

TUGAS AKHIR

**PENINJAUAN NILAI-NILAI *MARSHALL* PADA CAMPURAN ASPAL
LASTON AC-BC MEMAKAI *CRUMB RUBBER* PADA ASPAL DAN
FILLER FLY-ASH
(STUDI PENELITIAN)**

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

Disusun Oleh:

**RENGGA YONNI
1407210173**



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2019



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 : Rengga Yonni

NPM : 1407210173

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Peninjauan Nilai–Nilai *Marshall* Pada Campuran Aspal Laston
AC-BC Memakai *Crumb Rubber* Pada Aspal Dan Filler *Fly-Ash*.

Bidang Ilmu : Transportasi.

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 18 Maret 2019

Pembimbing I

Muhammad Husin Gultom, ST, MT

Pembimbing II

Ir. Zurkiyah, MT

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rengga Yonni

NPM : 1407210173

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : “Peninjauan Nilai-Nilai *Marshall* Pada Campuran Aspal Laston AC-BC Memakai *Crumb Rubber* Pada Aspal Dan *Filler Fly-Ash* (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, 8 Januari 2018

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



M. Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II / Peguji



Ir. Zurkiyah, MT

Dosen Pembanding I / Penguji



Dr. Ade Faisal, ST, M.Sc

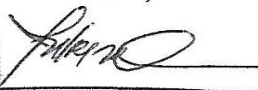
Dosen Pembanding II / Peguji



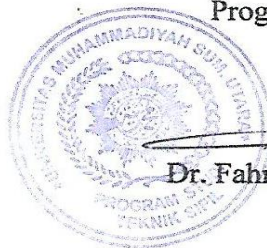
Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, M.Sc

Program Studi Teknik Sipil

Ketua,



Dr. Fahrizal Zulkarnain, ST, M.Sc



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rengga Yonni
Tempat /Tanggal Lahir : Asir-Asir Takengon / 10 Agustus 1996
NPM : 1407210173
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-BC Memakai *Crumb Rubber* Pada Aspal Dan *Filler Fly-Ash* (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 orisinal dan otentik.

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

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

Medan, 8 Januari 2019

ya yang menyatakan,

Rengga Yonni

ABSTRAK

PENINJAUAN NILAI-NILAI MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL LASTON AC-BC MEMAKAI *CRUMB RUBBER* PADA ASPAL DAN *FILLER FLY-ASH* (STUDI PENELITIAN)

Rengga Yonni

1407210173

Muhammad Husin Gultom, ST, MT.

Ir. Zurkiyah, MT.

Crumb rubber merupakan karet ban yang tidak terpakai lagi yang dikategorikan sebagai limbah. Seiring dengan kemajuan teknologi maka saat ini keberadaan *crumb rubber* tidak hanya sebagai limbah yang tidak bermanfaat tetapi telah dipergunakan untuk campuran aspal. *Fly-ash* merupakan sisa-sisa pembakaran batubara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang telah digunakan sebagai berbagai bahan campuran. Tulisan ini mencoba meneliti pengaruh penggunaan *fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* terhadap sifat campuran dan juga untuk melihat pengaruh nilai vim, vfa, vma, flow, stabilitas dengan parameter *marshall* test pada laston AC-BC. Pada penelitian langkah pertama yang dilakukan adalah pengecekan bahan yaitu aspal dan agregat harus memenuhi persyaratan. Kemudian dicari Kadar Aspal Optimum dari campuran aspal normal dimana didapatkan sebesar (6,06%). Kemudian penulis mencoba menggunakan *fly-ash* sebesar (2%) dan penambahan *crumb rubber* sebesar (3%, 4%, 5%, 6%, 7%) untuk dicampurkan pada campuran aspal optimum. Pada Kadar Aspal Optimum menggunakan *fly-ash* sebanyak (2%), dan penambahan *crumb rubber* (5%) didapatkan data *Marshall Test*, yang memenuhi persyaratan spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum Tahun 2010 (Revisi 3).

Kata kunci: *crumb rubber*, *fly-ash*, lapisan AC-BC, campuran panas (*hot mix*).

ABSTRACT

REVIEW OF MARSHALL VALUES ON ASPHALT MIXTURE OF AC-BC LASTON USING CRUMB RUBBER ON ASPHALT AND FILLER FLY-ASH (RESEARCH STUDY)

Rengga Yonni

1407210173

Muhammad Husin Gultom, ST, MT.

Ir. Zurkiyah, MT.

Crumb rubber is an unused tire rubber that is categorized as waste. 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 mixtures. Fly-ash is the remnants of coal combustion, which is flowed from the combustion chamber through a kettle in the form of smoke bursts, which have been used as various mixed materials. This skripsi tries to examine the effect of using fly-ash and the addition of crumb rubber to the mixture properties and also to see the effect of the values of vim, vfa, vma, flow, stability with the Marshall test parameters on laston AC-BC. The first step of the research is checking the material, namely asphalt and aggregate must meet the requirements. Then the Optimum Asphalt Level from normal asphalt mixture is found where it is obtained (6.06%). Then the author tries to use fly-ash by (2%) and the addition of crumb rubber by (3%, 4%, 5%, 6%, 7%) to be mixed in the optimum asphalt mixture. On Optimum Asphalt Levels using fly-ash (2%), and adding crumb rubber (5%) obtained Marshall Test data, which meets the specifications of the Department of Public Works in 2010 (Revised 3).

Keywords: crumb rubber, fly-ash, AC-BC coating, hot mix.

KATA PENGANTAR

Assalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

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-BC Memakai Crumb Rubber Pada Aspal Dan Filler Fly-Ash*" 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, S.T, M.T, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Ir. Zurkiyah, M.T, selaku Dosen Pembimbing 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 Pembimbing I dan Penguji, serta selaku Wakil Dekan I Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji, serta selaku Ketua Prodi Teknik Sipil yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Hj. Irma Dewi, S.T, MSi, selaku Sekretaris Prodi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansury, S.T, M.T. 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 keteknik sipil kepada penulis.
8. Teristimewa sekali kepada Ayahanda Sutarno, Ibunda Sukria.SST, M Kes, adik-adik tersayang Hunafa, Rabela yang telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi saya, serta mendukung dan meyemangati saya.
9. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Terimakasih kepada teman-teman seperjuangan saya Denny Azhari, Abdur Razak Purba, Muhammad Sukron Sitorus, Marwan Syahputra, dan selaku keluarga besar kelas B1 pagi, kelas Transportasi serta kelas pagi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Terimakasih kepada keluarga dan sahabat-sahabat yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu yang telah banyak membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

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.

Akhir kata penulis mengucapkan terima kasih dan rasa hormat yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini. Semoga Tugas Akhir bisa memberikan manfaat bagi kita semua terutama bagi penulis dan juga bagi teman-teman mahasiswa Teknik Sipil khususnya. Aamiin.

Wassalamu'Alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Medan, 8 Januari 2019



Rengga Yonni

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Aspal	5
2.1.1 Fungsi Aspal	5
2.1.2 Jenis Aspal	6
2.1.3 Klasifikasi Aspal	7
2.1.4 Campuran Beraspal	9
2.1.4.1. Jenis Campuran Beraspal	9
2.2. <i>Fly-Ash</i>	10
2.2.1. <i>Filler Fly-Ash</i>	10
2.2.2. Sifat Kimia <i>Fly-Ash</i>	11
2.3. <i>Crumb Rubber</i>	11
2.3.1. Sifat Kimia <i>Crumb Rubber</i>	12
2.4. Agregat	12
2.4.1. Jenis-Jenis Agregat	13
2.4.2. Ukuran Butir Agregat	13
2.4.3. Sifat Agregat	14
2.4.4. Gradasi	15
2.4.5. Gradasi Agregat Gabungan	17
2.4.6. Bentuk Butir Agregat	18
2.4.7. Pengujian Agregat	19

2.4.7.1. Pengujian Analisis Ukuran Butir (gradasi)	10
2.4.7.2. Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>) dan Penyerapan	21
2.4.7.3. Pemeriksaan Daya Lekat Agregat Terhadap Aspal	24
2.4.8. Metode Pengujian Rencana Campuran	24
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Bagan Alir Metode Penelitian	29
3.2. Metode Penelitian	30
3.3. Material Untuk Penelitian	30
3.4. Pengumpulan Data	30
3.5. Prosedur Penelitian	30
3.6. Pemeriksaan Bahan Campuran	31
3.6.1. Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar Dan Halus	31
3.6.2. Pemeriksaan Terhadap Aspal	31
3.6.3. Alat Yang Digunakan	32
3.7. Prosedur Kerja	33
3.7.1. Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	33
3.7.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji	34
3.7.3. Metode Pengujian Sampel	35
3.7.4. Penentuan Berat Jenis <i>Bulk Gravity</i>	36
3.7.5. Pengujian Stabilitas Dan Kelelehan (<i>Flow</i>)	36
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1. Pemeriksaan Aspal	38
4.2. Pemeriksaan Agregat	38
4.2.1. Analisis Saringan	38
4.2.2. Perhitungan Berat Jenis Agregat	46
4.3. Pemeriksaan Benda Uji	50
4.3.1. Perhitungan Parameter Pengujian	50
4.3.1.1. <i>Bulk Density</i>	54
4.3.1.2. Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	55
4.3.1.3. Rongga Terisi Aspal (<i>Void Fill Bitumen/ VFB</i>)	58
4.3.1.4. Stabilitas <i>Marshall</i>	60
4.3.1.5. Kelelehan (<i>Flow</i>)	62
4.3.1.6. Rongga Dalam Campuran (<i>VIM</i>)	64
4.3.1.7. Kadar Aspal Optimum	66
4.3.1.8. Hasil Pada Kondisi Optimum	66
4.4.. Pembahasan Dan Analisis	68
4.4.1. Perbandingan Sifat <i>Marshall</i>	68
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	75
5.2. Saran	75
DAFTAR PUSTAKA	76
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Viskositas	7
Tabel 2.2	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Hasil <i>RFTOT</i>	8
Tabel 2.3	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi	8
Tabel 2.4	Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal	18
Tabel 2.5	Ukuran Saringan Menurut <i>ASTM</i>	20
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70	38
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) 1 Inch	39
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) $\frac{3}{4}$.Inch	39
Tabel 4.4	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) $\frac{1}{2}$.Inch	40
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu (<i>Cr</i>)	40
Tabel 4.6	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>)	41
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Abu Batu Bara (<i>Fly Ash</i>)	41
Tabel 4.8	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Untuk Campuran Normal	42
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Berat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Campura Normal	43
Tabel 4.10	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Untuk Campuran Abu Batu Bara (<i>fly ash</i>) Sebanyak 2% pada <i>filler</i> .	44
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2%	45
Tabel 4.12	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Dan Penambahan <i>Crum Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7%	45
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda	

Uji Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7%	46
Tabel 4.14 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar CA 1 Inch	46
Tabel 4.15 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar MA ¾ Inch	47
Tabel 4.16 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar FA ½ Inch	48
Tabel 4.17 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu (<i>Cr</i>)	48
Tabel 4.18 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>)	49
Tabel 4.19 Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus <i>Fly-ash</i>	50
Tabel 4.20 Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Beton Aspal Tanpa Menggunakan <i>Filler</i>	53
Tabel 4.21 Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Beton Aspal Optimum 6,06% Menggunakan <i>Fly-ash</i> Sebanyak 2%	53
Tabel.4 22 Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Beton Aspal Menggunakan Aspal Optimum 6,06% Menggunakan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7%	53
Tabel 4.23 Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Aspal Optimum 6,06% menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7%	54
Tabel 4.24 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Aspal Normal	67
Tabel 4.25 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2%	67
Tabel 4.26 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Kadar Aspal Optimum Menggunakan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> Sebanyak 3%, 4%, 5%, 6%, 7%	68
Tabel 4.27 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> Sebanyak 3%, 4%, 5%, 6%, 7%	68

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis Gradasi Agregat	17
Gambar 2.2	Contoh Tipikal Macam-Macam Gradasi Agregat	17
Gambar 2.3	Tipikal Bentuk Butir Kubikal, Lonjong & Pipih	19
Gambar 2.4	Berat Jenis Agregat	21
Gambar 2.5	Hubungan Volume Dan Rongga Density Benda Uji Campuran Aspal Panas Padat	24
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	29
Gambar 4.1	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Campuran Normal	42
Gambar 4.2	Grafik Hasil Kombinasi Agregat Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2%	44
Gambar 4.3	Grafik Aspal Normal Terhadap Nilai <i>Density</i> (Kg)	54
Gambar 4.4	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Terhadap Nilai <i>Density</i> (Kg)	55
Gambar 4.5	Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap Nilai <i>Density</i> (Kg)	55
Gambar 4.6	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap Nilai <i>Density</i> (Kg)	56
Gambar 4.7	Grafik Aspal Normal Terhadap VMA (%) Aspal	56
Gambar 4.8	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Terhadap VMA (%)	57
Gambar 4.9	Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap VMA (%)	57
Gambar 4.10	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap VMA (%)	58
Gambar 4.11	Grafik Aspal Normal Terhadap VFB (%)	58
Gambar 4.12	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Terhadap VFB (%)	59

Gambar 4.13	Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap VFB (%)	59
Gambar 4.14	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap VFB (%)	60
Gambar 4.15	Grafik Aspal Normal Terhadap Stabilitas	60
Gambar 4.16	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Terhadap Stabilitas	61
Gambar 4.17	Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap Stabilitas	61
Gambar 4.18	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap Stabilitas	62
Gambar 4.19	Grafik Aspal Normal Terhadap Kelelehan (<i>Flow</i>)	62
Gambar 4.20	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Terhadap Flow (<i>Flow</i>)	63
Gambar 4.21	Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap Kelelehan (<i>Flow</i>)	63
Gambar 4.22	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap Kelelehan (<i>Flow</i>)	64
Gambar 4.23	Grafik Aspal Normal Terhadap VIM	64
Gambar 4.24	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Terhadap VIM	65
Gambar 4.25	Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap VIM	65
Gambar 4.26	Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan <i>Fly-ash</i> 2% Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> 3%, 4%, 5%, 6%, 7% Terhadap VIM	66
Gambar 4.27	Rentang Kadar Aspal Normal Yang Memenuhi Spesifikasi	66

Gambar 4.28	Perbandingan Nilai <i>Bulk Density</i> Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i> Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , Dan KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i>	69
Gambar 4.29	Perbandingan Nilai <i>Stability</i> Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i> Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , Dan KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i>	70
Gambar 4.30	Perbandingan Nilai <i>Flow</i> Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i> Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , Dan KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i>	71
Gambar 4.31	Perbandingan Nilai <i>VIM</i> Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i> Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , Dan KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i>	72
Gambar 4.32	Perbandingan Nilai <i>VFB</i> Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i> Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , Dan KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i>	73
Gambar 4.33	Perbandingan Nilai <i>VMA</i> Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i> Dan Penambahan <i>Crumb Rubber</i> , Dan KAO Menggunakan <i>Fly-ash</i>	74

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>
PI	= <i>Penetration Index</i>
PRD	= <i>Persentage Refusal Density</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan raya merupakan prasarana transportasi darat yang memegang peranan yang penting dalam sektor perhubungan terutama untuk kesinambungan distribusi barang dan jasa, baik untuk suatu daerah maupun daerah lainnya. Prasarana transportasi darat tersebut dan didukung dengan suatu sistem transportasi yang baik dan bermanfaat adalah syarat yang penting untuk perkembangan dan kesejahteraan masyarakat baik masyarakat di kota maupun di desa.

Sebagian besar kegiatan transportasi manusia menggunakan jalan raya. Pengaruh yang besar tersebut mengakibatkan jalan raya memegang peranan penting dalam meningkatkan kesejahteraan dan perekonomian serta pembangunan. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan.

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

Dalam hal ini penulis mendasarkan penelitian pada kondisi jalan di Indonesia yang mengalami deformasi bentuk akibat gaya tekan yang besar dan pengaruh cuaca di Indonesia yang beriklim tropis dengan jumlah curah hujan yang cukup tinggi. Sehingga penulis membuat terobosan baru tentang penelitian yang mengkombinasikan aspal penetrasi 60/70 dengan *crumb rubber* yang berasal dari

limbah karet ban untuk melihat pengaruh yang terjadi pada kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air.

Crumb rubber merupakan karet ban yang tidak terpakai lagi yang dikategorikan sebagai limbah. *Crumb rubber* ini biasanya berbentuk partikel-partikel halus yang keberadaannya dapat dimanfaatkan. Seiring dengan kemajuan teknologi maka saat ini keberadaan *crumb rubber* tidak hanya sebagai limbah yang tidak bermanfaat tetapi telah dipergunakan untuk campuran aspal.

Fly-ash atau abu terbang batubara yang merupakan sisa-sisa pembakaran batubara, yang dialirkan dari ruang pembakaran melalui ketel berupa semburan asap, yang telah digunakan sebagai bahan campuran pada beton. *Fly-ash* sendiri tidak memiliki kemampuan mengikat seperti halnya semen. Tetapi dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang dikandung oleh *fly-ash* akan bereaksi secara kimia dengan kalsium hidroksida yang terbentuk dari proses hidrasi semen dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat.

Dari hal tersebut maka penulis akan mengkombinasikan aspal dengan *crumb rubber* dan menggunakan *fly-ash* sebagai *filler*, dalam hal ini aspal penetrasi 60/70 dengan *crumb rubber* akan memberikan dampak yang baik dan diharapkan dapat diperoleh aspal campuran yang memiliki kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air yang lebih baik.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakteristik sifat *marshall* kadar aspal optimum menggunakan *filler fly-ash* dan penambahan *crumb rubber*.
2. Variasi campuran manakah yang memenuhi spesifikasi Dinas Bina Marga 2010 (Revisi 3).

1.3. Ruang Lingkup Penelitian

Didalam penelitian ini penulis memberikan batasan-batasan masalah di dalam penelitian. Untuk menghindari pembahasan yang terlalu luas dan untuk memberikan arah yang lebih baik serta memudahkan dalam penyelesaian masalah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.

1. Penelitian ini hanya meneliti sifat *marshall* kadar aspal optimum yang didapat kemudian divariasikan menggunakan *fly-ash* dan penambahan *crumb rubber*.
2. Penelitian yang dilakukan hanya terbatas pada pengujian di laboratorium dan tidak melakukan percobaan di lapangan.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk mengetahui apakah dengan didapatnya kadar aspal optimum dan menggunakan *fly-ash* sebagai *filler* dan penambahan *crumb rubber* tujuan percobaan ini memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Dinas Bina Marga.
2. Untuk mengetahui pengaruh campuran *fly-ash* sebagai *filler* dan penambahan *crumb rubber* pada aspal penetrasi 60/70 terhadap kekuatan tekan standar rujukan RSNI M-01-2003, dengan kadar *crumb rubber* 3% - 4% - 5% - 6% - 7% dan *fly-ash (filler)* 2%.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat ditinjau dari:

1. Aspek keilmuan atau akademis
Penelitian ini berhubungan dengan mata kuliah Material Teknik. Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan yang luas serta mengembangkan pola pikir tentang aspal *crumb rubber* dan *fly-ash* 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 dan juga curah hujan yang tinggi.

3. Untuk memanfaatkan potensi alam *crumb rubber* (karet remah) yang berasal dari limbah karet ban dan *fly-ash* dari sisa-sisa pembakaran batubara.

1.6. Sistematika Penulisan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

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

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-BC dengan penambahan *crumb rubber* dan *fly-ash*.

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.

BAB 4 ANALISIS DATA

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

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. Aspal

Aspal adalah bahan hidrokarbon yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air, dan visioelastis. Aspal sering juga disebut bitumen merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur. Aspal berasal dari alam atau dari pengolahan minyak bumi.

Aspal atau bitumen adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur mempunyai sifat viskoelastis. Aspal tampak padat pada suhu ruang padahal adalah cairan yang sangaaat kental. Aspal merupakan bahan yang sangat kompleks, dan secara kimia belum dikarakterisasi dengan baik. Kandungan utama aspal adalah senyawa karbon jenuh, dan tak jenuh, alifatik, dan aromatic yang mempunyai atom karbon sampai 150 per molekul. Atom-atom selain hidrogen, dan karbon yang juga menyusun aspal adalah nitrogen, oksigen, belerang, dan beberapa atom lain. Secara kuantitatif, biasanya 80% massa aspal adalah karbon, 10% hydrogen, 6% belerang, dan sisanya oksigen, dan nitrogen, serta sejumlah renik besi, nikel, dan vanadium. Senyawa-senyawa ini sering dikelaskan atas aspalten (yang massa molekulnya kecil), dan malten (yang massa molekulnya besar). Biasanya aspal mengandung 5% sampai 25% aspalten. Sebagian besar senyawa di aspal adalah senyawa polar.

2.1.1. Fungsi Aspal

Fungsi aspal adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengikat batuan agar tidak lepas dari permukaan jalan akibat lalu lintas (*water proofing, protect* terhadap erosi).
2. Sebagai bahan pelapis dan perekat agregat.

3. Lapis resap pengikat (*primecoat*) adalah lapisan tipis aspal cair yang diletakan di atas lapis pondasi sebelum lapis berikutnya.
4. Lapis pengikat (*tackcoat*) adalah lapis aspal cair yang diletakan di atas jalan yang telah beraspal sebelum lapis berikutnya dihampar, berfungsi pengikat di antara keduanya.
5. Sebagai pengisi ruang yang kosong antara agregat kasar, agregat halus, dan *filler*.

2.1.2. Jenis Aspal

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

1. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang berasal langsung dari alam tanpa melewati serangkaian proses pengolahan yang rumit. Aspal alam yang berbentuk batuan bisa diperoleh di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Aspal alam yang bersifat plastis bisa ditemukan di Danau Pitch, Republik Trinidad. Sedangkan aspal yang memiliki wujud berada di sekitar perairan segitiga Bermuda. Berbeda dengan segitiga Bermuda yang mengandung aspal murni, kandungan aspal yang terdapat di Pulau Buton dan Danau Pitch tidak murni dan tercampur dengan mineral yang lain.

2. Aspal Buatan

Aspal buatan adalah aspal yang terbuat dari minyak bumi yang diproses sedemikian rupa menggunakan metode tertentu. Seluruh rangkaian proses pengolahan tersebut biasanya dilaksanakan di pabrik khusus pembuatan aspal. Ada 3 jenis aspal buatan, yaitu :

- a. Aspal keras adalah aspal yang mempunyai tingkat kekerasan yang tinggi. Penetrasi yang dimiliki oleh aspal ini berkisar antara 60-80. Aspal keras umumnya dipakai menjadi bahan baku pembentuk jalan aspal. Kegunaan lain dari aspal keras yaitu sebagai bahan pembuatan AC (*Asphalt Cement*).
- b. Aspal cair adalah aspal yang memiliki wujud cair. Paling sering aspal ini dimanfaatkan untuk keperluan pengikatan bahan bangunan. Aspal yang digunakan

sebagai lapis resap pengikat (*prime coat*) yaitu aspal tipe MC-30, MC-70, atau MC-250. Sementara itu, tipe aspal yang dipakai untuk lapis pengikat (*tack coat*) antara lain RC-70 atau RC-250.

c. Aspal emulsi adalah aspal yang terbentuk dari aspal keras yang di-dispersikan ke dalam air atau aspal cair yang dikeraskan memakai bahan pengemulsi. Hasilnya diperoleh aspal yang mengandung muatan listrik positif (kationik), listrik negatif (anionik), serta tidak bermuatan listrik (nonionik). Kelebihan-kelebihan dari aspal emulsi ialah gampang digunakan, memiliki daya ikat yang baik, dan tahan terhadap cuaca yang ekstrim.

2.1.3. Klasifikasi Aspal

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

Tabel 2.1: Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Viskositas (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002)

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

Tabel 2.2: Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Hasil RTFOT (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

Tabel 2.3: Klasifikasi Aspal Berdasarkan Penetrasi (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

2.1.4. Campuran Beraspal

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

2.1.4.1. Jenis Campuran Beraspal

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

1. Laston (lapisan aspal beton / AC / *Asphalt Concrete*) Laston adalah lapis permukaan atau lapis fondasi yang terdiri atas tiga lapisan yaitu:

- a. Lapis fondasi (AC-Base / *Asphalt Concrete-Base*):
adalah lapisan pertama yang berfungsi sebagai fondasi jalan.
- b. Lapis permukaan antara (AC-BC / *Asphalt Concrete-Binder Course*):
adalah lapisan kedua yang berada di antara AC-Base dan AC-WC yang berfungsi untuk mengikat kedua lapisan tersebut.
- c. Lapis aus (AC-WC / *Asphalt Concrete-Wearing Course*):
adalah lapisan ketiga yang berfungsi sebagai penahan keausan akibat berat kendaraan, gesekan ban kendaraan dan pengaruh cuaca.

2. Lataston (lapis tipis aspal beton / HRS / *Hot Rolled Sheet*) Lataston adalah lapis permukaan berupa mortar pasir aspal yang diberi sisipan butiran kasar dari agregat yang bergradasi senjang dengan dominasi pasir dan aspal keras, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu.

- a. Lapis fondasi (HRS-Base / *Hot Rolled Sheet-Base*) :adalah lapisan pertama yang berfungsi sebagai fondasi jalan.
- b. Lapis aus (HRS-WC / *Hot Rolled Sheet-Wearing Course*) : adalah lapisan kedua yang berfungsi sebagai penahan keausan akibat berat kendaraan, gesekan ban kendaraan dan pengaruh cuaca.

3. Latasir (lapis tipis aspal pasir / *Sand Sheet*) Latasir adalah lapis penutup permukaan jalan yang terdiri atas agregat halus atau pasir atau campuran keduanya

dan aspal keras yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu.

2.2. Fly-Ash

Abu terbang adalah limbah padat yang terdiri dari partikel-partikel halus yang muncul dengan gas buang pembakaran dan diangkut dari ruang batubara pada pembangkit listrik tenaga uap. Pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) melakukan proses pembakaran batubara dengan cara ditumbuk dan ditiup dengan udara ke ruang bakar boiler di mana ia segera menyatu, menghasilkan panas dan memproduksi residu mineral cair. Tabung boiler mengekstrak panas dari boiler pendinginan gas buang dan menyebabkan residu mineral cair yang mengeras dengan membentuk abu. Partikel abu kasar disebut sebagai *bottom-ash* atau slag jatuh ke bagian bawah ruang pembakaran, sementara ringan partikel abu halus disebut *fly-ash* tetap tersuspensi dalam gas buang. Sebelum melelehkan gas buang *fly-ash* dihapus oleh perangkat kontrol emisi partikulat seperti debu elektrostatis atau rumah kantong kain filter. Jadi sisa hasil pembakaran dengan batubara menghasilkan abu yang disebut dengan *fly-ash* dan *bottom-ash*.

2.2.1. Filler Fly-Ash

Abu terbang ini paling sering digunakan sebagai pozzolan dalam aplikasi PCC. Pozzolans adalah bahan mengandung silika atau silika dan alumina, yang dalam bentuk halus yang terpisah dan di hadapan air, bereaksi dengan kalsium hidroksida pada suhu biasa menghasilkan senyawa semen. oleh karena itu *fly-ash* dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan daya tahan lapisan aspal. Keuntungan lain dari abu terbang yang mutunya baik ialah dapat meningkatkan ketahanan dan keawetan campuran aspal terhadap ion sulfat dan juga dapat menurunkan panas hidrasi semen.

Abu terbang batubara umumnya dibuang di ash lagoon atau ditumpuk didalam area industri. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan. Saat ini abu terbang digunakan dalam pabrik

semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang beragam, yaitu:

1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. *Recovery magnetic, cenosphere*, dan karbon
3. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan *refraktori*
4. Bahan penggosok (*polisher*)
5. *Filler* aspal, plastik, dan kertas
6. Konversi menjadi *zeolit dan adsorben*

2.2.2. Sifat Kimia Fly-Ash

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik antara lain silica (SiO_2), alumina (Al_2O_3), fero oksida (Fe_2O_3) dan kalsium oksida (CaO) dan juga mengandung unsur tambahan lain yaitu magnesium oksida (MgO), titanium oksida (TiO_2), alkalin (Na_2O dan K_2O), sulfur trioksida (SO_3), pospor oksida (P_2O_5) dan karbon.

2.3. Crumb Rubber

Serat limbah ban karet yang terkadang disebut serbuk ban bekas yang diistilahkan dengan "*tire crumb*" atau "*crumb rubber*" adalah produk yang ramah lingkungan karena diperoleh dari ban bekas, dan tidak larut dalam tanah ataupun air tanah. Selain mengurangi jumlah limbah karet yang terbuang ke lingkungan, pemakaian kembali limbah produk karet tertentu, dapat menekan harga karet sebagai salah satu komponen penting penentu harga produk jadi yang dihasilkan.

Serbuk-serbuk ban bekas adalah suatu jaringan tiga dimensi atau suatu produk ikatan silang dari karet alam dan karet sintesis, diperkuat dengan karbon *black* yang menyerap minyak encer dari semen aspal selama reaksi yang dapat mengalami pengembangan (*swelling*) dan pelunakan (*softening*) dari serbuk ban bekas.

Serbuk ban bekas diukur dalam mesh atau inci dan umumnya karet ukurannya 3/8 inci atau lebih kecil. Ukuran serbuk dapat diklasifikasikan dalam empat kelompok yaitu:

1. Besar atau kasar (3/8" dan 1/4 inci)

2. Sedang (10-30 mesh atau 0,079 – 0,023 inci)
3. Baik (40-80 mesh atau 0,016 – 0,007 inci)
4. Sangat baik (100-200 mesh atau 0,006 – 0,003 inci)

Ukuran partikel dan distribusi ukuran tergantung dari kebutuhan serbuk ban bekas dan penggunaannya. Dari data penjualan pada industri serbuk ban bekas, pemakaiannya 14% untuk ukuran kasar, 52% untuk ukuran sedang, 22% untuk ukuran baik dan 12% untuk ukuran sangat baik.

Dari hasil penelitian dan literatur menyatakan bahwa (1/4 – 0,033 inchi) adalah baik digunakan untuk aplikasi dalam bidang olah raga, keset kaki, tanah berumput, bahan untuk tempat bermain dan hasil campuran (*molded*). Untuk ukuran baik (0,016 – 0,007 inchi) sangat berpotensi untuk menghasilkan komposit yang baik dengan proses pencetakan.

Serbuk ban bekas merupakan bahan yang diperoleh dari ban yang tidak digunakan lagi, diparut lolos saringan # 16 (0,0469 inchi). Ban bekas merupakan bahan padat dengan kekenyalan dan bersifat lentur. Susunan dari serbuk ban bekas terdiri dari bahan non organik yang mempunyai sifat sebagian besar bahannya tidak mudah membusuk. Hal ini disebabkan karena memiliki rantai kimia yang panjang dan kompleks.

2.3.1. Sifat Kimia *Crumb Rubber*

Unsur kimia dominan yang terdapat pada serbuk ban bekas adalah *Sulfur* (S) sebesar 0,455 %, *Silika* (SiO₂) sebesar 0,422 %, *Karbon* (C) sebesar 94,83 % dengan berat jenis 0,94695.

2.4. Agregat

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

2.4.1. Jenis-jenis Agregat

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

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

2.4.2. Ukuran Butir Agregat

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

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

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

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

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

2.4.3. Sifat Agregat

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

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

2.4.4. Gradasi

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

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

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

Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

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

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

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

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

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

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

Dengan pengertian

d = Ukuran saringan yang ditinjau

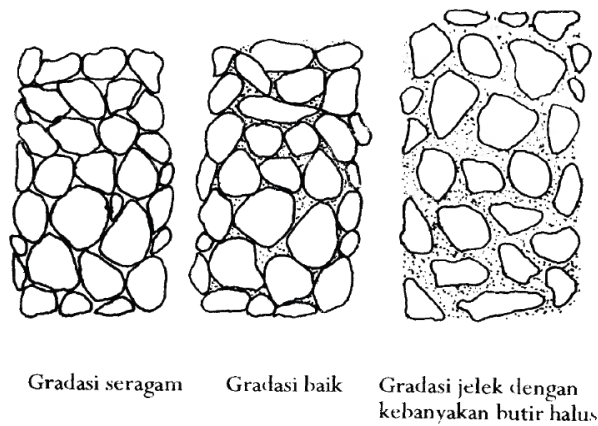
D = Ukuran agregat maksimum dari gradasi tersebut

n = 0,35 – 0,45

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

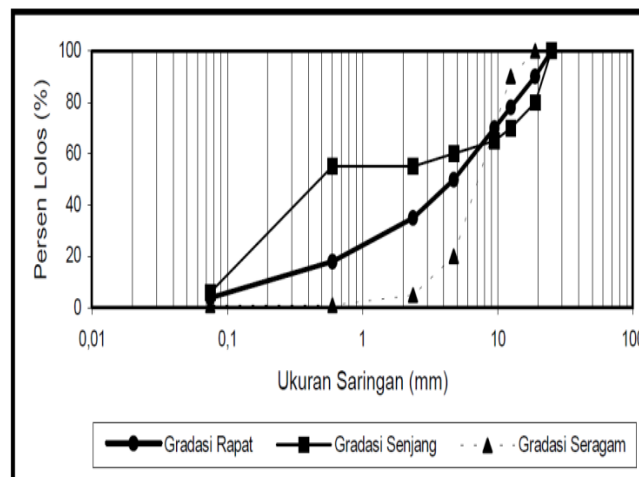
3. Gradasi senjang (*gap graded*)

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



Gambar 2.1: Jenis Gradasi Agregat (Sukirman, 1999).

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



Gambar 2.2: Contoh Tipikal Macam-Macam Gradasi Agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.4.5. Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang

diberikan dalam Tabel 2.4. Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.4.

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

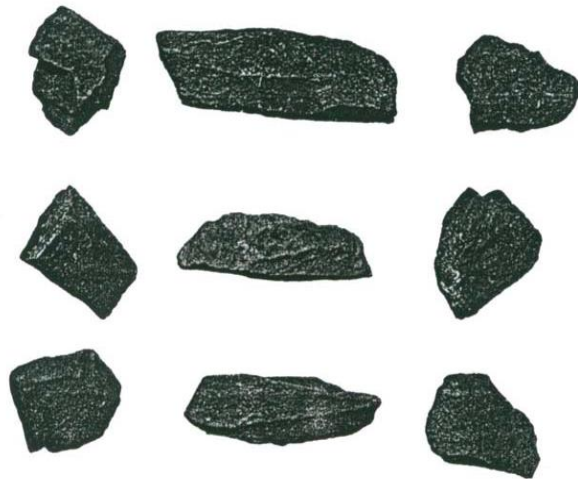
Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang lolos Terhadap total Agregat Dalam campuran								
	Latasir (SS)		Latasir (HRS)				Laston (AC)		
	Kelas A	Kelas B	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang		WC	BC	Base
WC			Base	WC	Base				
37.5									
25							100	90-100	
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-100
12.5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

2.4.6. Bentuk Butir Agregat

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

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

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



Gambar 2.3: Tipikal Bentuk Butir Kubikal, Lonjong, Dan Pipih (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.4.7. Pengujian Agregat

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

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

mudah didapatkan tetapi menyebabkan campuran beraspal relatif rendah kekuatannya.

2.4.7.1. Pengujian Analisis Ukuran Butir (gradasi)

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

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

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

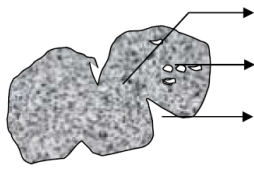
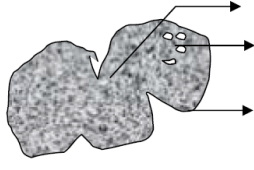
Tabel 2.5: Ukuran Saringan Menurut ASTM (Departemen Peremukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang lolos Terhadap total Agregat Dalam campuran								
	Latasir (SS)		Latasir (HRS)				Laston (AC)		
	Kelas A	Kelas B	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang		WC	BC	Base
		WC	Base	WC	Base	WC	BC	Base	
37,5									
25							100	90-100	
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-100
12,5			90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	75-90	60-78
9,5	90-100		75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71
4,75							53-69	46-64	35-54
2,36		75-100	50-75	35-55	50-62	32-44	33-53	30-49	23-41
1,18							21-40	18-38	13-30
0,6			35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22
0,3					15-35	5-35	9-22	7-20	6-15
0,15							6-15	5-13	4-10
0,075	10-15	8-13	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7

2.4.7.2. Berat Jenis (*Specific Gravity*) dan Penyerapan

1. Berat Jenis

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

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

Gambar 2.4: Berat Jenis Agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

Berat Jenis dapat dinyatakan dengan Pers. 2.2 – 2.12:

Berat Jenis Semu:

$$G_{sa} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} \quad (2.2)$$

Berat Jenis Curah:

$$G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp}) \cdot \gamma_w} \quad (2.3)$$

Berat Jenis Efektif:

$$Gse = \frac{Ws}{(Vs+Vpp-Vap).\gamma_w} \quad (2.4)$$

Dengan pengertian:

W_s = Berat agregat kering

γ_w = Berat Isi air = 1 g/cm³

V_s = Volume bagian padat agregat

V_{pp} = Volume pori meresap aspal

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

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

1. Berat Jenis dan penyerapan agregat kasar

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

Berat Jenis Curah (*bulk specific gravity*) =

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

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

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

Berat Jenis semu (*apparent specific gravity*) =

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

Penyerapan (*absorsi*) =

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

Dengan pengertian:

B_k = Berat benda uji kering oven, dalam gram

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram

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

2. Berat Jenis dan penyerapan agregat halus

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

Berat Jenis Curah (*bulk specific gravity*) =

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

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

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

Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) =

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

Penyerapan (*absorsi*) =

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

Dengan pengertian :

B_k = Berat benda uji kering oven, dalam gram

B = Berat piknometer berisi air, dalam gram

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

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

3. Penyerapan (*absorpsi*)

Agregat hendaknya sedikit berpori agar dapat menyerap aspal, sehingga terbentuklah suatu ikatan mekanis antara *film-aspal* dan butiran batu. Agregat

berpori banyak akan menyerap aspal besar sehingga tidak ekonomis. Agregat berpori terlalu besar umumnya tidak dapat digunakan sebagai campuran beraspal.

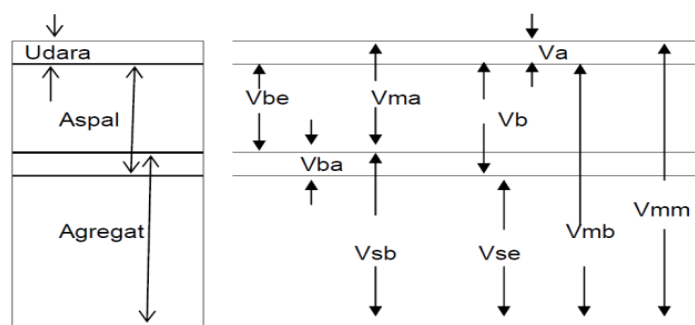
2.4.7.3. Pemeriksaan Daya Lekat Agregat Terhadap Aspal

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

2.4.8. Metode Pengujian Rencana Campuran

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

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



Gambar 2.5: 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, 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. Campuran perkerasan yang cukup padat akan memberikan volume pori yang

kecil dan perkerasan yang cukup kaku sehingga perkerasan akan mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban lalu lintas.

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

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

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

Keterangan:

VIM = Rongga udara dalam campuran

G = Berat jenis maksimum dari campuran

H = Berat jenis yang telah dipadatkan

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

3. Rongga udara antara agregat (VMA)

VMA menggambarkan ruangan yang tersedia untuk menampung volume efektif aspal dan volume rongga udara yang dibutuhkan untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air atau beban lalu lintas.

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

Nilai VMA ini dapat dihitung dengan menggunakan Pers. 2.17:

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

Keterangan:

VMA = Rongga udara antara agregat

G = Berat jenis maksimum dari campuran

B = Berat jenis campuran yang telah di padatkan

4. Rongga terisi aspal (VFB)

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

Nilai VFB ini dapat dihitung dengan menggunakan Pers. 2.18:

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

VFB = Rongga terisi aspal

I = Rongga udara dalam campuran

K = Rongga udara antar agregat

5. *Marshall stability*

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

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.

7. *Absorpsi* (penyerapan)

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

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

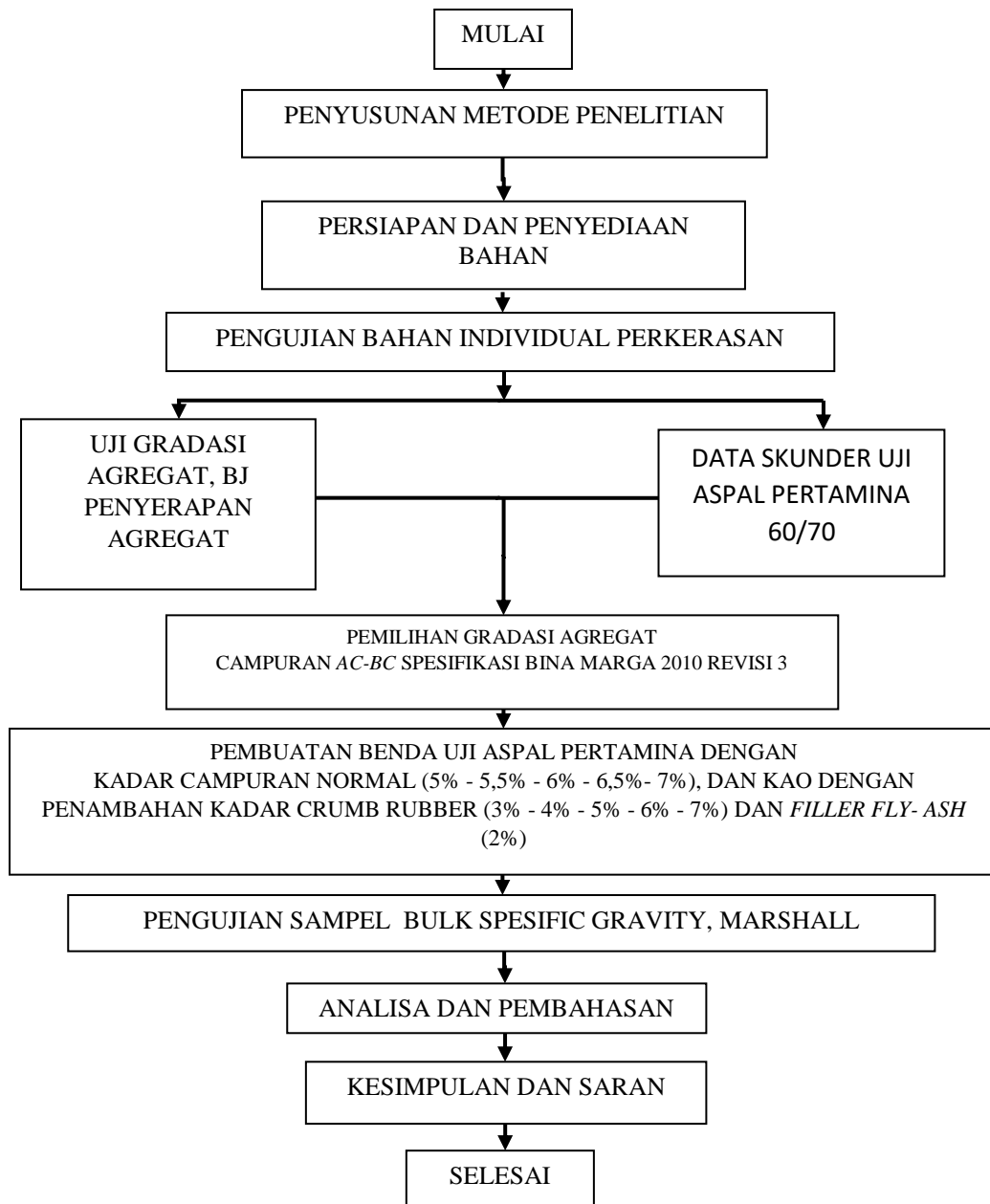
Absorpsi dalam campuran tidak boleh besar, hal ini untuk meminimalkan potensi *stripping* atau pelemahan ikatan antara aspal dan agregat.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Metode Penelitian

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



Gambar 3.1: Bagan Alir Penelitian

3.2 Metode Penelitian

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

3.3 Material Untuk Penelitian

Bahan dan material yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Agregat kasar, Agregat halus, Aspal Pertamina, yang di dapatkan dari *Asphalt Mixing Plant* PT. Bangun Cipta Kontraktor. Dan bahan campuran pada aspal *crumb rubber* di dapatkan dari PT. Alkarin Mariendal. Dan *filler* yang di gunakan adalah *fly-ash* yang di dapatkan dari Indonesia Power Pangkalan Susu.

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 contoh campuran lapis aspal beton *AC-BC*.
4. Merencanakan contoh campuran dengan pembuatan sampel benda uji.
5. Melakukan pengujian dengan alat *Marshall test*.
6. Analisa hasil pengujian sehingga diperoleh hasil dari pengujian.

3.6 Pemeriksaan Bahan Campuran

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

3.6.1 Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar dan Halus

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

1. Diperlukan analisa saringan untuk agregat kasar maupun agregat halus, dimana prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T47-82 atau SNI 03-1968-1990.
2. Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat kasar dengan prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T85-74 atau SNI 1969-2008.
3. Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat halus dengan prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T84-74 atau SNI 1970-2008.
4. Pengujian pemeriksaan sifat-sifat campuran dengan *Marshall test* prosedur pemeriksaan mengikuti RSNI M 01-2003.
5. Metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat.
6. Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075) dengan prosedur pemeriksaan mengikuti SNI 03-4142-1996.

3.6.2 Pemeriksaan Terhadap Aspal

Aspal yang digunakan terdiri dari aspal minyak. Aspal minyak diambil dari *Asphalt Mixing Plant* PT. Bangun Cipta Kontraktor. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70.

Pemeriksaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan penetrasi aspal mengikuti prosedur (SNI 2456-2011) untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal. Kekerasan aspal diukur dengan menggunakan jarum penetrasi standart yang masuk kedalam permukaan aspal umumnya dilakukan pada suhu 25°C, dengan berat beban jarum 100 gr dalam jangka waktu 5 detik. Semakin besar angka penetrasi aspal maka aspal tersebut semakin lunak, dan penetrasi dilakukan setelah kehilangan berat.

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

3.6.3 Alat Yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan antara lain:

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

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

3.7 Prosedur Kerja

3.7.1 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

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

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

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

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

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

3.7.2 Tahapan Pembuatan Benda Uji

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

- Meletakkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan.
- Memadatkan 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 benda uji dikeluarkan dari cetakan dengan menggunakan *Extruder* dan meletakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan memberi tanda pengenal serta dibiarkan 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 Gravity*

Setelah benda uji selesai, kemudian dikeluarkan dengan menggunakan *extruder* dan didinginkan. Berat isi untuk benda uji tidak porus atau gradasi

menerus dapat ditentukan menggunakan benda uji kering permukaan jenuh (SSD). Pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 03-6557-2002 metode pengujian berat jenis nyata campuran berasal didapatkan menggunakan benda uji kering permukaan jenuh.

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

Adapun proses tahapan penimbangan sebagai berikut:

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

3.7.5 Pengujian Stabilitas Dan Kelelahan (*Flow*)

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

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

4. Sampel percobaan yang telah direndam dalam *water bath* diletakkan ditengah bagian bawah dari *test head*. *Flow* meter diletakkan diatas tanpa *guide road* dan jarum petunjuk dinolkan.
5. Memasang bagian atas alat penekan uji *Marshall* di atas benda uji dan meletakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*.
6. Memasang arloji pengukur pelelehan pada kedudukanya di atas salah satu batang penuntun dan mengatur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan.
7. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
8. Mengatur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
9. Memberikan 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 faktor pengali.
10. Mencatat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Aspal

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

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

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

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

4.2 Pemeriksaan Agregat

4.2.1 Analisis Saringan

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

Tabel 4.2: Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar (CA) 1 inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100,00
1	25,40	100,00
¾	19,00	73,78
½	12,50	38,98
3/8	9,50	18,40
No. 4	4,75	2,55
No. 8	2,36	1,42
No. 16	1,18	1,42
No. 30	0,60	1,42
No. 50	0,30	1,42
No. 100	0,15	1,42
No. 200	0,075	1,42

Tabel 4.3 : Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar (CA) ¾ inch

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100,00
1	25,40	100,00
¾	19,00	100,00
½	12,50	48,57
3/8	9,50	35,57
No. 4	4,75	4,38
No. 8	2,36	1,55
No. 16	1,18	1,55
No. 30	0,60	1,55
No. 50	0,30	1,55
No. 100	0,15	1,55
No. 200	0,075	1,55

Tabel 4.4: Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar (MA) ½ inchi

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100,00
1	25,40	100,00
¾	19,00	100,00
½	12,50	100,00
3/8	9,50	79,92
No. 4	4,75	28,12
No. 8	2,36	16,72
No. 16	1,18	10,04
No. 30	0,60	7,94
No. 50	0,30	3,22
No. 100	0,15	3,08
No. 200	0,075	1,24

Tabel 4.5: Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus Abu Batu (Cr)

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100,00
1	25,40	100,00
¾	19,00	100,00
½	12,50	100,00
3/8	9,50	100,00
No. 4	4,75	100,00
No. 8	2,36	80,20
No. 16	1,18	59,10
No. 30	0,60	45,00
No. 50	0,30	17,90
No. 100	0,15	17,60
No. 200	0,075	9,10

Tabel 4.6: Hasil Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Halus (*Sand*)

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100,00
1	25,40	100,00
¾	19,00	100,00
½	12,50	100,00
3/8	9,50	100,00
No. 4	4,75	100,00
No. 8	2,36	96,60
No. 16	1,18	87,45
No. 30	0,60	74,85
No. 50	0,30	5,40
No. 100	0,15	4,80
No. 200	0,075	0,80

Tabel 4.7: Hasil Pemeriksaan Abu Batu Bara (*fly ash*)

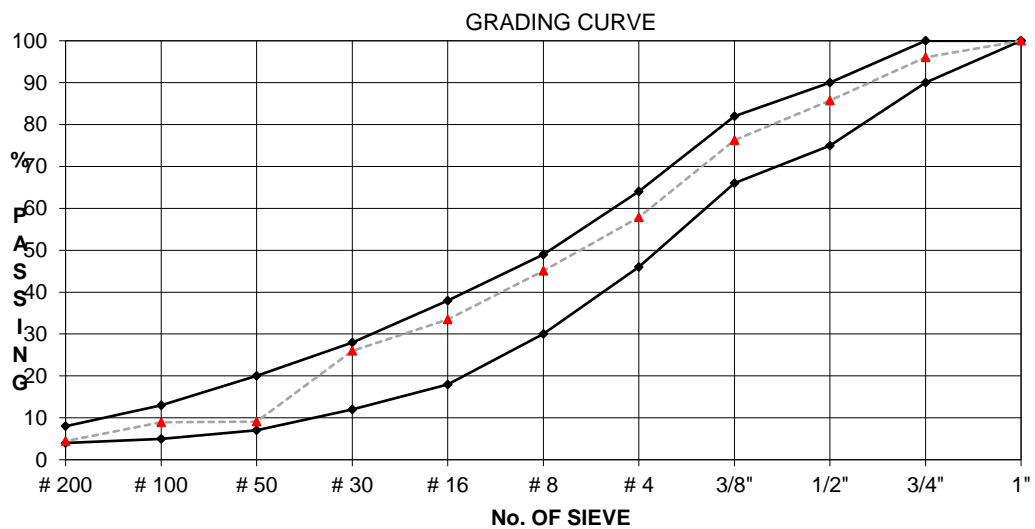
No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100,00
1	25,40	100,00
¾	19,00	100,00
½	12,50	100,00
3/8	9,50	100,00
No. 4	4,75	100,00
No. 8	2,36	100,00
No. 16	1,18	100,00
No. 30	0,60	100,00
No. 50	0,30	100,00
No. 100	0,15	100,00
No. 200	0,075	99,85

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

berada di luar Daerah Larangan (*Restriction Zone*). Dari hasil analisis saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti Tabel 4.8 dan Gambar 4.1:

Tabel 4.8: Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Untuk Campuran Normal

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			1	2	3	4	5	
			15%	10%	25%	45%	5%	100%
1 ½	100	100	15,00	10,00	25,00	45,00	5,00	100,00
1	100	100	15,00	10,00	25,00	45,00	5,00	100,00
¾	90	100	11,07	10,00	25,00	45,00	5,00	96,07
½	75	90	5,85	4,86	25,00	45,00	5,00	85,70
3/8	66	82	2,76	3,56	19,98	45,00	5,00	76,30
No. 4	46	64	0,38	0,44	7,03	45,00	5,00	57,85
No. 8	30	49			4,18	36,09	4,91	45,10
No. 16	18	38			2,51	26,60	4,64	33,48
No. 30	12	28			1,99	20,25	4,21	25,98
No. 50	7	20			0,81	8,06	3,29	9,13
No. 100	5	13			0,77	7,92	0,94	8,93
No. 200	4	8			0,31	4,10	0,14	4,45



Gambar 4.1: Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Campuran Normal

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

Data persen agregat yang di peroleh:

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

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

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

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

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

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

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

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

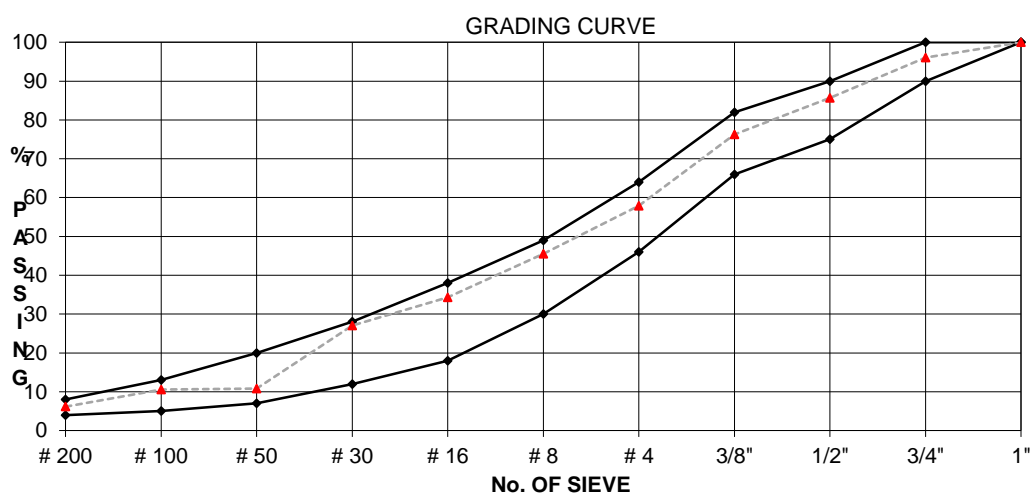
Hasil perhitungan untuk setiap sampel benda uji dengan kadar aspal dari 5% - 7% dapat dilihat pada Tabel 4.9, 4.10, dan Gambar 4.2:

Tabel 4.9: Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Campuran Normal

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	CA 1 inch (gram)	CA ¾ inch (gram)	MA ½ inch (gram)	Abu batu (gram)	Pasir (gram)
5,0%	60	171	114	285	513	57
5,5%	66	170	113	284	510	57
6,0%	72	169	113	282	508	56
6,5%	78	168	112	281	505	56
7,0%	84	167	112	279	502	56

Tabel 4.10: Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Untuk Campuran Abu Terbang Batu Bara (*flyash*) Sebanyak 2% Pada *filler*

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat						AVG
			1	2	3	4	5	6	
			15%	10%	25%	43%	5%	2%	100%
1 ½	100	100	15,00	10,00	25,00	43,00	5,00	2,00	100,00
1	100	100	15,00	10,00	25,00	43,00	5,00	2,00	100,00
¾	90	100	11,07	10,00	25,00	43,00	5,00	2,00	96,07
½	75	90	5,85	4,86	25,00	43,00	5,00	2,00	85,70
3/8	66	82	2,76	3,56	19,98	43,00	5,00	2,00	76,30
No. 4	46	64	0,38	0,44	7,03	43,00	5,00	2,00	57,85
No. 8	30	49			4,18	34,49	4,83	2,00	45,50
No. 16	18	38			2,51	25,41	4,37	2,00	34,30
No. 30	12	28			1,99	19,35	3,74	2,00	27,08
No. 50	7	20			0,81	7,70	0,27	2,00	10,77
No. 100	5	13			0,77	7,57	0,24	1,99	10,57
No. 200	4	8			0,31	3,91	0,04	1,89	6,15



Gambar 4.2: Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Menggunakan *fly-ash* 2%

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

Data persen agregat yang di peroleh:

- Agregat kasar CA 1 inch = 15 %
- Agregat kasar CA ¾ inch = 10 %
- Agregat medium MA ½ inch = 25 %
- Agregat halus abu batu (Cr) = 43 %

- Agregat halus pasir (*Sand*) = 5 %
- Abu cangkang sawit (*filler*) = 2 %

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

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

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

CA $\frac{3}{4}$ = (berat sampel-aspal) x % CA $\frac{3}{4}$ (*gram*)

MA $\frac{1}{2}$ = (berat sampel-aspal) x % MA $\frac{1}{2}$ (*gram*)

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

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

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

Hasil perhitungan untuk setiap sampel benda uji dengan kadar aspal optimum 6,05% dapat dilihat pada Tabel 4.11, Tabel 4.12 dan Gambar 4.3:

Tabel 4.11 : Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Menggunakan *fly-ash* 2%

Aspal (gram)	CA 1 inch (gram)	MA $\frac{3}{4}$ inch (gram)	FA $\frac{1}{2}$ inch (gram)	Abu batu (gram)	Pasir (gram)	<i>flyash</i> (gram)
73	169	113	282	485	56	23

Tabel 4.12: Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Menggunakan *Fly-ash* 2% Dan Penambahan *Crumb Rubber* 3% ,4%, 5%, 6%, 7%

Aspal (gram)	CA 1 inch (gram)	MA $\frac{3}{4}$ inch (gram)	Fa $\frac{1}{2}$ inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	C.Rubber (gram)	<i>Flyash</i> (gram)
73	169	113	282	485	56	2	23
73	169	113	282	485	56	3	23
73	169	113	282	485	56	4	23
73	169	113	282	485	56	4	23
73	169	113	282	485	56	5	23

Tabel 4.13: Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Kadar Aspal Optimum 6,06% Dengan Penambahan *Crumb Rubber* 3%, 4%, 5%, 6%, 7%

Aspal (gram)	CA 1 inch (gram)	MA $\frac{3}{4}$ inch (gram)	Fa $\frac{1}{2}$ inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	C.Rubber (gram)
-----------------	---------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------	-----------------	--------------------

73	169	113	282	507	56	2
73	169	113	282	507	56	3
73	169	113	282	507	56	4
73	169	113	282	507	56	4
73	169	113	282	507	56	5

4.2.2 Perhitungan Berat Jenis Agregat

1. Berat jenis agregat CA 1 inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{4920}{4945-3159} = 2,754\text{gr}$$

$$\text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} = \frac{4945}{4945-3159} = 2,768\text{gr}$$

$$\text{Berat Jenis semu} = \frac{4920}{4920-3159} = 2,793\text{gr}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{4945-4920}{4920} \times 100\% = 0,508\%$$

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

Tabel 4.14: Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar CA 1 inch

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S _d)	2,754	2,755	2,754
Berat jenis curah kering permukaan (S _s)	2,768	2,769	2,768
Berat jenis semu (S _s)	2,793	2,794	2,793
Penyerapan (S _w)	0,508	0,508	0,508

2. Berat jenis agregat MA ¾ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{2935}{2959-1860} = 2,671 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} = \frac{2959}{2959-1860} = 2,692 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Jenis semu} = \frac{2935}{2935-1860} = 2,730 \text{ gr}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{2959-2935}{2935} \times 100\% = 0,818 \%$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 12 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat MA $\frac{3}{4}$ inch dapat dilihat pada Tabel.4.15

Tabel 4.15 : Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar MA $\frac{3}{4}$ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S _d)	2,661	2,680	2,671
Berat jenis curah kering permukaan (S _s)	2,688	2,696	2,692
Berat jenis semu (S _s)	2,736	2,725	2,730
Penyerapan (S _w)	1,024	0,612	0,818

3. Berat jenis agregat MA $\frac{1}{2}$ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{1889}{1899-1156} = 2,546 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} = \frac{1899}{1899-1156} = 2,559 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Jenis semu} = \frac{1899}{1899-1156} = 2,579 \text{ gr}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{1899-1889}{1889} \times 100\% = 0,503\%$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 12 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat FA $\frac{1}{2}$ inch dapat dilihat pada Tabel.4.16.

Tabel 4.16 : Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Medium FA $\frac{1}{2}$ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S _d)	2,498	2,593	2,546
Berat jenis curah kering permukaan (S _s)	2,510	2,607	2,559
Berat jenis semu (S _s)	2,528	2,630	2,579
Penyerapan (S _w)	0,476	0,530	0,503

4. Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu (Cr)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{489}{669+500-973} = 2,505 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{500}{669+500-973} = 2,558 \text{ gr} \\ \text{Berat jenis semu} &= \frac{489}{669+489-973} = 2,648 \text{ gr} \\ \text{Penyerapan} &= \frac{(500-489)}{489} \times 100\% = 2,146 \% \end{aligned}$$

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

Tabel 4.17 : Data Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu (Cr)

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S _d)	2,54	2,47	2,505
Berat jenis curah kering permukaan (S _s)	2,60	2,51	2,558
Berat jenis semu (S _s)	2,71	2,58	2,648
Penyerapan (S _w)	2,46	1,83	2,146

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{491}{669+500-971} = 2,482 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{500}{669+500-971} = 2,525 \text{ gr} \\ \text{Berat jenis semu} &= \frac{491}{669+491-971} = 2,594 \text{ gr} \\ \text{Penyerapan} &= \frac{(500-491)}{491} \times 100\% = 1,730 \% \end{aligned}$$

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

Tabel 4.18 : Data Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Pasir (*Sand*)

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S _d)	2,49	2,47	2,482
Berat jenis curah kering permukaan (S _s)	2,54	2,51	2,525
Berat jenis semu (S _s)	2,61	2,58	2,594
Penyerapan (S _w)	1,83	1,63	1,730

6. Berat jenis agregat halus abu batu bara (*flyash*)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{491}{669+500-974} = 2,518 \text{ gr}$$

$$\text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} = \frac{500}{669+500-974} = 2,564 \text{ gr}$$

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{491}{669+491-974} = 2,640 \text{ gr}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500-491)}{491} \times 100\% = 1,835 \%$$

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

Tabel 4.19 : Data Pengujian Berat Jenis Agregat Halus *Fly-ash*.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S _d)	2,482	2,554	2,518
Berat jenis curah kering permukaan (S _s)	2,538	2,591	2,564
Berat jenis semu (S _s)	2,629	2,651	2,640

Penyerapan (S_w)	2,249	1,420	1,835
----------------------	-------	-------	-------

4.3 Pemeriksaan Benda Uji

4.3.1 Perhitungan Parameter Pengujian

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

- a. Persentase terhadap batuan = 5,3 %
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 5 %
- c. Berat sampel kering = 1172 gr
- d. Berat sampel jenuh = 1185 gr
- e. Berat sampel dalam air = 689 gr
- f. Volume sampel = 1185 – 689
= 496 cc
- g. Berat isi sampel = 1172 / 496
= 2,364 gr/cc
- h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\left(\frac{95\%}{2,565}\right) - \left(\frac{5\%}{1,035}\right)}$
= 2,426 %
- i. Persentase volume aspal = $\frac{5\% \times 2,364}{1,035}$
= 11,422 %
- j. Persentase volume agregat = $\frac{(100-5\%) \times 2,364}{2,565}$
= 87,077 %
- k. Persentase rongga terhadap campuran = $100 - \left(\frac{100 \times 689}{2,426}\right)$
= 2,533 %

- l. Persentase rongga terhadap agregat $= 100 - \left(\frac{2,364 \times 5\%}{2,565} \right)$
 $= 12,413\%$
- m. Persentase rongga terisi aspal $= 100 \times \left(\frac{12,413 - 2,533}{12,413} \right)$
 $= 79,945 \%$
- n. Kadar aspal efektif $= 4,325$
- o. Pembacaan arloji stabilitas $= 93,6$
- p. Kalibrasi proving ring $= (7,693 \times 93,6) + 0,316$
 $= 721$
- q. Stabilitas akhir $= (134434 \times 506^{-1,8897}) \times 93,6$
 $= 782$
- r. Kelelehan $= 2,40 \text{ mm}$

Dari hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara mendapatkan nilai Berat Isi (*Bulk Density*), stabilitas (*Stability*), Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), kelelehan (*Flow*) untuk campuran aspal normal serta penggunaan abu batu bara 2% dan *crumb rubber* 3%, 4%, 5%, 6%, 7%.

1. *Bulk density*

$$\begin{aligned} \text{Bulk density} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\ &= \frac{2,393 + 2,355 + 2,345}{3} \\ &= 2,364 \end{aligned}$$

2. *Stability*

$$\begin{aligned} \text{Stability} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\ &= \frac{840 + 720 + 786}{3} \\ &= 782 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 3. \text{ Air voids} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{1,371+2,905+3,322}{3} \\
 &= 2,533
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 4. \text{ Voids filled} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{87,940+77,210+74,684}{3} \\
 &= 79,945
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 5. \text{ VMA} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{11,369+12,748+13,122}{3} \\
 &= 12,413
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6. \text{ Flow} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{2,50+2,30+2,40}{3} \\
 &= 2,40
 \end{aligned}$$

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

Tabel 4.20: Hasil Uji Marshall Campuran Beton Aspal Tanpa Menggunakan *filler*.

No.	Karakteristik	Kadar Aspal (%)				
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	Bulk Density (gr/cc)	2,364	2,359	2,293	2,294	2,282
2	Stability (kg)	782	739	836	884	812
3	Air Voids (%)	2,53	2,08	4,15	3,42	3,27
4	VMA (%)	12,4	13,1	16,5	16,8	17,7
5	Flow (mm)	2,40	2,50	2,60	1,83	1,73
6	Voids Filled (%)	79,94	84,1	74,86	79,68	81,55

Tabel 4.21: Hasil Uji Marshall Campuran Beton Aspal Optimum 6,06% Menggunakan *fly-ash* sebanyak 2%

No.	Karakteristik	Kadar Aspal Optimum(%)
		6,06
1	Bulk Density (gr/cc)	2,316
2	Stability (kg)	856
3	Air Voids (%)	3,10
4	VMA (%)	15,17
5	Flow (mm)	1,93
6	voids filled (%)	79,72

Tabel 4.22: Hasil Uji Marshall Campuran Aspal Optimum 6,06% Menggunakan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7%

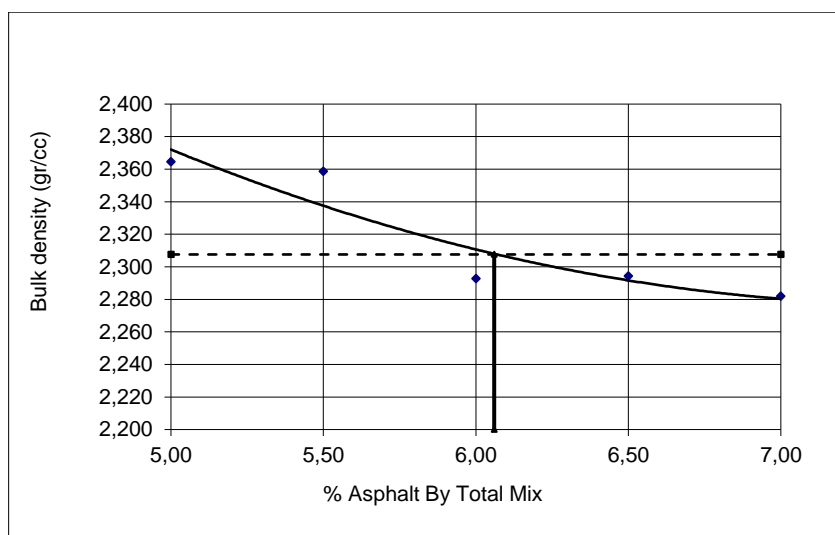
No.	Karakteristik	Kadar <i>Crumb Rubber</i> (%)				
		3	4	5	6	7
1	Bulk Density (gr/cc)	2,311	2,295	2,221	2,188	2,149
2	Stability (kg)	773	745	686	628	588
3	Air Voids (%)	3,32	4,01	7,10	8,47	10,1
4	VMA (%)	15,38	15,98	19,16	20,36	21,78
5	Flow (mm)	2,43	2,57	2,50	2,67	2,87
6	voids filled (%)	78,45	75,47	62,90	58,49	53,58

Tabel 4.23: Hasil Uji Marshall Campuran Aspal Optimum 6,06% Menggunakan *Fly-ash* 2% Dan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7%

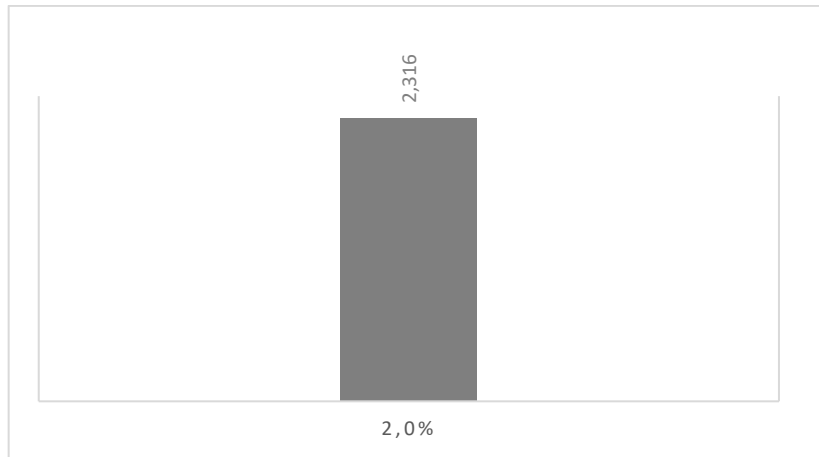
No.	Karakteristik	Kadar <i>Crumb Rubber</i> (%)				
		3	4	5	6	7
1	Bulk Density (gr/cc)	2,333	2,328	2,285	2,368	2,351
2	Stability (kg)	853	830	810	623	853
3	Air Voids (%)	2,4	2,62	4,39	0,91	1,65
4	VMA (%)	14,56	14,75	16,79	13,74	14,41
5	Flow (mm)	2,33	2,47	2,40	2,57	2,80
6	voids filled (%)	83,54	83,07	73,96	11,81	88,67

4.3.1.1 Bulk Density

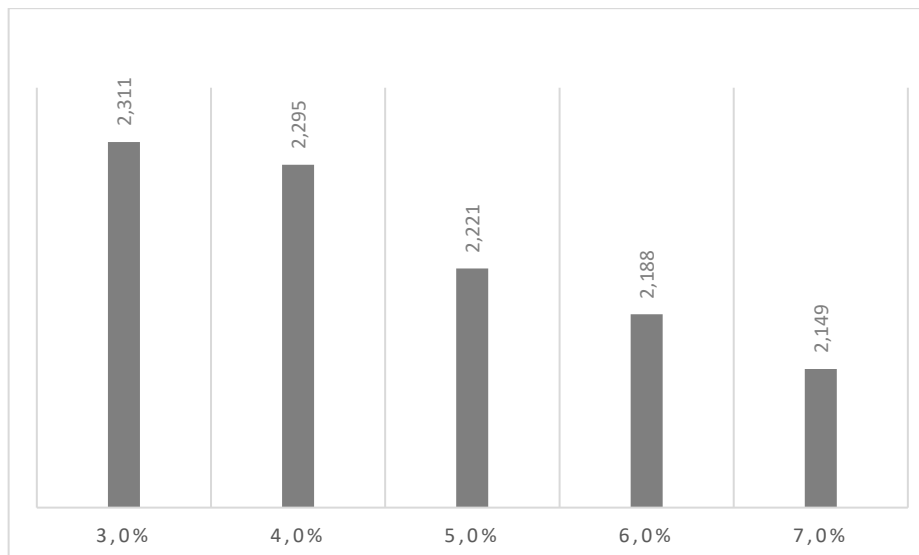
Hasil percobaan *Bulk Density* menunjukkan perbedaan antar campuran normal dengan campuran dengan di tambahkan *filler* dan *crumb rubber*. yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.- 4.6.



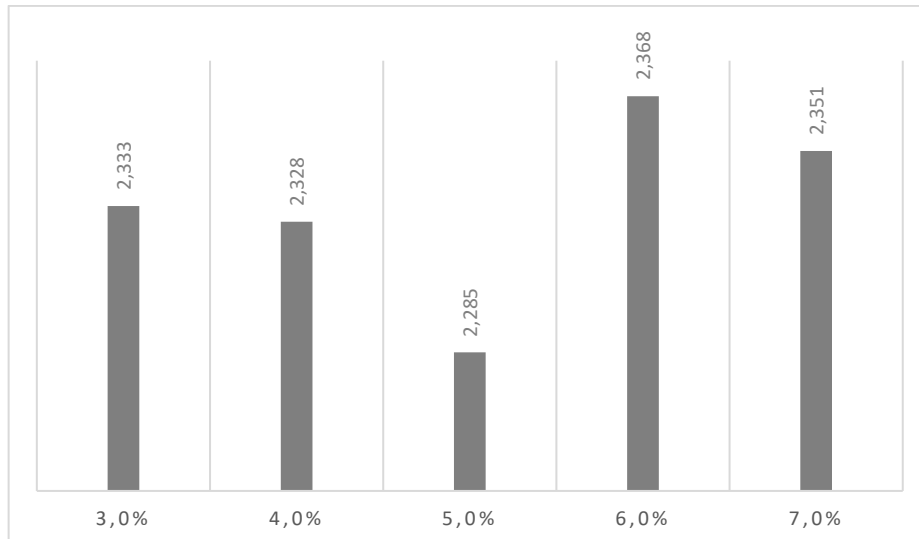
Gambar 4.3: Grafik Aspal Normal Terhadap Nilai *Density* (kg).



Gambar 4.4: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Terhadap Nilai *Density* (kg).



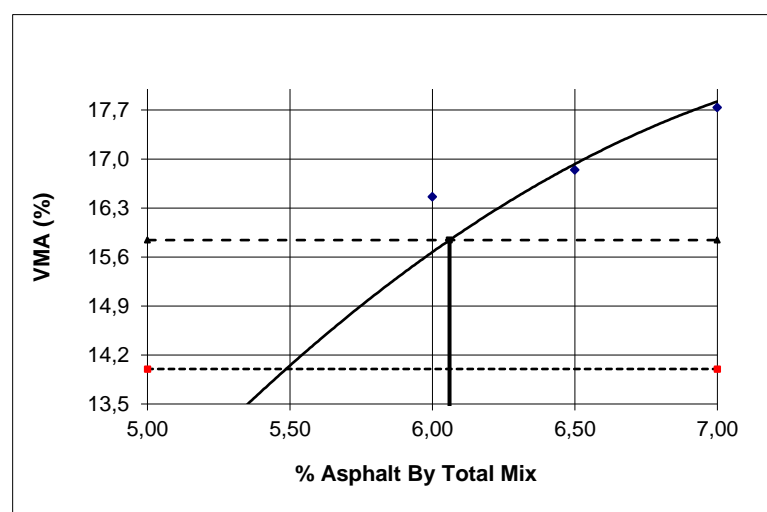
Gambar 4.5: Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap Nilai *Density* (kg).



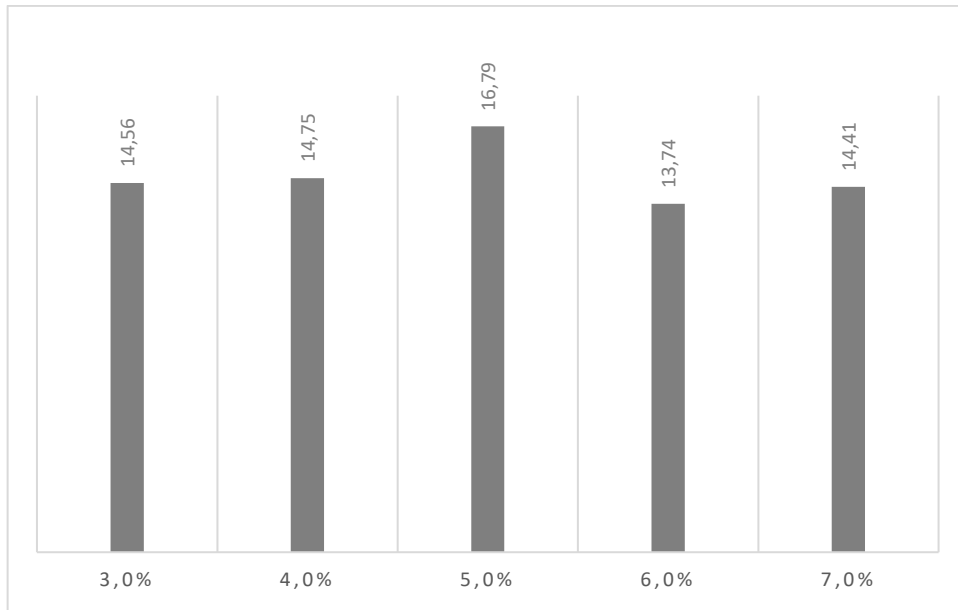
Gambar 4.6: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Dan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap Nilai *Density* (kg).

4.3.1.2 Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

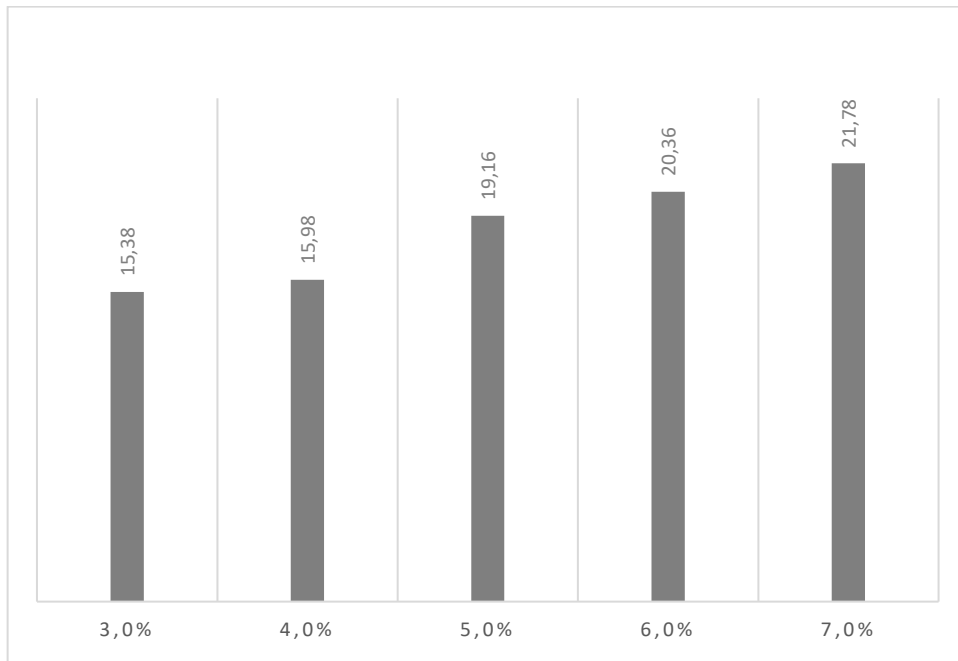
Hasil percobaan campuran normal dengan campuran menggunakan *filler fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* menunjukkan perbedaan. Nilai rongga antara partikel agregat (*Void in mineral agregat/VMA*) dengan berbagai variasi kadar aspal dalam campuran aspal beton dengan batas spesifikasi minimum 14% dapat dilihat pada Gambar 4.7.- 4.10.



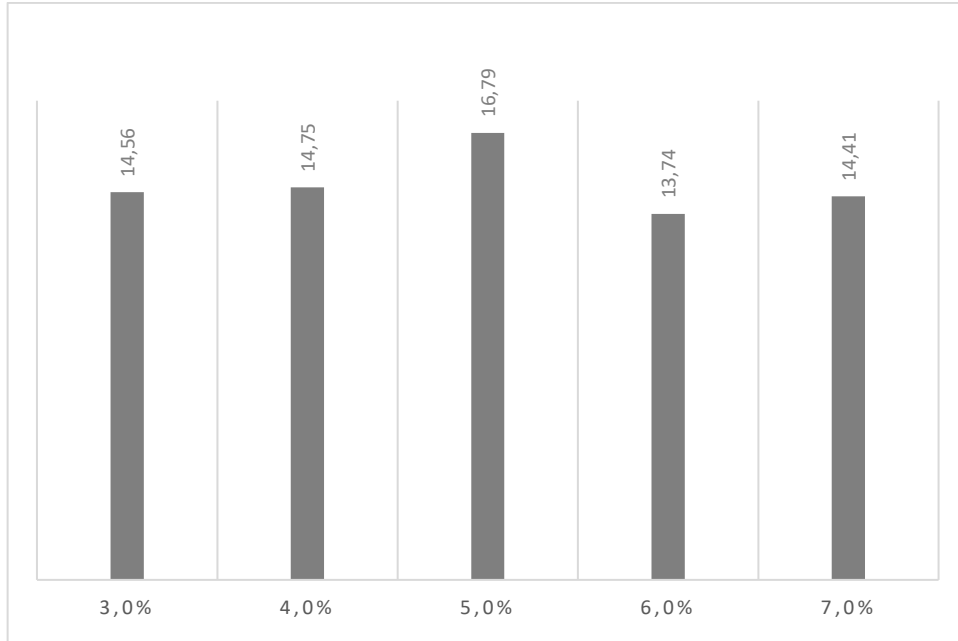
Gambar 4.7: Grafik Aspal Normal Terhadap VMA (%).



Gambar 4.8: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Terhadap VMA (%).



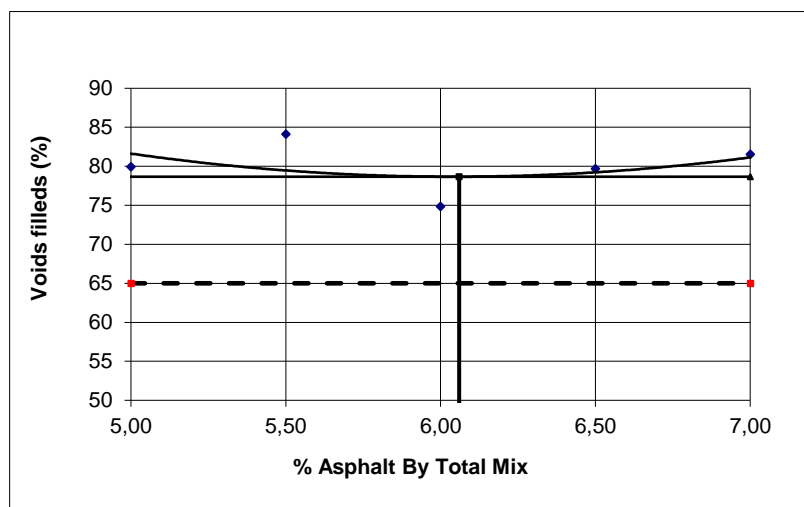
Gambar 4.9: Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap VMA (%).



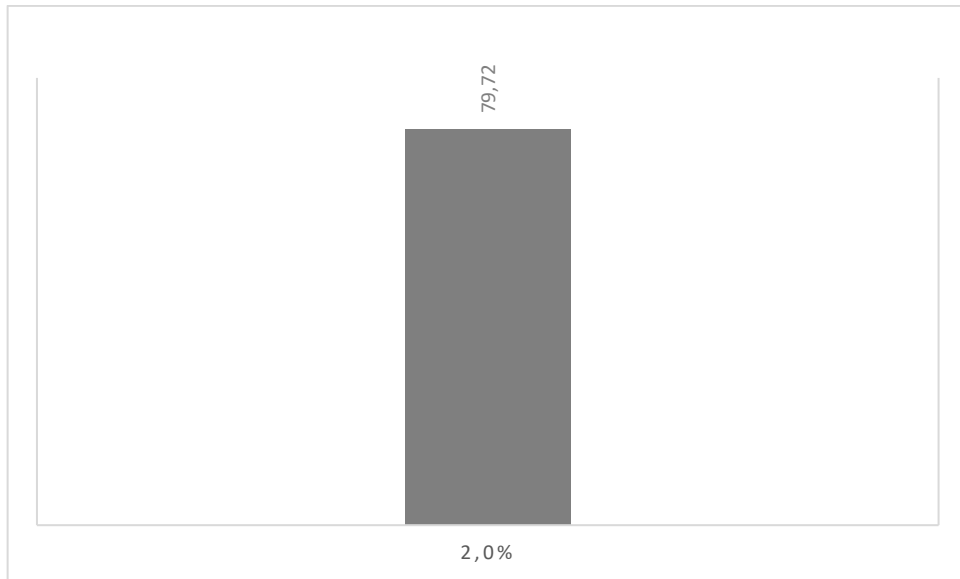
Gambar 4.10: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Dan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap VMA (%)

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

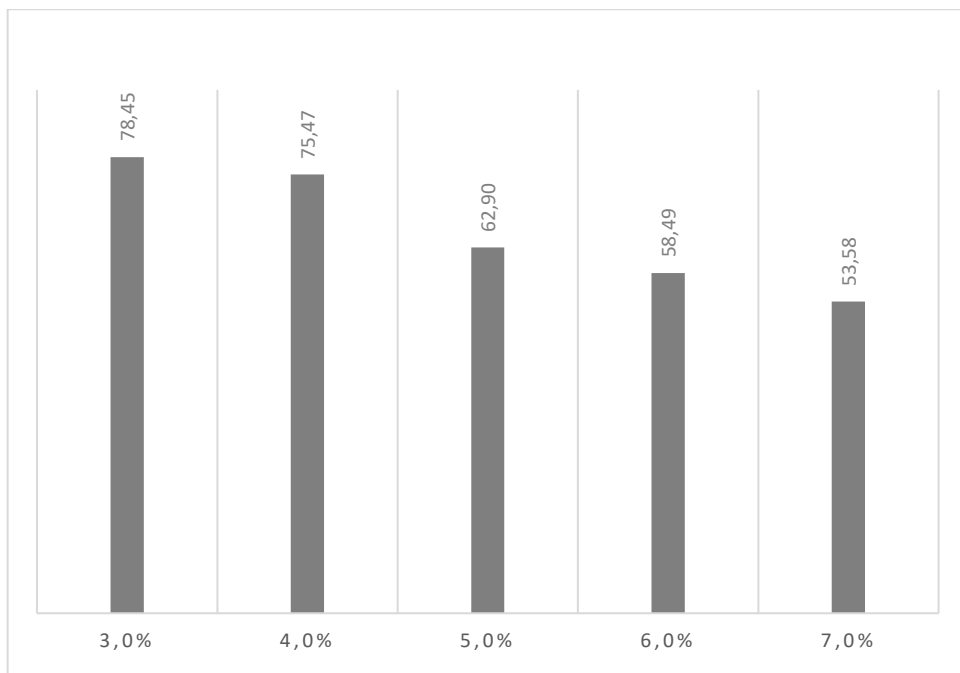
Hasil percobaan dengan nilai VFB campuran normal dan campuran menggunakan *filler* dan penambahan *crumb rubber* dapat dilihat pada Gambar 4.11 – 4.14.



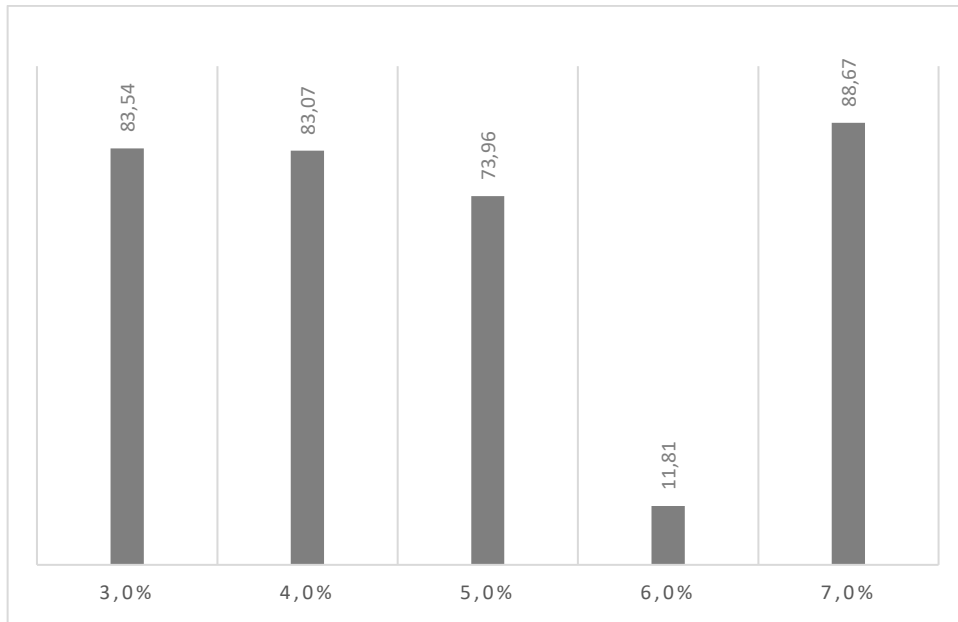
Gambar 4.11: Grafik Aspal Normal Terhadap VFB (%).



Gambar 4.12: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Terhadap VFB (%).



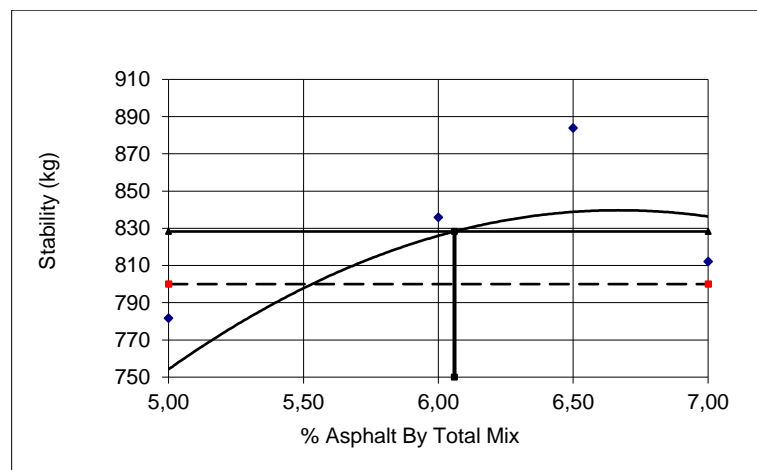
Gambar 4.13: Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap VFB (%)



Gambar 4.14: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Dan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap VFB (%)

4.3.1.4 Stabilitas *Marshall*

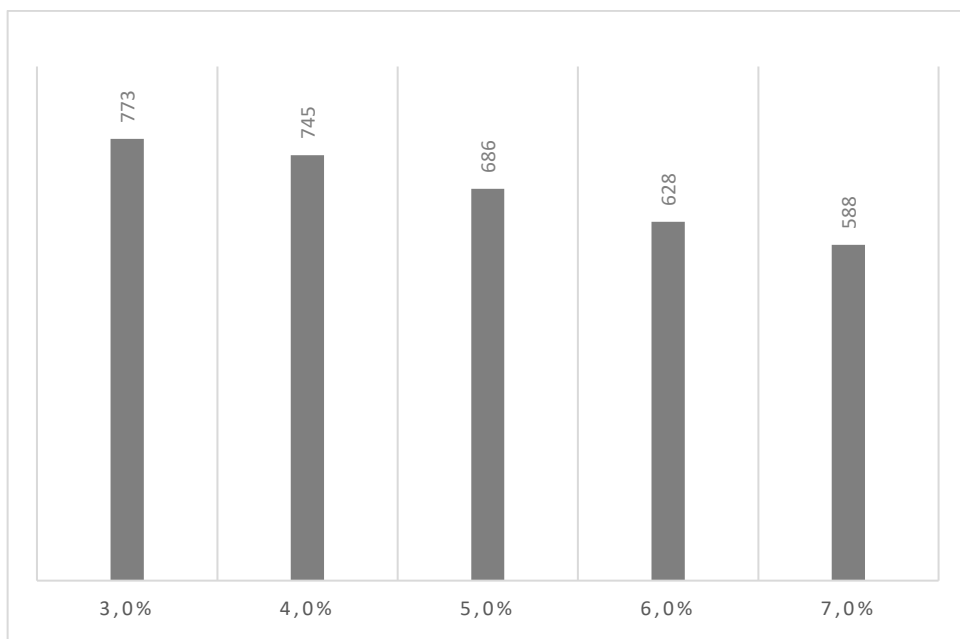
Hasil percobaan, nilai stabilitas *Marshall* campuran normal dan campuran menggunakan *fly-ash* dan penambahan *crumb rubber*. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.15 – 4.18.



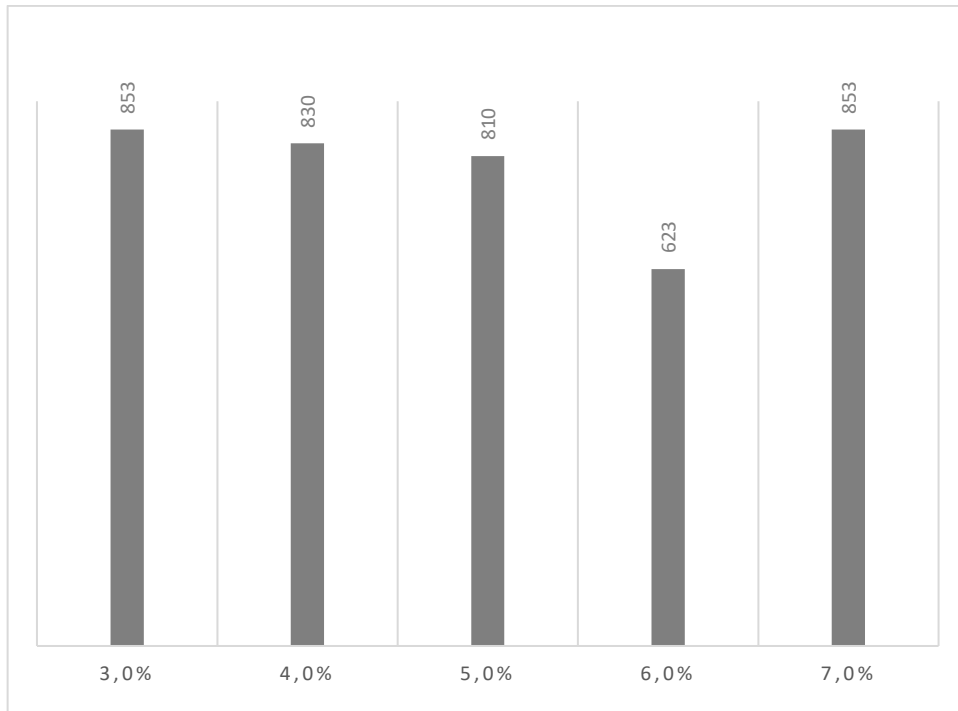
Gambar 4.15: Grafik Aspal Normal Terhadap Stabilitas..



Gambar 4.16: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Terhadap Stabilitas.



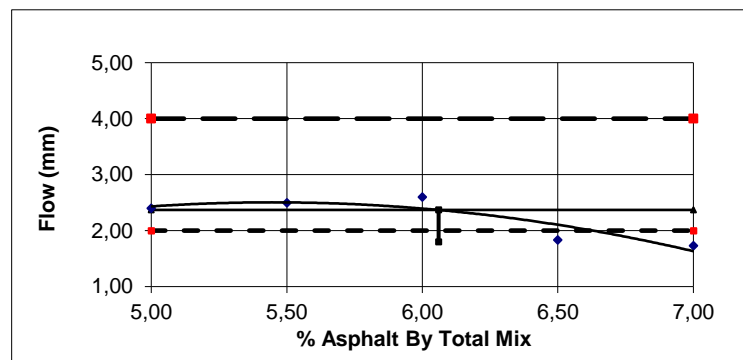
Gambar 4.17: Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap Stabilitas.



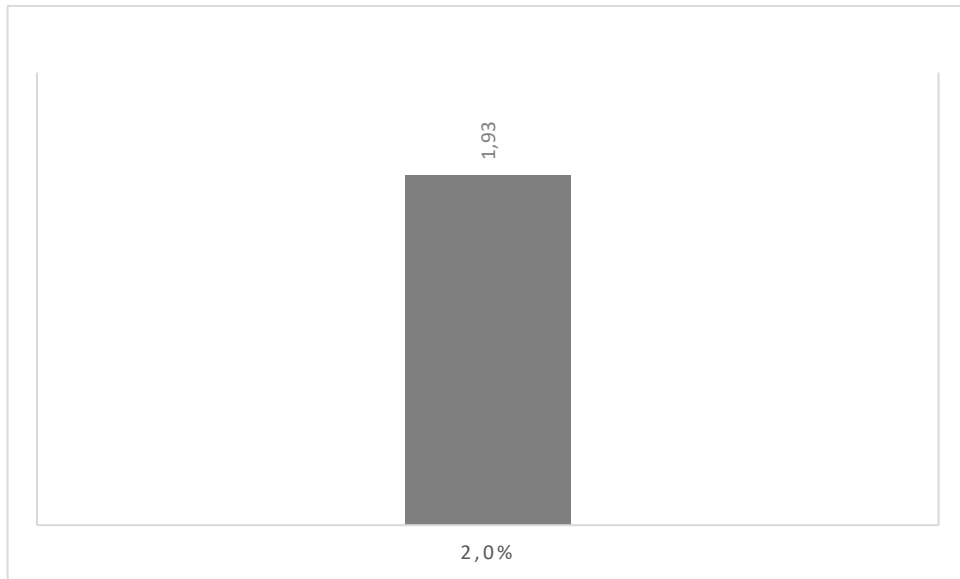
Gambar 4.18: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Dan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap Stabilitas.

4.3.1.5 Kelelehan (*Flow*)

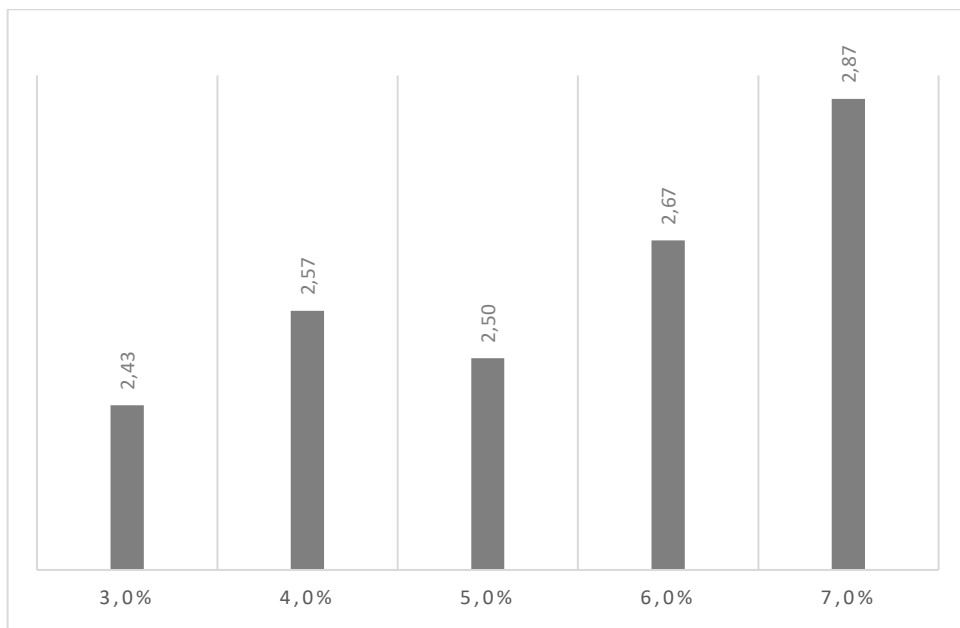
Hasil percobaan nilai *Flow* campuran normal dengan campuran menggunakan *filler fly-ash* dan penambahan *crumb rubber*. Namun terjadi perubahan nilai *Flow* campuran normal dengan campuran menggunakan *filler fly-ash* dan penambahan *crumb rubber*, dapat dilihat pada Gambar 4.19.- 4.22.



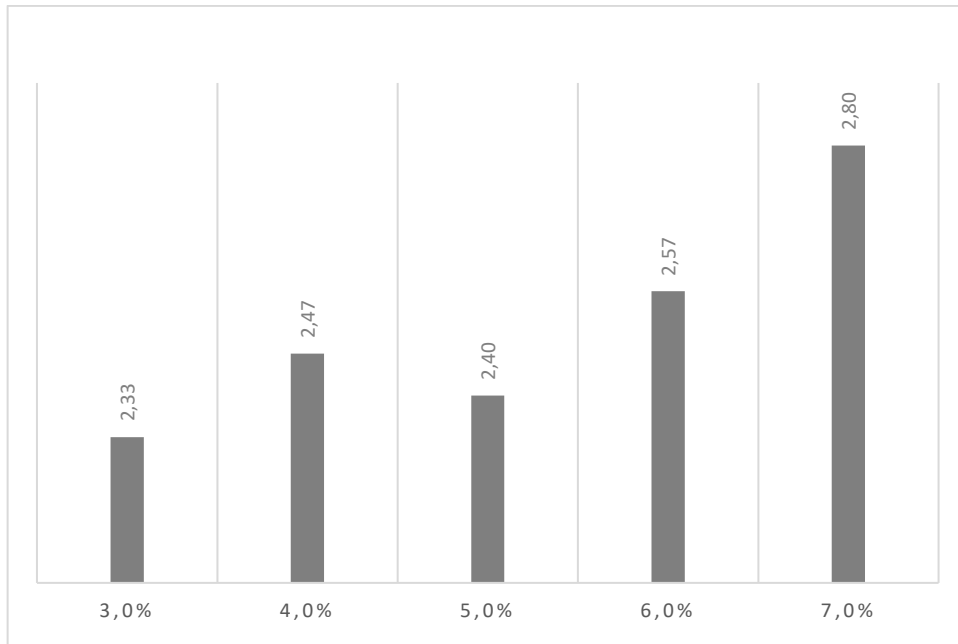
Gambar 4.19: Grafik Aspal Normal Terhadap Kelelehan (*Flow*).



Gambar 4.20: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan Campuran *Fly-ash* 2% Terhadap Kelelehan (*flow*).



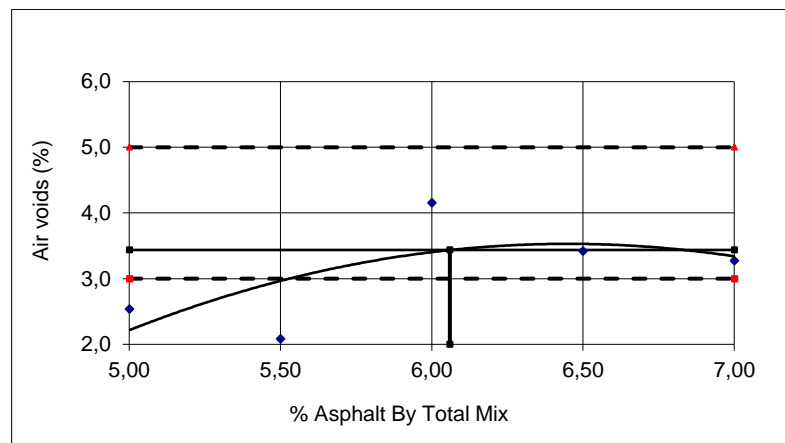
Gambar 4.21: Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap Kelelehan (*Flow*).



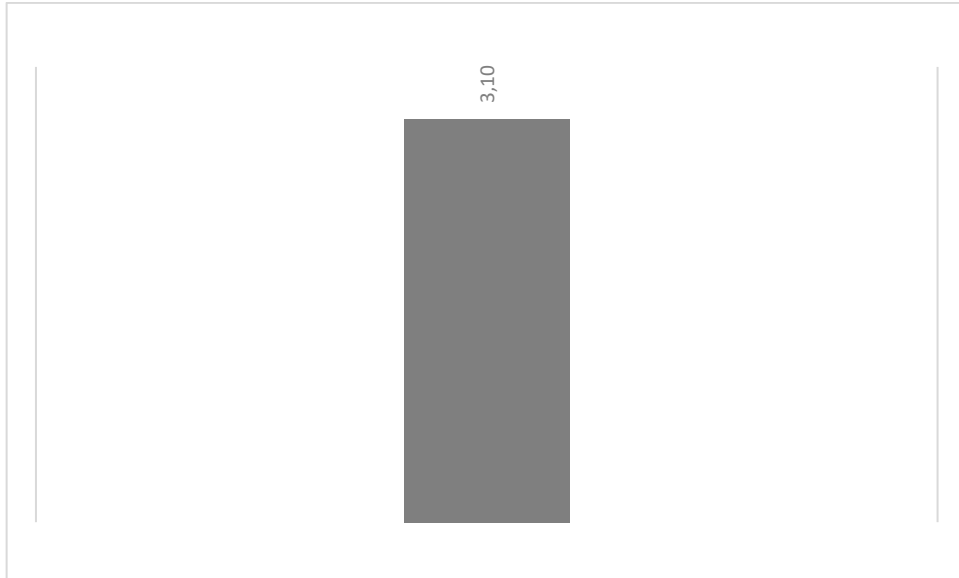
Gambar 4.22: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Dan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap Kelelehan (*Flow*).

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

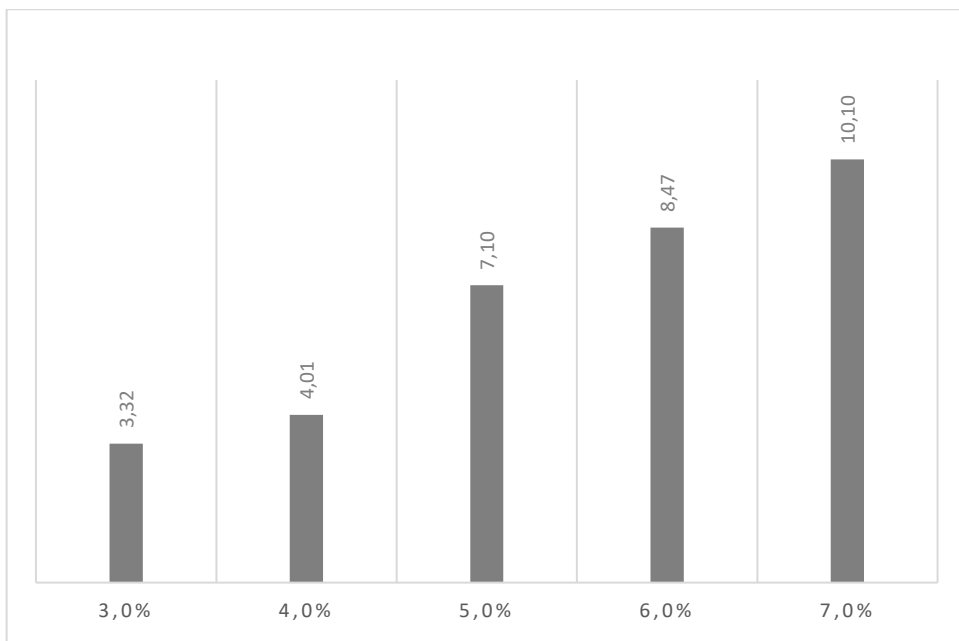
Hasil percobaan *VIM Marshall* menunjukkan perbedaan antar campuran normal dengan campuran menggunakan *filler fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* yang dapat dilihat pada Gambar 4.23– 4.26.



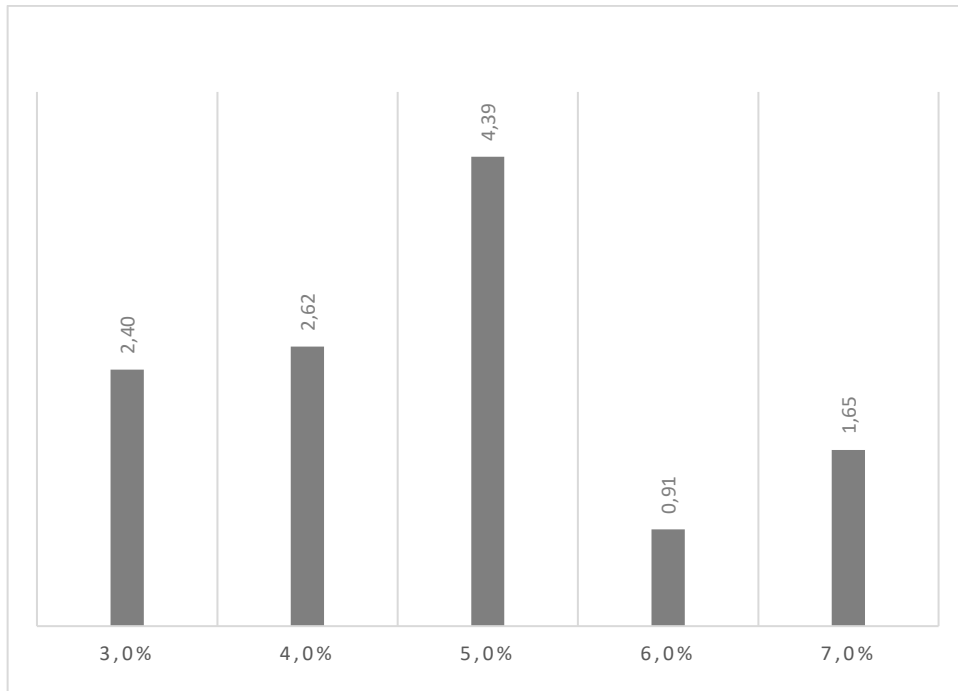
Gambar 4.23: Grafik Aspal Normal Terhadap *VIM*..



Gambar 4.24: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Terhadap VIM.



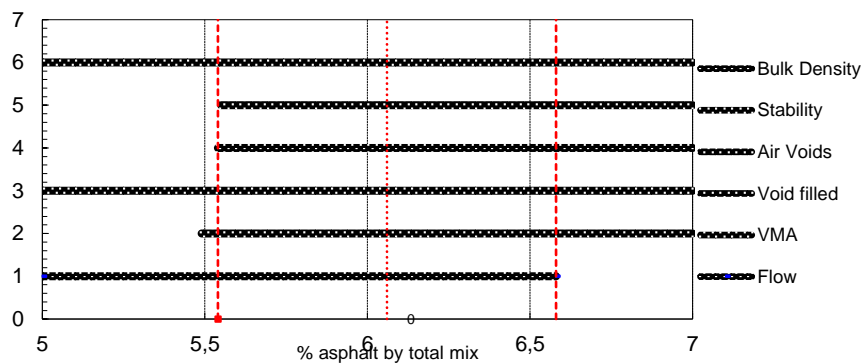
Gambar 4.25: Grafik Kadar Aspal Optimum Dengan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap VIM.



Gambar 4.26: Grafik Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Dan Penambahan *Crumb Rubber* 3%,4%,5%,6%,7% Terhadap VIM.

4.3.1.7 Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah kadar aspal dari hasil pengujian *Marshall* yang memenuhi persyaratan batas spesifikasi stabilitas, *Flow*, VIM, VFB campuran beton aspal sehingga didapat batas koridor dan diambil tengah dari koridor tersebut. Hasil pengujian *Marshall* kadar aspal optimum campuran normal dapat dilihat pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27: Rentang Kadar Aspal Normal Yang Memenuhi Spesifikasi.

Dari Gambar 4.27 bisa dilihat batas toleransi nilai efektif yang diperbolehkan untuk suatu pembuatan campuran beton aspal berdasarkan bahan susun yang tanpa menggunakan campuran, dengan agregat seperti pada Tabel 4.9.

4.3.1.8 Hasil Pada Kondisi Optimum

Hasil pengujian *Marshall* pada kondisi aspal optimum pada campuran beton aspal yang tanpa menggunakan campuran *fly-ash* dan *crumb rubber* dan menggunakan campuran *fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* dapat dilihat pada Tabel 4.24 - 4.27.

Tabel 4.24: Hasil Pengujian *Marshall* Aspal Normal.

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Bulk density	2,308	Gr/cc
2	Stability	828	Kg
3	Flow	2,37	Mm
4	Air voids	3,44	%
5	Voids filled	78,66	%
6	VMA	15,84	%
7	Asphalt	6,06	%

Tabel 4.25: Hasil Pengujian *Marshall* Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2%.

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Bulk density	2,316	Gr/cc
2	Stability	856	Kg
3	Flow	1,93	Mm
4	Air voids	3,10	%
5	Voids filled	79,72	%
6	VMA	15,17	%
7	Asphalt	6,06	%

Tabel 4.26: Hasil Pengujian *Marshall* Kadar Aspal Optimum Menggunakan Penambahan *Crumb Rubber* Sebanyak 3%,4%,5%,6%,7%.

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Bulk density	2,311	Gr/cc
2	Stability	773	Kg
3	Flow	2,43	Mm
4	Air voids	3,32	%
5	Voids filled	78,45	%
6	VMA	15,38	%
7	Asphalt	6,06	%
8	Crumb Rubber	3,0	%

Tabel 4.27: Hasil Pengujian *Marshall* Kadar Aspal Optimum Menggunakan *Fly-ash* 2% Dan Penambahan *Crumb Rubber* Sebanyak 3%, 4%, 5%, 6%, 7%.

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Bulk density	2,285	Gr/cc
2	Stability	810	Kg
3	Flow	2,40	Mm
4	Air voids	4,39	%
5	Voids filled	73,96	%
6	VMA	16,79	%
7	Asphalt	6,06	%
8	Crumb Rubber	5,0	%

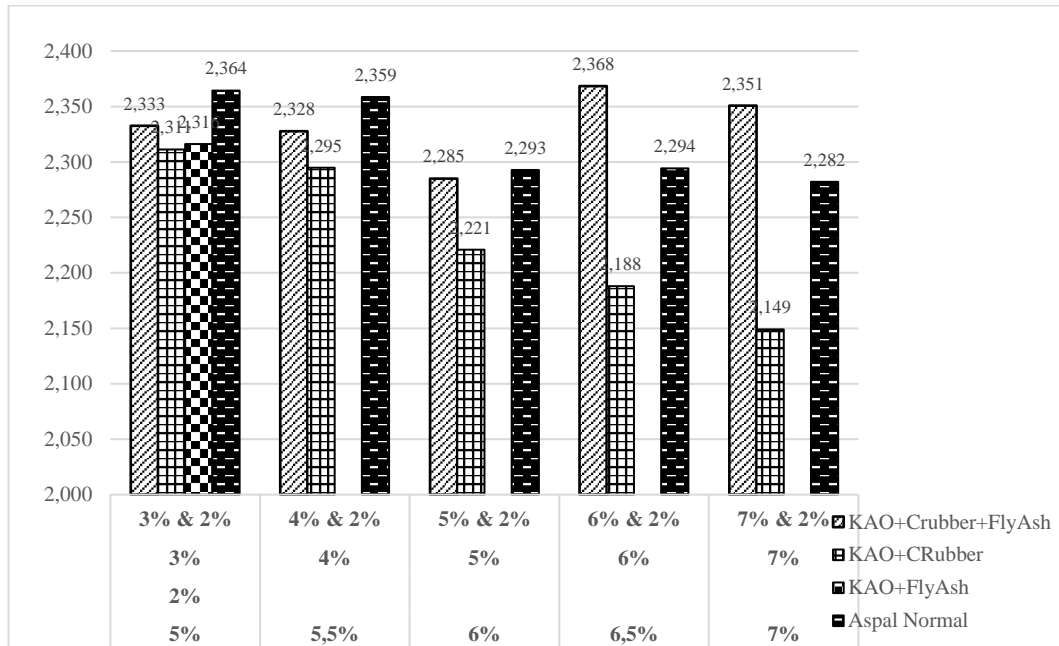
4.4. Pembahasan dan Analisis

4.4.1. Perbandingan Sifat *Marshall*

Dari hasil nilai pengujian sifat *Marshall* campuran aspal tanpa *filler fly-ash* dengan campuran aspal optimum menggunakan *filler fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* untuk nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, *VMA* dan *Flow* dapat dilihat perbandingan campuran tersebut seperti yang di tunjukan pada Gambar 4.28.

1. Bulk Density

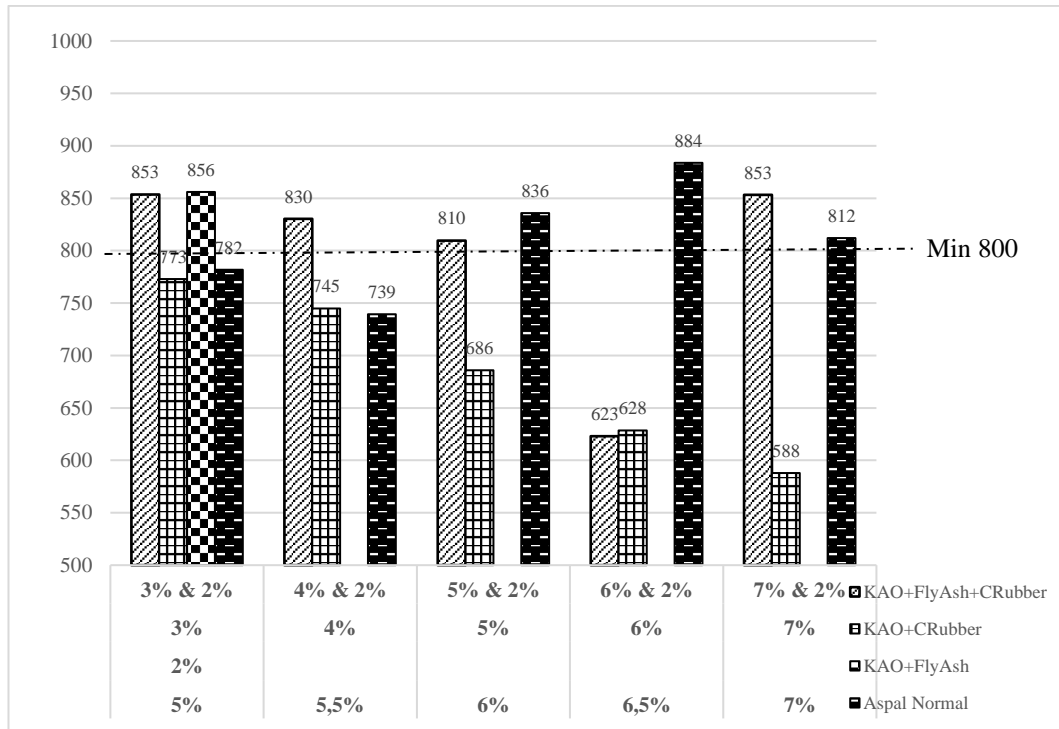
Dari hasil percobaan *Bulk Density* menunjukkan perbedaan nilai *Bulk Density* antara campuran aspal normal dan campuran aspal optimum menggunakan *filler fly-ash* dan penambahan *crumb rubber*. Hasil *Bulk Density* menunjukkan bahwa nilai *Bulk Density* campuran aspal optimum menggunakan *filler* dan penambahan *crumb rubber* lebih tinggi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.28 – 4.30.



Gambar 4.28: Perbandingan Nilai *Bulk Density* Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan *Crumb Rubber*, KAO Menggunakan *Fly-ash* Dan Penambahan *Crumb Rubber*, Dan KAO Menggunakan *Fly-ash*.

2. Stability

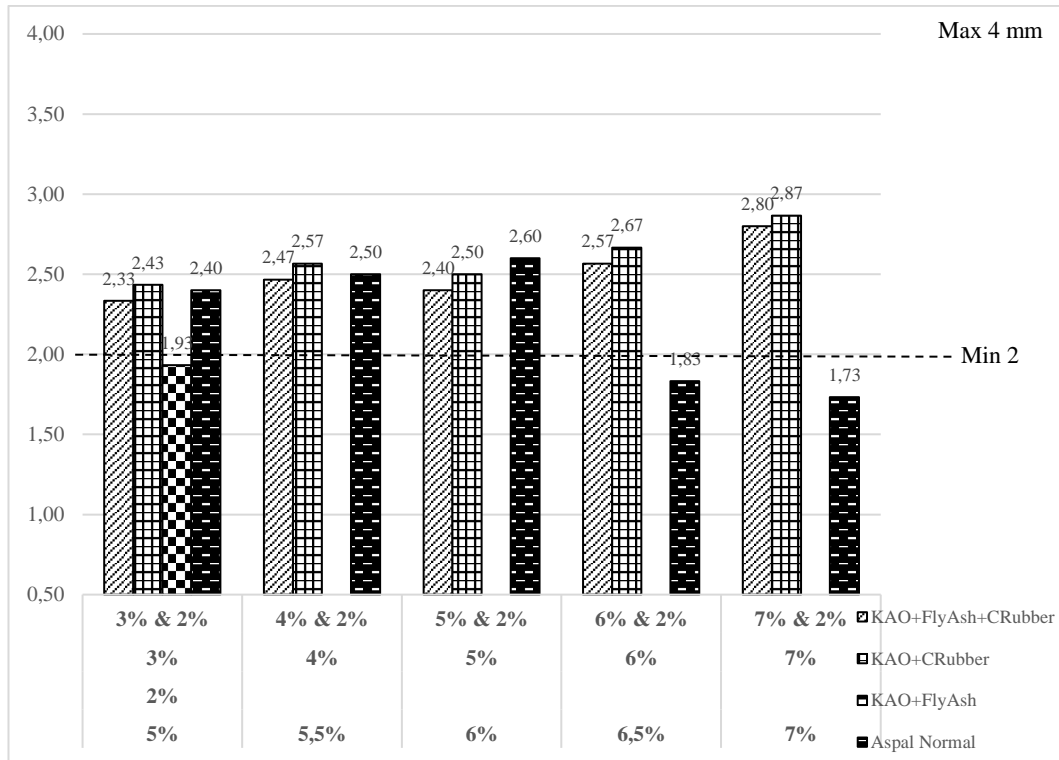
Hasil nilai *Stability* pada campuran aspal standar dengan campuran kadar aspal optimum menggunakan *fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* menunjukkan perbandingan diantara keempat jenis campuran tersebut. Nilai *Stability* untuk campuran aspal standar lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *Stability* campuran aspal optimum menggunakan *fly-ash* dan penambahan *crumb rubber*. Perbandingan nilai *Stability* diantara keempat campuran aspal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29: Perbandingan Nilai *Stability* KAO Dengan Penambahan *Crumb Rubber*, KAO Menggunakan *Fly-ash* Dan Penambahan *Crumb Rubber*, Aspal Normal, Dan KAO Menggunakan *Fly-ash*.

3. *Flow*

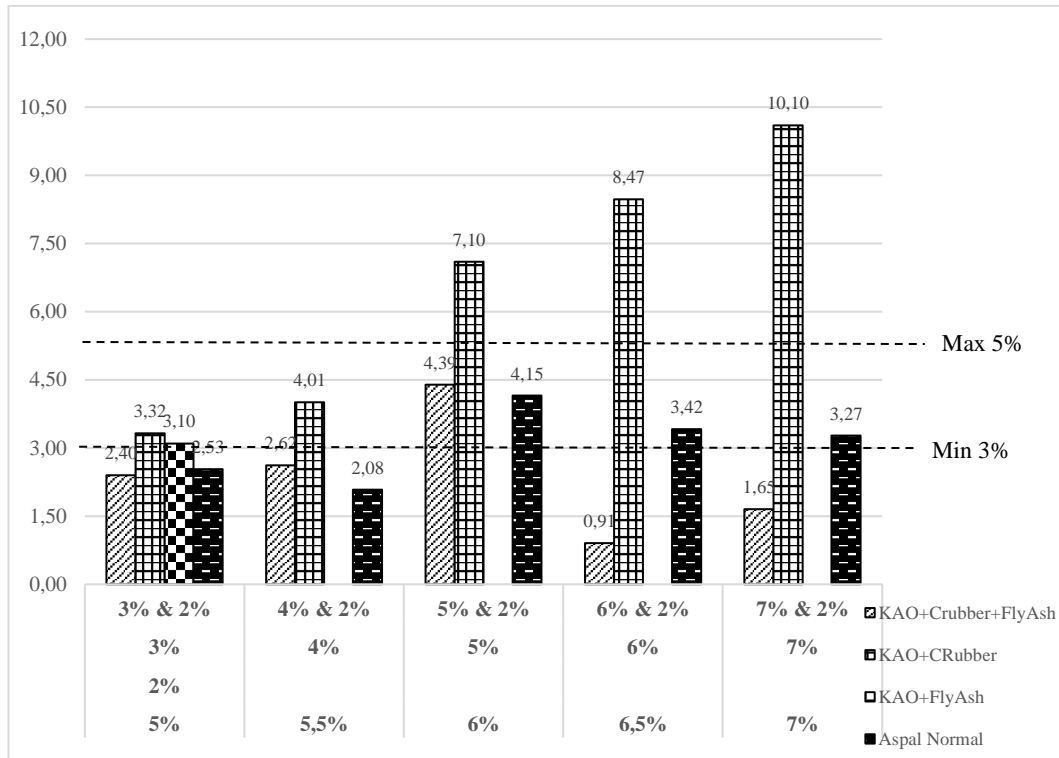
Hasil uji *Marshall Flow* menunjukkan bahwa nilai *Flow* pada campuran aspal standar dan aspal optimum menggunakan *fly-ash*, aspal optimum dengan penambahan *crumb rubber*, dan aspal optimum menggunakan *fly-ash* serta penambahan *crumb rubber* menunjukkan perbandingan karakteristik *Marshall Flow*. Perbandingan diantara empat jenis campuran tersebut menunjukkan bahwa nilai *Flow* aspal optimum dengan penambahan *crumb rubber* tanpa menggunakan *fly-ash* lebih tinggi dibandingkan nilai *Flow* campuran aspal standar dan campuran aspal optimum menggunakan *fly-ash* serta penambahan *crumb rubber*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.30.



Gambar 4.30: Perbandingan Nilai *Flow* KAO Dengan Penambahan *Crumb Rubber*, KAO Menggunakan *Fly-ash* Dan Penambahan *Crumb Rubber*, Aspal Normal, Dan KAO Menggunakan *Fly-ash*.

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

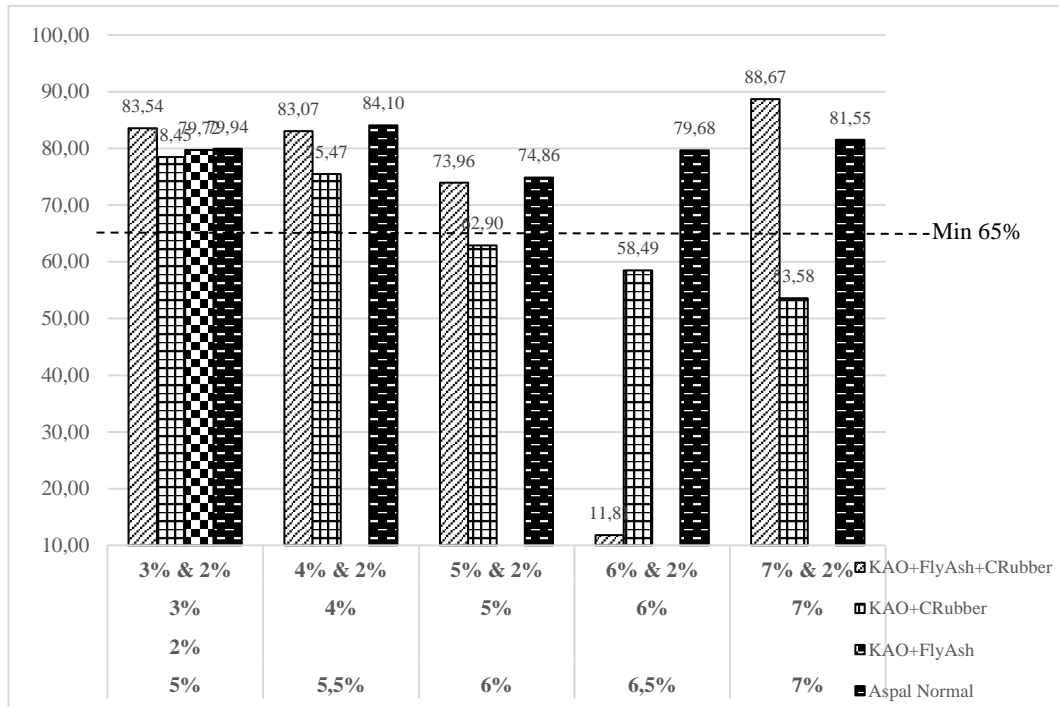
Hasil nilai VIM menunjukkan bahwa nilai VIM campuran aspal standar dan campuran aspal optimum menggunakan *fly-ash* dan penambahan *crumb rubber*, aspal optimum dengan penambahan *crumb rubber*, dan aspal optimum menggunakan *fly-ash* sangat bervariasi. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31: Perbandingan Nilai VIM Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan *Crumb Rubber*, KAO Menggunakan *Fly-ash* Dan Penambahan *Crumb Rubber*, Dan KAO Menggunakan *Fly-ash*.

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

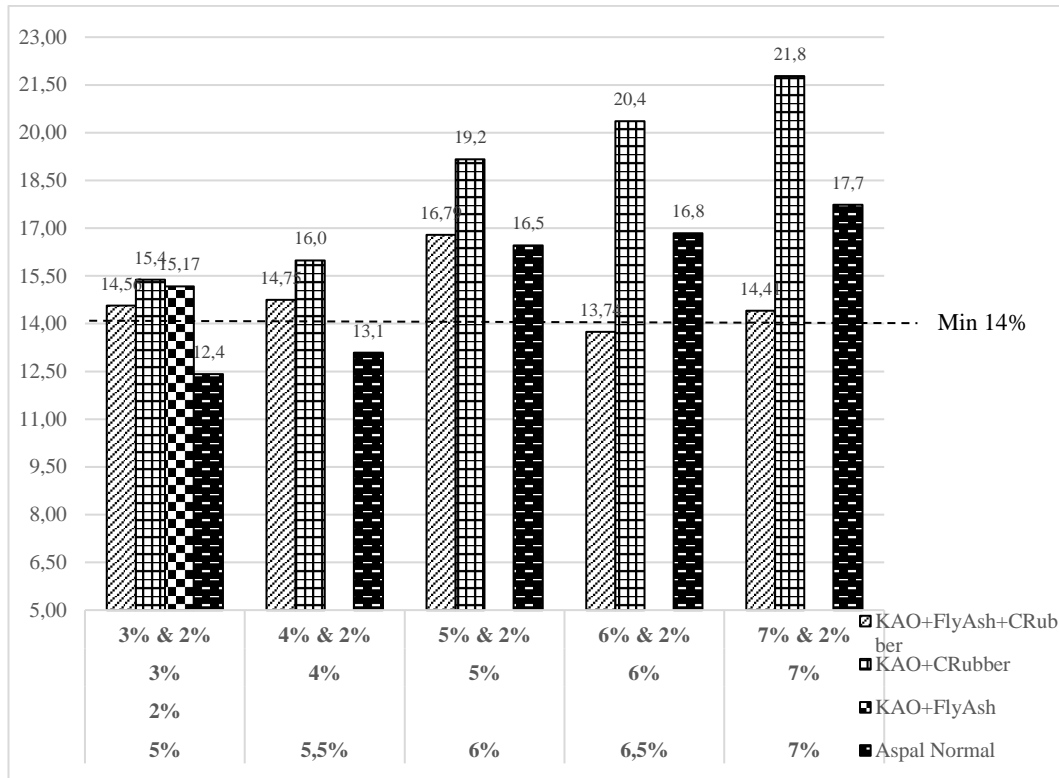
Dari hasil pengujian karakteristik sifat *Marshall* untuk aspal optimum menggunakan *fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* dan campuran aspal standar didapat perbandingan diantara keempat jenis campuran tersebut. Nilai VFB campuran aspal optimum menggunakan *fly-ash* serta penambahan *crumb rubber* lebih tinggi. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32: Perbandingan Nilai VFB Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan *Crumb Rubber*, KAO Menggunakan *Fly-ash* Dan Penambahan *Crumb Rubber*, Dan KAO Menggunakan *Fly-ash*.

6. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

Nilai VMA pada campuran aspal standar dan aspal optimum menggunakan *fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* menunjukkan perbandingan yang signifikan. Hasil nilai VMA menunjukkan bahwa nilai VMA aspal optimum dengan penambahan *crumb rubber* tanpa menggunakan *fly-ash* lebih tinggi. Perbandingan nilai VMA dapat dilihat pada Gambar 4.33.



Gambar 4.33: Perbandingan Nilai VMA Aspal Normal, KAO Dengan Penambahan *Crumb Rubber*, KAO Menggunakan *Fly-ash* Dan Penambahan *Crumb Rubber*, Dan KAO Menggunakan *Fly-ash*.

Hasil pemeriksaan karakteristik sifat campuran *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, VMA dan *Flow* pada jenis campuran aspal standar dan aspal optimum menggunakan *filler fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* menunjukkan bahwa terdapat satu jenis campuran yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 yaitu pada campuran KAO menggunakan *Fly-ash* serta penambahan *crumb rubber* 5% dengan nilai stabilitas (810 kg), flow (2,40 mm), air voids (4,39 %), vma (16,79 %), dan vfb (73,96 %). 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*.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Dari hasil pemeriksaan karakteristik sifat *Marshall* pada campuran beton aspal optimum yang menggunakan *filler fly-ash* dan penambahan *crumb rubber* tersebut yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 adalah terdapat pada campuran aspal optimum 6,06% dengan menggunakan *filler fly-ash* 2% serta penambahan *crumb rubber* 5%.
2. Dari analisis didapatkan nilai *Marshall* yang bervariasi, dapat disimpulkan dengan menggunakan *filler fly-ash* sebanyak 2% nilai kelelehannya rendah dan tinggi pada nilai stabilitas, sedangkan dengan tanpa adanya menggunakan *filler fly-ash* hanya dengan penambahan *crumb rubber* nilai kelelehannya semakin meningkat bila semakin banyak ditambahkan.

5.2.Saran

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



1. Diperlukannya ketelitian dalam membuat gradasi agar dapat menentukan proporsi dalam campuran beton aspal AC-BC yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3.
2. Diperlukannya ketelitian pada saat pengujian *Marshall Test* untuk memperkecil terjadinya kesalahan pada saat pengujian.
3. Dan diperlukannya ketelitian disetiap alat kerja pada Laboraturium

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga (2010) *Spesifikasi Umum 2010*, Revisi 3
- 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.C., Saleh, S.M., Sugiarto. (2018) Uji Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Dengan Tambahan Parutan Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, Vol.(1), Hal 559-570.
- RSNI M-01-2003, *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall*.
- Sukirman, S. (1999), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (2003), *Beton Aspal Campuran Panas*, Jakarta: Granit.
- SNI 03-1968-1990, *Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar*.
- SNI 03-1969-2008, *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*.
- SNI 03-1970-1990, *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*.
- Wardani, S.P.R. (2008) *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*, Makalah disajikan dalam Upacara Penerimaan Jabatan guru Besar Pada Fakultas Teknik Universitas Diponegoro.Semarang, 6 Desember.
- Yanti, G., Shanti, W.M., Rahmat, Hendri, R., (2017) Karakteristik Marshall Pada Campuran AC-BC Dengan Penambahan Bahan Pengisi (Filler) Fly Ash, *RACIC Jurnal Teknik Sipil Universitas Abdurrab*, Vol (2), Hal 158-165.



LAMPIRAN

DATA PENELITIAN JALAN RAYA

	Rengga Yonni 1407210173	
ANALISA SARINGAN		

SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT	SIEVE SIZE	1"	3/4"	1/2"	Cr	Sand	AVG
		WT. RET	% RET	% PASS			1	2	3	4	5	
11/2"					100 100	37,50	15%	10%	25%	45%	5%	100,00
1"					100 100	25,40	15,00	10,00	25,00	45,00	5,00	100,00
3/4"					90 100	19,00	11,07	10,00	25,00	45,00	5,00	96,07
1/2"					75 90	12,50	5,85	4,86	25,00	45,00	5,00	85,70
3/8"					66 82	9,50	2,76	3,56	19,98	45,00	5,00	76,30
# 4					46 64	4,75	0,38	0,44	7,03	45,00	5,00	57,85
# 8					30 49	2,36			4,18	36,09	4,83	45,10
# 16					18 38	1,18			2,51	26,60	4,37	33,48
# 30					12 28	0,60			1,99	20,25	3,74	25,98
# 50					7 20	0,30			0,81	8,06	0,27	9,13
# 100					5 13	0,150			0,77	7,92	0,24	8,93
# 200					4 8	0,075			0,31	4,10	0,04	4,45

Tabel L.1 : Analisa Saringan Campuran Aspal Normal

	Rengga Yonni 1407210173	
ANALISA SARINGAN		

SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT	SIEVE SIZE	1"	3/4"	1/2"	Cr	Sand	flyash	AVG
		WT. RET	% RET	% PASS			1	2	3	4	5	6	
11/2"					100 100	37,50	15%	10%	25%	43%	5%	2%	100%
1"					100 100	25,40	15,00	10,00	25,00	43,00	5,00	2,00	100,00
3/4"					90 100	19,00	11,07	10,00	25,00	43,00	5,00	2,00	96,07
1/2"					75 90	12,50	5,85	4,86	25,00	43,00	5,00	2,00	85,70
3/8"					66 82	9,50	2,76	3,56	19,98	43,00	5,00	2,00	76,30
# 4					46 64	4,75	0,38	0,44	7,03	43,00	5,00	2,00	57,85
# 8					30 49	2,36			4,18	34,49	4,83	2,00	45,50
# 16					18 38	1,18			2,51	25,41	4,37	2,00	34,30
# 30					12 28	0,60			1,99	19,35	3,74	2,00	27,08
# 50					7 20	0,30			0,81	7,70	0,27	2,00	10,77
# 100					5 13	0,150			0,77	7,57	0,24	1,99	10,57
# 200					4 8	0,075			0,31	3,91	0,04	1,89	6,15

Tabel L.2: Analisa Saringan Campuran Aspal Menggunakan *Filler Fly-Ash*



Rengga Yonni
1407210173



ANALISA SARINGAN

1"

TOTAL = 10.000,0 Gr					TOTAL = 10.000,0 Gr						
SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT	SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			AVG
		WT. RET	% RET	% PASS				WT. RET	% RET	% PASS	
11/2"		0,00	0,00	100,00		11/2"	0,00	0,00	100,00	100,00	
1"		0,00	0,00	100,00		1"	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/4"	2.566,0	2.566,0	25,66	74,34		3/4"	2.678,0	2.678,0	26,78	73,22	73,78
1/2"	3.059,0	5.625,0	56,25	43,75		1/2"	3.901,0	6.579,0	65,79	34,21	38,98
3/8"	2.319,0	7.944,0	79,44	20,56		3/8"	1.798,0	8.377,0	83,77	16,23	18,40
# 4	1.772,0	9.716,0	97,16	2,84		# 4	1.397,0	9.774,0	97,74	2,26	2,55
# 8		9.716,0	97,16	2,84		# 8		10.000,0	100,00	0,00	1,42
# 16		9.716,0	97,16	2,84		# 16		10.000,0	100,00	0,00	1,42
# 30		9.716,0	97,16	2,84		# 30		10.000,0	100,00	0,00	1,42
# 50		9.716,0	97,16	2,84		# 50		10.000,0	100,00	0,00	1,42
# 100		9.716,0	97,16	2,84		# 100		10.000,0	100,00	0,00	1,42
# 200		9.716,0	97,16	2,84		# 200		10.000,0	100,00	0,00	1,42
pan						pan					

Tabel L.3: Analisa Saringan Agregat 1”.



Rengga Yonni
1407210173




ANALISA SARINGAN


3/4"

TOTAL = 5.000,0 Gr					TOTAL = 5.000,0 Gr						
SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT	SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			AVG
		WT. RET	% RET	% PASS				WT. RET	% RET	% PASS	
11/2"		0,00	0,00	100,00		11/2"	0,0	0,00	100,00	100,00	
1"		0,00	0,00	100,00		1"	0,0	0,00	100,00	100,00	
3/4"		0,0	0,00	100,00		3/4"	0,0	0,00	100,00	100,00	
1/2"	2.509,0	2.509,0	50,18	49,82		1/2"	2.634,0	2.634,0	52,68	47,32	48,57
3/8"	663,00	3.172,0	63,44	36,56		3/8"	637,0	3.271,0	65,42	34,58	35,57
# 4	1545,00	4.717,0	94,34	5,66		# 4	1.574,0	4.845,0	96,90	3,10	4,38
# 8		5.000,0	100,00	0,00		# 8		4.845,0	96,90	3,10	1,55
# 16		5.000,0	100,00	0,00		# 16		4.845,0	96,90	3,10	1,55
# 30		5.000,0	100,00	0,00		# 30		4.845,0	96,90	3,10	1,55
# 50		5.000,0	100,00	0,00		# 50		4.845,0	96,90	3,10	1,55
# 100		5.000,0	100,00	0,00		# 100		4.845,0	96,90	3,10	1,55
# 200		5.000,0	100,00	0,00		# 200		4.845,0	96,90	3,10	1,55
pan						pan					

Tabel L.4: Analisa Saringan Agregat 3/4”.




Rengga Yonni
1407210173




ANALISA SARINGAN 1/2"

TOTAL = 2.500,0 Gr					TOTAL = 2.500,0 Gr						
SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT	SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			AVG
		WT. RET	% RET	% PASS				WT. RET	% RET	% PASS	
11/2"		0,00	0,00	100,00		11/2"	0,00	0,00	100,00	100,00	
1"		0,00	0,00	100,00		1"	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/4"		0,00	0,00	100,00		3/4"	0,00	0,00	100,00	100,00	
1/2"		0,00	0,00	100,00		1/2"	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/8"	568,0	568,0	22,72	77,28		3/8"	436,0	436,0	17,44	82,56	79,92
# 4	1.188,0	1.756,0	70,24	29,76		# 4	1.402,0	1.838,0	73,52	26,48	28,12
# 8	307,0	2.063,0	82,52	17,48		# 8	263,0	2.101,0	84,04	15,96	16,72
# 16	201,0	2.264,0	90,56	9,44		# 16	133,0	2.234,0	89,36	10,64	10,04
# 30	17,0	2.281,0	91,24	8,76		# 30	88,0	2.322,0	92,88	7,12	7,94
# 50	129,0	2.410,0	96,40	3,60		# 50	107,0	2.429,0	97,16	2,84	3,22
# 100	5,0	2.415,0	96,60	3,40		# 100	2,0	2.431,0	97,24	2,76	3,08
# 200	48,0	2.463,0	98,52	1,48		# 200	44,0	2.475,0	99,00	1,00	1,24
pan	28,0	2.491,0	99,64	0,36		pan	19,0	2.494,0	99,76	0,24	0,30

Tabel L.5: Analisa Saringan Agregat 1/2".




Rengga Yonni
1407210173



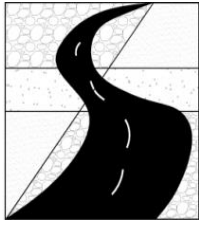
ANALISA SARINGAN Cr

TOTAL = 500 Gr					TOTAL = 500 Gr						
SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT	SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			AVG
		WT. RET	% RET	% PASS				WT. RET	% RET	% PASS	
11/2"		0,00	0,00	100,00		11/2"	0,00	0,00	100,00	100,00	
1"		0,00	0,00	100,00		1"	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/4"		0,00	0,00	100,00		3/4"	0,00	0,00	100,00	100,00	
1/2"		0,00	0,00	100,00		1/2"	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/8"		0,00	0,00	100,00		3/8"	0,00	0,00	100,00	100,00	
# 4	0	0,00	0,00	100,00		# 4	0	0,00	0,00	100,00	100,00
# 8	100,00	100,00	20,00	80,00		# 8	98,00	98,00	19,60	80,40	80,20
# 16	104,00	204,00	40,80	59,20		# 16	107,00	205,00	41,00	59,00	59,10
# 30	68,00	272,00	54,40	45,60		# 30	73,00	278,00	55,60	44,40	45,00
# 50	136,00	408,00	81,60	18,40		# 50	135,00	413,00	82,60	17,40	17,90
# 100	1,00	409,00	81,80	18,20		# 100	2,00	415,00	83,00	17,00	17,60
# 200	38,00	447,00	89,40	10,60		# 200	47,00	462,00	92,40	7,60	9,10
pan	49	496,00	99,20	0,80		pan	35,00				

Tabel L.6: Analisa Saringan Abu Batu.




Rengga Yonni
1407210173




ANALISA SARINGAN Sand

TOTAL = 1.000,0 Gr					TOTAL = 1.000,0 Gr						
SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT	SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			AVG
		WT. RET	% RET	% PASS				WT. RET	% RET	% PASS	
11/2"		0,00	0,00	100,00		11/2"	0,00	0,00	100,00	100,00	
1"		0,00	0,00	100,00		1"	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/4"		0,00	0,00	100,00		3/4"	0,00	0,00	100,00	100,00	
1/2"		0,00	0,00	100,00		1/2"	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/8"		0,00	0,00	100,00		3/8"	0,00	0,00	100,00	100,00	
# 4	0,0	0,00	0,00	100,00		# 4	0,0	0,00	0,00	100,00	100,00
# 8	33,0	33,00	3,30	96,70		# 8	35,0	35,00	3,50	96,50	96,60
# 16	86,0	119,00	11,90	88,10		# 16	97,0	132,00	13,20	86,80	87,45
# 30	121,0	240,00	24,00	76,00		# 30	131,0	263,00	26,30	73,70	74,85
# 50	703,0	943,00	94,30	5,70		# 50	686,0	949,00	94,90	5,10	5,40
# 100	6,0	949,00	94,90	5,10		# 100	6,0	955,00	95,50	4,50	4,80
# 200	41,0	990,00	99,00	1,00		# 200	39,0	994,00	99,40	0,60	0,80
pan	5,0	995,00	99,50	0,50		pan	4,0	998,00	99,80	0,20	0,35

Tabel L.7: Analisa Saringan Pasir



Rengga Yonni
1407210173



Fly Ash

TOTAL = 250,0 Gr					TOTAL = 250,0 Gr						
SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT	SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			AVG
		WT. RET	% RET	% PASS				WT. RET	% RET	% PASS	
11/2"		0,00	0,00	100,00		11/2"	0,00	0,00	100,00	100,00	
1"		0,00	0,00	100,00		1"	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/4"		0,00	0,00	100,00		3/4"	0,00	0,00	100,00	100,00	
1/2"		0,00	0,00	100,00		1/2"	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/8"		0,00	0,00	100,00		3/8"	0,00	0,00	100,00	100,00	
# 4		0,00	0,00	100,00		# 4	0,00	0,00	100,00	100,00	
# 8		0,00	0,00	100,00		# 8	0,00	0,00	100,00	100,00	
# 16		0,00	0,00	100,00		# 16	0,00	0,00	100,00	100,00	
# 30		0,00	0,00	100,00		# 30	0,00	0,00	100,00	100,00	
# 50	2,0	2,00	0,20	99,80		# 50	1,0	1,00	0,10	99,90	99,85
# 100	2,0	4,00	0,40	99,60		# 100	3,0	4,00	0,40	99,60	99,60
# 200	84,0	88,00	8,80	91,20		# 200	20,0	24,00	2,40	97,60	94,40
pan	160,0	248,00	24,80	75,20		pan	220,0	244,00	24,40	75,60	75,40

Tabel L.8: Analisa Saringan *Fly-Ash*.

SPECIFIC GRAVITY OF COARSE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Kasar dan	LAB NO. (No Surat)	:
	SAMPLING DATE	
	(Tgl. Pengambilan Bhn)	:26 juli 2018
	TESTING DATE	
	(Tgl. Percobaan)	:26 juli 2018

SOURCES OF SAMPLE (Asal Contoh)	Binjai
DESCRIPTION OF SAMPLE (Gambaran Contoh)	Agregat Kasar
PURPOSE MATERIAL (Guna Material)	Job Mix Formula

COARSE AGGREGATE (<i>Agregat Kasar</i>) 1"	01	02	AVE (Rata-Rata)
Berat Jenis Kering Oven (BK) gr	4918	4923	4920,5
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (BJ) gr	4943	4948	4945,5
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Di Dalam Air (BA) gr	3157	3161	3159
Bulk Sp. Gravity-Dry (<i>Berat jenis contoh kering</i>) <i>BK / (BJ-BA)</i>	2,754	2,755	2,754
Bulk Sp. Gravity SSD (<i>Berat jenis contoh SSD</i>) <i>BJ / (BJ-BA)</i>	2,768	2,769	2,768
Apparent Sp. Gravity-Dry (<i>Berat jenis contoh Semu</i>) <i>BK / (BK -BA)</i>	2,793	2,794	2,793
Absorption $[(BJ-BK)/BK] \times 100\%$	0,508	0,508	0,508

Tabel L.9: Berat Jenis Agregat 1”.

SPECIFIC GRAVITY OF COARSE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Kasar dan	LAB NO. (No Surat) :
	SAMPLING DATE (Tgl. Pengambilan Bhn) :26 juli 2018
	TESTING DATE (Tgl. Percobaan) :26 juli 2018

SOURCES OF SAMPLE (Asal Contoh)	Binjai
DESCRIPTION OF SAMPLE (Gambaran Contoh)	Agregat Kasar
PURPOSE MATERIAL (Guna Material)	Job Mix Formula

COARSE AGGREGATE (Agregat 3/4"	01	02	AVE (Rata-Rata)
Berat Jenis Kering Oven (BK) gr	2930	2940	2935
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Di Dalam Air (BA) gr	2960	2958	2959
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Di Dalam Air (BA) gr	1859	1861	1860
Bulk Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh kering) BK / (BJ-BA)	2,661	2,680	2,671
Bulk Sp. Gravity SSD (Berat jenis contoh SSD) BJ / (BJ-BA)	2,688	2,696	2,692
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh Semu) BK / (BK-BA)	2,736	2,725	2,730
Absorption [(BJ-BK) / BK] x 100%	1,024	0,612	0,818

Tabel L.10: Berat Jenis Agregat 3/4".

SPECIFIC GRAVITY OF COARSE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Kasar dan	LAB NO. (No Surat) :
	SAMPLING DATE
	(Tgl. Pengambilan Bhn) :26 juli 2018
	TESTING DATE
	(Tgl. Percobaan) :26 juli 2018

SOURCES OF SAMPLE (Asal Contoh)	Binjai
DESCRIPTION OF SAMPLE (Gambaran Contoh)	Agregat Kasar
PURPOSE MATERIAL (Guna Material)	Job Mix Formula

COARSE AGGREGATE (Agregat 1/2"	01	02	AVE (Rata-Rata)
Berat Jenis Kering Oven (BK) gr	1891	1888	1889,5
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Di Dalam Air (BA) gr	1900	1898	1899
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh Di Dalam Air (BA) gr	1143	1170	1156,5
Bulk Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh kering) BK / (BJ-BA)	2,498	2,593	2,546
Bulk Sp. Gravity SSD (Berat jenis contoh SSD) BJ / (BJ-BA)	2,510	2,607	2,559
Apparent Sp. Gravity-Dry (Berat jenis contoh Semu) BK / (BK-BA)	2,528	2,630	2,579
Absorption [(BJ-BK) / BK] x 100%	0,476	0,530	0,503

Tabel L.11: Berat Jenis Agregat 1/2".

SPECIFIC GRAVITY OF FINE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Halus dan Absorpsi)	LAB NO. (No Surat)	:
	SAMPLING DATE	
	(Tgl. Pengambilan Bhn)	:25 juli 2018
	TESTING DATE	
	(Tgl. Percobaan)	:25 juli 2018

SOURCES OF SAMPLE (Asal Contoh)	Binjai
DESCRIPTION OF SAMPLE (Gambaran Contoh)	Pasir
PURPOSE MATERIAL (Guna Material)	Job Mix Formula

FINE AGGREGATE (Agregat Halus) Passing No.4 (Lolos Ayakan No.4)	01	02	AVE (Rata-Rata)
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (SSD) (A)	500	500	500
Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	491	492	491,5
Berat Piknometer Di Isi Air (25°) (B)	670	668	669
Berat Piknometer + Benda Uji (SSD) + Air (25°) (Bt)	973	969	971
Berat Jenis (Bulk) $Bk / (B + A - Bt)$	2,49	2,47	2,482
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $A / (B + A - Bt)$	2,54	2,51	2,525
Berat jenis contoh Semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,61	2,58	2,594
Absorption $(A - Bk) / Bk \times 100 \%$	1,83	1,63	1,730

Tabel L.12: Berat Jenis Pasir

SPECIFIC GRAVITY OF FINE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Halus dan Absorpsi)	LAB NO. (No Surat) : SAMPLING DATE (Tgl. Pengambilan Bhn :25 juli 2018 TESTING DATE (Tgl. Percobaan) :25 juli 2018
---	---

SOURCES OF SAMPLE (Asal Contoh)	Binjai
DESCRIPTION OF SAMPLE (Gambaran Contoh)	Abu Batu
PURPOSE MATERIAL (Guna Material)	Job Mix Formula

FINE AGGREGATE (Agregat Halus) Passing No.4 (Lolos Ayakan No.4)	01	02	AVE (Rata-Rata)
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (SSD) (A)	500	500	500
Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	488	491	489,5
Berat Piknometer Di Isi Air (25°) (B)	668	670	669
Berat Piknometer + Benda Uji (SSD) + Air (25°) (Bt)	976	971	973,5
Berat Jenis (Bulk) $Bk / (B + A - Bt)$	2,54	2,47	2,505
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $A / (B + A - Bt)$	2,60	2,51	2,558
Berat jenis contoh Semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,71	2,58	2,648
Absorption $(A - Bk) / Bk \times 100 \%$	2,46	1,83	2,146

Tabel L.13: Berat Jenis Abu Batu

SPECIFIC GRAVITY OF FINE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Halus dan Absorpsi)	LAB NO. (No Surat : SAMPLING DATE (Tgl. Pengambilan Bhn :25 juli 2018 TESTING DATE (Tgl. Percobaan) :25 juli 2018
---	---

SOURCES OF SAMPLE (Asal Contoh)	Indonesia Power
DESCRIPTION OF SAMPLE (Gambaran Contoh)	Fly Ash
PURPOSE MATERIAL (Guna Material)	Job Mix Formula

FINE AGGREGATE (Agregat Halus) Passing No.4 (Lolos Ayakan No.4)	01	02	AVE (Rata-Rata)
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (SSD) (A)	500	500	500
Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	489	493	491
Berat Piknometer Di Isi Air (25°) (B)	671	668	669,5
Berat Piknometer + Benda Uji (SSD) + Air (25°) (Bt)	974	975	974,5
Berat Jenis (Bulk) $Bk / (B + A - Bt)$	2,482	2,554	2,518
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $A / (B + A - Bt)$	2,538	2,591	2,564
Berat jenis contoh Semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2,629	2,651	2,640
Absorption $(A - Bk) / Bk \times 100 \%$	2,249	1,420	1,835

Tabel L.14: Berat Jenis *Fly-ash*.

PROPERTIES OF HIGH DURABILITY ASPHALT MIXES BY THE MARSHALL METHOD SNI 06 - 2489 -1991

Contoh Aspal Agregat Kalibrasi Prov Tanggal	AC - BC 60/70	7,693 x 0,316 +	Material					Persen	Bulk	SSD	Apparent	Efektif	Bj Aspal Bj Gabung							
			No	h	i	j	k						l	m	n	o	p	q	r	s
1	5,3	5,0	1.170,0	1.180,0	691,0	489,0	2,393	2,426	11,559	88,631	1,371	11,369	87,940	4,325	98	754	840	2,50	336	0,68
2	5,0	5,0	1.173,0	1.184,0	686,0	498,0	2,355	2,426	11,379	87,252	2,905	12,748	77,210	4,325	87	670	720	2,30	313	0,68
3	5,0	5,0	1.175,0	1.191,0	690,0	501,0	2,345	2,426	11,330	85,348	3,322	13,122	74,684	4,325	96	739	786	2,40	327	0,68
1	5,8	5,5	1.172,0	1.186,0	689,0	497,0	2,358	2,409	12,531	86,894	2,105	13,106	83,937	4,828	93	716	773	2,40	322	0,67
2	5,5	5,5	1.181,0	1.189,0	689,0	500,0	2,362	2,409	12,552	87,035	1,945	12,965	84,995	4,828	90	693	739	2,60	284	0,67
3	5,5	5,5	1.178,0	1.192,0	692,0	500,0	2,356	2,409	12,520	85,286	2,194	13,186	83,357	4,828	86	662	706	2,50	283	0,67
1	6,4	6,0	1.193,0	1.201,0	676,0	525,0	2,272	2,392	13,173	83,290	5,003	16,710	70,058	5,332	116	893	869	2,50	348	0,67
2	6,0	6,0	1.189,0	1.195,0	681,0	514,0	2,313	2,392	13,410	84,787	3,296	15,213	78,337	5,332	105	808	819	2,60	315	0,67
3	6,0	6,0	1.183,0	1.187,0	671,0	516,0	2,293	2,392	13,291	82,553	4,156	17,447	76,177	5,332	106	816	820	2,70	304	0,67
1	6,9	6,5	1.190,0	1.199,0	681,0	518,0	2,297	2,375	14,427	83,756	3,292	16,244	79,736	5,836	109	839	837	1,90	441	0,66
2	6,5	6,5	1.190,0	1.200,0	680,0	520,0	2,288	2,375	14,372	83,433	3,664	16,567	77,885	5,836	116	893	885	1,70	520	0,66
3	6,5	6,5	1.190,0	1.197,0	679,0	518,0	2,297	2,375	14,427	82,281	3,292	17,719	81,422	5,836	121	931	930	1,90	489	0,66
1	7,5	7,0	1.191,0	1.199,0	678,0	521,0	2,294	2,375	14,409	83,157	3,416	16,843	79,681	5,836	103	793	884	1,83	483	0,66
2	7,0	7,0	1.189,0	1.200,0	679,0	521,0	2,286	2,359	15,461	82,898	3,101	17,102	81,866	6,339	113	870	783	1,70	460	0,66
3	7,0	7,0	1.189,0	1.200,0	678,0	522,0	2,278	2,359	15,405	81,145	3,449	18,855	81,705	6,339	105	808	795	1,70	468	0,66
	7,0						2,282	2,359	15,434	82,267	3,272	17,733	81,547	6,339			812	1,73	468	0,66

Keterangan

- a = % aspal terhadap batuan
- b = % aspal terhadap campuran
- c = berat sample kering (gr)
- d = berat sample jenuh (gr)
- e = berat sample dalam air (gr)
- f = volume sample (cc) = d - e
- g = berat isi sample (gr/cc) = c/f
- h = berat jenis maksimum
- i = $\frac{\% agregat}{bj agregat} + \frac{\% aspal}{bj aspal}$
- j = % volume aspal = $(b \times g) / bj aspal$
- k = % volume agregat = $((100 - b) \times g) / bj agregat$
- l = % rongga terhadap campuran = $100 - ((100 \times g) / h)$
- m = % rongga terhadap agregat = $100 - ((g \times b) / bj agregat)$
- n = % rongga terisi aspal = $1000 \times (l - k) / l$
- o = kadar aspal efektif
- p = pembacaan arloji stabilitas
- q = kalibrasi proving ring
- r = stabilitas akhir
- s = kelelahan (mm)
- t = marshall quotient = q/r

Tabel L.16: Marshall KAO + Fly-ash

PROPERTIES OF HIGH DURABILITY ASPHALT MIXES BY THE MARSHALL METHOD SNI 06 - 2489 -1991

Comboh Aspal Agregat Kalibrasi Prov Tanggal	AC - BC 60/70	7,683 x + 0,316	Material					Persen	Bulk	SSD	Apparent	Efektif	Bj Aspal 1,035	Bj Gabung	r	s	t	u				
			No	1	2	3	4												5			
1	6,06	3,0%	1.195,0	1.200,0	1.200,0	685,0	515,0	2,320	2,391	13,586	84,954	2,938	15,046	80,474	5,401	103	793	800	2,50	320	0,66	
2	6,06	3,0%	1.198,0	1.202,0	1.202,0	681,0	521,0	2,299	2,391	13,563	84,186	3,815	15,814	75,876	5,401	95	731	722	2,30	314	0,66	
3	6,06	3,0%	1.194,0	1.202,0	1.202,0	686,0	516,0	2,314	2,391	13,548	83,245	3,207	15,282	79,014	5,401	103	793	797	2,50	319	0,66	
	6,06							2,311	2,391	13,533	84,128	3,320	15,381	78,455	5,401				773	2,43	318	0,66
1	6,06	4,0%	1.197,0	1.197,0	1.197,0	685,0	512,0	2,338	2,391	13,689	85,595	2,206	14,405	84,688	5,401	101	777	793	2,60	305	0,66	
2	6,06	4,0%	1.200,0	1.204,0	1.204,0	680,0	524,0	2,290	2,391	13,409	83,844	4,206	16,156	73,967	5,401	89	685	669	2,30	291	0,66	
3	6,06	4,0%	1.196,0	1.201,0	1.201,0	671,0	530,0	2,257	2,391	13,213	81,181	5,606	17,381	67,747	5,401	105	808	773	2,80	276	0,66	
	6,06							2,295	2,391	13,437	83,540	4,006	15,981	75,467	5,401				745	2,57	291	0,66
1	6,06	5,0%	1.200,0	1.202,0	1.202,0	660,0	542,0	2,214	2,391	12,963	81,060	7,387	18,940	60,998	5,401	95	731	670	2,30	291	0,66	
2	6,06	5,0%	1.200,0	1.205,0	1.205,0	665,0	540,0	2,222	2,391	13,011	81,360	7,044	18,640	62,210	5,401	94	723	668	2,70	247	0,66	
3	6,06	5,0%	1.200,0	1.202,0	1.202,0	663,0	539,0	2,226	2,391	13,035	80,093	6,872	19,907	65,481	5,401	101	777	720	2,50	288	0,66	
	6,06							2,221	2,391	13,003	80,837	7,101	19,163	62,896	5,401				686	2,50	275	0,66
1	6,4	6,0%	1.201,0	1.204,0	1.204,0	653,0	551,0	2,180	2,391	12,762	79,802	8,824	20,198	56,312	5,401	92	708	629	2,60	242	0,66	
2	6,06	6,0%	1.200,0	1.207,0	1.207,0	651,0	556,0	2,158	2,391	12,637	79,019	9,719	20,981	53,677	5,401	83	639	558	2,80	199	0,66	
3	6,06	6,0%	1.200,0	1.204,0	1.204,0	665,0	539,0	2,226	2,391	13,035	80,093	6,872	19,907	65,481	5,401	98	754	698	2,60	269	0,66	
	6,06							2,188	2,391	12,811	79,638	8,472	20,362	58,490	5,401				628	2,67	237	0,66
1	6,4	7,0%	1.202,0	1.209,0	1.209,0	647,0	562,0	2,139	2,391	12,523	78,305	10,534	21,695	51,444	5,401	91	700	599	2,70	222	0,66	
2	6,06	7,0%	1.201,0	1.208,0	1.208,0	648,0	560,0	2,145	2,391	12,557	78,519	10,289	21,481	52,099	5,401	84	647	557	3,00	186	0,66	
3	6,06	7,0%	1.201,0	1.205,0	1.205,0	650,0	555,0	2,164	2,391	12,670	77,849	9,481	22,151	57,198	5,401	90	693	607	2,90	209	0,66	
	6,06							2,149	2,391	12,583	78,224	10,102	21,776	53,580	5,401				588	2,87	206	0,66

Keterangan

- a = % aspal terhadap batuan
- b = % aspal terhadap campuran
- c = kadar Crumb Rubber
- d = berat sample kering (gr)
- e = berat sample jenuh (gr)
- f = berat sample dalam air (gr)
- g = volume sample (cc) = d - e
- h = berat isi sample (gr/cc) = c/f

i = $\frac{\text{berat jenis maksimum}}{100} \times \frac{\% \text{ agregat} + \% \text{ aspal}}{\text{bj agregat} + \text{bj aspal}}$

j = $\frac{\% \text{ volume aspal} = (b \times g) / \text{bj aspal}}{\% \text{ volume agregat} = ((100 - b) \times g) / \text{bj agregat}}$

k = $\frac{\% \text{ rongga terhadap campuran} = 100 - ((100 \times g) / h)}{\% \text{ rongga terhadap agregat} = 100 - ((g \times b) / \text{bj agregat})}$

t = $\frac{\text{marshall quotient} = r/s}{\text{stabilitas akhir}}$

n = $\frac{\% \text{ rongga terisi aspal} = 1000 \times (l - k) / l}{\text{kadar aspal efektif}}$

o = $\frac{\text{pembacaan arloji stabilitas}}{\text{kalibrasi proving ring}}$

p = $\frac{\text{stabilitas akhir}}{\text{kelelahan (mm)}}$

q = $\frac{\text{stabilitas akhir}}{\text{kelelahan (mm)}}$

r = $\frac{\text{stabilitas akhir}}{\text{kelelahan (mm)}}$

Tabel L.17: Marshall KAO + Crumb Rubber

PROPERTIES OF HIGH DURABILITY ASPHALT MIXES BY THE MARSHALL METHOD SNI 06 - 2489 -1991

Contoh Aspal Agregat Kalibrasi Prov Tanggal	AC - BC 60/70						g	h	Material						Perisen	Bulk	SSD	Apparent	Efektif	Bj Aspal Bj Gabung					
	a	b	c	d	e	f			i	j	k	l	m	n						o	p	q	r	s	t
1	6,4	6,06	3,0%	1.194,0	1.200,0	686,0	514,0	2,323	2,390	13,601	85,080	2,810	14,920	81,169	5,396	108	831	842	2,40	351	0,66				
2		6,06	3,0%	1.196,0	1.198,0	687,0	511,0	2,341	2,390	13,704	85,723	2,075	14,277	85,465	5,396	111	854	875	2,20	398	0,66				
3		6,06	3,0%	1.193,0	1.198,0	687,0	511,0	2,335	2,390	13,669	84,010	2,321	14,492	83,985	5,396	107	823	843	2,40	351	0,66				
		6,06						2,333	2,390	13,658	84,938	2,402	14,563	83,540	5,396			853	2,33	367	0,66				
1	6,4	6,06	4,0%	1.196,0	1.196,0	693,0	503,0	2,378	2,390	13,922	87,086	0,518	12,914	95,991	5,396	106	816	861	2,50	344	0,66				
2		6,06	4,0%	1.193,0	1.197,0	678,0	519,0	2,299	2,390	13,459	84,190	3,827	15,810	75,797	5,396	106	816	811	2,20	369	0,66				
3		6,06	4,0%	1.197,0	1.204,0	685,0	519,0	2,306	2,390	13,504	82,992	3,504	15,528	77,434	5,396	107	823	819	2,70	303	0,66				
		6,06						2,328	2,390	13,628	84,756	2,616	14,751	83,074	5,396			830	2,47	339	0,66				
1	6,4	6,06	5,0%	1.198,0	1.202,0	681,0	521,0	2,299	2,390	13,463	84,218	3,794	15,782	75,959	5,396	108	831	821	2,20	373	0,66				
2		6,06	5,0%	1.196,0	1.201,0	679,0	522,0	2,291	2,390	13,415	83,916	4,139	16,084	74,267	5,396	109	839	825	2,60	317	0,66				
3		6,06	5,0%	1.198,0	1.202,0	673,0	529,0	2,265	2,390	13,260	81,491	5,249	18,509	71,640	5,396	106	816	783	2,40	326	0,66				
		6,06						2,285	2,390	13,379	83,209	4,394	16,791	73,955	5,396			810	2,40	339	0,66				
1	6,4	6,06	6,0%	1.195,0	1.999,0	692,0	1.307,0	0,914	2,390	5,353	33,487	61,746	66,513	7,166	5,396	107	823	143	2,50	57	0,66				
2		6,06	6,0%	1.999,0	1.202,0	690,0	512,0	3,904	2,390	22,860	142,998	-63,352	-42,998	-47,339	5,396	116	893	911	2,70	337	0,66				
3		6,06	6,0%	1.196,0	1.204,0	681,0	523,0	2,287	2,390	13,389	82,289	4,322	17,711	75,597	5,396	108	831	815	2,50	326	0,66				
		6,06						2,368	2,390	13,868	86,258	0,905	13,742	11,808	5,396			623	2,57	240	0,66				
1	6,4	6,06	7,0%	1.199,0	1.203,0	690,0	513,0	2,337	2,390	13,685	85,603	2,212	14,397	84,634	5,396	110	847	861	2,70	319	0,66				
2		6,06	7,0%	1.196,0	1.200,0	695,0	505,0	2,368	2,390	13,867	86,741	0,912	13,259	93,123	5,396	107	823	862	2,90	297	0,66				
3		6,06	7,0%	1.192,0	1.195,0	687,0	508,0	2,346	2,390	13,739	84,435	1,826	15,565	88,266	5,396	105	808	837	2,80	299	0,66				
		6,06						2,351	2,390	13,763	85,593	1,650	14,407	88,674	5,396			853	2,80	305	0,66				

Keterangan

- a = % aspal terhadap batuan
- b = % aspal terhadap campuran
- c = kadar Crumb Rubber
- d = berat sample kering (gr)
- e = berat sample jenuh (gr)
- f = berat sample dalam air (gr)
- g = volume sample (cc) = d - e
- h = berat isi sample (gr/cc) = c/f

i = berat jenis maksimum

$$i = \frac{100}{\frac{\% agregat}{bj agregat} + \frac{\% aspal}{bj aspal}}$$

j = % volume aspal = $(b \times g) / bj aspal$

k = % volume agregat = $((100 - b) \times g) / bj agregat$

l = % rongga terhadap campuran = $100 - ((100 \times g) / h)$

m = % rongga terhadap agregat = $100 - ((g \times b) / bj agregat)$

n = % rongga terisi aspal = $1000 \times (l - k) / l$

o = kadar aspal efektif

p = pembacaan arloji stabilitas

q = kalibrasi proving ring

r = stabilitas akhir

s = kelelahan (mm)

t = marshall quotient = r/s

Tabel L.18: Marshall KAO + Crumb Rubber + Fly-ash



LAPORAN HASIL PENGUJIAN

- 1 Pengujian No. : **1032.3** /LAB.BPPJN-I/VI/2018
- 2 Paket : PELEBARAN JALAN BtS. KOTA MEDAN TEMBUNG-LUBUK PAKAM (MYC)
- 3 Pelanggan : PT BANGUN CIPTA KONTRAKTOR
- 4 Quarry : -
- 5 Penerimaan Contoh Uji : Dikirim oleh pelanggan
- 6 Kemasan Contoh Uji : Kaleng

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Metode Pengujian	Satuan
1	Penetrasi pada 25°C	68.00	SNI 06-2456-2011	0,1 mm
2	Titik Lembek	49	SNI 06-2434-2011	°C
3	Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit	135	SNI 06-2432-2011	cm
4	Titik Nyala	-	SNI 06-2433-2011	°C
5	Berat Jenis	1.035	SNI 06-2441-2011	

Keberlakuan Data

- Hasil pengujian hanya berlaku untuk contoh uji yang diterima di Laboratorium Pengujian Bahan Konstruksi Jalan dan Jembatan BBPJN - I Medan
- Dilarang menerbitkan kembali dan menggandakan laporan ini tanpa persetujuan dari Laboratorium Pengujian Bahan Konstruksi Jalan dan Jembatan BBPJN - I Medan

Diproses Oleh:


Indriyanto Purba, ST
Penyelia

Medan, 27 Juni 2018

Diperiksa Oleh:


Ir. James Simamora, M.MT
Manajer Teknik

DOKUMENTASI PADA SAAT PENELITIAN BERLANGSUNG DI
LABORATORIUM JALAN RAYA UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH
SUMATERA UTARA



Gambar L.1: *Quartering* Agregat Kasar.



Gambar L.2: *Quartering* Agregat Halus.



Gambar L.3: SSD *Fly-ash*.



Gambar L.4: Pengayakan Menggunakan *Sieve Shaker*.



Gambar L.5: *Crumb Rubber* Lolos Ayakan No.100.



Gambar L.6: Abu Terbang Batu Bara (*Fly-ash*).



Gambar L.7: Pemanasan Piknometer Untuk Pengujian Berat Jenis.



Gambar L.8: Penimbangan Agregat Untuk Proporsi.



Gambar L.9: Pemanasan Agregat Dan Aspal.



Gambar L.10: Penuangan Aspal.



Gambar L.11: Penuangan Campuran Ke Cetakan.



Gambar L.12: Proses Penumbukan Benda Uji.



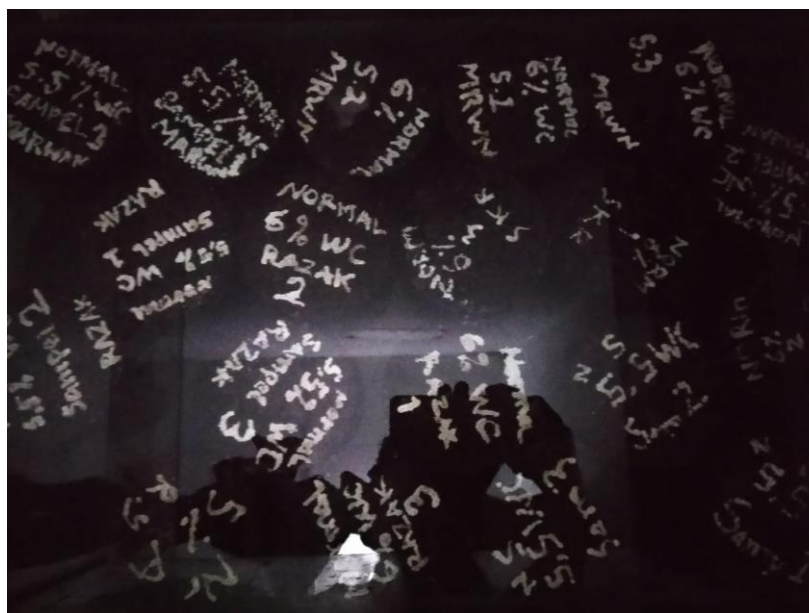
Gambar L.13: Penimbangan Benda Uji Setelah Didiamkan Selama 24 Jam.



Gambar L.14: Menimbang Benda Uji Dengan Timbangan Dunagan.



Gambar L.15: Mengukur Ketebalan Benda Uji Menggunakan Jangka Sorong.



Gambar L.16: Perendaman Benda Uji Di *Water Bath*.



Gambar L.17: Pengujian Benda Uji menggunakan Alat *Marshall Test*.



Gambar L.18: Benda Uji Yang Telah Di Uji Dengan *Marshall Test*.



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA
UTARA

Jl. Kapt. Mukhtar Basri BA, No. 3 Medan

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RENGGA YONNI
NPM : 1407210173
KELAS : B1 PAGI
JUDUL TUGAS AKHIR : PENINJAUAN NILAI-NILAI *MARSHALL* PADA CAMPURAN ASPAL LASTON AC-BC MEMAKAI *CRUMB RUBBER* PADA ASPAL DAN *FILLER FLY ASH*

TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
$\frac{4}{4}$ 2018	Pilih bahan-bahan yang akan digunakan - Sumber bahan (agregat) - Jenis aspal	cf.
$\frac{6}{6}$ 2018	Periksa propertises agregat yang akan digunakan. - Gradasi agregat - Berat jenis dan penyerapan.	cf.
$\frac{20}{1}$ 2018	Periksa gradasi gabungan agregat	cf.

DOSEN PEMBIMBING I

(MUHAMMAD HUSIN GULTOM, ST,MT)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA
UTARA

Jl. Kapt. Mukhtar Basri BA, No. 3 Medan

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RENGGA YONNI
NPM : 1407210173
KELAS : B1 PAGI
JUDUL TUGAS AKHIR : *PENINJAUAN NILAI-NILAI MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL LASTON AC-BC MEMAKAI CRUMB RUBBER PADA ASPAL DAN FILLER FLY ASH*

TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
$\frac{8}{7}$ 2018	Persiapkan bahan untuk pembuatan benda uji	cf
$\frac{20}{9}$ 2018	Periksa kadar aspal optimum	cf.
$\frac{24}{12}$ 2018	Acu seminar	cf.

DOSEN PEMBIMBING I

(MUHAMMAD HUSIN GULTOM, ST,MT)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA
UTARA

Jl. Kapt. Mukhtar Basri BA, No. 3 Medan

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RENGGA YONNI
NPM : 1407210173
KELAS : B1 PAGI
JUDUL TUGAS AKHIR : **PENINJAUAN NILAI-NILAI MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL LASTON AC-BC MEMAKAI CRUMB RUBBER PADA ASPAL DAN FILLER FLY ASH**

TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
31-7-2018	<ul style="list-style-type: none">- Isi TA diaseseensiikan ke pembimbing I.- bersingkat latar Belakang, cukup 1 1/2 halaman.- Bab 3 prosedur kerja tdk menggunakan kalimat perintah.	
10-12-2018	<ul style="list-style-type: none">- Penulisan fly ash hrs konsisten- Penulisan No & judul tabel hrs ditulis tabel up- jarak antar tulisan dg qbr/ tabel 3 spasi- Bab 4 Spasi v judul & no. tabel jkr huruf dari 2 baris spasi 1 spasi- Isi TA diaseseensiikan ke Pembimbing I- leghipi kata pengantar, daftar isi, daftar pustaka, dll- lampir ke pembimbing I	

DOSEN PEMBIMBING II

(Ir.ZURKIYAH, MT)



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA
UTARA

Jl. Kapt. Mukhtar Basri BA, No. 3 Medan

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : RENGGA YONNI
NPM : 1407210173
KELAS : B1 PAGI
JUDUL TUGAS AKHIR : *PENINJAUAN NILAI-NILAI MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL LASTON AC-BC MEMAKAI CRUMB RUBBER PADA ASPAL DAN FILLER FLY ASH*





TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
31-12-2018	<i>- Abstrak dlm bhs Inggrisnya mana? - gambar spasi dari gbr ke Kalimat Selanjutnya pd abstrak gunakan 3 spasi - Ucapn terima kasih kpd kaprodi dan sek. prodi di buat</i>	
7-1-2019	<i>Penulisan skripsi Ace Sumbar,</i>	

DOSEN PEMBIMBING II

(Ir.ZURKIYAH, MT)

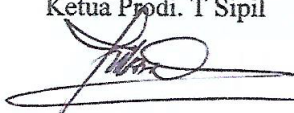
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2018 – 2019**

Peserta Seminar
 Nama : Rengga Yonni
 NPM : 1407210173
 Judul Tugas Akhir : Peninjauan Nilai-Nilai Marshall Pada campuran Aspal-Laston AC-BC Memakai Crumb Rubber Pada Aspal Dan Filler Fly Ash .

DAFTAR HADIR	TANDA TANGAN
Pembimbing – I : M.Husin Gultom.S.T.M.T	: 
Pembimbing – II : Ir.Zurkiyah.M.T	: 
Pemanding – I : Ir.Sri Asfiati.M.T	: 
Pemanding – II : DR.Fahrizal Z.S.T.M.Sc	: 

No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 27 Jum.Akhir 1440 H
04 Maret 2019 M

Ketua Prodi. T Sipil

 DR.Fahrizal Zulkarnain.S.T.M.Sc

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Rengga Yonni
NPM : 1407210173
Judul T.Akhir : Peninjauan Nilai-Nilai Marshall Pada Campuran Aspal Laston –
AC-BC memakai Crumb Rubber Pada Aspal Dan Filler Fly Ash.

Dosen Pembimbing – I : M.Husin Gultom.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : Ir.Zurkiyah.M.T
Dosen Pembanding - I : Ir.Sri Asfiati.M.T
Dosen Pembanding - II : DR.Fahrizal Zulkarnain.S.T.M.Sc

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :

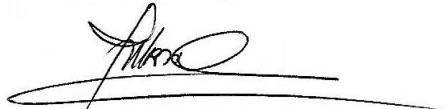
*- perbaikan Graxite², buat perbandingan dgn
Camp. normal*

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

*all telah dikoreksi!
08/03/19
ade fahrizal*

Medan 27 Jum.Akhir 1440H
04 Maret 2019 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T Sipil



Fahrizal Zulkarnain.S.T.M.Sc

Dosen Pembanding- I



Ir. Sri Asfiati.M.T

Ade Fahrizal

**DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**

NAMA : Rengga Yonni
NPM : 1407210173
Judul T.Akhir : Peninjauan Nilai-Nilai Marshall Pada Campuran Aspal Laston –
AC-BC memakai Crumb Rubber Pada Aspal Dan Filler Fly Ash.

Dosen Pembimbing – I : M.Husin Gultom.S.T.M.T
Dosen Pembimbing – II : Ir.Zurkiyah.M.T
Dosen Pembanding - I : Ir.Sri Asfiati.M.T
Dosen Pembanding - II : DR.Fahrizal Zulkarnain.S.T.M.Sc

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :


.....
.....
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

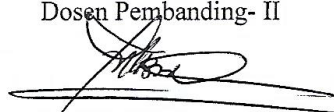
.....
.....
.....

Medan 27 Jum.Akhir 1440H
04 Maret 2019 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T Sipil


Fahrizal Zulkarnain.S.T.M.Sc

Dosen Pembanding- II


DR.Fahrizal Zulkarnain.S.T.M.Sc

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : Rengga Yonni
Panggilan : Rengga
Tempat, Tanggal Lahir : Asir-Asir Takengon, 10 Agustus 1996
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat : Jln. Bromo, Gang Minang Sakato, No.7A
Agama : Islam
Nama Orang Tua
Ayah : Sutarno
Ibu : Sukria.SST,M Kes
No. HP : 082272234870
E-mail : jemy.walker@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Pokok Mahasiswa : 1407210173
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 9 Lut Tawar	2008
2	SMP	SMP Negeri 1 Takengon	2011
3	SMA	SMA Negeri 4 Takengon	2014
4	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Tahun 2014 Sampai Selesai.		