran beton aspal tersebut.

4.1.4. Perhitungan Parameter Pengujian Benda Uji

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

- | | |
|--|--|
| a. Persentase terhadap batuan | = 5.8 % |
| b. Persentase aspal terhadap campuran | = 5,5 % |
| c. Berat sampel kering | = 1194 gram |
| d. Berat sampel jenuh | = 1199 gram |
| e. Berat sampel dalam air | = 680 gram |
| f. Volume sampel | = 1199 – 684
= 515 cc |
| g. Berat isi sampel | = 1194 / 515
= 2,328 gr/cc |
| h. Berat jenis maksimum | = $\frac{100}{\left(\frac{100\%}{2,621}\right) - \left(\frac{5,5\%}{1,035}\right)}$
= 2,417 % |
| i. Persentase volume aspal | = $\frac{5,5\% \times 2,328}{1,035}$
= 12,222 % |
| j. Persentase volume agregat | = $\frac{(100 - 5,5\%) \times 2,328}{2,621}$
= 84,503 % |
| k. Persentase rongga terhadap campuran | = $100 - \left(\frac{100 \times 2,2328}{2,417}\right)$
= 4,816 % |

- l. Persentase rongga terhadap agregat $= 100 - \left(\frac{2,328 \times 5,5\%}{2,621} \right)$
 $= 15,497 \%$
- m. Persentase rongga terisi aspal $= 100 \times \left(\frac{15,497 - 4,816}{16,99} \right)$
 $= 68,922 \%$
- n. Kadar aspal efektif $= 4,807$
- o. Pembacaan arloji stabilitas $= 111$
- p. Kalibrasi proving ring $= (7,693 \times 106) + 0,316$
 $= 816$
- q. Stabilitas akhir $= (134434 \times 523^{-1,8897}) \times 111$
 $= 850$
- r. Kelelehan $= 2,54 \text{ mm}$

Untuk rekapitulasi perhitungan campuran normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada filler 2% dan penggunaan *crumb rubber* dapat dilihat pada lampiran 17 – lampiran 20

Dari hasil pemeriksaan uji *Marshall* yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara mendapatkan nilai Berat Isi (*Bulk Density*), *stabilitas (Stability)*, Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), kelelehan (*Flow*). Berikut analasi perhitungan untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5,5% serta rekapitulasi hasil uji *marshall* pada campuran aspal normal dan penggunaan *filler 2%* dan penggunaan *crumb rubber* dapat dilihat pada Tabel 4.22 – 4.25.

$$1. \quad \text{Bulk density} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3}$$

$$= \frac{2,301 + 2,301 + 2,308}{3} = 2,303$$

$$2. \quad \text{Stability} = \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3}$$

$$= \frac{850 + 822 + 836}{3} = 836$$

$$\begin{aligned}
3. \text{ Air voids} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\
&= \frac{4,816+4,792+4,503}{3} = 4,704 \\
4. \text{ Voids filled} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\
&= \frac{68,922+69,034+73,139}{3} = 70,365 \\
5. \text{ VMA} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\
&= \frac{15,497+15,476+16,765}{3} = 15,913 \\
6. \text{ Flow} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\
&= \frac{2,54+2,61+2,64}{3} = 2.60
\end{aligned}$$

Tabel 4.22: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran Normal.

Karakteristik	Kadar Aspal (%)				
	5.5	6	6.5	7.0	7.5
Bulk Density (gr/cc)	2.261	2.241	2.301	2.288	2.270
Stability (kg)	849	854	944	903	850
Air Voids (%)	6.450	6.647	3.453	3.316	3.437
VMA (%)	17.450	18.640	16.881	17.782	18.889
Flow (mm)	2.597	3.017	3.74	4.2	4.567
Voids Filled (%)	63.033	64.285	79.614	81.336	81.761

Tabel 4.23: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran penggunaan *filler* 2%.

Karakteristik	Kadar Aspal optimum(%)
Bulk Density (gr/cc)	2,261
Stability (kg)	849
Air Voids (%)	6,450
VMA (%)	17,450
Flow (mm)	2,597
Voids Filled (%)	63,033

Tabel 4.24: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%

Karakteristik	Kadar Aspal (%)				
	3%	4%	5%	6%	7%
Bulk Density (gr/cc)	2.279	2.283	2.255	2.231	2.228
Stability (kg)	904	871	492	466	441
Air Voids (%)	4.504	4.359	5.543	6.522	6.657
VMA (%)	17.061	16.935	18.459	19.307	19.424
Flow (mm)	3.233	4.200	4.667	4.893	5.070
Voids Filled (%)	73.711	74.300	70.066	66.182	65.730

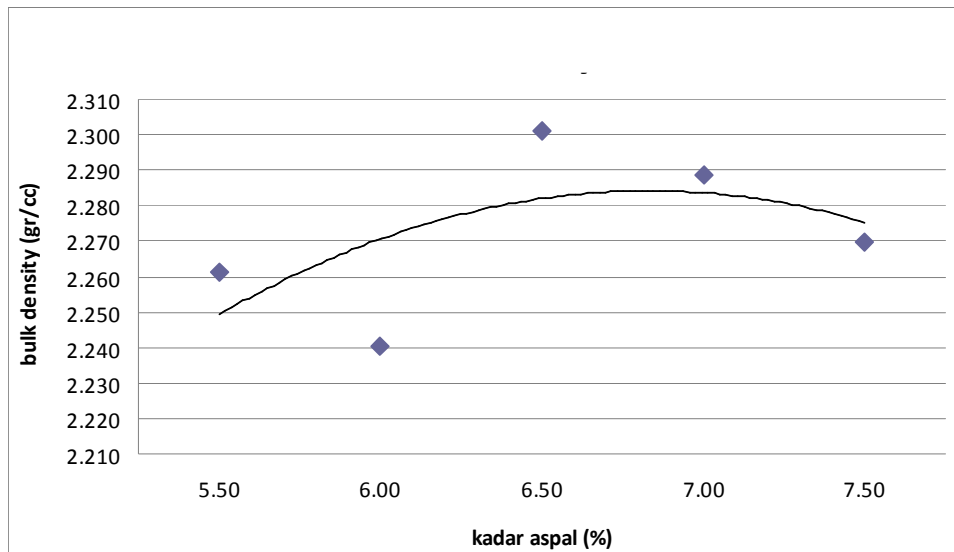
Tabel 4.25: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7% + *filler* 2%

Karakteristik	Kadar Aspal Optimum (%) + Filler 2 %				
	3%	4%	5%	6%	7%
Bulk Density (gr/cc)	2,311	2,319	2,307	2,260	2,236
Stability (kg)	858	843	759	696	663
Air Voids (%)	3,571	3,261	3,753	5,705	6,716
VMA (%)	16,314	16,045	16,977	18,663	19,533
Flow (mm)	2,330	2,760	4,01	4,05	4,070
Voids Filled (%)	78,219	79,980	77,898	69,436	65,638

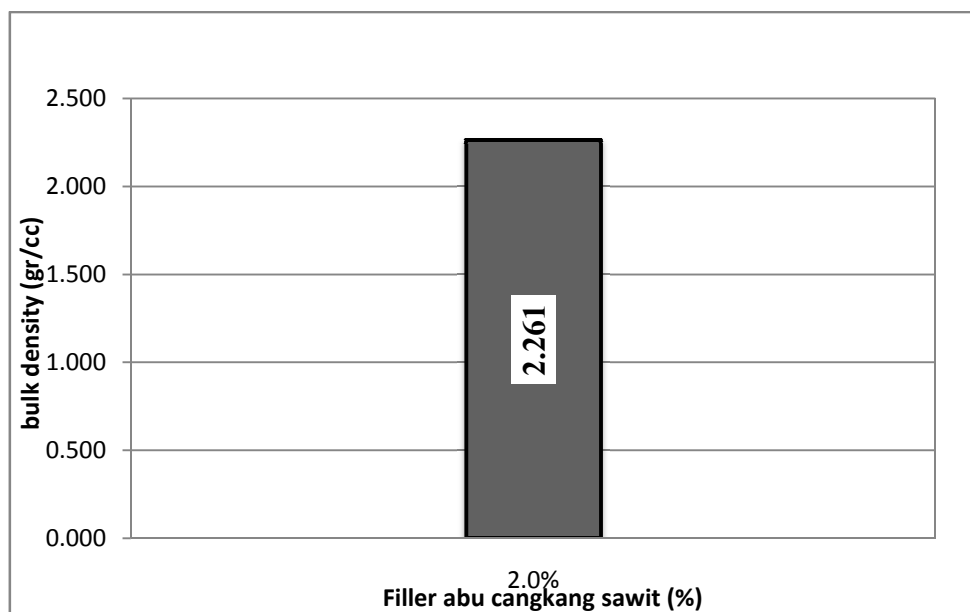
Dari hasil nilai Berat Isi (*Bulk Density*), *stabilitas* (*Stability*), Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), kelelehan (*Flow*) untuk campuran aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2%, dan penggunaan *crumb rubber* dan penggunaan *crumb rubber* + *filler* dapat juga dilihat pada Gambar 4.3 – 4.18.

a. *Bulk Density*

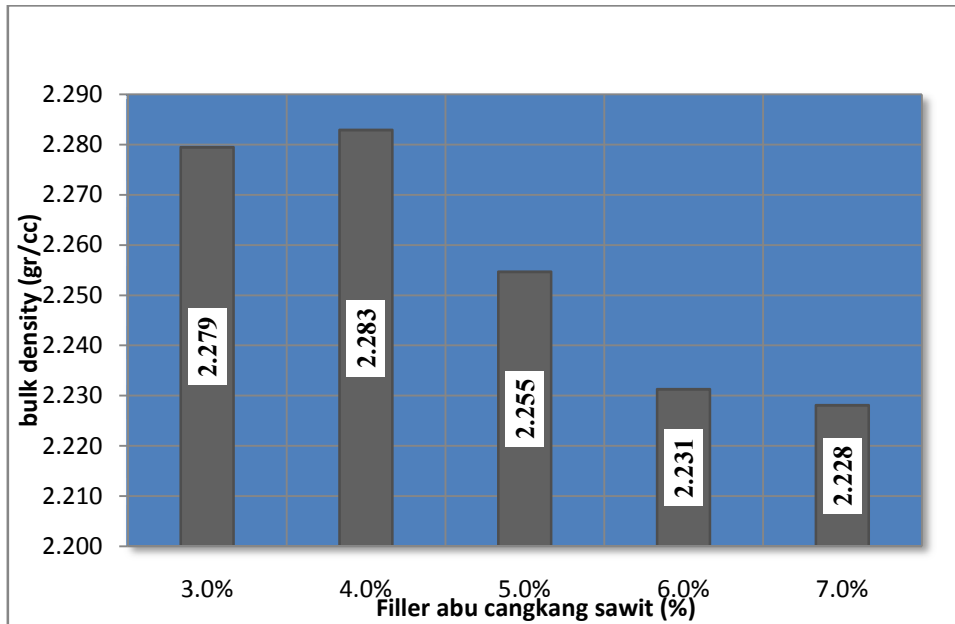
Hasil nilai *Bulk Density* pada aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2%, dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%,8% dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7% + *filler* 2%, dilihat pada Gambar 4.3. – 4.6.



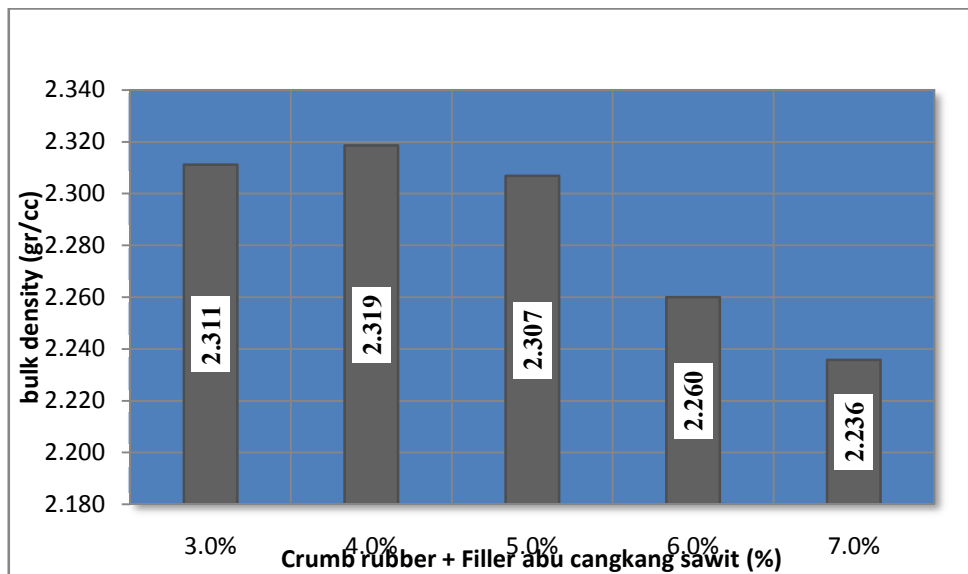
Gambar 4.3: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) campuran normal.



Gambar 4.4: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) Filler 2%.



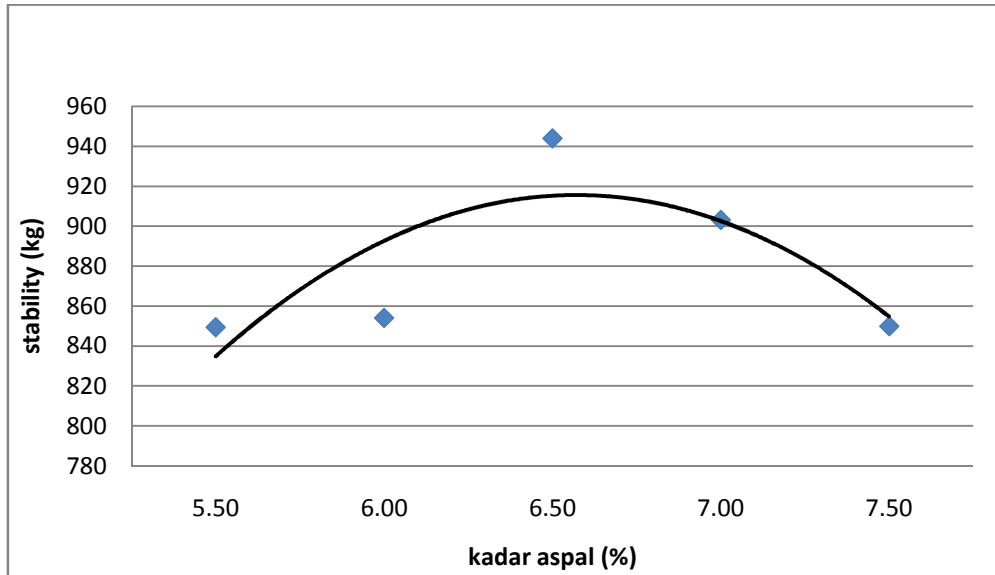
Gambar 4.5: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) crumb rubber (%)



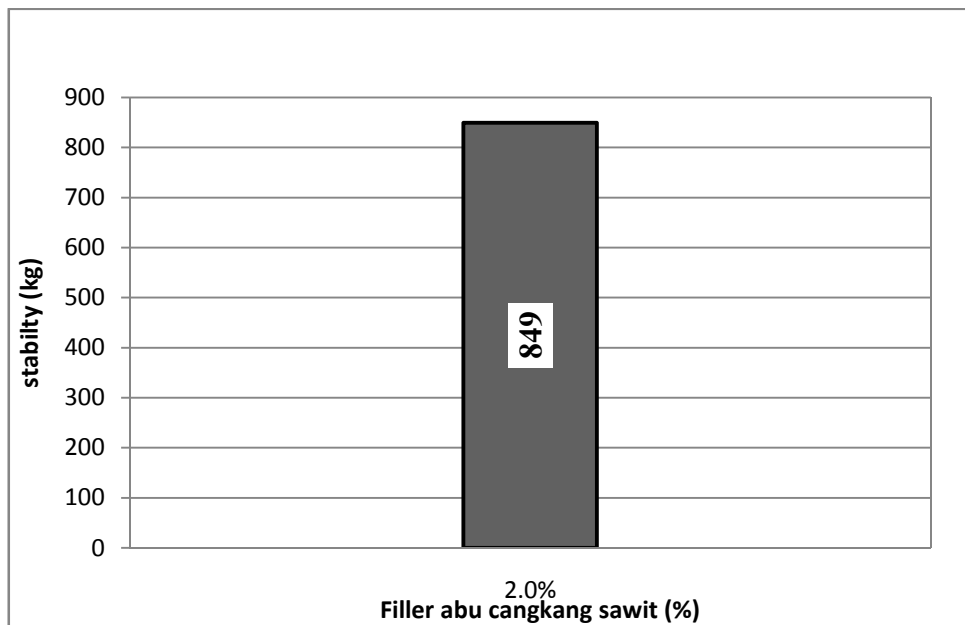
Gambar 4.6: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) crumb rubber (%) + filler (%)

b. *Stability*

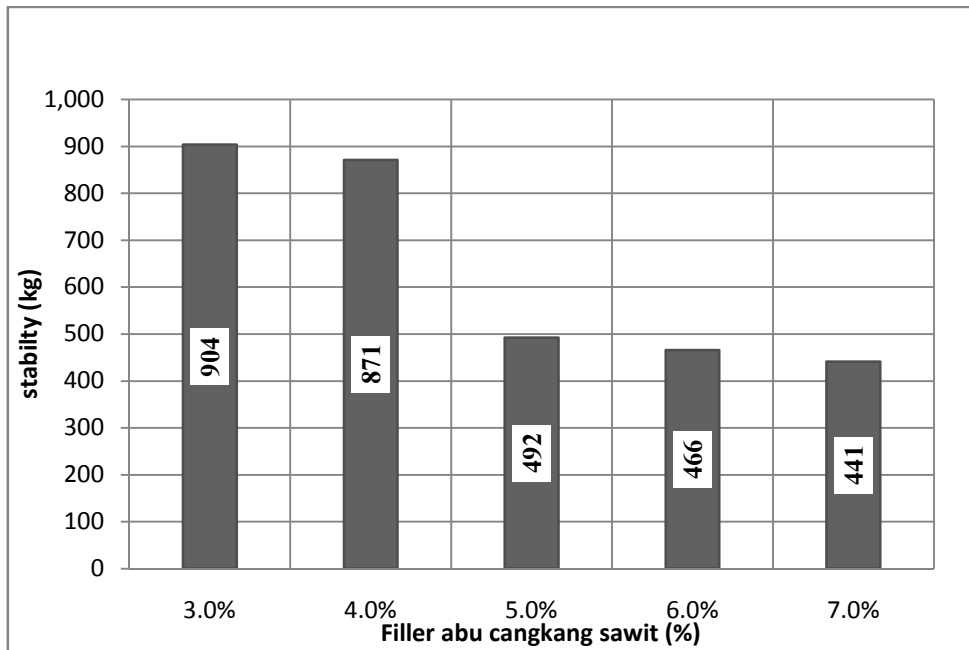
Hasil nilai *Stability* pada aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada pada *filler* 2%, dan penggunaan *crumb rubber* 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8% dan penggunaan *crumb rubber* 3%, 4%, 5%, 6%, 7% + *filler* 2%, dapat dilihat pada Gambar 4.7. – 4.10. berikut.



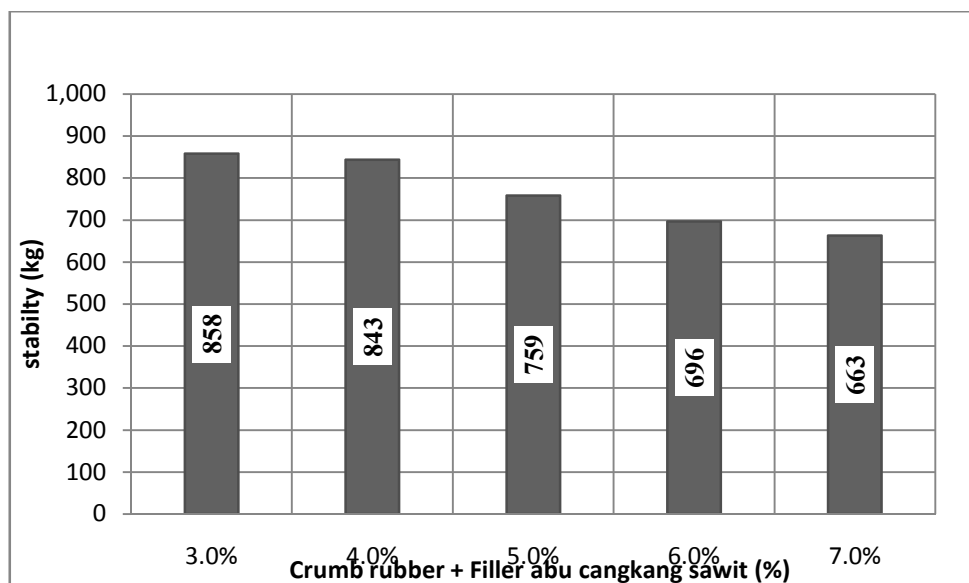
Gambar 4.7: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* campuran normal.



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



Gambar 4.9: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* (kg) campuran *Crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%

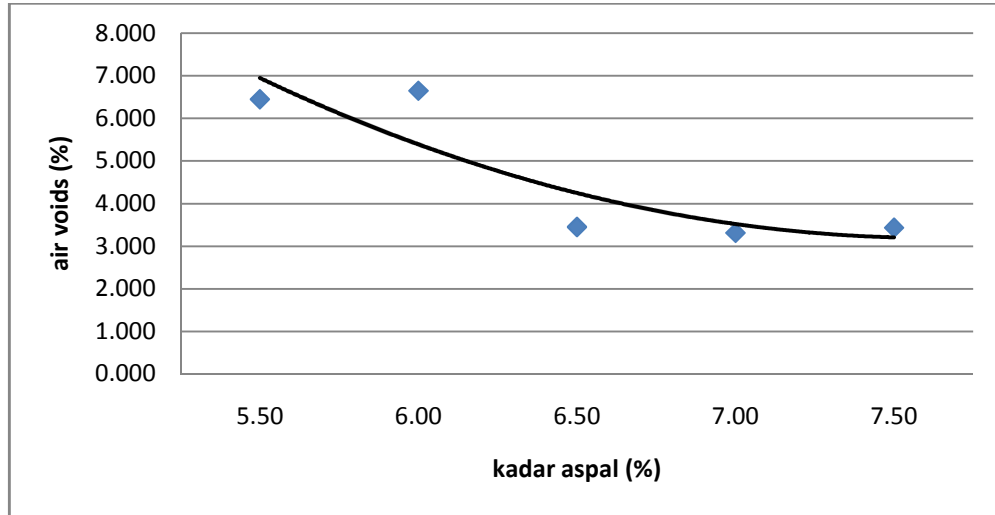


Gambar 4.10: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* (kg) campuran *Crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7% + *filler* 2%

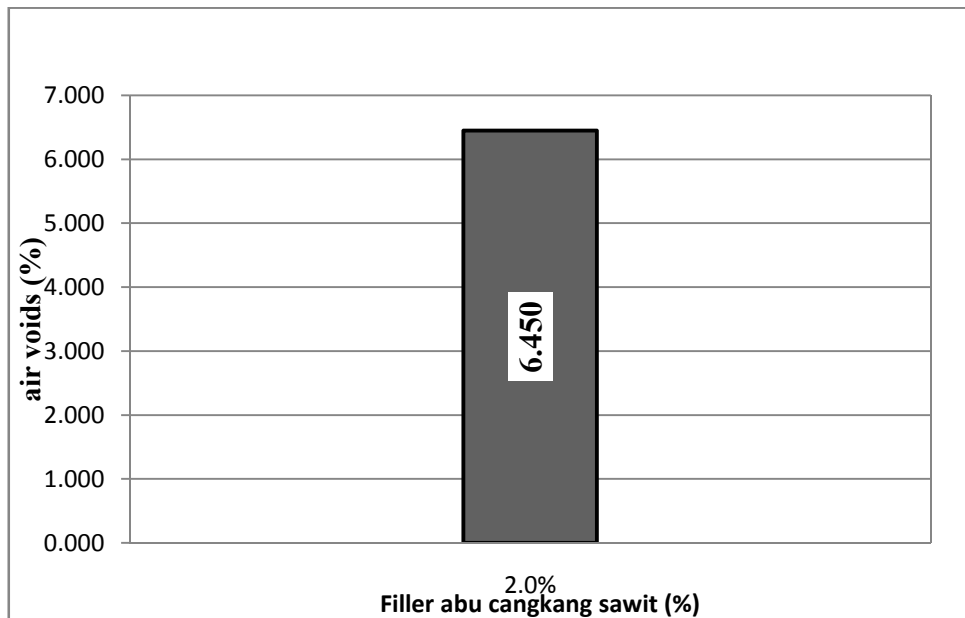
c. *Air Voids/Voids in Mix Marshall* (VIM)

Hasil nilai *Air Voids* (VIM) pada aspal Pertamina normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2%, dan penggunaan *crumb rubber*

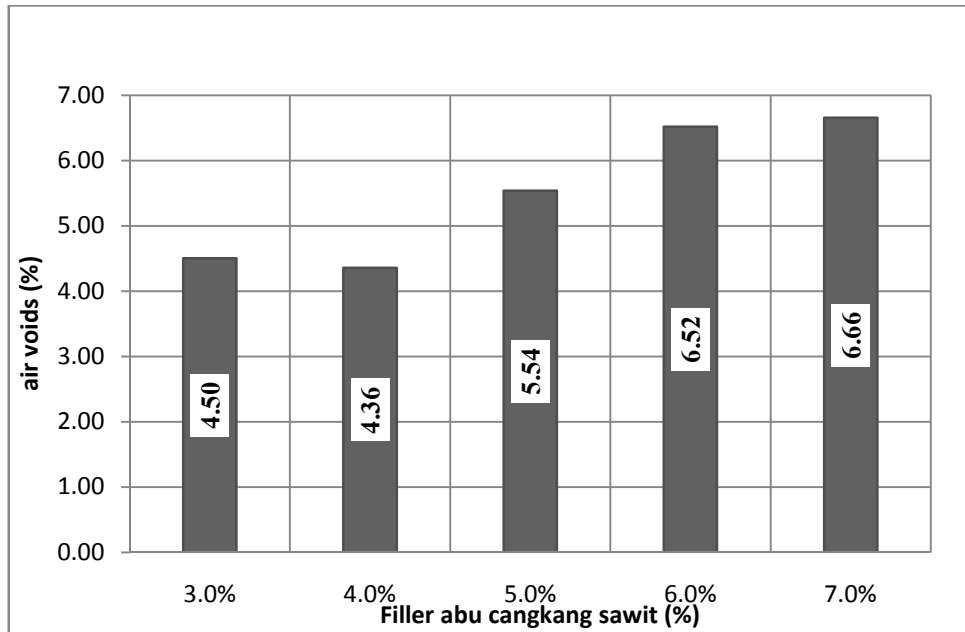
3%,4%,5%,6%,7%,8% dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%7% + *filler* 2%, dapat dilihat pada Gambar 4.11. – 4.14. berikut:



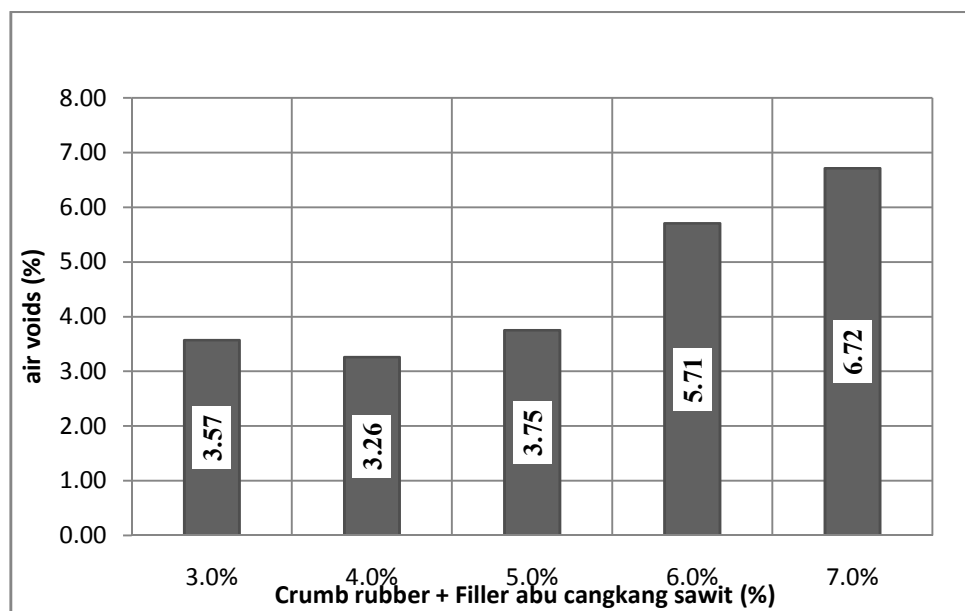
Gambar 4.11: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran normal.



Gambar 4.12: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran *Filler* 2%.



Gambar 4.13: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%

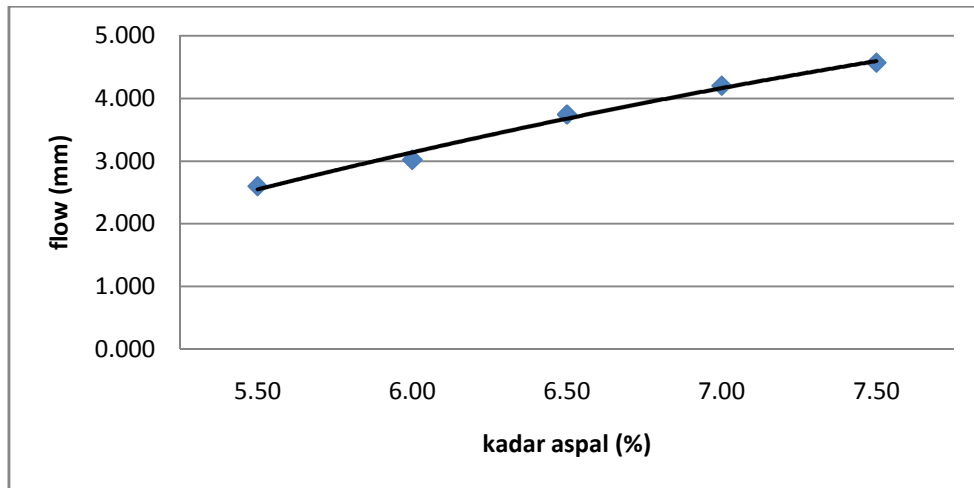


Gambar 4.14: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran *Crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7% + *filler* 2%.

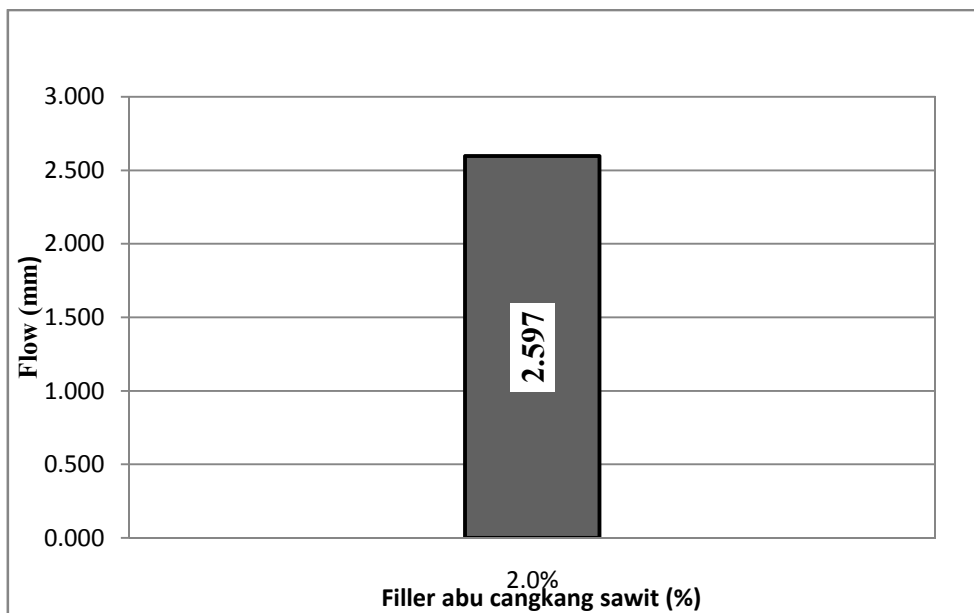
d. *Flow*

Hasil nilai *Flow* untuk campuran aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2%, dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%,8% dan

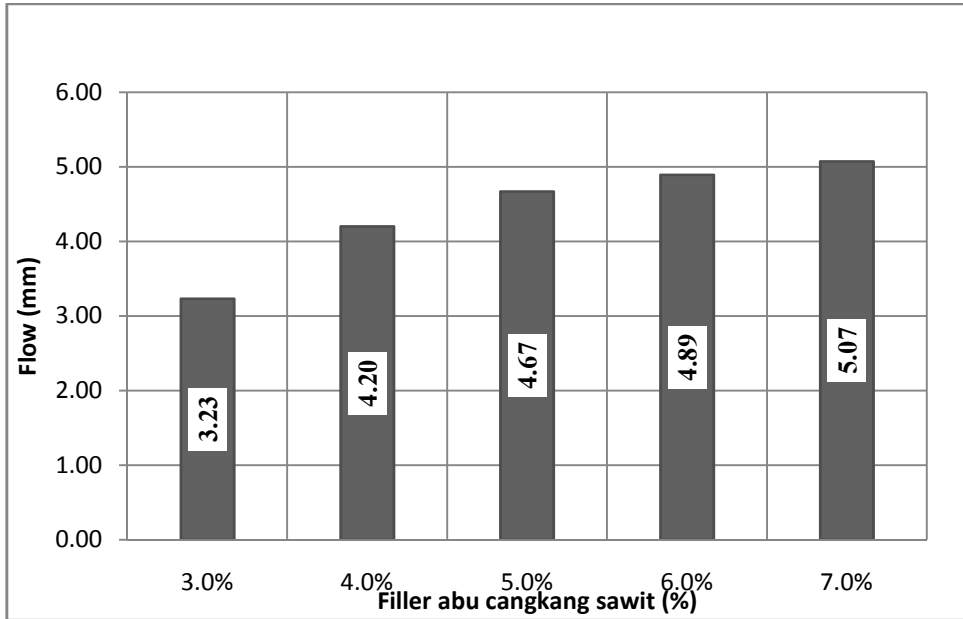
penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%7% + filler 2%, dapat dilihat pada Gambar 4.15. – 4.18. berikut :



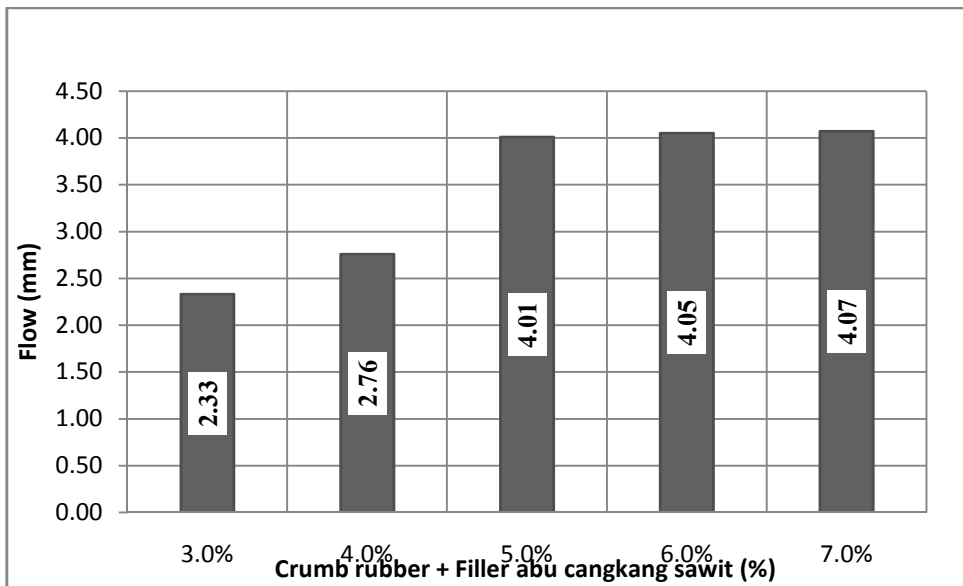
Gambar 4.15: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) Campuran normal.



Gambar 4.16: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) Campuran *Filler* 2%.



Gambar 4.17: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%7%.



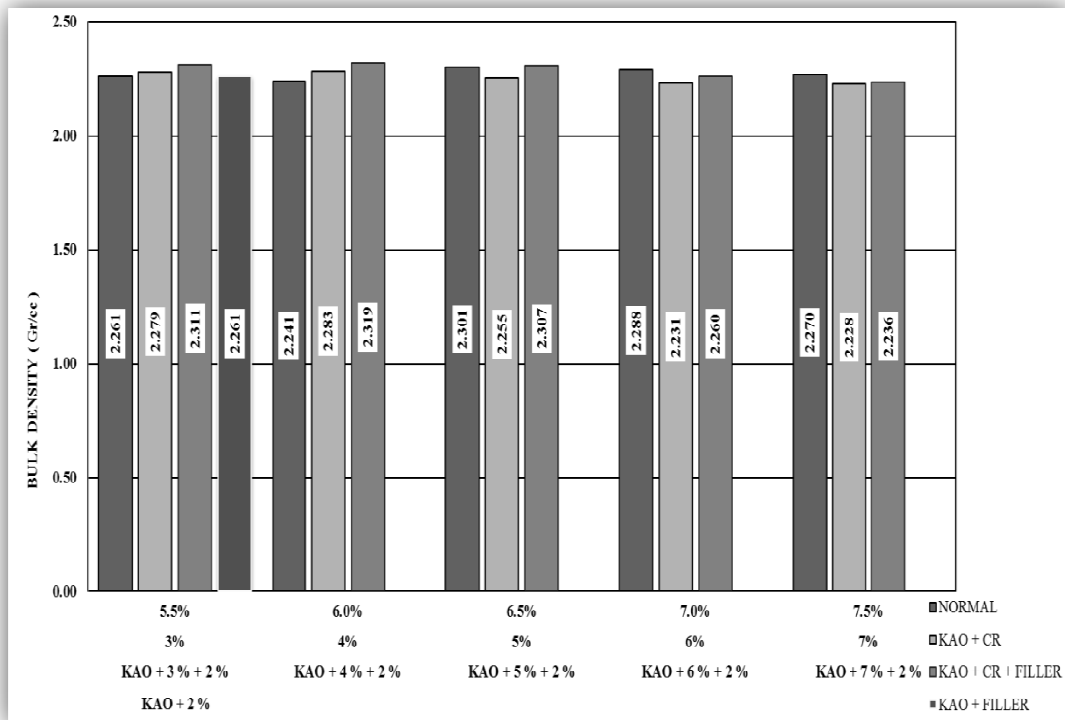
Gambar 4.18: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% + filler 2%.

4.1.5. Perbandingan Sifat *Marshall*

Dari hasil nilai pengujian sifat *Marshall* campuran aspal Pertamina normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%,8% dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%7% + *filler* 2%, untuk nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, VMA dan *Flow* dapat dilihat perbandingan di antara kedua jenis campuran tersebut seperti yang ditunjukkan berikut.

a. Bulk Density

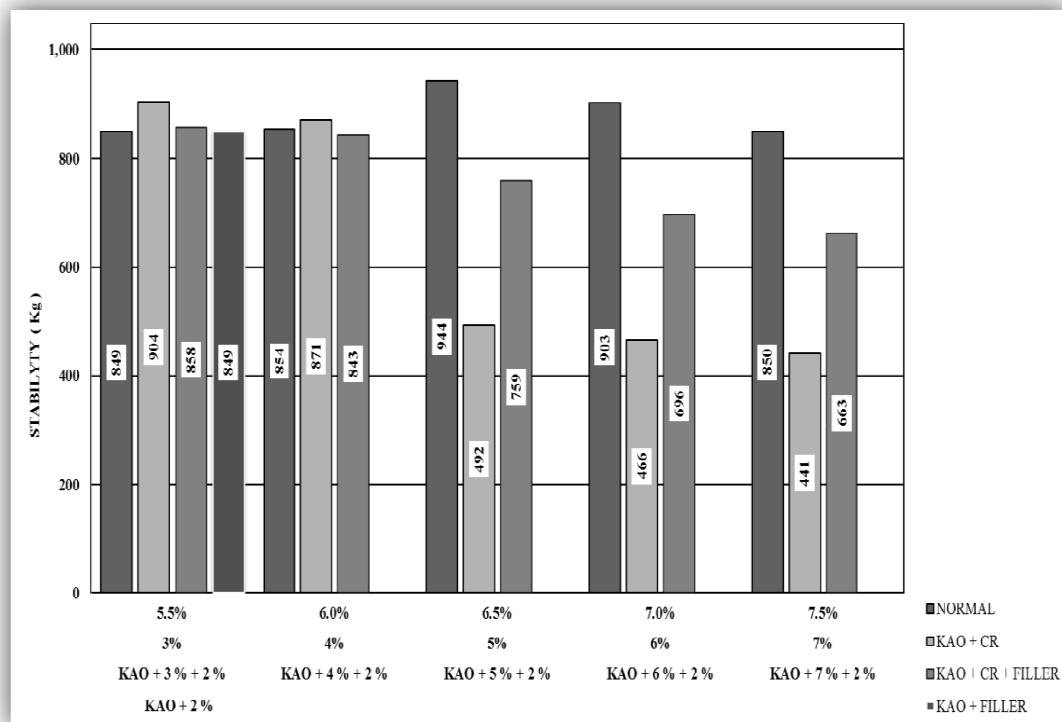
Dari hasil percobaan *Bulk Density* menunjukkan perbedaan nilai *Bulk Density* antara campuran aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2%, dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%,8% dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%7% + *filler* 2% menunjukkan perbandingan karakteristik *Marshall*. Hasil *bulk density* tertinggi terjadi pada saat penambahan *crumb rubber* 4%+ *filler* 2% dan terjadi penurunan pada *filler* 2% ,seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.19



Gambar 4.19: Grafik Nilai perbandingan *bulk density* campuran aspal normal dengan campuran *crumb rubber* dan *filler* abu cangkang sawit

b. *Stability*

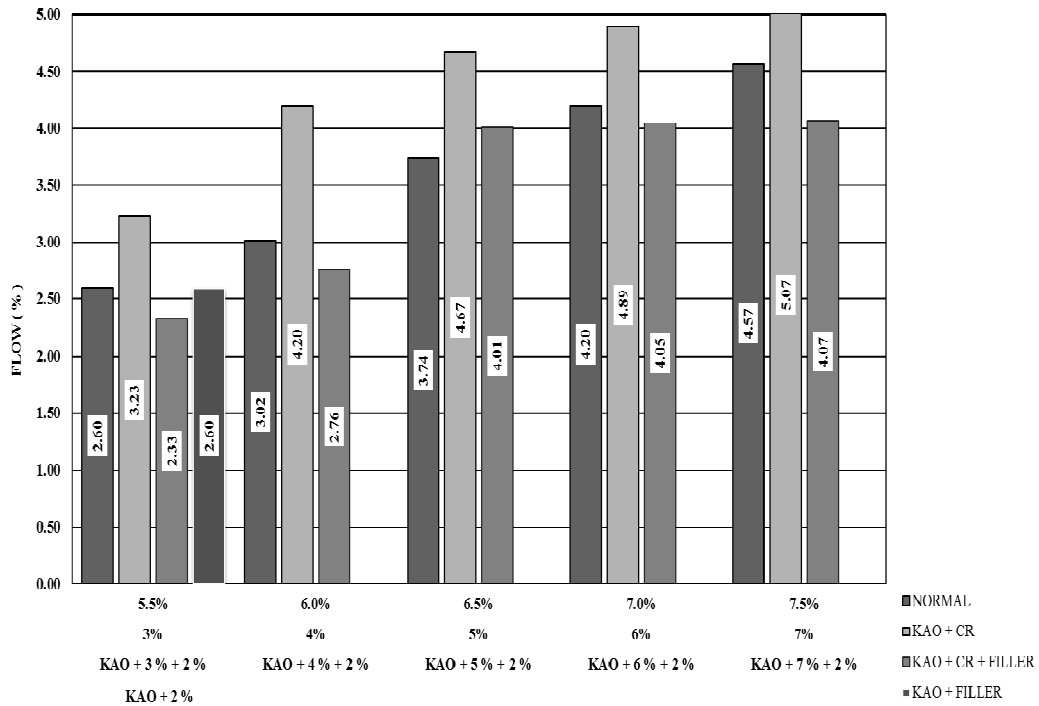
Hasil nilai *Stability* pada *Marshall* campuran aspal normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%,8% dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7% + *filler* 2%, menunjukkan perbandingan. Nilai *Stability* stabilitas tertinggi teradap pada campuran *crumb rubber* 3% dan terjadi penurunan di setiap penambahan *crumb rubber* dan *filler*.Perbandingan nilai *Stability* di antara kedua campuran aspal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20: Grafik Nilai perbandingan *stability* campuran aspal normal dengan campuran *crumb rubber* dan *filler* abu cangkang sawit

c. *Flow*

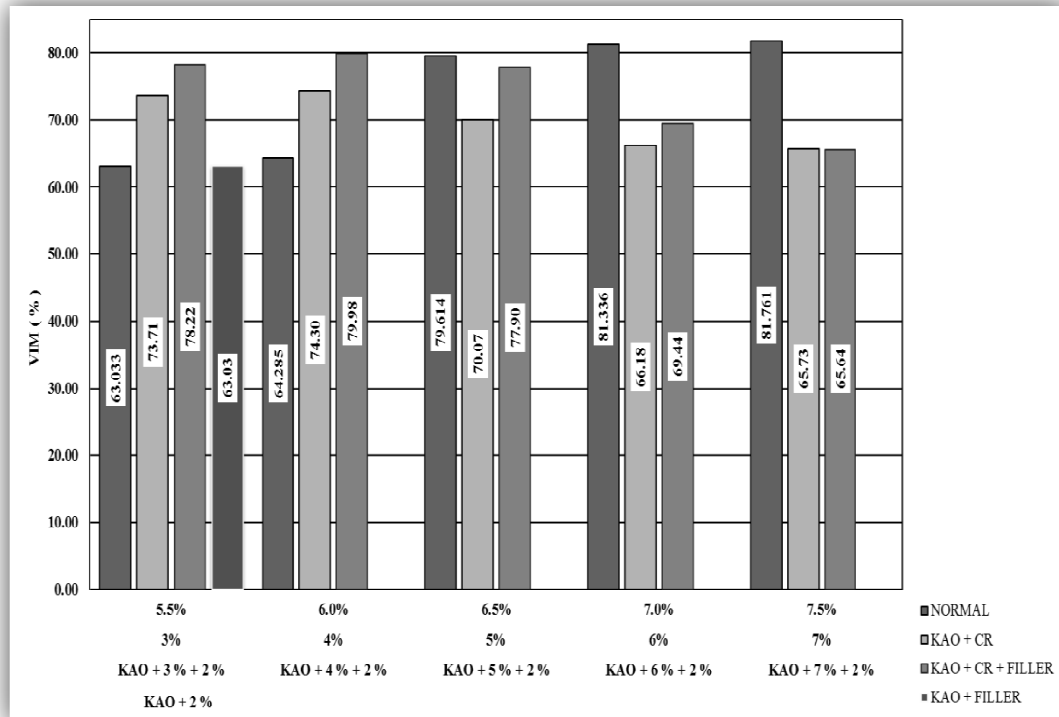
Hasil uji *Marshall Flow* menunjukkan bahwa nilai *Flow* pada campuran normal serta penggunaan abu cangkang sawit pada *filler* 2% dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%,8% dan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7% + *filler* 2%, menunjukkan perbandingan karakteristik *Marshall Flow*. Perbandingan di antara tiga jenis campuran tersebut menunjukkan bahwa nilai *Flow* campuran aspal optimum + *crumb rubber* lebih tinggi di bandingkan dengan penggunaan aspal normal serta *filler* seta *filler* abu cangkang sawit.seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21: Grafik Nilai perbandingan *flow* campuran aspal normal dengan campuran *crumb rubber* dan *filler* abu cangkang sawit

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

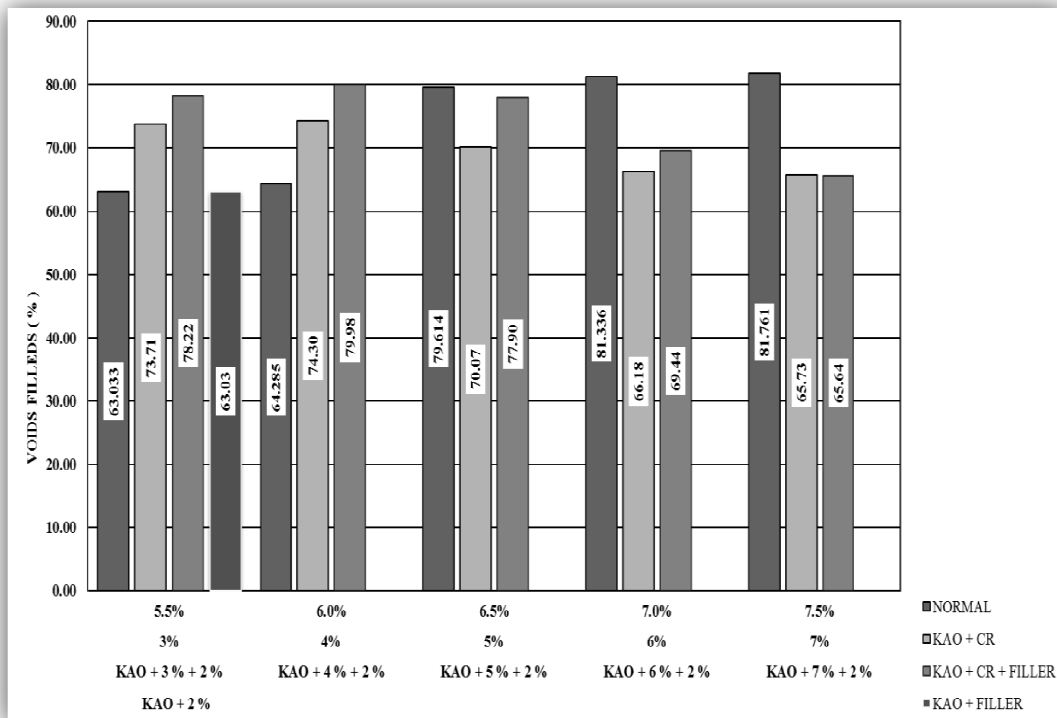
Hasil nilai VIM menunjukkan bahwa nilai VIM campuran aspal *filler* 2% dan penggunaan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%,7%,8% dan *crumb rubber* 3%,4%,5%,6%7% + *filler* 2%,menunjukkan bahwa air voids campuran aspal optimum + *crumb rubber* + *filler* lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan aspal campuran normal dengan *filler* abu cangkang sawit.Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22: Grafik Nilai Perbandingan VIM campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, *crumb rubber + filler* dan campuran *filler* abu cangkang sawit 2 %

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

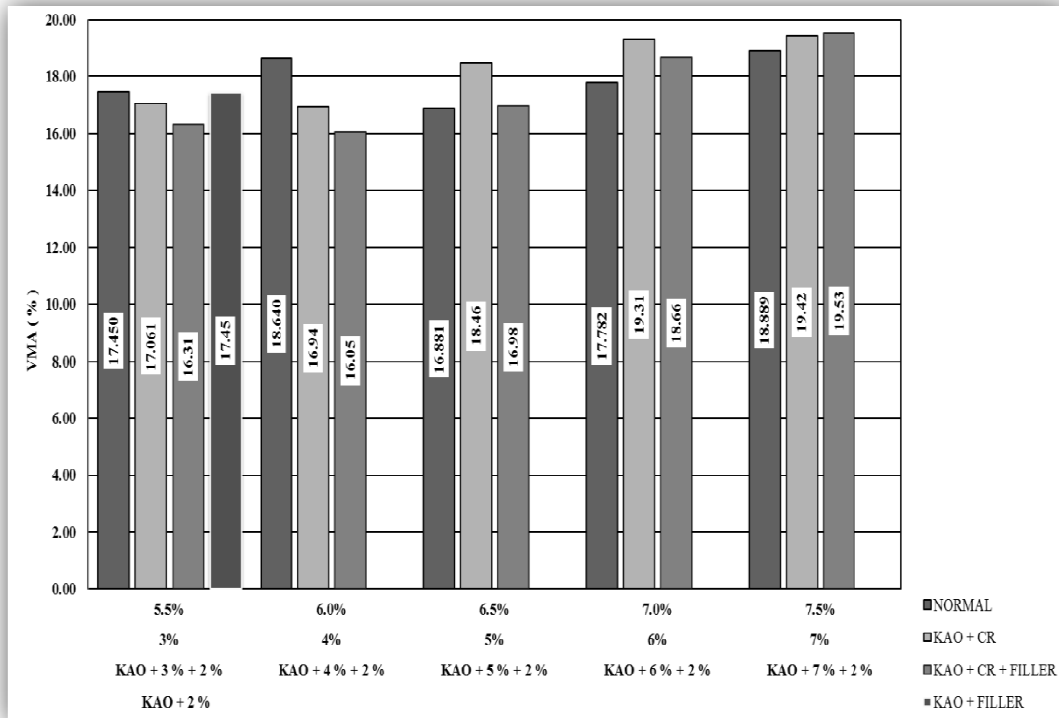
Dari hasil pengujian karakteristik sifat *Marshall* nilai VFB untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5%-5,5% berada di bawah capuran penggunaan *filler* 4% namun pada kada aspal 6%-7% menunjukkan nilai yang hampir sama dan pada penggunaan campuran *crumb rubber* 4% niali VFB berada di bawah campuran normal dan penggunaan *filler* 2%. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23: Grafik Nilai Perbandingan VFB campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, *crumb rubber* + *filler* dan campuran *filler* abu cangkang sawit 2 %

f. *Void in Mineral Agregat* (VMA)

Perbedaan nilai VMA pada campuran Normal kadar aspal 5% dan campuran aspal penggunaan *Filler* 2% tidak terlalu signifikan, berbeda pada kadar aspal 5,5%-7% nilai VMA campuran aspal normal berada di bawah campuran *crumb rubber*. Perbandingan nilai VMA dapat dilihat pada Gambar 4.34.



Gambar 4.34: Grafik Nilai Perbandingan VMA campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, *crumb rubber + filler* dan campuran *filler* abu cangkang sawit 2 %.

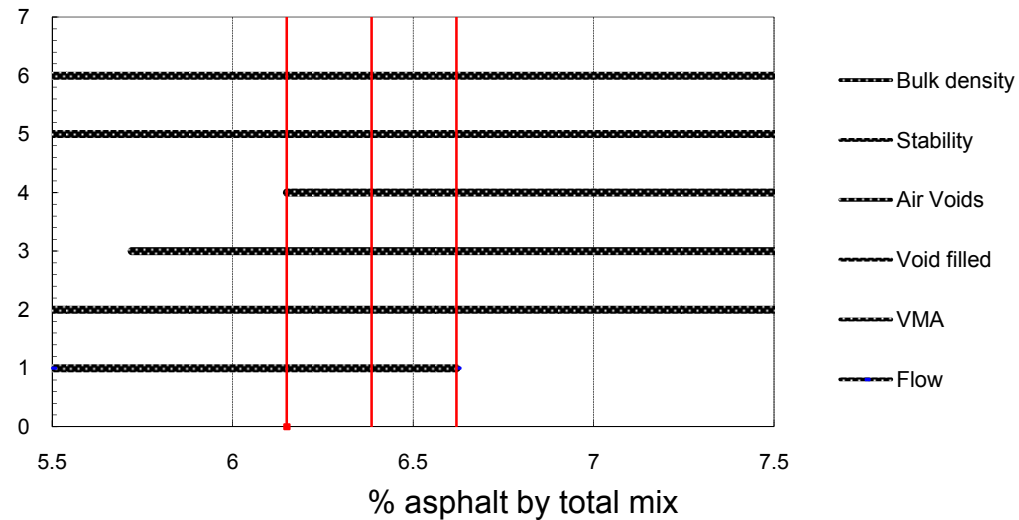
Hasil pemeriksaan karakteristik sifat campuran *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, VMA dan *Flow* pada jenis campuran campuran aspal normal serta penggunaan campuran abu cangkang sawit pada *filler* 2%, *crumb rubber* 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, dan *crumb rubber* 3%, 4%, 5%, 6%, 7% + *filler* 2%. Menunjukkan bahwa ketiga jenis campuran tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010. Dari hasil nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, VMA dan *Flow* dapat dilihat bahwa karakteristik jenis campuran tersebut memiliki perbandingan disetiap karakteristik sifat *Marshall*

4.2. Pembahasan dan Analisis

4.2.1. Perhitungan Kadar Aspal Optimum

Setelah selesai melakukan pengujian di Laboratorium dan menghitung nilai-nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, VMA, *Flow* maka secara grafis dapat ditentukan kadar aspal optimum campuran dengan cara membuat grafik hubungan antara nilai-nilai tersebut di atas dengan kadar aspal, yang

kemudian memplotkan nilai-nilai yang memenuhi spesifikasi terhadap kadar aspal, sehingga diperoleh rentang (*range*) dan batas koridor kadar aspal yang optimum. Penentuan kadar aspal optimum untuk campuran aspal Pertamina normal dapat dilihat pada Gambar 4.35.



Gambar 4.35: Penentuan rentang (*range*) kadar aspal optimum campuran aspal normal.

Kadar aspal optimum diperoleh dengan cara mengambil nilai tengah dari batas koridor seperti yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.27.

Tabel 4.26: Kadar aspal optimum untuk campuran aspal normal.

No.	Karakteristik Campuran	Jenis Aspal
		Normal
1	Bulk Density (gr/cc)	2,323
2	Stability (kg)	919
3	Flow (mm)	3,559
4	Air Voids (%)	4.4471
5	Voids Filled (%)	74.878
6	VMA (%)	17.535

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis pembahasan terhadap pengujian campuran jenis *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC-WC) dengan penambahan crumb rubber dan abu cangkang sawit sebagai filler diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian karakteristik sifat marshall pada campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC-WC) yang menggunakan abu cangkang sawit sebagai filler dengan persen 2% didapat bahwa hasil pengujian tersebut memenuhi standart spesifikasi Bina Marga 2010.
2. Hasil *Marshall test* yang di dapatkan, dengan nilai tertinggi dalam keadaan optimum dan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 dan terdapat pada campuran aspal dengan penambahan crumb rubber 3% Dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 904 kg, *Bulk Density* 2,279 gr/cc, flow 3.233 mm, VIM 4.504%, VMA sebesar 17.450%, VFB 73.711%.

5.2. Saran

1. Dalam melakukan penelitian ini untuk merencanakan suatu campuran aspal hendaklah dilakukan dengan sangat teliti pada saat pemeriksaan gradasi dan berat jenis. Dan juga pada saat pencampuran (*mix design*) haruslah teliti.

Diharapkan agar lebih memahami prosedur pembuatan campuran aspal yang telah ditetapkan oleh SNI 03-6758-2002 agar memperkecil kesalahan dalam pembuatan

benda uji dan pengujian *Marshall*.

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.*
- DE Khairani Cut, 2018, *Uji Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Dengan Tambahan Parutan Ban Bekas.* Tugas Akhir Magister Universitas Syiah Kuala.
- Sugianto, G, 2008, *Kajian Karakteristik Campuran Hot Rooled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Perutan Karet Bekas, Jurnal Teknik Sipil, Universitas Atma Jaya, vol. 8 No. 2, 91-1004.*
- Sukirman, S. (1999) *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Politeknik Bandung.
- SNI 03-1969. (1990) *Spesifikasi Analisa Saringan Agregat Halus Dan Kasar*
- SNI 03-6723. (2002) *Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Aspal*
- SNI 03-1969. (1990) *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*
- SNI 03-1970. (1990) *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*
- SNI 06-2489. (1991) *Metode Pengujian Campuran Campuran Dengan Alat Marshall*

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : Muhammad Sukron Sitorus
Panggilan : Sukron
Tempat, Tanggal Lahir : P.Siantar, 25 Juni 1996
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Emplasmen Sidamanik
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Awalsyah Sitorus
Ibu : Ramaiah Damanik
No. HP : 085275566820
E-mail : muhammadsukronstrs@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1407210191
Fakultas : Teknik
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 Negeri 091425 Sidamanik	2008
2	SMP	SMP Negeri 1 Sarimatondang	2011
3	SMA	SMK Negeri 2 P.Siantar	2014
4	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2014 Sampai Selesai.		

