

TUGAS AKHIR

**ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *CRUMB RUBBER* SEBAGAI
BAHAN PENAMBAH ASPAL DENGAN *FILLER FLY ASH* UNTUK
CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE*
(AC-WC)
(*Studi Penelitian*)**

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

Disusun oleh:

ABDUR RAZAK PURBA
1407210156



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
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 : Abdur Razak Purba

NPM : 1407210156

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Penggunaan *Crumb Rubber* Sebagai Bahan Penambah Aspal Dengan Filler *Fly Ash* Untuk Campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*.

Bidang Ilmu : Transportasi.

Disetujui Untuk Disampaikan Kepada
Panitia Ujian

Medan, 18 Maret 2019

Pembimbing I

Muhammad Husin Gultom, ST, MT

Pembimbing II

Ir. Sri Asriati, MT

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Abdur Razak Purba

NPM : 1407210156

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Penggunaan *Crumb Rubber* Sebagai Bahan Penambah Aspal Dengan *Filler Fly Ash* Untuk Campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)* (*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, 18 Maret 2019

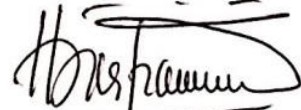
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji



Muhammad Husin Gultom, ST, MT

Dosen Pembimbing II/Penguji



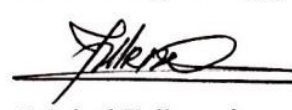
Ir. Sri Astiati, MT

Dosen Pembanding I / Penguji



Hj. Irma Dewi, ST, MSi

Dosen Pembanding II/Penguji



Dr. Fahrizal Zulkarnain



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Abdur Razak Purba
Tempat /Tanggal Lahir : Silau Malela / 05 Agustus 1996
NPM : 1407210156
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil,

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

“Analisis Pengaruh Penggunaan *Crumb Rubber* Sebagai Bahan Penambah Aspal Dengan *Filler Fly Ash* Untuk Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*”.

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, 18 Maret 2019

Saya yang menyatakan,



Abdur Razak Purba

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN *CRUMB RUBBER* SEBAGAI BAHAN PENAMBAH ASPAL DENGAN *FILLER FLY ASH* UNTUK CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE - WEARING COURSE* (*AC-WC*) (Studi Penelitian)

Abdur Razak Purba
1407210156
Muhammad Husin Gultom, S.T, M.T
Ir. Sri Asfiati, M.T

Lapis beton aspal adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural. Salah satu jenis lapis beton aspal tersebut adalah *Asphalt Concrete – Wearing Course* (*AC-WC*) yang merupakan lapisan perkerasan yang terletak di atas lapisan antara (*Binder Course* atau *BC*) dan di atas lapisan pondasi (*Base Course*). Material utama penyusun adalah agregat dan aspal, termasuk jenis *filler* dalam penggunaannya. Penelitian ini mencoba menggunakan *crumb rubber* sebagai bahan penambah aspal dan *fly ash* sebagai agregat halus dalam campuran aspal panas jenis *AC-WC* yang diharapkan menambah daya tahan lapis perkerasan beton aspal terhadap kerusakan yang disebabkan oleh cuaca dan beban lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai karakteristik *Marshall* pada campuran beton aspal dengan menggunakan *crumb rubber* sebagai bahan penambah aspal dan *fly ash* sebagai agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan *crumb rubber* dan *fly ash* akan mempengaruhi karakteristik campuran beton aspal. Dari data *Marshall Test* yang didapatkan diperoleh nilai tertinggi pada campuran *crumb rubber + fly ash* 3%. Dimana didapat nilai stabilitasnya sebesar 891 kg, *bulk density* sebesar 2,301 gr/cc, *flow* sebesar 3,600 mm, *void in mix* sebesar 3,982% , *void in mineral aggregate* sebesar 17,237%, dan *void filled bitumen* sebesar 76,914%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa campuran *crumb rubber* memenuhi persyaratan *Marshall Test*.

Kata kunci : agregat halus, *crumb rubber*, lapisan *AC-WC*

ABSTRACT

ANALYSIS OF INFLUENCE OF USE CRUMB RUBBER AS ASPHALT ENHANCERS WITH FILLER FLY ASH FOR ASPHALT CONCRETE - WEARING COURSE (AC-WC) (Research Studies)

Abdur Razak Purba
1407210156
Muhammad Husin Gultom, S.T, M.T
Ir. Sri Asfiati, M.T

Asphalt concrete layer is layer pavement construction which has structural value. One of the types of asphalt concrete layer is Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) which is pavement that is put top Binder Course (BC) and on the top of foundation layer. The major composer material is aggregate and asphalt, including type of filler in the usage. This research tried using crumb rubber as enhancers of asphalt and fly ash as of fine aggregate in hot mix asphalt type AC-WC which was expected to add the durability of asphalt concrete pavement on the damage caused by weather and traffic load. The purpose of this research is to know how bid the value of Marshall characteristic is on asphalt concrete mixture by using crumb rubber as enhancer of asphalt and fly ash as fine aggregate. The result of the research showed that the use of crumb rubber and fly ash would affect the characteristic of asphalt concrete mixture. From the data of Marshall test can be gained the highest in 3% mixture of crumb rubber and fly ash. Where it gets value of stability is 891 kg, bulk density is 2,301 gr/cc, flow is 3,600 mm, void in mix is 3,982%, void in mineral aggregate is 17,237%, and void filled bitumen is 76,914%. So can be conclude that the mixture of crumb rubber fulfilled the condition of Marshall test.

Keyword : fine aggregate, crumb rubber, layer AC-WC

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Pengaruh Penggunaan *Crumb Rubber* Sebagai Bahan Penambah Aspal Dengan *Filler Fly Ash* Untuk Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course*” 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 terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Muhammad Husin Gultom, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Sri Asfiati, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Hj. Irma Dewi, ST, MSi, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji serta ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Munawar Alfansuri, ST, MSc, selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
8. Yang paling istimewa kedua orang tua saya tercinta, yaitu Ayahanda Misnun Gunawan Purba dan Ibunda Marliyah, S.Pd.SD, yang telah berjuang dan bersusah payah untuk memenuhi semua kebutuhan saya, mendidik, merawat, dan menasehati saya sejak kecil sampai saat ini. Terima kasih untuk semua doa, dan kasih sayang tulus yang tak ternilai harganya, serta telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis saya.
9. Teristimewa keluarga saya Abangda KH. Dr. Hamdani Purba, Lc, MA, Kakanda Hakiki Mutiatun Purba, S.pd, Abangda Muhammad Fadhli Purba, dan Kakanda Misma Istirahmi Purba, S.pdi terima kasih untuk semua do'a dan dukungannya.
10. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Sahabat-sahabat penulis: Denny Azhary, Muhammad Sukron Sitorus, Marwan Syahputra, Rengga Yonni dan seluruh kelas B1 pagi angkatan 2014 yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

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

Medan, Maret 2019

Abdur Razak Purba

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR NOTASI	xvi
DAFTAR SINGKATAN	xviii
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Rang Lingkup	3
1.4. Tujuan Penelitian	3
1.5. Manfaat Penelitian	4
1.6. Sistematika Pembahasan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Umum	6
2.2. Agregat	7
2.2.1. Sifat Agregat	8
2.2.2. Klasifikasi Agregat	9
2.2.3. Jenis Agregat	9
2.3. Bahan Pengisi (<i>filler</i>)	10
2.4 . <i>Fly Ash</i> (Abu Batu Bara)	11
2.5. <i>Crumb Rubber</i> (Serbuk Ban Bekas)	11
2.6. Gradasi	12
2.6.1. Gradasi Agregat Gabungan	13
2.7. Pengujian Agregat	14

2.8. Aspal (<i>Asphalt</i>)	20
2.8.1. Jenis Aspal	20
2.8.2. Sifat Aspal	22
2.8.3. Klasifikasi Aspal	23
2.8.4. Pemeriksaan Properties Aspal	25
2.9. Metode Pengujian Campuran	27
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	
3.1. Bagan Alir Metode Penelitian	32
3.2. Metode Penelitian	33
3.3. Material Untuk Penelitian	33
3.4. Pengumpulan Data	33
3.5. Prosedur Penelitian	33
3.6. Pemeriksaan Bahan Campuran	34
3.6.1. Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar Dan Halus	34
3.6.2. Alat Yang Digunakan	34
3.7. Prosedur Kerja	35
3.7.1. Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	35
3.7.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji	36
3.7.3. Metode Pengujian Sampel	37
3.7.4. Penentuan Berat Jenis <i>Bulk Gravity</i>	38
3.7.5. Pengujian Stabilitas Dan Kelelehan (<i>Flow</i>)	38
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1. Hasil Penelitian	40
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat	40
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat	48
4.1.3. Hasil Pengujian Aspal	51
4.1.4. Perhitungam Parameret Pengujian Benda Uji	52
4.1.5. Perbandingan Sifat <i>Marshall</i>	62
4.2. Pembahasan dan Analisa	68
4.2.1. Perhitungan Kadar Aspal Optimum	68
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1. Kesimpulan	70

5.2. Saran

70

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)	7
Tabel 2.2	Gradasi Bahan Pengisi	11
Tabel 2.3	Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal	14
Tabel 2.4	Ukuran saringan menurut ASTM	15
Tabel 2.5	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Viskositas	24
Tabel 2.6	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Hasil RTFOT	24
Tabel 2.7	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Penetrasi Aspal	25
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ma) $\frac{3}{4}$ Inch	40
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Fa) $\frac{1}{2}$ Inch	41
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Pasir (Sand)	41
Tabel 4.4	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu (Cr)	42
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus <i>Fly Ash (Filler)</i>	43
Tabel 4.6	Hasil Pemeriksaan Kombinasi Gradasi Agregat Normal	44
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan Kombinasi Gradasi Agregat Dengan Campuran <i>Fly Ash 2% Pada Filler</i>	45
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Normal	46
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Penggunaan <i>Crumb Rubber</i> .	47
Tabel 4.10	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Penggunaan <i>Crumb Rubber + Fly Ash</i>	47
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Setiap Pembuatan Benda Uji Penggunaan <i>Fly Ash</i>	47
Tabel 4.12	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar MA $\frac{3}{4}$ Inch	48

Tabel 4.13	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar FA <i>½ inch</i>	49
Tabel 4.14	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu (<i>cr</i>)	49
Tabel 4.15	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>).	50
Tabel 4.16	Rekapitulasi Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus <i>Fly Ash (Filler)</i>	51
Tabel 4.17	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70	51
Tabel 4.18	Rekapitulasi Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Normal	54
Tabel 4.19	Rekapitulasi Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Penggunaan <i>Crumb Rubber 3%-7%</i>	54
Tabel 4.21	Rekapitulasi Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Penggunaan <i>Filler 2%</i>	54
Tabel 4.20	Rekapitulasi Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Penggunaan <i>Crumb Rubber 3%-7% + Filler 2%</i>	55
Tabel 4.22	Kadar Aspal Optimum Untuk Campuran Aspal Pertamina Normal	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Berat Jenis Agregat	16
Gambar 2.2	Hubungan Volume Dan Rongga- <i>Density</i> Benda Uji Campuran Aspal Panas Padat	28
Gambar 3.1	Bagan Alir Penelitian	32
Gambar 4.1	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Normal	44
Gambar 4.2	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Campuran <i>Fly Ash</i> 2% Pada <i>Filler</i>	45
Gambar 4.3	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Bulk Density</i> (Gr/Cc) Campuran Normal	55
Gambar 4.4	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Bulk Density</i> (Gr/Cc) Campuran <i>Crumb Rubber</i> 3%-7%	56
Gambar 4.5	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Bulk Density</i> (Gr/Cc) Campuran <i>Crumb Rubber</i> 3%-7% + <i>Filler</i> 2%	56
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Bulk Density</i> (Gr/Cc) Campuran <i>Filler</i> 2%.	56
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Stability</i> Campuran Normal	57
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Stability</i> (Kg) Campuran <i>Crumb Rubber</i> 3%-7%	57
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Stability</i> (Kg) Campuran <i>Crumb Rubber</i> 3%-7% + <i>Filler</i> 2%	58
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Stability</i> (Kg) Campuran <i>Filler</i> 2%	58
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) Campuran Normal	59
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) Campuran <i>Crumb Rubber</i> 3%-7%	59

Gambar 4.13	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) Campuran <i>Crumb Rubber</i> 3%-7% + <i>Filler</i> 2%	59
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) Campuran <i>Filler</i> 4%	60
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal (%) Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran Normal	60
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran <i>Crumb Rubber</i> 3%-7%	61
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran <i>Crumb Rubber</i> 3%-7% + <i>Filler</i> 2%	61
Gambar 4.18	Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Optimum 6,115% Dengan <i>Flow</i> (Mm) Campuran <i>Filler</i> 2%	61
Gambar 4.19	Perbandingan Nilai <i>Bulk Density</i> Campuran Aspal Normal, Campuran <i>Crumb Rubber</i> , Campuran <i>Crumb Rubber</i> + <i>Filler</i> Dan Campuran <i>Fly Ash</i> Pada <i>Filler</i> 2%	62
Gambar 4.20	Perbandingan Nilai <i>Stability</i> Campuran Aspal Normal, Campuran <i>Crumb Rubber</i> , Campuran <i>Crumb Rubber</i> + <i>Filler</i> Dan Campuran <i>Fly Ash</i> Pada <i>Filler</i> 2%	63
Gambar 4.21	Perbandingan Nilai <i>Flow</i> Campuran Aspal Normal, Campuran <i>Crumb Rubber</i> , Campuran <i>Crumb Rubber</i> + <i>Filler</i> Dan Campuran <i>Fly Ash</i> Pada <i>Filler</i> 2%	64
Gambar 4.22	Perbandingan Nilai VIM Campuran Aspal Normal, Campuran <i>Crumb Rubber</i> , Campuran <i>Crumb Rubber</i> + <i>Filler</i> Dan Campuran <i>Fly Ash</i> Pada <i>Filler</i> 2%	65
Gambar 4.23	Perbandingan Nilai VFB Campuran Aspal Normal, Campuran <i>Crumb Rubber</i> , Campuran <i>Crumb Rubber</i> + <i>Filler</i> Dan Campuran <i>Fly Ash</i> Pada <i>Filler</i> 2%	66
Gambar 4.24	Perbandingan Nilai VMA Campuran Aspal Normal, Campuran <i>Crumb Rubber</i> , Campuran <i>Crumb Rubber</i> + <i>Filler</i> Dan Campuran <i>Fly Ash</i> Pada <i>Filler</i> 2%	67
Gambar 4.25	Penentuan Rentang (<i>Range</i>) Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Normal	68

DAFTAR NOTASI

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

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

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

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

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk memikul beban lalu lintas. Agregat yang dipakai terdiri dari batu pecah, batu belah, atau batu kali. Sedangkan bahan pengikat yang dipakai antara lain adalah *asphalt cement*, *portland cement* dan tanah liat. Jalan raya memiliki fungsi penting dalam kehidupan manusia karena sebagian besar kegiatan transportasi manusia menggunakan jalan raya. Pengaruh yang besar tersebut mengakibatkan jalan raya memegang peranan penting dalam meningkatkan kesejahteraan dan perekonomian serta pembangunan suatu bangsa. Agar perkerasan jalan sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan.

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

ekonomis. Campuran aspal yang berfungsi sebagai lapisan struktural adalah lapisan yang menahan dan menyebarkan beban roda. Sebagai lapisan non struktural aspal beton berfungsi sebagai lapis kedap air dan lapis aus (*Wearing Course*) atau lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan. Didalam penulisan ini kombinasi yang digunakan adalah *crumb rubber* sebagai bahan penambah aspal dengan *fly ash* sebagai *filler* untuk campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course*.

Crumb rubber adalah salah satu hasil pengolahan (parutan) limbah ban bekas. Jumlah ban bekas semakin meningkat seiring perkembangan kendaraan. Oleh sebab itu pengolahan limbah ban bekas menjadi isu penting bagi kita. Salah satu pemanfaatan *crumb rubber* dalam bidang perkerasan jalan adalah dengan menggunakannya sebagai bahan tambah pengikat campuran beraspal. Pentingnya penggunaan kembali limbah ban bekas sebagai wujud kepedulian lingkungan dan melihat pesatnya teknologi pemanfaatan *crumb rubber* baik di dalam maupun di luar negeri serta mengetahui kelebihan dari *crumb rubber* sebagai bahan penambah pada campuran aspal maka pengembangan teknologi *crumb rubber* untuk suatu negara perlu dilakukan.

Asphaltic Concrete (AC) merupakan salah satu jenis bahan perkerasan lentur yang memiliki nilai struktural yang tinggi dan banyak digunakan di Indonesia sebagai lapis permukaan jalan. Karakteristik campuran beton aspal sangat dipengaruhi oleh jenis dan kadar *filler* dalam campurannya.

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

Fly ash (Abu terbang) merupakan limbah padat hasil dari proses pembakaran di dalam *furnace* pada PLTU yang kemudian terbawa keluar oleh sisa-sisa pembakaran serta di tangkap dengan menggunakan elektrostatis precipitator. *Fly ash* merupakan residu mineral dalam butir halus yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang dihaluskan pada suatu pusat pembangkit listrik.

Fly ash terdiri dari bahan inorganik yang terdapat di dalam batu bara yang telah mengalami fusi selama pembakarannya. Bahan ini memadat selama berada di dalam gas-gas buangan dan dikumpulkan menggunakan presipitator elektrostatis. Karena partikel-partikel *fly ash* umumnya berbentuk bulat. Partikel-partikel *fly ash* yang terkumpul pada presipitator elektrostatis biasanya berukuran silt (0.074 – 0.005 mm). Bahan ini terutama terdiri dari silikon dioksida (SiO₂), aluminium oksida (Al₂O₃) dan besi oksida (Fe₂O₃). (Koesnadi, Heri, 2008).

Dari hal tersebut maka penulis berharap dapat mengkombinasikan *crumb rubber* sebagai bahan penambah aspal dengan *fly ash* sebagai *filler* untuk campuran aspal, dalam hal ini aspal penetrasi 60/70 dengan *fly ash* sebagai *filler* dan penambahan *crumb rubber* akan memberikan dampak yang baik dan diharapkan agar dapat diperoleh aspal modifikasi yang memiliki kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air yang lebih baik dari aspal biasa dipakai di jalan – jalan Indonesia yang beriklim Tropis. Pencampuran *crumb rubber* dan *filler* ke dalam aspal memerlukan langkah yang tepat agar didapatkan aspal modifikasi yang memiliki karakteristik yang diinginkan.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam penelitian tugas akhir ini terdapat permasalahan, maka permasalahan yang akan dibahas yaitu:

1. Apakah penggunaan *crumb rubber* dan *fly ash* yang digunakan dalam percobaan dapat memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Dinas Bina Marga 2010 Revisi (3).
2. Berapa hasil *Marshall test* yang diperoleh dalam keadaan optimum.
3. Bagaimana pengaruh penggunaan *crumb rubber* sebagai bahan penambah aspal dengan *fly ash* sebagai *filler* untuk campuran pada aspal penetrasi 60/70 terhadap kekuatan tekan standar rujukan RSNI M-01-2003.

1.3 Ruang Lingkup

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

1. Penelitian ini tidak melakukan pengujian aspal di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara karena hasil pengujian aspal telah diperoleh dari data sekunder.
2. Penelitian ini hanya menggunakan jenis campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course*.
3. Penelitian ini hanya meneliti sifat *Marshall* yang menggunakan penambahan *crumb rubber* dengan *fly ash* sebagai *filler* pada aspal sebagai bahan campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi (3)

1.4 Tujuan Penelitian

Pada penelitian tugas akhir ini dilakukan bertujuan untuk:

1. Untuk mengetahui apakah tujuan percobaan ini memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Dinas Bina Marga Revisi (3).
2. Untuk mengetahui hasil *Marshall test* yang didapatkan dalam keadaan optimum.
3. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan *crumb rubber* sebagai bahan penambah aspal dengan *fly ash* sebagai *filler* untuk campuran pada aspal penetrasi 60/70 terhadap kekuatan tekan standar rujukan RSNI M-01-2003.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan pada penelitian ini adalah diharapkan agar *crumb rubber*, dapat dimanfaatkan penggunaannya sebagai bahan penambah aspal dengan *fly ash* sebagai *filler* dalam campuran *AC-WC* sebagai lapis aus permukaan perkerasan lentur ditinjau terhadap sifat *Marshall*.

1.6 Sitematika Pembahasan

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

BAB 1 PENDAHULUAN

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

BAB 2 STUDI PUSTAKA

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

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

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

BAB 4 ANALISA DATA

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

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Umum

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

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

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

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

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

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

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

2.2 Agregat

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

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

2.2.1. Sifat Agregat

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

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

2.2.2. Klasifikasi Agregat

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

1. Batuan beku

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

2. Batuan sedimen

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

3. Batuan metamorf

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

2.2.3. Jenis Agregat

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

1. Agregat alam (*natural aggregates*)

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

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

2. Agregat yang diproses

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

3. Agregat buatan

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

2.3. Bahan Pengisi (*filler*)

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

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

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

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

2.4. Fly Ash (Abu batu-bara)

Fly ash (abu terbang) merupakan partikel halus yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu dimana abu batu tersebut memiliki sifat keras, awet, dan unsur *pozzolan*. Sehingga abu batu bisa digunakan dalam campuran aspal beton untuk meningkatkan ketahanan suatu campuran aspal (Sukirman 2003). Abu terbang batu bara merupakan bahan *anorganik* sisa pembakaran batu bara dan terbentuk dari perubahan bahan mineral karena proses pembakaran. *Fly ash* umumnya ditangkap oleh *electrostatic precipitators* atau peralatan filtrasi partikel lain sebelum gas buang mencapai cerobong asap batu bara pembangkit listrik. Pada pembakaran batu bara dalam pembangkit tenaga listrik terbentuk dua jenis abu yakni abu terbang batu bara (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Partikel abu yang terbawa gas buang disebut abu terbang batu bara, sedangkan abu yang tertinggal dan dikeluarkan dari bawah tungku disebut abu dasar. Sebagian abu dasar berupa lelehan abu disebut terak (*slag*).

Fly ash adalah material yang sangat halus yang berasal dari sisa pembakaran batu bara. Abu batu bara dapat dijadikan *filler* karena ukuran partikelnya yang

sangat halus yang lolos saringan bila disaring dengan menggunakan saringan No. 200 (75 micron) dan mengandung unsur *pozzolan*, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat pada aspal beton (Adibroto et al, 2008).

2.5. *Crumb Rubber* (Serbuk ban bekas)

Crumb rubber (serbuk ban bekas) adalah karet daur ulang yang dihasilkan dari ban bekas otomotif dan truk yang proses pengolahannya melalui tahap peremahan. Selama proses daur ulang, tali baja dan ban dilepaskan, meninggalkan karet ban dengan konsistensi granular. *Crumb rubber* merupakan salah satu bahan yang dapat digunakan untuk campuran aspal dari golongan *polymer* dengan jenis *elastomer*. Jenis tersebut diharapkan dapat memperbaiki sifat elastis, kekuatan saat menerima beban, serta ketahanan pada campuran aspal. Penggunaan *crumb rubber* pada campuran lapis tipis aspal beton untuk mendaur ulang atau memberikan manfaat kembali limbah karet pada karet kendaraan di lingkungan. Limbah karet kendaraan tidak dapat dipakai kembali dan tidak larut di dalam tanah maupun air tanah, sehingga sangat membahayakan bagi lingkungan.

2.6. 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 inchi persegi dari saringan tersebut.

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

Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

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

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

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi baik (*well graded*). Suatu campuran dikatakan bergradasi sangat rapat bila persentase lolos dari masing-masing saringan memenuhi. Campuran dengan gradasi ini memiliki *stabilitas* yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

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

2.6.1. Gradasi Agregat Gabungan

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

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

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

2.7. Pengujian Agregat

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

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

1. Pengujian Analisis Ukuran Butir (Gradasi)

Suatu material yang mempunyai grafik gradasi di dalam batas-batas gradasi tetapi membelok dari satu sisi batas gradasi ke batas yang lainnya, dinyatakan sebagai gradasi yang tidak baik karena menunjukkan terlalu banyak untuk ukuran

tertentu dan terlalu sedikit untuk ukuran lainnya. Gradasi ditentukan dengan melakukan penyaringan terhadap contoh bahan melalui sejumlah saringan yang tersusun sedemikian rupa dari ukuran besar hingga kecil, bahan yang tertinggal dalam tiap saringan kemudian ditimbang. Spesifikasi gradasi campuran beraspal panas sering dinyatakan dengan ukuran nominal maksimum dan ukuran maksimum agregat.

Analisis saringan ada 2 macam yaitu analisis saringan kering dan analisis saringan dicuci (analisis saringan basah). Analisis saringan kering biasanya digunakan untuk pekerjaan rutin untuk agregat normal. Namun bila agregat tersebut mengandung abu yang sangat halus atau mengandung lempung, maka diperlukan analisis saringan dicuci. Untuk agregat halus umumnya digunakan analisis saringan dicuci (basah). Berikut adalah ukuran saringan menurut ASTM pada Tabel 2.4.

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

No. Saringan	Lubang Saringan	
	Inch	Mm
1 ½	1,50	38,1
1	1,00	25,4
¾	0,75	19,0
½	0,50	12,7
3/8	0,375	9,51
No. 4	0,187	4,76
No. 8	0,0937	2,38
No. 16	0,0469	1,19
No. 30	0,0234	0,595
No. 50	0,0117	0,297
No. 100	0,0059	0,149
No. 200	0,0029	0,0029

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

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

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

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

- Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)
- Berat jenis bulk (*bulk specific gravity*)
- Berat jenis efektif (*effective specific gravity*)

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

Gambar 2.1: Berat Jenis Agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

Berat Jenis dapat dinyatakan dengan Pers. 2.1 – Pers. 2.3.

Berat Jenis Semu:

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

Berat Jenis Curah:

$$Gsb = \frac{Ws}{(Vs+Vpp).\gamma_w} \quad (2.2)$$

Berat Jenis Efektif:

$$Gse = \frac{Ws}{(Vs+Vpp-Vap).\gamma_w} \quad (2.3)$$

Dengan pengertian:

Ws = Berat agregat kering

γ_w = Berat Isi air = 1 g/cm³

Vs = Volume bagian padat agregat

Vpp = Volume pori meresap aspal

$Vpp-Vap$ = Volume pori meresap air yang tidak meresap aspal

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

mengadakan penyesuaian mengenai Berat Jenis, karena Berat Jenis masing-masing bahan berbeda.

1. Berat Jenis dan penyerapan agregat kasar

Alat dan prosedur pengujian sesuai dengan SNI 03-1969-1990. Berat Jenis Penyerapan agregat kasar dihitung dengan Pers. 2.4 – Pers. 2.7.

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

$$\frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (2.4)$$

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

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

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

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

d. Penyerapan (*absorsi*) =

$$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dengan pengertian:

Bk = Berat benda uji kering oven, dalam gram.

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

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

2. Berat Jenis dan penyerapan agregat halus

Alat dan prosedur pengujian sesuai dengan SNI-13-1970-1990. Berat Jenis dan Penyerapan agregat halus dihitung dengan Pers. 2.8 – Pers. 2.11.

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

$$\frac{Bk}{B + A - Bt} \quad (2.8)$$

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

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

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

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

d. Penyerapan (*absorsi*) =

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

Dengan pengertian:

Bk = Berat benda uji kering oven, dalam gram.

B = Berat piknometer berisi air, dalam gram.

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

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

1. Penyerapan

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

2. Pemeriksaan daya lekat agregat terhadap aspal

Stripping yaitu pemisahan aspal dari agregat akibat pengaruh air, dapat membuat agregat tidak cocok untuk bahan campuran beraspal karena bahan tersebut mempunyai sifat *hyrdophylik* (senang terhadap air). Jenis agregat yang menunjukkan sifat ketahanan yang tinggi terhadap pemisahan 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.

2.8. Aspal (*Asphalt*)

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

Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4 - 10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal. *Hydrocarbon* adalah bahan dasar utama dari aspal yang umum disebut bitumen, sehingga aspal sering disebut juga bitumen. Aspal yang umum digunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil dari proses destilasi minyak bumi dan disamping itu mulai banyak pula digunakan aspal alam yang berasal dari pulau Buton. Tingkat pengontrolan yang dilakukan pada tahapan proses penyulingan akan menghasilkan aspal dengan sifat yang khusus yang cocok untuk pemakaian yang khusus pula, seperti untuk pembuatan campuran beraspal, pelindung atap dan penggunaan khusus lainnya (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.8.1. Jenis Aspal

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan atas:

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

Di Indonesia, aspal alam ditemukan di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara dan dikenal dengan aspal Buton (Asbuton). Bitumen asbuton berasal dari minyak bumi yang dekat dengan permukaan bumi. Minyak bumi meresapi batu kapur yang porous kemudian melalui periode waktu yang panjang dan berlangsung secara alamiah serta terjadi penguapan fraksi ringan dari minyak. Mula-mula gas

yang menguap dan kemudian diikuti oleh *geseline*, *kerosene*, *diesel oil* yang akhirnya tinggal bitumen dalam batuan kapur.

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

2. Aspal buatan

a. Aspal minyak, yang merupakan hasil penyulingan minyak bumi.

b. Tar, merupakan hasil penyulingan batu bara.

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

3. Aspal padat

Aspal padat atau bitumen ini merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang kemudian disuling sekali lagi pada suhu yang sama tetapi dengan tekanan rendah (hampa udara), sehingga dihasilkan bitumen yang disebut dengan straightrun bitumen.

4. Aspal cair (*cutback asphalt*)

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

5. Ter

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

2.8.2. Sifat Aspal

Adapun sifat-sifat aspal adalah sebagai berikut:

1. Daya tahan (*durability*)

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

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

2. Adhesi dan Kohesi

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

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

3. Kepekaan terhadap temperatur

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

Kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur dapat diketahui dengan jelas bila sifat aspal dinyatakan dalam indeks penetrasinya (IP). Nilai IP aspal bekisar antara -3 sampai +7, aspal dengan nilai IP yang tinggi lebih tidak peka terhadap perubahan temperatur dan sebaliknya. Selain itu, nilai IP aspal dapat juga

digunakan untuk memprediksi kinerja campuran beraspal, aspal dengan IP yang tinggi akan menghasilkan campuran beraspal yang memiliki Modulus Kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi yang tinggi pula.

4. Pengerasan dan penuaan

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

2.8.3. Klasifikasi Aspal

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

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

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

Pengujian	Satuan	STANDAR VISKOSITAS					
		AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viskositas 60°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

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

Tabel 2.6: Klasifikasi aspal keras berdasarkan 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°C	poise	1000±250	2000±500	4000±1000	8000±2000	16000±4000
Viskositas min. 135 °C	cst	140	200	275	400	550
Penetrasi 25°C, 100 gram, 5 detik.	0,1 mm	65	40	25	20	50
Penetrasi sisa 25°C, 100 gram, 5 detik. Terhadap penetrasi awal	%	-	40	45	50	52
Sifat Aspal keras segar						
Titik Nyala min	°C	205	219	227	232	238
Kelarutan dalam Tricholoroethylene min	%	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

Tabel 2.7: Klasifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi aspal (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

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

2.8.4. Pemeriksaan Properties Aspal

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

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

a. Uji penetrasi

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

b. Titik lembek

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

c. Daktilitas

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

d. Berat jenis

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

Berat jenis diperlukan untuk perhitungan dengan menggunakan Pers. 2.12.

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

Dimana:

A = Berat piknometer (gram)

B = Berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi aspal (gram)

D = Berat piknometer berisi air dan aspal (gram)

E = Titik Nyala dan Titik Bakar

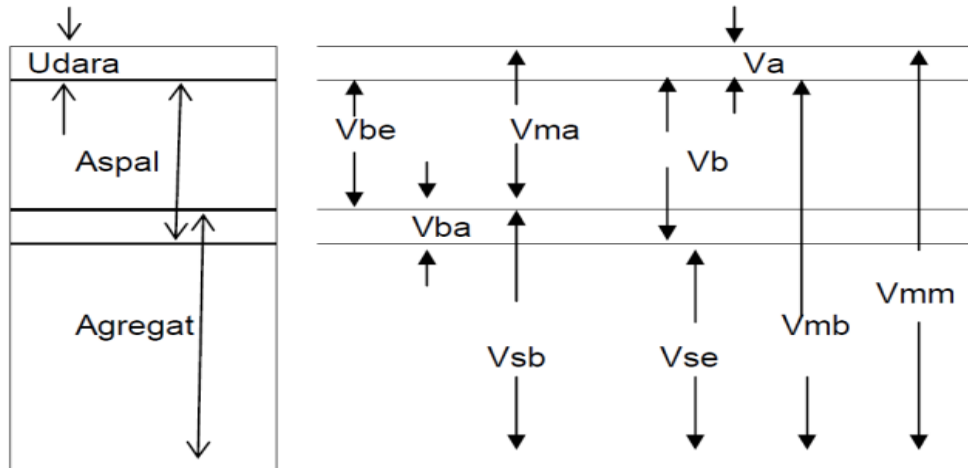
Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua jenis hasil minyak bumi kecuali minyak bakar dan bahan lainnya yang mempunyai titik nyala *open cup* kurang dari 70 . Dengan percobaan ini akan diketahui suhu dimana aspal akan mengalami kerusakan karena panas, yaitu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

f. Kelekatan Aspal pada Agregat

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

2.9. Metode Pengujian Rencana Campuran

Pengujian campuran tidak hanya dilakukan pada aspal atau agregatnya saja tetapi juga harus dilakukan terhadap campuran aspal dan agregat untuk memperoleh perbandingan dan karakteristik yang dikehendaki bagi campuran tersebut. Dalam bagian ini akan dibahas perhitungan yang seringkali dipergunakan pada pekerjaan di laboratorium untuk mengetahui karakteristik aspal beton yang telah dipadatkan. Secara skematis campuran aspal beton yang telah dipadatkan dapat digambarkan sebagai Gambar 2.2 dan menggunakan persamaan seperti Pers. 2.13 – Pers. 2.15.



Gambar 2.2: Hubungan volume dan rongga-density benda uji campuran aspal panas padat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Keterangan gambar:

V_{ma} = Volume rongga dalam agregat mineral

V_{mb} = Volume contoh padat

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

V_a = Volume rongga udara

V_b = Volume aspal

V_{ba} = Volume aspal terabsorpsi

V_{be} = Volume aspal efektif

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

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

W_b = Berat aspal

W_s = Berat agregat

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

G_{mb} = Berat jenis Curah contoh campuran padat

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

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

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

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

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

1. *Marshall Density*

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

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

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

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

Keterangan:

VIM = Rongga udara dalam campuran

G = Berat jenis maksimum dari campuran

H = Berat jenis yang telah dipadatkan

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

3. Rongga udara antara agregat (VMA)

VMA menggambarkan ruangan yang tersedia untuk menampung volume efektif aspal (seluruh aspal kecuali yang diserap oleh agregat) dan volume rongga udara yang dibutuhkan untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air atau beban lalu lintas. Dengan semakin bertambahnya nilai VMA dari campuran maka semakin besar pula ruangan yang tersedia untuk lapisan aspal. Semakin tebal lapisan aspal pada

agregat maka daya tahan perkerasan akan semakin meningkat. Nilai VMA ini dapat dihitung dengan menggunakan Pers. 2.17.

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

Keterangan:

VMA = Rongga udara antara agregat

G = Berat jenis maksimum dari campuran

B = Berat jenis campuran yang telah di padatkan

4. Rongga terisi aspal (VFB)

VFB adalah merupakan persen (%) volume rongga di dalam agregat yang terisi oleh aspal. Untuk mendapatkan suatu campuran yang awet dan mempunyai tingkat oksidasi yang rendah maka pori diantara agregat halus terisi aspal cukup untuk membentuk lapisan aspal yang tebal. Nilai VFB ini dapat dihitung dengan menggunakan Pers. 2.18

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

VFB = Rongga terisi aspal

I = Rongga udara dalam campuran

K = Rongga udara antar agregat

5. *Marshall stability*

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

6. *Marshall Flow*

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

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

7. *Absorpsi* (penyerapan)

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

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

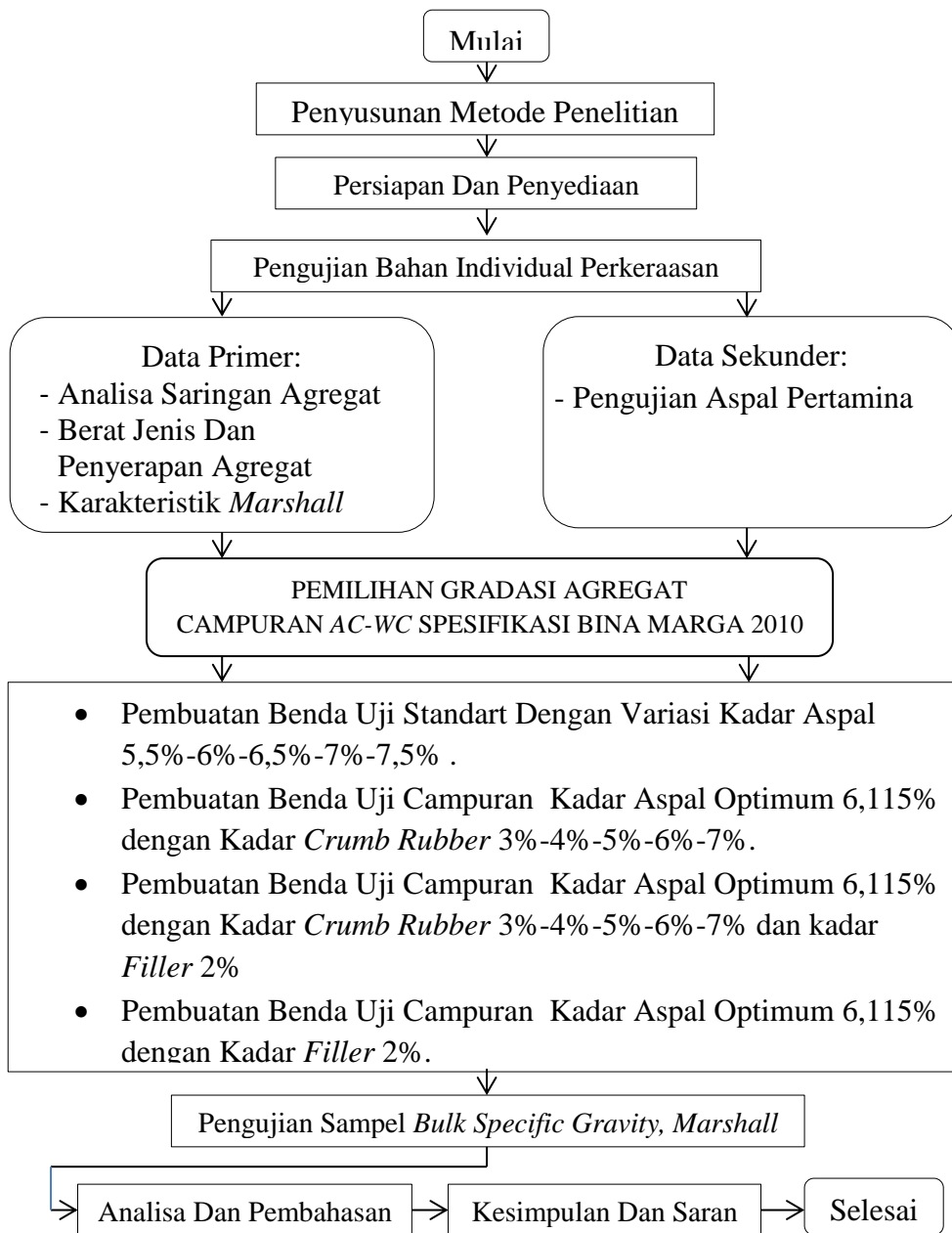
Absorpsi dalam campuran tidak boleh besar, hal ini untuk meminimalkan potensi *stripping* atau pelemahan ikatan antara aspal dan agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

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 Perencanaan

3.2. Metode Penelitian

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

3.3. Material Untuk Penelitian

Bahan-bahan dan material yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Agregat kasar, Agregat halus, Aspal Pertamina, yang di dapatkan dari *Asphalt Mixing Plant* PT. Bangun Cipta Kontraktor Medan, *Crumb rubber* yang didapat dari PT. Alkarin Marindal Medan, dan *filler* yang di gunakan adalah *Fly ash* dari PT. Indonesia Power Sumatera Utara.

3.4. Pengumpulan Data

Pengumpulan data ada dua, yaitu:

1. Data sekunder, data yang digunakan dari benda uji material yang telah dilakukan perusahaan dan di uji di balai pengujian material. Dimana data skunder aspal pertamina penetrasi 60/70 di dapatkan dari PT. BANGUN CIPTA KONTRAKTOR.
2. Data primer, data yang didapatkan saat melakukan penelitian di laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dimana data-data tersebut adalah:
 - a. Berat jenis agregat
 - b. Analisa saringan
 - c. Karakteristik *marshall*

3.5. Prosedur Penelitian

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

1. Pengadaan alat dan penyediaan bahan yang akan digunakan untuk melakukan penelitian.

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

3.6. Pemeriksaan Bahan Campuran

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

3.6.1. Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar dan Halus

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

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

3.6.2. Alat Yang Digunakan

1. Saringan atau ayakan ayakan $1\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 dan pan.

2. Sekop digunakan sebagai alat mengambil sampel material di laboratorium maupun pada saat pengambilan material di AMP.
3. Goni, kantong plastik dan juga pan sebagai tempat atau wadah tempat material.
4. Timbangan kapasitas 20 kg dan timbangan kapasitas 3000 gr dengan ketelitian 0,1 gram.
5. *Shieve shaker* berfungsi sebagai alat mempermudah pengayakan material.
6. Sendok pengaduk dan spatula.
7. *Thermometer* sebagai alat pengukur suhu aspal dan juga material.
8. Piknometer dengan kapasitas 500 ml, untuk pemeriksaan berat jenis penyerapan agregat halus.
9. Cetakan mold berbentuk silinder yang berdiameter 101,6 mm (4 in) dan tinggi 76,2 (3 in), beserta *jack hammer marshall AC-BC*.
10. *Extruder* berfungsi sebagai alat untuk mengeluarkan banda uji *Marshall* dari mold.
11. Spidol untuk menandai benda uji.
12. Penangas air (*Water bath*) dengan kedalaman 152,4 mm (6 in) yang dilengkapi dengan pengatur temperatur air $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
13. Oven pengering material.
14. Alat uji *Marshall test* dilengkapi dengan kepala penekan (*breaking head*), cincin penguji (*proving ring*) dan arloji (*dial*).

3.7. Prosedur Kerja

3.7.1. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

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

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

aggregate) dari analisa komposisi gradasi diperoleh komposisi campuran agregat sebagai berikut:

A. Untuk standart

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

B. Untuk filler 2%

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

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%, 6%, 6,5%, 7% dan 7,5%.

3.7.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji

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

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

3.7.3. Metode Pengujian Sampel

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

Pengujian sampel terbagi atas 2 bagian pengujian, yaitu:

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

Peralatan yang digunakan untuk pengujian sampel sebagai berikut:

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

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

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

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

Adapun proses tahapan penimbangan sebagai berikut:

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

3.7.5. Pengujian *Stability* dan *Flow*

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

1. Rendamlah benda uji dalam penangas air selama 30 – 40 menit dengan temperatur tetap $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji.
2. Permukaan dalam *testing head* dibersihkan dengan baik. Suhu *head* harus dijaga dari 21°C - 37°C dan digunakan bak air apabila perlu. *Guide road* dilumasi dengan minyak tipis sehingga bagian atas *head* akan meluncur tanpa terjepit. Periksa indikator *proving ring* yang digunakan untuk mengukur beban yang diberikan. Pada setelah dial *proving ring* di stel dengan jarum menunjukkan angka nol dengan tanpa beban.
3. Sampel percobaan yang telah direndam dalam *water bath* diletakkan ditengah bagian bawah dari *test head*. *Flow* meter diletakkan diatas tanpa *guide road* dan jarum petunjuk dinolkan.
4. Pasang bagian atas alat penekan uji *Marshall* di atas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*.
5. Pasang arloji pengukur pelelehan (*Flow*) pada kedudukanya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan.
6. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
7. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
8. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50,8 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, untuk pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (*stabilitas*) yang dicapai. Untuk benda uji dengan tebal tidak sama dengan 63,5 mm, beban harus dikoreksi dengan factor pengali.
9. Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai. Bersihkan alat dan selesai.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat

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

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	38,99%
3/8	9.50	21,34%
4	4.75	0,69%
8	2.36	0,32%
16	1.18	0,32%
30	0.60	0,32%

Tabel 4.1: *Lanjutan.*

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
50	0.30	0,32%
100	0.15	0,32%
200	0.075	0,32%

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	100%
3/8	9.50	89,66%
4	4.75	36,98%
8	2.36	24,16%
16	1.18	16,26%
30	0.60	11,82%
50	0.30	8,16%
100	0.15	7,78%
200	0.075	6,80%

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

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

Tabel 4.3: *Lanjutan.*

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1	25.40	100%
$\frac{3}{4}$	19.00	100%
$\frac{1}{2}$	12.50	100%
$\frac{3}{8}$	9.50	100%
4	4.75	100%
8	2.36	96,55%
16	1.18	87,80%
30	0.60	70,70%
50	0.30	6,65%
100	0.15	6,20%
200	0.075	0,75%

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
$1\frac{1}{2}$	37.50	100%
1	25.40	100%
$\frac{3}{4}$	19.00	100%
$\frac{1}{2}$	12.50	100%
$\frac{3}{8}$	9.50	100%
4	4.75	100%
8	2.36	73,90%
16	1.18	49,10%
30	0.60	31,10%

Tabel 4.4: *Lanjutan.*

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
50	0.30	21,,50%
100	0.15	19,10%
200	0.075	9,50%

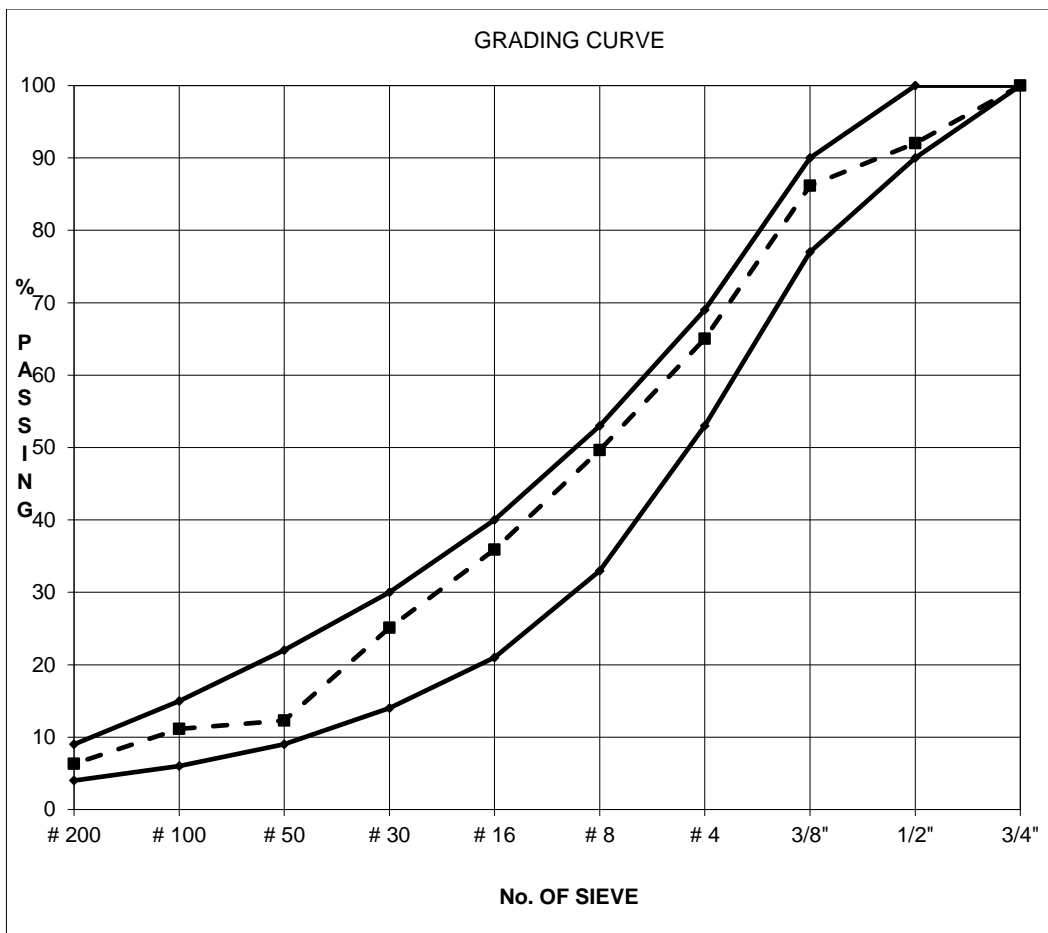
Tabel 4.5: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus *fly ash*.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos saringan
1½	37.50	100%
1	25.40	100%
¾	19.00	100%
½	12.50	100%
3/8	9.50	100%
4	4.75	100%
8	2.36	100%
16	1.18	100%
30	0.60	100%
50	0.30	99,90%
100	0.15	99,70%
200	0.075	94,45%

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk Laston harus berada di antara batas atas dan batas bawah. Dari hasil analisis saringan maka terdapat 2 gradasi agregat yaitu standart, dan penggunaan *filler* 2%. Dari hasil analisis saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti Table 4.6 – Tabel 4.7. Dan Gambar 4.1. – Gambar 4.2. yang menunjukkan grafik.

Tabel 4.6: Hasil pemeriksaan kombinasi gradasi agregat normal.

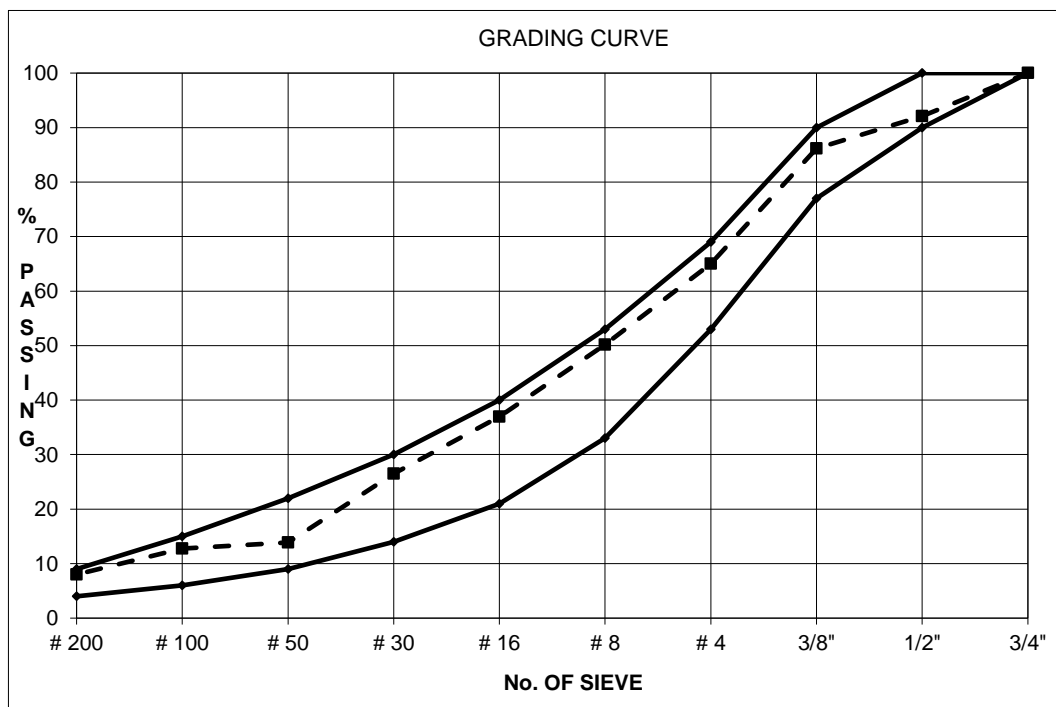
No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat				AVG
			MA ¾	FA ½	Cr	Sand	
			13%	35%	40%	12%	
3/4"	100	100	13,00	35,00	40,00	12,00	100,00
1/2"	90	100	5,07	35,00	40,00	12,00	92,07
3/8"	77	90	2,77	31,38	40,00	12,00	86,16
No. 4	53	69	0,09	12,94	40,00	12,00	65,03
No. 8	33	53	0,04	8,46	29,56	11,59	49,64
No. 16	21	40	0,04	5,69	19,64	10,54	35,91
No. 30	14	30	0,04	4,14	12,44	8,48	25,10
No. 50	9	22	0,04	2,86	8,60	0,80	12,30
No. 100	6	15	0,04	2,72	7,64	0,74	11,15
No. 200	4	9	0,04	2,38	3,80	0,09	6,31



Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat normal.

Tabel 4.7: Hasil pemeriksaan kombinasi gradasi agregat dengan campuran *fly ash* 2% pada *filler*.

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			MA $\frac{3}{4}$	FA $\frac{1}{2}$	Cr	Sand	Fly Ash	
			13%	35%	38%	12%	2%	
3/4"	100	100	13,00	35,00	38,00	12,00	2,00	100,00
1/2"	90	100	5,07	35,00	38,00	12,00	2,00	92,07
3/8"	77	90	2,77	31,38	38,00	12,00	2,00	86,16
No. 4	53	69	0,09	12,94	38,00	12,00	2,00	65,03
No. 8	33	53	0,04	8,46	28,08	11,59	2,00	50,17
No. 16	21	40	0,04	5,69	18,66	10,54	2,00	36,93
No. 30	14	30	0,04	4,14	11,82	8,48	2,00	26,48
No. 50	9	22	0,04	2,86	8,17	0,80	2,00	13,86
No. 100	6	15	0,04	2,72	7,26	0,74	1,99	12,76
No. 200	4	9	0,04	2,38	3,61	0,09	1,89	8,01



Gambar 4.2: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat campuran *fly ash* 2% pada *filler*.

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

A. Data persen agregat yang di peroleh pada normal

- Agregat kasar MA $\frac{3}{4}$ inch = 13 %

- Agregat medium FA ½ inch = 35 %
- Agregat halus abu batu (Cr) = 40 %
- Agregat halus pasir (*Sand*) = 12 %

B. Data persen agregat yang di peroleh pada campuran *fly ash* 2% pada *filler*.

- Agregat kasar MA ¾ inch = 13 %
- Agregat medium FA ½ inch = 35 %
- Agregat halus abu batu (Cr) = 38 %
- Agregat halus pasir (*Sand*) = 12 %
- *Fly ash* = 2 %

Setiap pembuatan benda uji diperlukan agregat dan aspal sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 63,5 mm ± 1,27 mm. Dari data persen agregat didapatlah hasil proporsi untuk masing-masing benda uji, berikut analisis perhitungan untuk berat agregat yang di perlukan pada benda uji normal dengan kadar aspal 5,5%-7,5%, dan perhitungan untuk berat agregat yang diperlukan setelah didapatkan nilai kadar aspal optimum 6,115%. serta rekapitulasi dapat dilihat pada Tabel 4.8 - Tabel 4.11.

➤ Kadar aspal 5,5%	: 1200 X 5,5%	= 66 gr
➤ Agregat kasar MA ¾ inch	: (1200-66) X 13%	= 147,4 gr
➤ Agregat medium FA ½ inch	: (1200-66) X 35 %	= 396,9 gr
➤ Agregat halus abu batu (Cr)	: (1200-66) X 40 %	= 453,6 gr
➤ Agregat halus pasir (<i>Sand</i>)	: (1200-66) X 12%	= 136,1 gr
Total		= 1200 gr

Tabel 4.8: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji normal.

KADAR ASPAL (%)	ASPAL (gr)	MA ¾ inch (gr)	FA ½ inch (gr)	Abu Batu (gr)	Pasir (gr)	Total Berat (gr)
5,5%	66	147,4	396,9	453,6	136,1	1200
6,0%	72	146,6	394,8	451,2	135,4	1200
6,5%	78	145,9	392,7	448,8	134,6	1200
7,0%	84	145,1	390,6	446,4	133,9	1200

Tabel 4.8: *Lanjutan*

KADAR ASPAL (%)	MA $\frac{3}{4}$ inch (gr)	FA $\frac{1}{2}$ inch (gr)	Abu Batu (gr)	Pasir (gr)	Total Berat (gr)
7,5%	90	144,3	44,0	133,2	1200

Tabel 4.9: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji campuran *crumb rubber*.

Kadar Aspal Optimum (%)	Aspal (gr)	MA $\frac{3}{4}$ " (gr)	FA $\frac{1}{2}$ " (gr)	Abu Batu (gr)	Pasir (gram)	<i>Crumb Rubber</i> (gr)	Total Berat (gr)
6,115%	73,4	146,5	394,3	450,6	135,2	2,2	1202,2
6,115%	73,4	146,5	394,3	450,6	135,2	2,9	1202,9
6,115%	73,4	146,5	394,3	450,6	135,2	3,7	1203,7
6,115%	73,4	146,5	394,3	450,6	135,2	4,4	1204,4
6,115%	73,4	146,5	394,3	450,6	135,2	5,1	1205,1

Tabel 4.10: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji campuran *crumb rubber + fly ash*.

Kadar Aspal Optimum (%)	Aspal (gr)	MA $\frac{3}{4}$ " (gr)	FA $\frac{1}{2}$ " (gr)	Abu Batu (gr)	Pasir (gram)	<i>Crumb Rubber</i> (gr)	<i>Fly Ash</i> (%)	Total Berat (gr)
6,115%	73,4	146,5	394,3	428,1	135,2	2,2	22,5	1202,2
6,115%	73,4	146,5	394,3	428,1	135,2	2,9	22,5	1202,9
6,115%	73,4	146,5	394,3	428,1	135,2	3,7	22,5	1203,7
6,115%	73,4	146,5	394,3	428,1	135,2	4,4	22,5	1204,4
6,115%	73,4	146,5	394,3	428,1	135,2	5,1	22,5	1205,1

Tabel 4.11: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk setiap pembuatan benda uji campuran *fly ash*.

Kadar Aspal Optimum (%)	Aspal (gr)	MA $\frac{3}{4}$ " (gr)	FA $\frac{1}{2}$ " (gr)	Abu Batu (gr)	Pasir (gr)	<i>Fly Ash</i> (gr)	Total Berat (gr)
6,115%	73,4	146,5	394,3	428,1	135,2	22,5	1200

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

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Pemeriksaan agregat ini dilakukan untuk agregat kasar dan agregat halus yang mengacu pada (SNI 03-1969-1990). Dari hasil pemeriksaan tersebut didapat data seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.12. – Tabel 4.16.

1. Berat jenis agregat kasar MA ¾ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat Jenis Curah} &= \frac{2946}{2967-1892} = 2,740 \text{ gr} \\
 \text{➤ Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{2946}{2946-1892} = 2,795 \text{ gr} \\
 \text{➤ Berat Jenis semu} &= \frac{2967}{2967-1892} = 2,760 \text{ gr} \\
 \text{➤ Penyerapan} &= \frac{2967-2946}{2946} \times 100\% = 0,713 \%
 \end{aligned}$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 8 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat MA ¾ inch dapat dilihat pada Tabel.4.12.

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

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,740	2,821	2,780
Berat jenis curah kering permukaan (Ss)	2,795	2,802	2,799
Berat jenis semu (Ss)	2,760	2,771	2,765
Penyerapan (Sw)	0,713	0,644	0,678

2. Berat jenis agregat kasar FA ½ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

$$\begin{aligned}
 \text{➤ Berat Jenis Curah} &= \frac{1943}{1922-1163} = 2,560 \text{ gr} \\
 \text{➤ Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{1922}{1922-1163} = 2,532 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

- Berat Jenis semu $= \frac{1943}{1943-1163} = 2,491 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{1943-1922}{1922} \times 100\% = 1,093 \%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 9 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat FA ½ inch dapat dilihat pada Tabel.4.13.

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

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,560	2,586	2,573
Berat jenis curah kering permukaan (Ss)	2,532	2,554	2,543
Berat jenis semu (Ss)	2,491	2,506	2,499
Penyerapan (Sw)	1,093	1,243	1,168

3. Berat jenis agregat halus abu batu (Cr)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

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

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

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

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,554	2,619	2,587
Berat jenis curah kering permukaan (Ss)	2,688	2,717	2,703
Berat jenis semu (Ss)	2,651	2,690	2,670
Penyerapan (Sw)	1,400	1,000	1,200

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{491}{500+670-988} = 2,698 \text{ gr}$
- Berat Jenis kering permukaan jenuh $= \frac{500}{500+670-988} = 2,890 \text{ gr}$
- Berat jenis semu $= \frac{491}{491+670-988} = 2,838 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{(500-491)}{491} \times 100\% = 1,800 \%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 11 dan rekapitulasi data hasil pengujian pasir dapat dilihat pada Tabel.4.15.

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

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,698	2,554	2,626
Berat jenis curah kering permukaan (Ss)	2,890	2,688	2,781
Berat jenis semu (Ss)	2,838	2,651	2,744
Penyerapan (Sw)	1,800	1,400	1,600

5. Berat jenis agregat halus *fly ash* (*filler*)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

- Berat Jenis Curah $= \frac{491}{500+670-977} = 2,544 \text{ gr}$
- Berat Jenis kering permukaan jenuh $= \frac{500}{491+670-977} = 2,717 \text{ gr}$
- Berat jenis semu $= \frac{491}{491+670-977} = 2,668 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{(500-491)}{491} \times 100\% = 1,800 \%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 12 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat halus *fly ash* dapat dilihat pada Tabel.4.16.

Tabel 4.16: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus *fly ash* (Filler).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,544	2,581	2,563
Berat jenis curah kering permukaan (Ss)	2,717	2,717	2,717
Berat jenis semu (Ss)	2,668	2,679	2,674
Penyerapan (Sw)	1,800	1,400	1,600

4.1.3. Hasil Pengujian Aspal

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

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

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

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

4.1.4. Perhitungan Parameter Pengujian Benda Uji

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

- a. Persentase terhadap batuan = 5,8 %
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 5,5 %
- c. Berat sampel kering = 1187 gram
- d. Berat sampel jenuh = 1200 gram
- e. Berat sampel dalam air = 670 gram
- f. Volume sampel = 1200 – 670
= 530 cc
- g. Berat isi sampel = 1187/ 670
= 2,240 gr/cc
- h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\left(\frac{100-5,5\%}{2,619}\right) - \left(\frac{5,5\%}{1,035}\right)} = 2,416 \%$
- i. Persentase volume aspal = $\frac{5,5\% \times 2,240}{1,035} = 11,898 \%$
- j. Persentase volume agregat = $\frac{(100-5,5\%) \times 2,240}{2,610} = 81,084\%$
- k. Persentase rongga terhadap campuran = $100 - \left(\frac{100 \times 2,240}{2,416}\right) = 7,303\%$
- l. Persentase rongga terhadap agregat = $100 - \left(\frac{2,240 \times 5,5\%}{2,610}\right) = 18,916 \%$
- m. Persentase rongga terisi aspal = $100 \times \left(\frac{18,916 - 7,303}{18,916}\right) = 61,392\%$
- n. Kadar aspal efektif = 5,368
- o. Pembacaan arloji stabilitas = 119

- p. Kalibrasi proving ring $= (7,693 \times 119) + 0,316 = 916$
- q. Stabilitas akhir $= (134434 \times 530^{-1,8897}) \times 916 = 875$
- r. Kelelehan $= 2,10 \text{ mm}$

Untuk rekapitulasi perhitungan campuran normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber + filler* serta campuran *fly ash* pada *filler* 2%, dapat dilihat pada lampiran 14 – lampiran 21.

Dari hasil pemeriksaan uji *Marshall* yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara mendapatkan nilai Berat Isi (*Bulk Density*), *stabilitas (Stability)*, Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), kelelehan (*Flow*). Berikut analasi perhitungan untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5,5% serta rekapitulasi hasil uji *marshall* pada campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber + fly ash*, dan campuran *fly ash* 2% pada *filler*, dapat dilihat pada Tabel 4.18 – Tabel 4.20.

$$\begin{aligned}
 1. \quad \text{Bulk density} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{2,240 + 2,246 + 2,243}{3} = 2,243 \\
 2. \quad \text{Stability} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{875 + 915 + 817}{3} = 896 \\
 3. \quad \text{Air voids} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{7,303 + 7,050 + 7,147}{3} = 7,166 \\
 4. \quad \text{Voids filled} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\
 &= \frac{61,932 + 62,290 + 62,513}{3} = 62,065 \\
 5. \quad \text{VMA} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{18,916+18,694+19,065}{3} = 18,892$$

6. *Flow*

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

$$= \frac{2,10+2,40+2,30}{3} = 2.27$$

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

<i>% asphal by Total Mix</i>	<i>Bulk Density (gr/cc)</i>	<i>Stability (kg)</i>	<i>Air Voids (%)</i>	<i>Voids Filled (%)</i>	<i>VMA (%)</i>	<i>Flow (mm)</i>
5,50	2,243	869	7,166	62,065	18,892	2,267
6,00	2,276	904	5,126	71,729	18,125	2,333
6,50	2,304	969	3,283	81,318	17,557	4,200
7,00	2,290	929	3,203	82,690	18,496	4,300
7,50	2,272	887	3,324	83,049	19,591	4,700

Tabel 4.19: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran kadar aspal optimum 6,115% dengan penggunaan *crumb rubber* 3%-7%.

<i>% asphal by Total Mix</i>	<i>% Crumb Rubber</i>	<i>Bulk Density (gr/cc)</i>	<i>Stability (kg)</i>	<i>Air Voids (%)</i>	<i>Voids Filled (%)</i>	<i>VMA (%)</i>	<i>Flow (mm)</i>
6,115	3%	2,307	883	3,697	78,318	17,030	3,600
6,115	4%	2,308	859	3,633	78,705	16,974	3,900
6,115	5%	2,314	796	3,414	79,781	16,883	4,333
6,115	6%	2,324	746	2,991	81,903	16,520	4,700
6,115	7%	2,330	717	2,730	83,260	16,295	5,000

Tabel 4.20: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran kadar aspal optimum 6,115% dengan penggunaan *fly ash* pada *filler* 2%.

<i>% asphal by Total Mix</i>	<i>% Fly Ash</i>	<i>Bulk Density (gr/cc)</i>	<i>Stability (kg)</i>	<i>Air Voids (%)</i>	<i>Voids Filled (%)</i>	<i>VMA (%)</i>	<i>Flow (mm)</i>
------------------------------	------------------	-----------------------------	-----------------------	----------------------	-------------------------	----------------	------------------

6,115	2%	2,313	980	3,465	79,385	16,791	2,877
-------	----	-------	-----	-------	--------	--------	-------

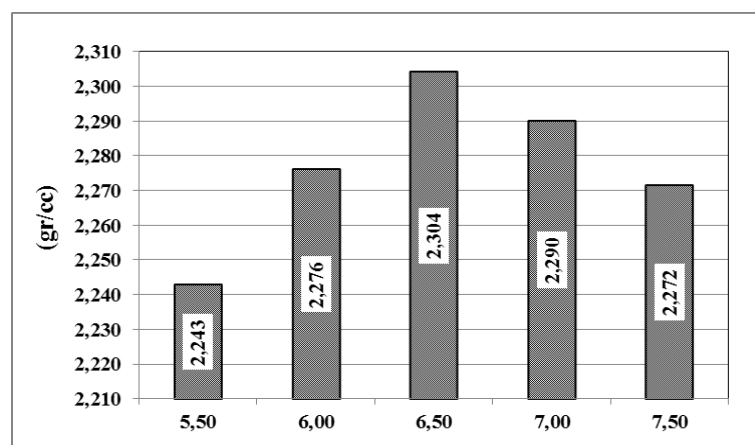
Tabel 4.21: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran kadar aspal optimum 6,115% dengan penggunaan *crumb rubber* + *fly ash* pada *filler* 2%.

% asphal by Total Mix	% Crumb Rubber	Bulk Density (gr/cc)	Stability (kg)	Air Voids (%)	Voids Filleds (%)	VMA (%)	Flow (mm)
6,115	3%	2,301	891	3,982	76,914	17,237	3,600
6,115	4%	2,307	861	3,704	78,213	16,997	3,873
6,115	5%	2,312	855	3,518	79,270	16,948	4,227
6,115	6%	2,323	851	3,055	81,544	16,550	4,600
6,115	7%	2,326	823	2,921	82,228	16,434	4,900

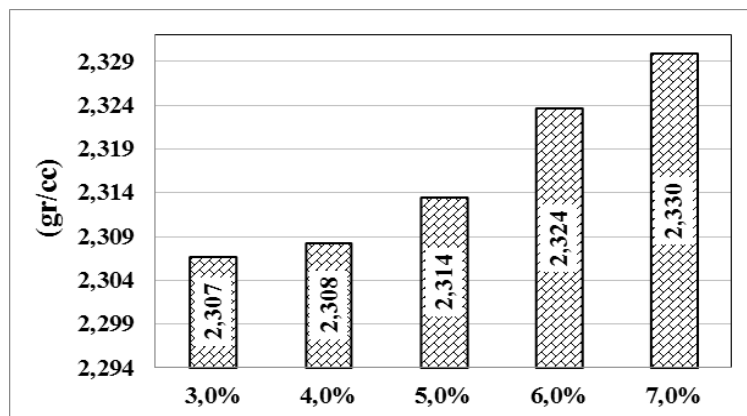
Dari hasil nilai Berat Isi (*Bulk Density*), *stabilitas* (*Stability*), Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), kelelahan (*Flow*) untuk campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber* + *filler* dan campuran *fly ash* pada *filler* 2% dapat juga dilihat pada Gambar 4.4 – Gambar 4.15.

a. *Bulk Density*

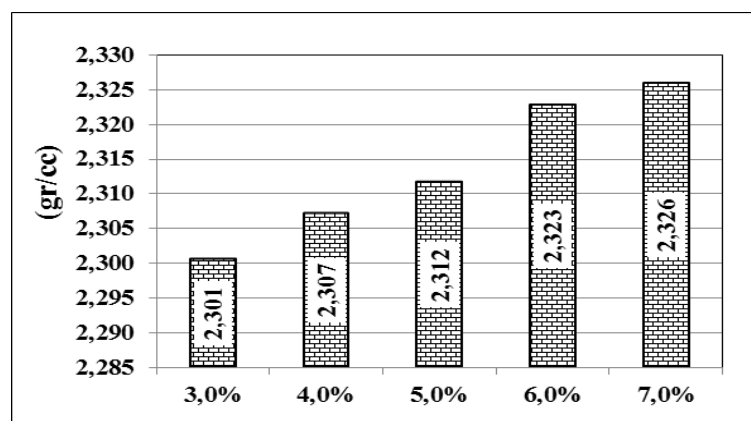
Hasil nilai *Bulk Density* pada campuran aspal normal, campuran kadar aspal optimum *crumb rubber*, campuran aspal optimum *crumb rubber* + *filler* dan campuran kadar aspal optimum yang hanya menggunakan *fly ash* pada *filler* 2%, dilihat pada Gambar 4.4. – Gambar 4.7.



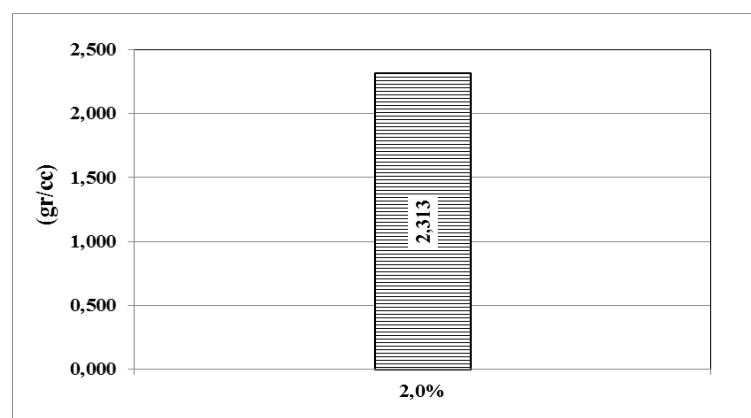
Gambar 4.4: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) campuran normal.



Gambar 4.5: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Bulk Density (gr/cc) crumb rubber 3%-7%*.



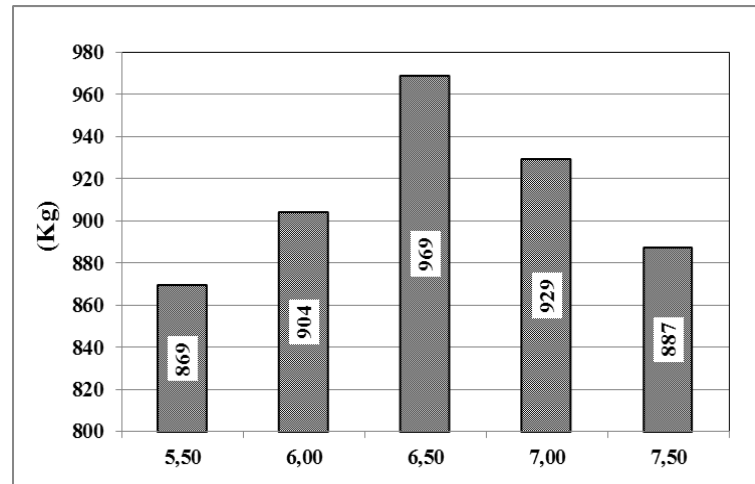
Gambar 4.6: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Bulk Density (gr/cc) crumb rubber 3%-7% + fly ash 2%*.



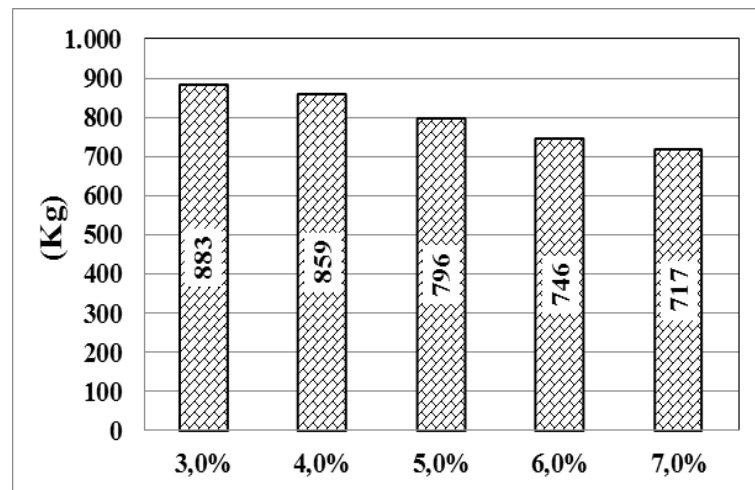
Gambar 4.7: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Bulk Density (gr/cc) fly ash 2%*.

b. *Stability*

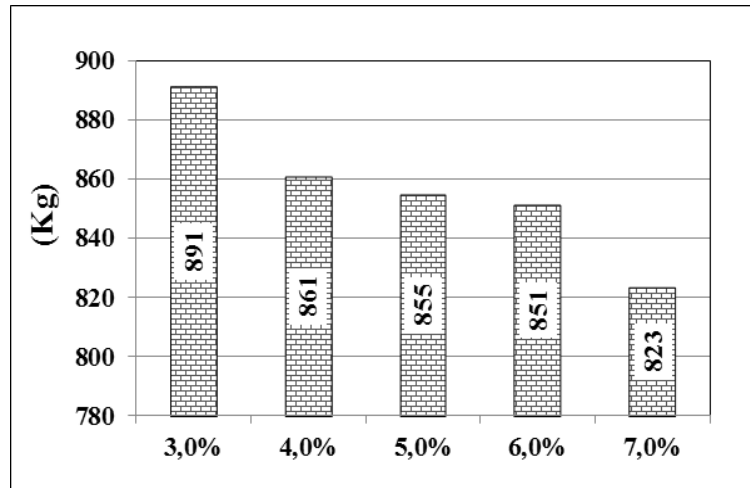
Hasil nilai *Stability* pada campuran aspal normal, campuran kadar aspal optimum *crumb rubber*, campuran aspal optimum *crumb rubber* + *filler* dan campuran kadar aspal optimum yang hanya menggunakan *fly ash* pada *filler* 2%, dapat dilihat pada Gambar 4.8. – Gambar 4.11. berikut.



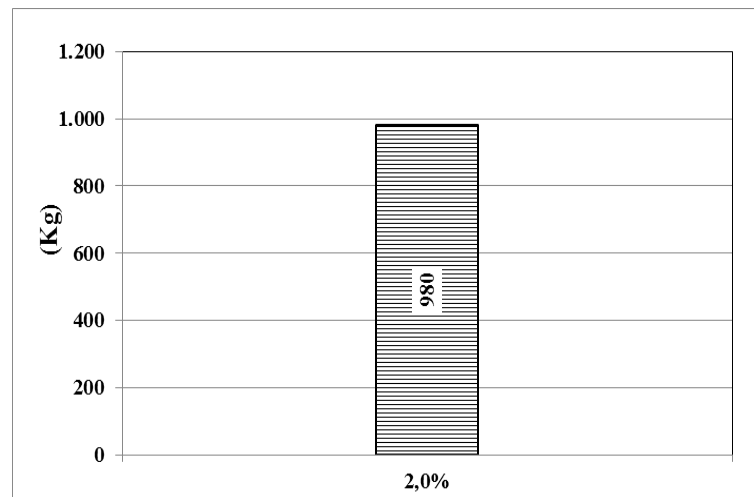
Gambar 4.8: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* campuran normal.



Gambar 4.9: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Stability* (kg) campuran *crumb rubber* 3%-7%.



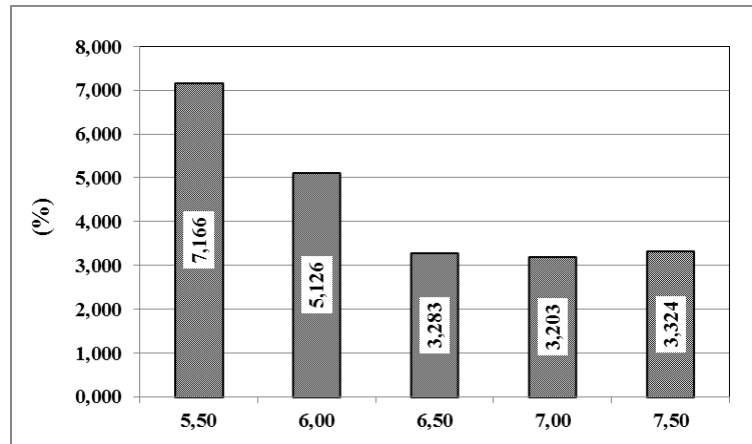
Gambar 4.10: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Stability* (kg) campuran *crumb rubber* 3%-7% dan *fly ash* 2%.



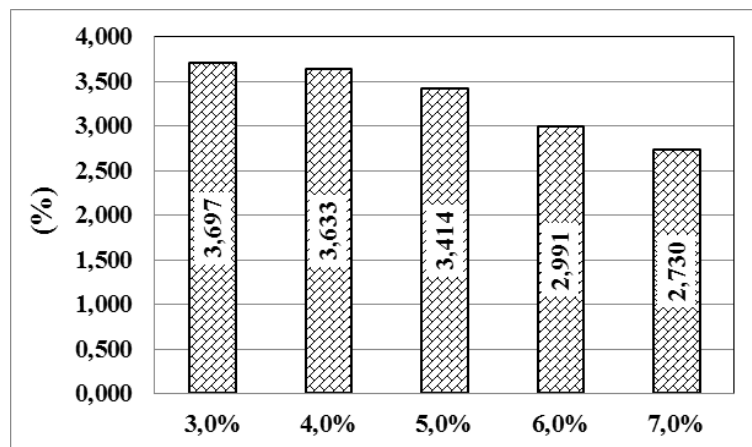
Gambar 4.11: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Stability* (kg) campuran *fly ash* 2%.

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

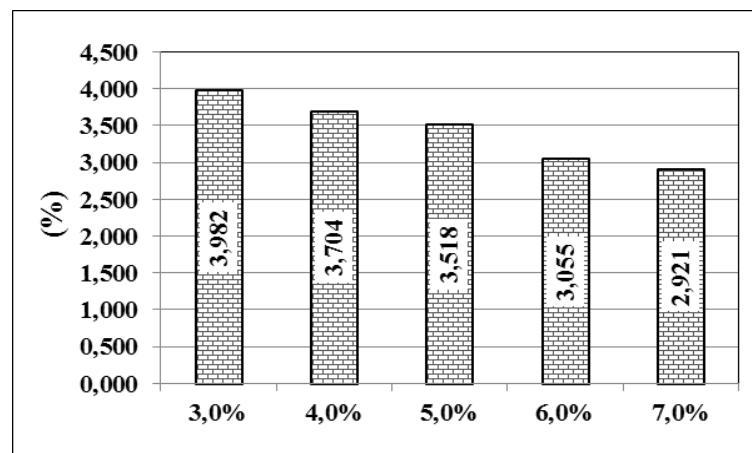
Hasil nilai *Air Voids* (VIM) pada campuran aspal normal, campuran kadar aspal optimum *crumb rubber*, campuran aspal optimum *crumb rubber* + *filler* dan campuran kadar aspal optimum yang hanya menggunakan *fly ash* pada *filler* 2%, dapat dilihat pada Gambar 4.12. – Gambar 4.15. berikut.



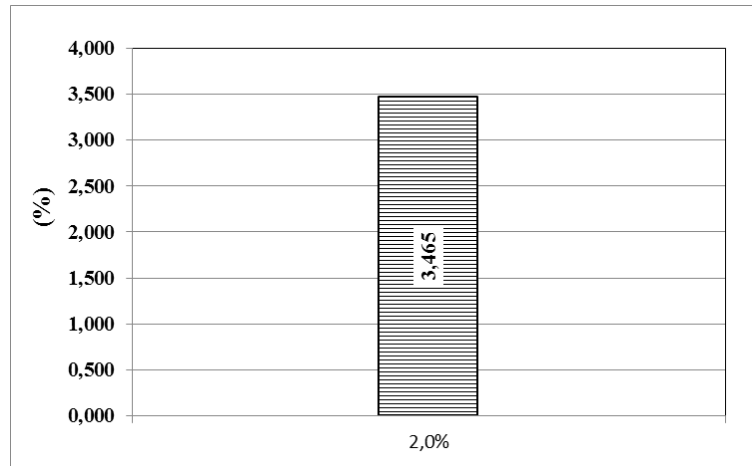
Gambar 4.12: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) campuran normal.



Gambar 4.13: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran *crumb rubber* 3%-7%.



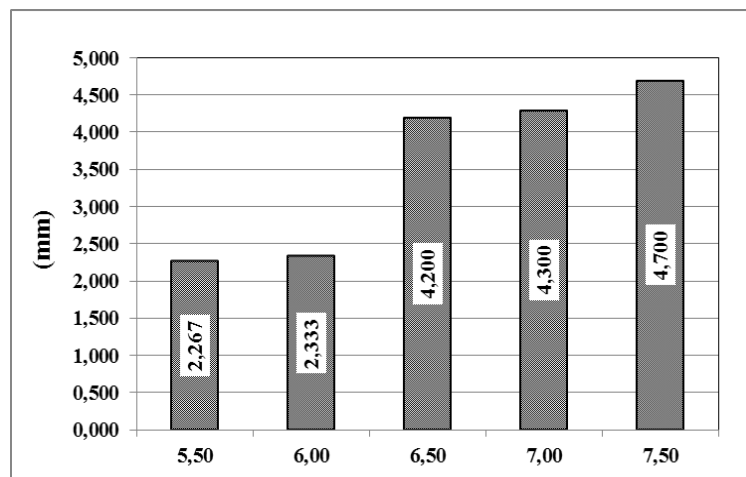
Gambar 4.14: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran *crumb rubber* 3%-7% + *fly ash*.



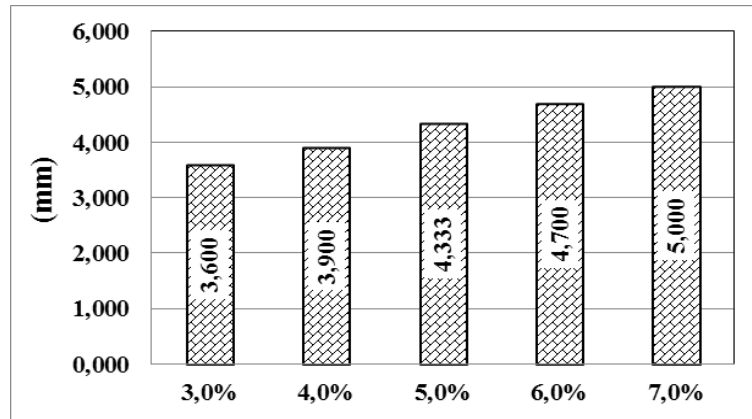
Gambar 4.15: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran *fly ash* 2%.

d. *Flow*

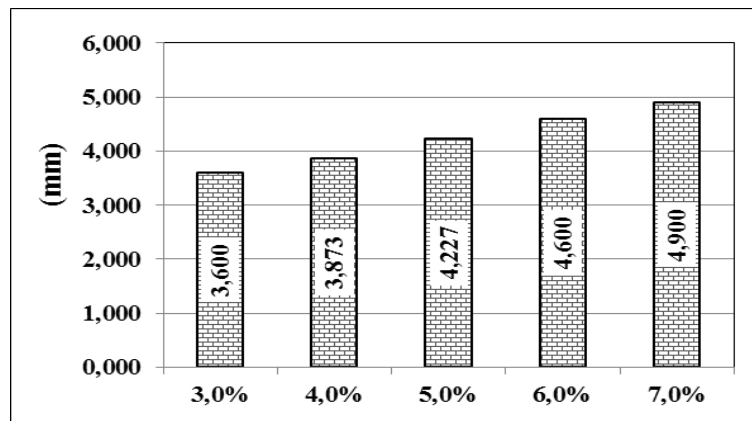
Hasil nilai *Flow* pada campuran aspal normal, campuran kadar aspal optimum *crumb rubber*, campuran aspal optimum *crumb rubber* + *filler* serta campuran kadar aspal optimum yang hanya menggunakan *fly ash* pada *filler* 2%, dapat dilihat pada Gambar 4.16. – Gambar 4.19. berikut.



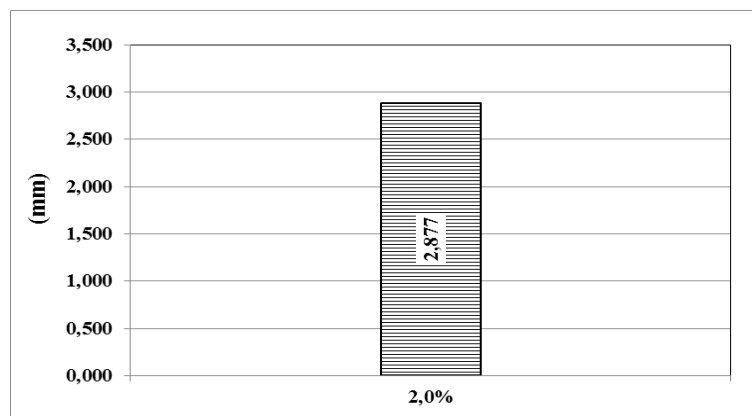
Gambar 4.16: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) Campuran normal.



Gambar 4.17: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Flow* (mm) Campuran *crumb rubber* 3%-7%.



Gambar 4.18: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Flow* (mm) Campuran *crumb rubber* 3%-7% + *fly ash*.



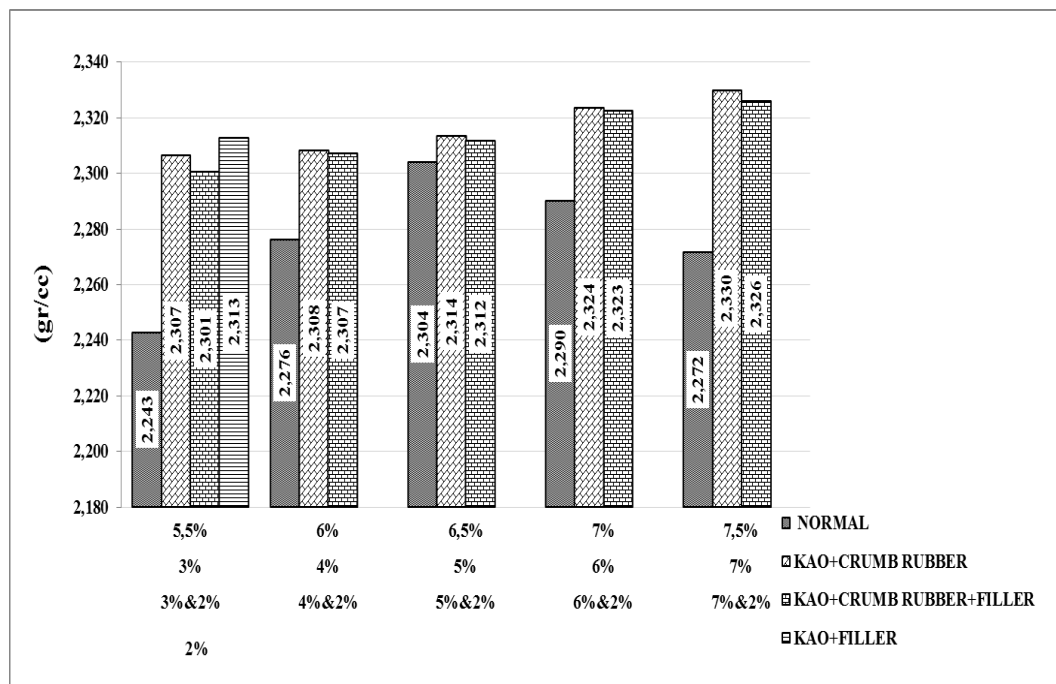
Gambar 4.19: Grafik hubungan antara kadar aspal optimum 6,115% dengan *Flow* (mm) Campuran *fly ash* 2%.

4.1.5. Perbandingan Sifat *Marshall*

Dari hasil nilai pengujian sifat *Marshall* campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber + filler* serta campuran yang hanya menggunakan *fly ash* pada *filler* 2% untuk nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, *VMA* dan *Flow* dapat dilihat perbandingan di antara keempat jenis campuran tersebut seperti yang ditunjukkan berikut.

a. Bulk Density

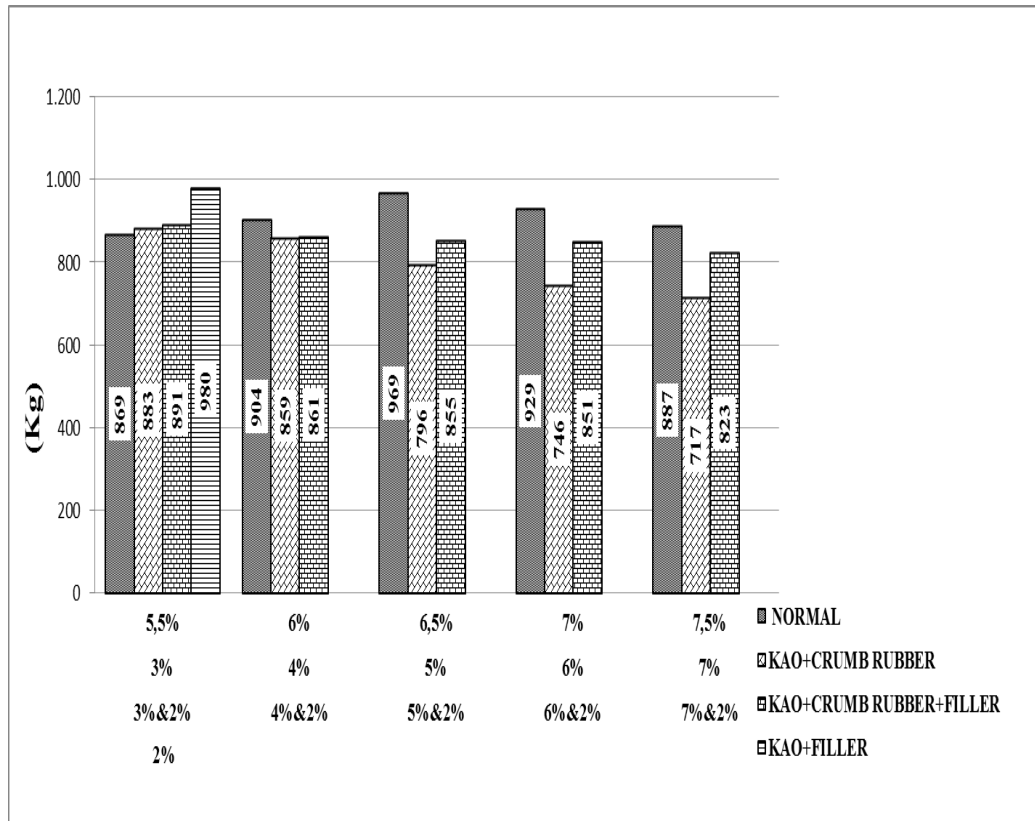
Dari hasil percobaan *Bulk Density* menunjukkan perbedaan nilai *Bulk Density* antara campuran aspal normal 5,5%-7%, campuran *crumb rubber* 3%-7%, campuran *crumb rubber* 3%-7% + *filler* 2%, dan campuran yang hanya menggunakan *fly ash* pada *filler* 2%. Hasil *Bulk Density* campuran yang hanya menggunakan *crumb rubber* 7% lebih tinggi di banding pada campuran aspal normal, dan campuran *crumb rubber + filler* dan campuran yang hanya menggunakan *filler* 2%, pada campuran aspal *crumb rubber* 4% dan campuran aspal *crumb rubber + filler* 4% terdapat nilai yang hampir sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.20



Gambar 4.20: Perbandingan nilai *Bulk Density* campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber + filler*, dan campuran *fly ash* pada *filler* 2%.

b. *Stability*

Hasil nilai *Stability* pada *Marshall* campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber* + *filler* serta campuran yang hanya menggunakan *filler* 2% menunjukkan perbandingan. Nilai *Stability* untuk campuran yang hanya menggunakan *filler* 2% berada di atas campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber* + *filler*, namun pada campuran aspal normal 6% berada di atas nilai *Stability* campuran *crumb rubber* 6% dan campuran *crumb rubber* + *filler* 6%. Perbandingan nilai *Stability* di antara keempat campuran aspal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.21.



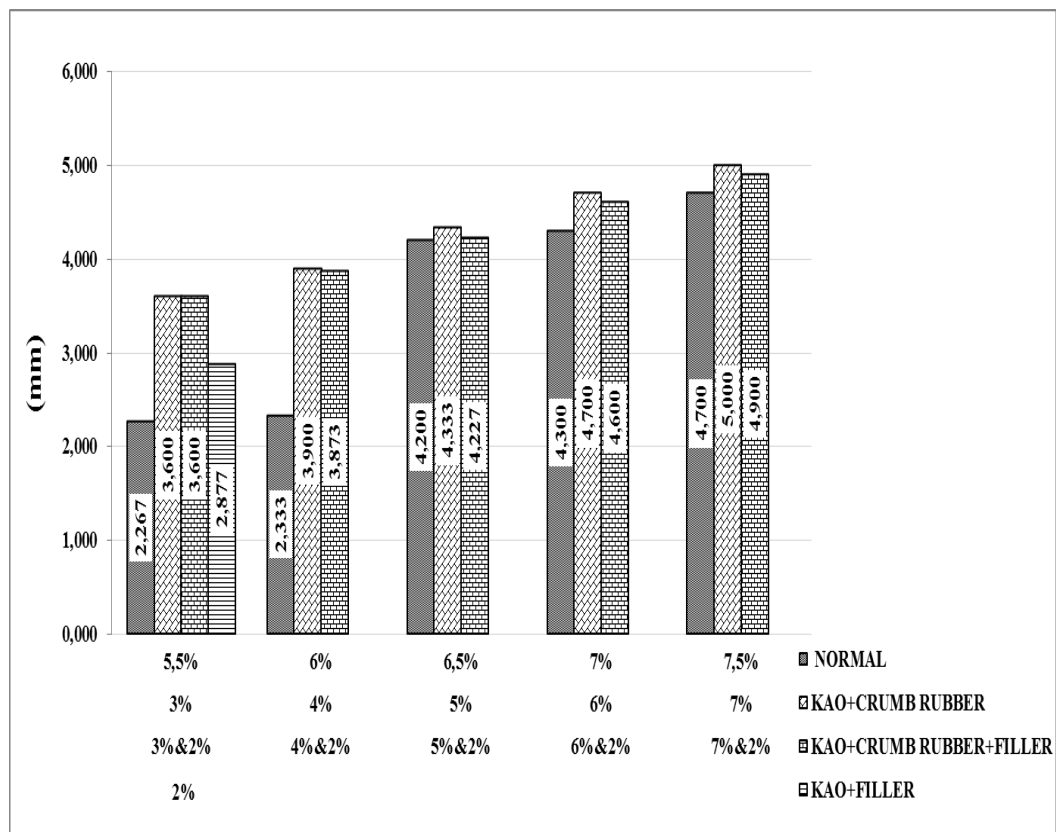
Gambar 4.21: Perbandingan nilai *Stability* campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber* + *filler*, dan campuran *fly ash* pada *filler* 2%

c. *Flow*

Hasil uji *Marshall Flow* menunjukkan bahwa nilai *Flow* pada campuran *crumb rubber* 7% menunjukkan nilai yang paling tinggi dibandingkan campuran aspal

normal, campuran *crumb rubber* + *filler* dan campuran yang hanya menggunakan *filler* 2% saja.

Pada campuran *crumb rubber* 6% dan campuran aspal normal 7,5% terdapat nilai yang sama. Sementara nilai *flow* yang paling rendah ada pada campuran aspal normal 5,5%. Hal tersebut terjadi karena semakin banyak kadar aspal dan kadar *crumb rubber* maka semakin tinggi nilai *flow* yang didapat. Perbandingan nilai *flow* diantara keempat campuran tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22.

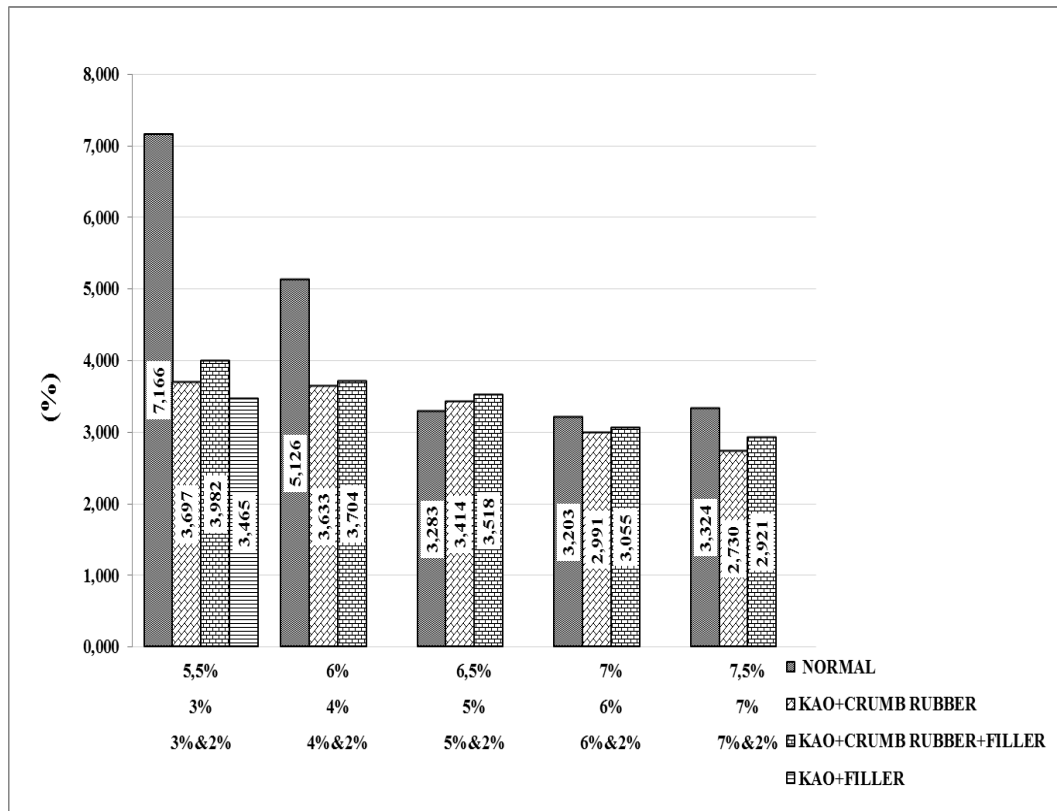


Gambar 4.22: Perbandingan nilai *Flow* campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber* + *filler*, dan campuran *fly ash* pada *filler* 2%.

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

Hasil nilai VIM menunjukkan bahwa nilai VIM campuran aspal normal pada kadar aspal 5,5% menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan nilai VIM pada campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber* + *filler* dan campuran yang hanya menggunakan *filler* saja.

Sedangkan pada campuran aspal normal 6% lebih tinggi dari pada campuran *crumb rubber* 6% dan campuran *crumb rubber* + *filler* 6%. Dan nilai VIM terendah ada pada campuran *crumb rubber* + *filler* 7% . Hal itu terjadi karena semakin tinggi kadar aspal maka rongga terhadap campuran akan semakin kecil. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.23.

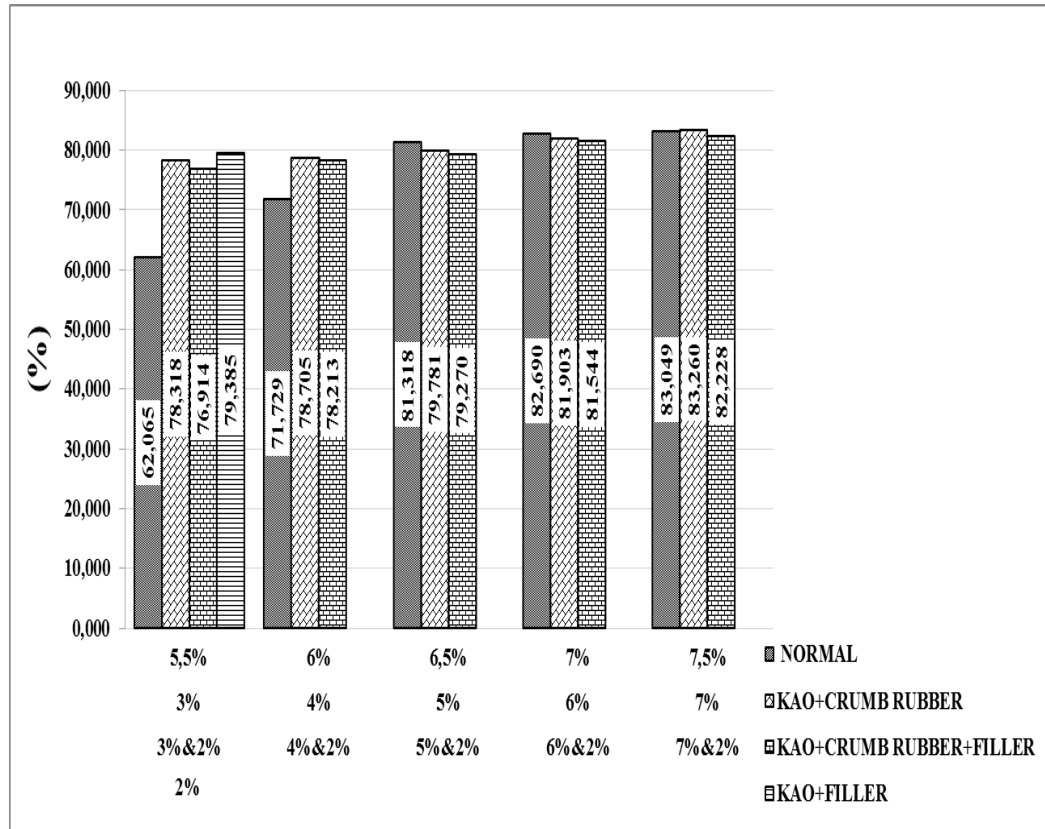


Gambar 4.23: Perbandingan nilai *Air Voids* campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber* + *filler*, dan campuran *fly ash* pada *filler* 2%.

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

Dari hasil pengujian karakteristik sifat *Marshall* nilai VFB untuk campuran *crumb rubber* 7% memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan dengan campuran aspal normal, dan campuran yang hanya menggunakan *filler* 2% saja. Namun terdapat nilai yang hampir sama dengan campuran aspal normal 7,5%. Nilai VFB yang paling rendah ada pada campuran aspal normal 5,5%. Pada campuran aspal *crumb rubber* 6% menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan campuran

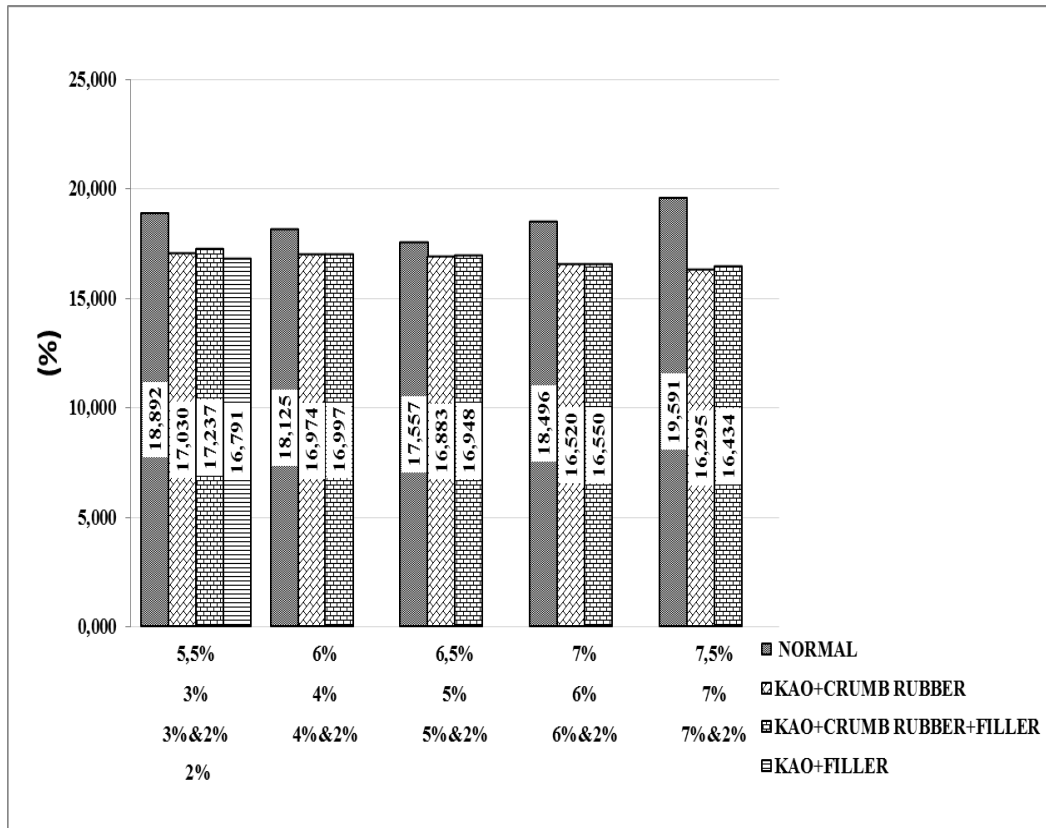
aspal normal 6% dan campuran *crumb rubber* + *filler* 6%. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.24.



Gambar 4.24: Perbandingan nilai *Voids Filled* campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber* + *filler*, dan campuran *fly ash* pada *filler* 2%.

f. *Void in Mineral Agregat* (VMA)

Dari hasil pengujian karakteristik sifat *Marshall* nilai VMA pada campuran aspal normal kadar 7,5% menunjukkan nilai VMA tertinggi dibandingkan campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber* + *filler* serta campuran yang hanya menggunakan *filler* 2% saja. Nilai VMA yang paling rendah ada pada campuran *crumb rubber* 7%. Perbandingan nilai VMA dapat dilihat pada Gambar 4.25.



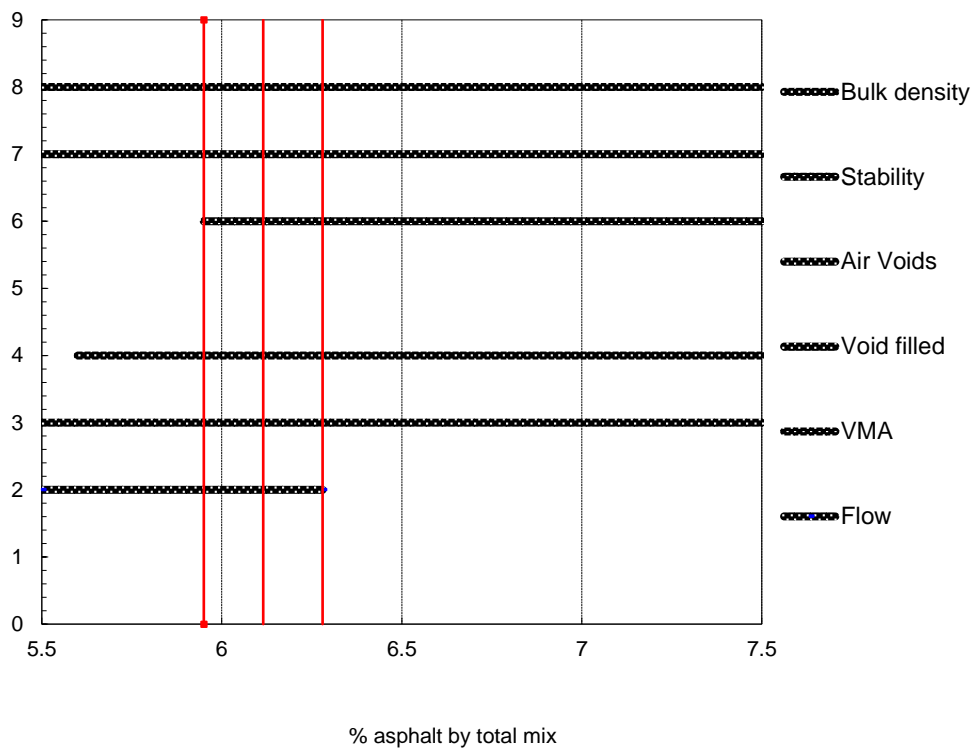
Gambar 4.25: Perbandingan nilai VMA campuran aspal normal, campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber + filler*, dan campuran *fly ash* pada *filler* 2%.

Hasil pemeriksaan karakteristik sifat *Marshall* nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, VMA dan *Flow* pada jenis campuran aspal normal menunjukkan bahwa jenis campuran tersebut sebagian besar memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010. Dari hasil nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, VMA dan *Flow*. Sedangkan untuk campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber + filler* menunjukkan bahwa kedua jenis campuran tersebut yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 ada pada kadar *crumb rubber* 3% dan 4%. Pada kadar *crumb rubber* 5%,6%,7% tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010. Namun, pada campuran yang hanya menggunakan *filler* 2% saja menunjukkan bahwa campuran tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010, dapat dilihat bahwa karakteristik jenis campuran tersebut memiliki perbandingan disetiap karakteristik sifat *Marshall*.

4.2. Pembahasan dan Analisis

4.2.1. Perhitungan Kadar Aspal Optimum

Setelah selesai melakukan pengujian di Laboratorium dan menghitung nilai-nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Void Filled*, *VMA*, *Flow* maka secara grafis dapat ditentukan kadar aspal optimum campuran dengan cara membuat grafik hubungan antara nilai-nilai tersebut di atas dengan kadar aspal, yang kemudian memplotkan nilai-nilai yang memenuhi spesifikasi terhadap kadar aspal, sehingga diperoleh rentang (*range*) dan batas koridor kadar aspal yang optimum. Penentuan kadar aspal optimum untuk campuran aspal Pertamina normal dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25: Penentuan rentang (*range*) kadar aspal optimum campuran aspal normal.

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

Tabel 4.22: Kadar aspal optimum untuk campuran aspal normal.

No	Karakteristik Campuran Aspal Normal	
1	Bulk Density (gr/cc)	2,285
2	Stability (kg)	933
3	Flow (mm)	3,708
4	Air Voids (%)	4,540
5	Voids Filled (%)	74,691
6	VMA (%)	17,872
7	Asphalt Optimum (%)	6,115

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisis pembahasan terhadap pengujian campuran jenis *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)* yang menggunakan campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber + filler*, dan campuran *fly ash* sebagai *filler* diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian karakteristik sifat marshall pada campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)* yang menggunakan campuran *crumb rubber*, campuran *crumb rubber + filler*, didapat bahwa hasil pengujian tersebut yang memenuhi standart spesifikasi Bina Marga 2010 adalah pada campuran *crumb rubber* 3% dan 4%, campuran *crumb rubber + filler* 3% dan 4%, dan campuran *fly ash* pada *filler* 2% saja.
2. Hasil *Marshall test* yang di dapatkan, dengan nilai tertinggi dalam keadaan optimum dan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 dan terdapat pada campuran aspal *crumb rubber + filler* 3%. Dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 891 kg, *Bulk Density* 2,301 gr/cc, *flow* 3,600 mm, VIM 3.982%, VMA sebesar 17,237%, VFB 76,914% dan aspal optimum 6,115%.
3. Penggunaan *crumb rubber* dan *fly ash* sangat mempengaruhi karakteristik sifat *Marshall* campuran aspal. Pada campuran *crumb rubber + fly ash* memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal normal. Hal itu disebabkan karena semakin banyak kadar aspal yang dipakai maka semakin tinggi nilai *flow* yang didapat. Semakin tinggi nilai *flow* maka dapat mengakibatkan campuran aspal mengalami kelelahan berupa alur (*rutting*) dan deformasi.

5.2. Saran

1. Dalam melakukan penelitian ini untuk merencanakan suatu campuran aspal hendaklah dilakukan dengan sangat teliti pada saat pemeriksaan gradasi

dan berat jenis. Dan juga pada saat pencampuran (*mix design*) haruslah teliti.

2. Diharapkan agar lebih memahami prosedur pembuatan campuran aspal yang telah ditetapkan oleh SNI 03-6758-2002 agar memperkecil kesalahan dalam pembuatan benda uji dan pengujian *Marshall*.
3. Jika ada yang ingin melakukan penelitian lebih lanjut, gunakan campuran *filler* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga (2010) *Spesifikasi Umum 2010, Seksi 6.3. Campuran Beraspal Panas.*
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (DPPW) (2002), *Manual pekerjaan campuran beraspal panas.*
- Departemen Pekerjaan Umum (1987), *Petunjuk perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode analisa komponen.*
- Purnomo Wahyu (2014), *Pemanfaatan Crumb Rubber(Tire Rubber) Sebagai Aditif Pada Aspal Modifikasi Polimer, Universitas Gajah Mada.*
- RSNI.M-01-2003, *Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall.*
- Saputra, Dede (2016) *Evaluasi Perbandingan Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton AC-BC Yang Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Aspal Esso Pen 60/70 Dengan Variasi Kadar Aspal Yang Berbeda, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.*
- SNI 03-6723. (2002) *Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Aspal*
- SNI 03-1969. (1990) *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar*
- SNI 03-1970. (1990) *Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus*
- SNI 06-2489. (1991) *Metode Pengujian Campuran Campuran Dengan Alat Marshall*
- Sukirman, Silvia (1999), *Perkerasan Lentur Jalan Raya.* Penerbit Nova.
- Tahir, Anas (2009), *Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara. Jurnal Smartek, Vol. 7.*

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



DATA DIRI

Nama Lengkap : Abdur Razak Purba
Panggilan : Razak
Tempat, Tanggal Lahir : Silau Malela, 05 Agustus 1996
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Agama : Islam
Alamat KTP : Huta III Silau Malela, Kabupaten Simalungun
No. HP : 082274250295
E-mail : abdurrazakpurba@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1407210156
Fakultas : Teknik
Jurusan : Teknik Sipil
Program Studi : Teknik Sipil
Perguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Perguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri BA. No. 3 Medan 20238

No	Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
1	Sekolah Dasar	MADRASAH IBTIDAIYAH SWASTA MUHAMMADIYAH DOLOK MALELA	2008
2	SMP	SMP SWASTA MUHAMMADIYAH 20 DOLOK MALELA	2011
3	SMA	SMA NEGERI 5 PEMATANG SIANTAR	2014
4	Melanjutkan Kuliah di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Sampai Selesai. Tahun 2014		

LAMPIRAN



LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

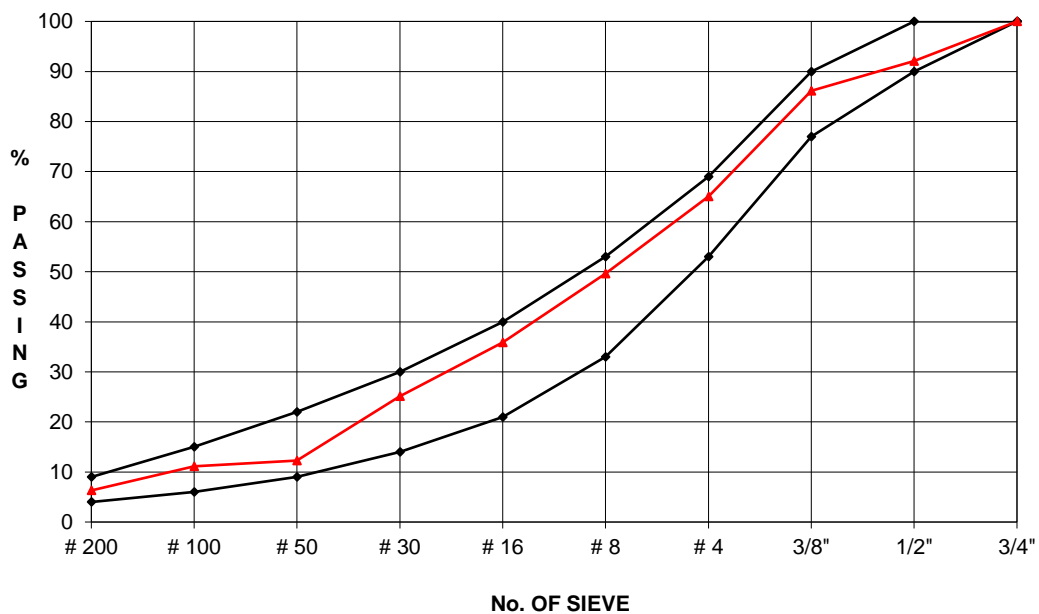


Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

ANALISA SARINGAN NORMAL

SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT		SIEVE SIZE	COMBINE GRADING				AVG
		WT. RET	% RET	% PASS				3/4"	1/2"	cr	sand	
								13%	35%	40%	12%	
11/2"					100	100	37.50	13.00	35.00	40.00	12.00	100.00
1"					100	100	25.40	13.00	35.00	40.00	12.00	100.00
3/4"					100	100	19.00	13.00	35.00	40.00	12.00	100.00
1/2"					90	100	12.50	5.07	35.00	40.00	12.00	92.07
3/8"					77	90	9.50	2.77	31.38	40.00	12.00	86.16
# 4					53	69	4.75	0.09	12.94	40.00	12.00	65.03
# 8					33	53	2.36	0.04	8.46	29.56	11.59	49.64
# 16					21	40	1.18	0.04	5.69	19.64	10.54	35.91
# 30					14	30	0.60	0.04	4.14	12.44	8.48	25.10
# 50					9	22	0.30	0.04	2.86	8.60	0.80	12.30
# 100					6	15	0.150	0.04	2.72	7.64	0.74	11.15
# 200					4	9	0.075	0.04	2.38	3.80	0.09	6.31

GRADING CURVE





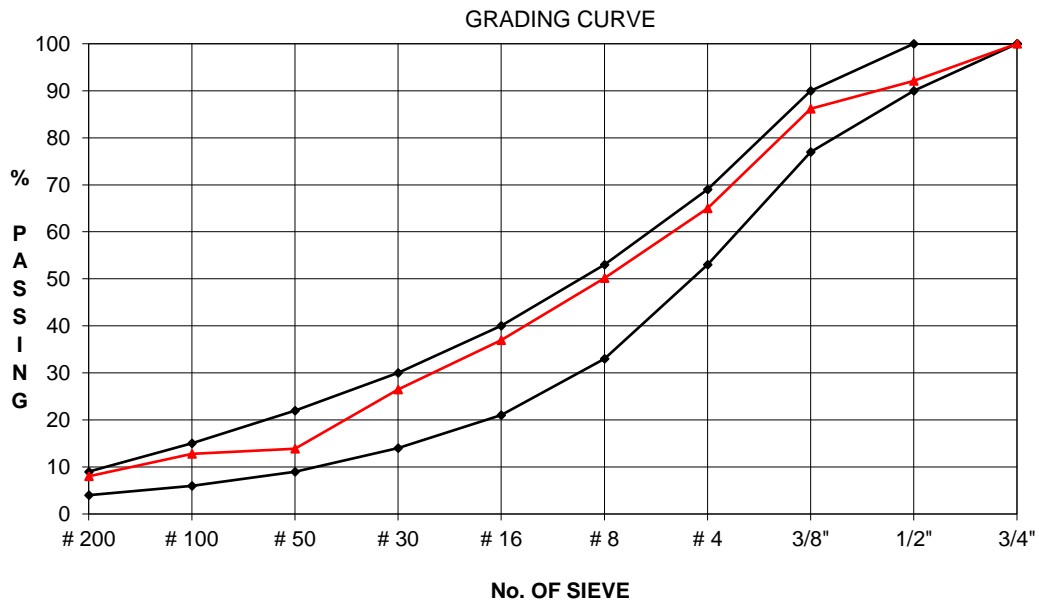
**LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

KOMBINASI ANALISA SARINGAN *FLY ASH*

SIEVE SIZE	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT		SIEVE SIZE	COMBINE GRADING					AVG
		WT. RET	% RET	% PASS				3/4"	1/2"	cr	sand	fly ash	
								13%	35%	38%	12%	2%	
11/2"					100	100	37.50	13.00	35.00	38.00	12.00	2.00	100.00
1"					100	100	25.40	13.00	35.00	38.00	12.00	2.00	100.00
3/4"					100	100	19.00	13.00	35.00	38.00	12.00	2.00	100.00
1/2"					90	100	12.50	5.07	35.00	38.00	12.00	2.00	92.07
3/8"					77	90	9.50	2.77	31.38	38.00	12.00	2.00	86.16
# 4					53	69	4.75	0.09	12.94	38.00	12.00	2.00	65.03
# 8					33	53	2.36	0.04	8.46	28.08	11.59	2.00	50.17
# 16					21	40	1.18	0.04	5.69	18.66	10.54	2.00	36.93
# 30					14	30	0.60	0.04	4.14	11.82	8.48	2.00	26.48
# 50					9	22	0.30	0.04	2.86	8.17	0.80	2.00	13.86
# 100					6	15	0.150	0.04	2.72	7.26	0.74	1.99	12.76
# 200					4	9	0.075	0.04	2.38	3.61	0.09	1.89	8.01





LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

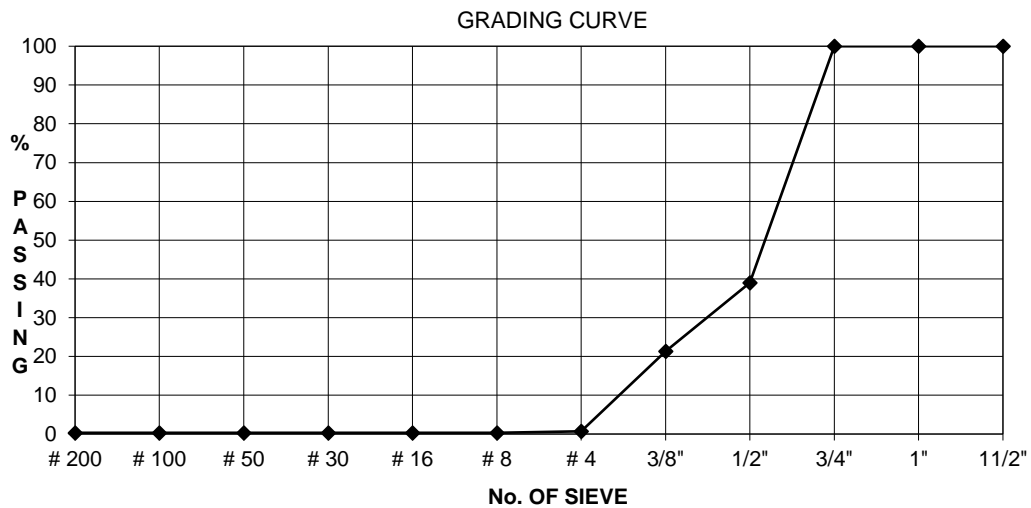


Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

ANALISA SARINGAN NORMAL

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"	0.00	0.0	0.00	100.00		3/4"	0.0	0.00	100.00	100.00	
1/2"	3,103.0	3,103.0	62.06	37.94		1/2"	2,998.0	2,998.0	59.96	40.04	38.99
3/8"	768.00	3,871.0	77.42	22.58		3/8"	997.0	3,995.0	79.90	20.10	21.34
# 4	1092.00	4,963.0	99.26	0.74		# 4	973.0	4,968.0	99.36	0.64	0.69
# 8	0.00	5,000.0	100.00	0.00		# 8	0.0	4,968.0	99.36	0.64	0.32
# 16		5,000.0	100.00	0.00		# 16		4,968.0	99.36	0.64	0.32
# 30		5,000.0	100.00	0.00		# 30		4,968.0	99.36	0.64	0.32
# 50		5,000.0	100.00	0.00		# 50		4,968.0	99.36	0.64	0.32
# 100		5,000.0	100.00	0.00		# 100		4,968.0	99.36	0.64	0.32
# 200		5,000.0	100.00	0.00		# 200		4,968.0	99.36	0.64	0.32
Total		4963				Total		4968			





LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

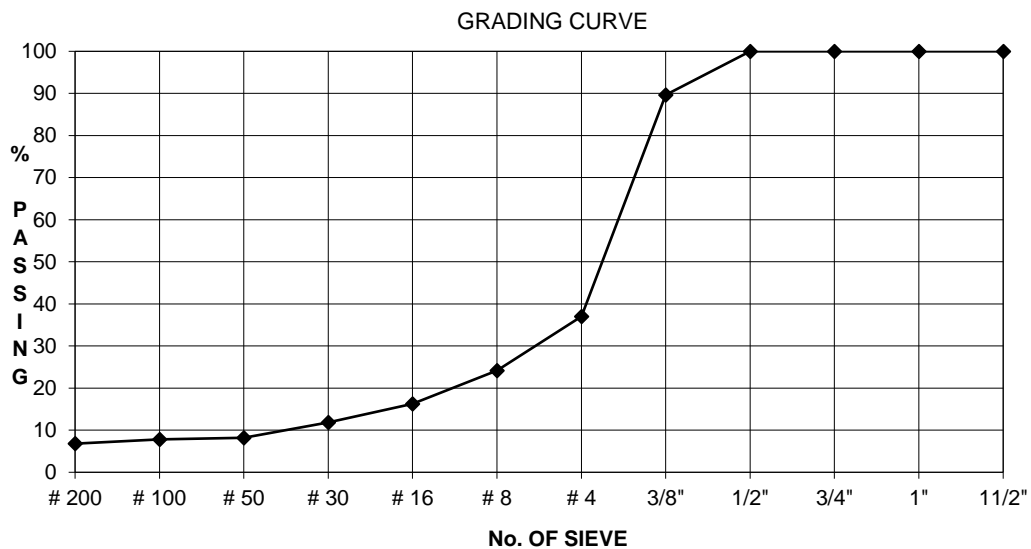


Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

ANALISA SARINGAN NORMAL

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"	344.0	61.0	2.44	97.56		3/8"	456.0	456.0	18.24	81.76	89.66
# 4	1,407	1,468	58.72	41.28		# 4	1,227	1,683	67.32	32.68	36.98
# 8	349.0	1,817	72.68	27.32		# 8	292.0	1,975	79.00	21.00	24.16
# 16	213.0	2,030	81.20	18.80		# 16	182.0	2,157	86.28	13.72	16.26
# 30	117.0	2,147	85.88	14.12		# 30	105.0	2,262	90.48	9.52	11.82
# 50	12.0	2,159	86.36	13.64		# 50	171.0	2,433	97.32	2.68	8.16
# 100	9.0	2,168	86.72	13.28		# 100	10.0	2,443	97.72	2.28	7.78
# 200	10.0	2,178	87.12	12.88		# 200	39.0	2,482	99.28	0.72	6.80
PAN	31.0	2,209	88.36	11.64		PAN	12.0	2,494	99.76	0.24	5.94
Total		2492				Total		2494			





**LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

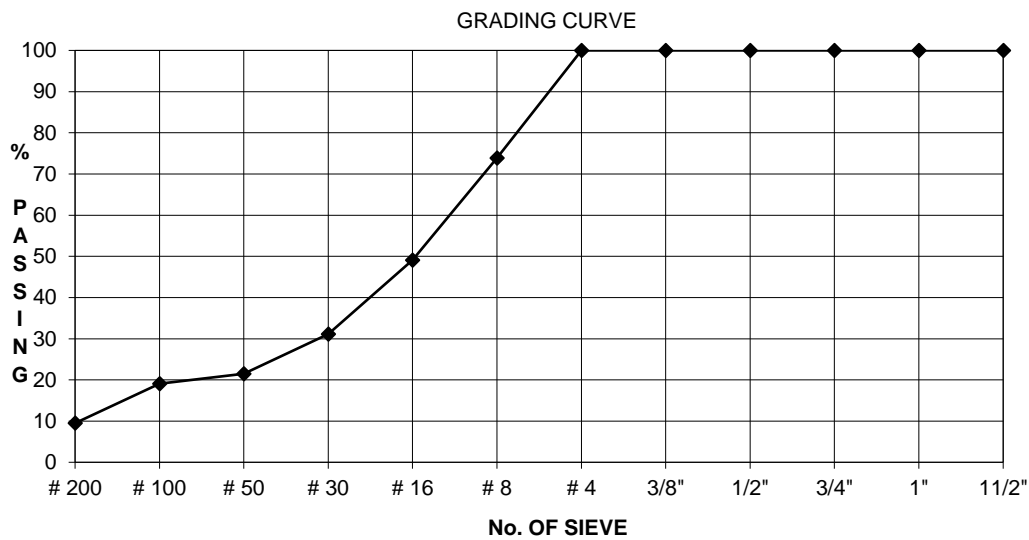


Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

ANALISA SARINGAN NORMAL

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	
# 8	127.00	127.00	25.40	74.60		# 8	134.0	134.00	26.80	73.20	
# 16	121.00	248.00	49.60	50.40		# 16	127.0	261.00	52.20	47.80	
# 30	89.00	337.00	67.40	32.60		# 30	91.0	352.00	70.40	29.60	
# 50	49.00	386.00	77.20	22.80		# 50	47.0	399.00	79.80	20.20	
# 100	10.00	396.00	79.20	20.80		# 100	14.0	413.00	82.60	17.40	
# 200	49.00	445.00	89.00	11.00		# 200	47.0	460.00	92.00	8.00	
PAN	47	492.00	98.40	1.60		PAN	34.0	494.00	98.80	1.20	
Total	492					Total	494				





LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



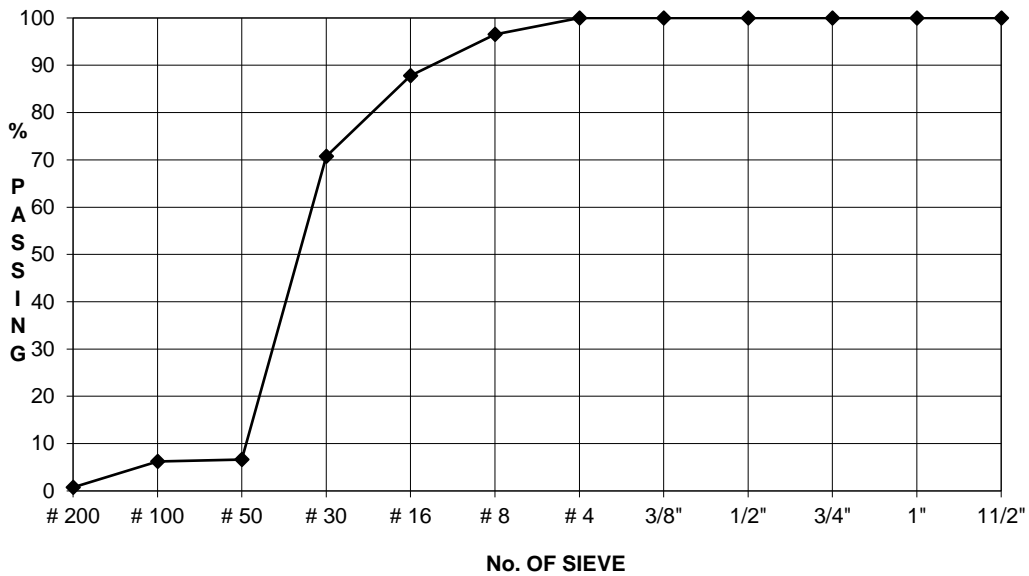
Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

ANALISA SARINGAN NORMAL

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	
# 8	35.0	35.00	3.50	96.50		# 8	34.0	34.00	3.40	96.60	
# 16	86.0	121.00	12.10	87.90		# 16	89.0	123.00	12.30	87.70	
# 30	164.0	285.00	28.50	71.50		# 30	178.0	301.00	30.10	69.90	
# 50	645.0	930.00	93.00	7.00		# 50	636.0	937.00	93.70	6.30	
# 100	4.0	934.00	93.40	6.60		# 100	5.0	942.00	94.20	5.80	
# 200	58.0	992.00	99.20	0.80		# 200	51.0	993.00	99.30	0.75	
PAN	5.0	997.00	99.70	0.30		PAN	5.0	998.00	99.80	0.25	
Total		997				Total		998			

GRADING CURVE





**LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

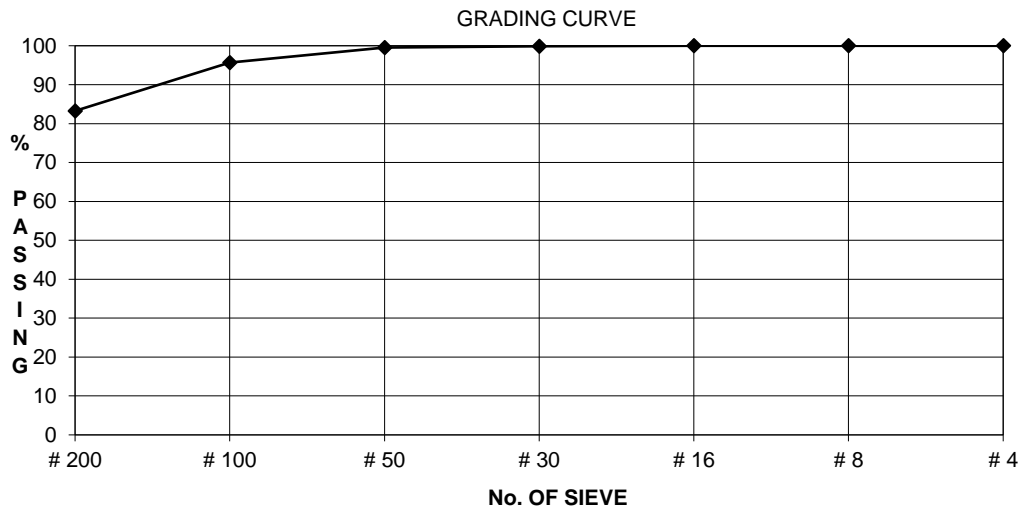


Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

ANALISA SARINGAN NORMAL

Fly Ash

TOTAL = 250.0 Gr					TOTAL = 250.0 Gr						
c	INDIVIDU WT. RET	CUMMULATIVE			SPEC LIMIT	SIEVE	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	
# 8	0.0	0.00	0.00	100.00		# 8	0.0	0.00	0.00	100.00	
# 16	0.0	0.00	0.00	100.00		# 16	0.0	0.00	0.00	100.00	
# 30	0.0	0.00	0.00	100.00		# 30	0.0	0.00	0.00	100.00	
# 50	1.0	1.00	0.10	99.90		# 50	1.0	1.00	0.10	99.90	
# 100	3.0	4.00	0.40	99.60		# 100	1.0	2.00	0.20	99.80	
# 200	81.0	85.00	8.50	91.50		# 200	24.0	26.00	2.60	97.40	
PAN	163.0	248.00	24.80	75.20		PAN	221.0	247.00	24.70	75.30	
Total	248					Total	247				





LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT

SPECIFIC GRAVITY OF COARSE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Kasar dan Absorpsi) ASTM C 127	LAB NO. (No Surat) : SAMPLING DATE (Tgl. Pengambilan Bahan) : 25 Juni 2018 TESTING DATE (Tgl. Percobaan) : 27 Juni 2018		
SOURCES OF SAMPLE (Asal Contoh)	Binjai		
DESCRIPTION OF SAMPLE (Gambaran Contoh)	Agregat Kasar		
PURPOSE MATERIAL (Guna Material)	Job Mix Formula		
COARSE AGGREGATE (Agregat Kasar) 3/4"	01	02	AVE (Rata-Rata)
Benda Uji Kering Oven (Bk)	2946	2951	2949
Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (Bj)	2967	2970	2969
Benda Uji Dalam Air (Ba)	1892	1898	1895
Berat Jenis (Bulk) $Bk / (Bj - Ba)$	2.74	2.82	2.78
Berat Jenis Permukaan Kering $Bj / (Bj - Ba)$	2.80	2.80	2.80
Berat Jenis Semu (Apparent) $Bk / (Bk - Ba)$	2.76	2.77	2.77
Penyerapan (Absorption) $[(Bj - Bk) / Bk] \times 100\%$	0.71	0.64	0.68



LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT

SPECIFIC GRAVITY OF COARSE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Kasar dan Absorpsi) ASTM C 127	LAB NO. (No Surat) : SAMPLING DATE (Tgl. Pengambilan Bahan) : 25 Juni 2018 TESTING DATE (Tgl. Percobaan) : 27 Juni 2018		
SOURCES OF SAMPLE (Asal Contoh)	Binjai		
DESCRIPTION OF SAMPLE (Gambaran Contoh)	Agregat Kasar		
PURPOSE MATERIAL (Guna Material)	Job Mix Formula		
COARSE AGGREGATE (Agregat Kasar) 1/2"	01	02	AVE (Rata-Rata)
Benda Uji Kering Oven (Bk)	1922	1931	1927
Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (Bj)	1943	1955	1949
Benda Uji Dalam Air (Ba)	1163	1175	1169
Berat Jenis (Bulk) $Bk / (Bj - Ba)$	2.56	2.59	2.57
Berat Jenis Permukaan Kering $Bj / (Bj - Ba)$	2.53	2.55	2.54
Berat Jenis Semu (Apparent) $Bk / (Bk - Ba)$	2.49	2.51	2.50
Penyerapan (Absorption) $[(Bj - Bk) / Bk] \times 100\%$	1.09	1.24	1.17



LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT

SPECIFIC GRAVITY OF FINE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Halus dan Absorpsi) ASTM C 128	LAB NO. (No Surat)	:	
	SAMPLING DATE (Tgl. Pengambilan Bahan)	:	25 Juni 2018
	TESTING DATE (Tgl. Percobaan)	:	26 Juni 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)	493	495	494
Berat Piknometer Di Isi Air (25°) (B)	670	669	669.5
Berat Piknometer + Benda Uji (SSD) + Air (25°) (Bt)	977	980	978.5
Berat Jenis (Bulk) $Bk / (B + A - Bt)$	2.55	2.62	2.59
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $A / (B + A - Bt)$	2.69	2.72	2.70
Berat jenis contoh Semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2.65	2.69	2.67
Absorption $(A - Bk) / Bk \times 100 \%$	1.40	1.00	1.20



LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT

SPECIFIC GRAVITY OF FINE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Halus dan Absorpsi) ASTM C 128	LAB NO. (No Surat)	:	
	SAMPLING DATE		
	(Tgl. Pengambilan Bahan)	:	25 Juni 2018
	TESTING DATE		
	(Tgl. Percobaan)	:	26 Juni 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)	1	2	AVE (Rata-Rata)
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (SSD) (A)	500	500	500
Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	491	493	492
Berat Piknometer Di Isi Air (25°) (B)	670	669	669.5
Berat Piknometer + Benda Uji (SSD) + Air (25°) (Bt)	988	976	982
Berat Jenis (Bulk) $Bk / (B + A - Bt)$	2.70	2.55	2.63
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $A / (B + A - Bt)$	2.89	2.69	2.79
Berat jenis contoh Semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2.84	2.65	2.74
Absorption $(A - Bk) / Bk \times 100 \%$	1.80	1.40	1.60



LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

PENGUJIAN BERAT JENIS AGREGAT

SPECIFIC GRAVITY OF FINE AGGREGATES & ABSORPTION TEST (Percobaan Berat Jenis Agregat Halus dan Absorpsi) ASTM C 128	LAB NO. (No Surat)	:	
	SAMPLING DATE		
	(Tgl. Pengambilan Bahan)	:	25 Juni 2018
	TESTING DATE		
	(Tgl. Percobaan)	:	26 Juni 2018
SOURCES OF SAMPLE (Asal Contoh)	Binjai		
DESCRIPTION OF SAMPLE (Gambaran Contoh)	Abu Batubara (<i>Fly Ash</i>)		
PURPOSE MATERIAL (Guna Material)	Job Mix Formula		
FINE AGGREGATE (<i>Agregat Halus</i>) Passing No.4 (<i>Lolos Ayakan No.4</i>)	01	02	AVE (Rata-Rata)
Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh (SSD) (A)	500	500	500
Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	491	493	492
Berat Piknometer Di Isi Air (25°) (B)	670	669	670
Berat Piknometer + Benda Uji (SSD) + Air (25°) (Bt)	977	978	978
Berat Jenis (Bulk) $Bk / (B + A - Bt)$	2.54	2.58	2.56
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $A / (B + A - Bt)$	2.72	2.72	2.72
Berat jenis contoh Semu $Bk / (B + Bk - Bt)$	2.67	2.68	2.67
Absorption $(A - Bk) / Bk \times 100 \%$	1.80	1.40	1.60



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:


Indisianto Purba, ST
Penyelia

Medan, 27 Juni 2018
Diperiksa Oleh


Ir. James Bimamora, M.MT
Manajer Teknik



LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

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

Contoh	AC - WC	No	Material	Persen	Bulk	SSD	Apparent	Effektif	Bj Aspal	Bj Gabung										
Aspal	Pertamina 60/70	1	Coarse Aggregate 3/4"	13%	2,78	2,80	2,77	2,77	1,035											
Agregat	CAMPURAN NORMAL	2	Medium Aggregate 1/2"	35%	2,57	2,54	2,50	2,54		Bulk 2,610										
Kalibrasi Prov	7,693 x	3	Crusher Dust	40%	2,59	2,70	2,67	2,63		Eff 2,619										
Tanggal	+	4	Natural Sand	12%	2,63	2,79	2,74	2,69												
	0,316																			
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	
1	5,8	5,5	1.187,0	1.200,0	670,0	530,0	2,240	2,416	11,898	81,084	7,303	18,916	61,392	5,368	119	916	875	2,10	416,89	0,13
2		5,5	1.188,0	1.199,0	670,0	529,0	2,246	2,416	11,930	81,306	7,050	18,694	62,290	5,368	124	954	915	2,40	381,46	0,13
3		5,5	1.189,0	1.200,0	670,0	530,0	2,243	2,416	11,918	81,221	7,147	19,065	62,513	5,368	111	854	817	2,30	355,06	5,50
		5,5					2,243	2,416	11,915	81,204	7,166	18,892	62,065	5,368			869	2,27	384,47	1,921
1	6,4	6,0	1.190,0	1.202,0	680,0	522,0	2,280	2,399	13,212	82,098	4,979	17,902	72,189	5,869	125	962	946	2,30	411,48	0,13
2		6,0	1.190,0	1.201,0	679,0	522,0	2,280	2,399	13,212	82,098	4,979	17,902	72,189	5,869	114	877	863	2,20	392,34	0,13
3		6,0	1.189,0	1.203,0	679,0	524,0	2,269	2,399	13,150	81,429	5,421	18,571	70,810	5,869	120	923	902	2,50	360,81	6,00
		6,0					2,276	2,399	13,191	81,875	5,126	18,125	71,729	5,869			904	2,33	388,21	2,087
1	6,9	6,5	1.197,0	1.202,0	680,0	522,0	2,293	2,382	14,397	82,142	3,750	17,858	79,001	6,370	145	1.116	1.098	4,10	267,75	0,13
2		6,5	1.192,0	1.199,0	683,0	516,0	2,310	2,382	14,504	82,750	3,038	17,250	82,391	6,370	128	985	991	4,20	235,84	0,13
3		6,5	1.194,0	1.199,0	682,0	517,0	2,309	2,382	14,500	82,438	3,063	17,562	82,561	6,370	106	816	817	4,30	190,08	6,50
		6,5					2,304	2,382	14,467	82,443	3,283	17,557	81,318	6,370			969	4,20	231,22	2,254
1	7,5	7,0	1.194,0	1.201,0	680,0	521,0	2,292	2,366	15,495	81,654	3,138	18,346	82,897	6,870	120	923	912	4,20	217,11	0,13
2		7,0	1.190,0	1.201,0	682,0	519,0	2,293	2,366	15,503	81,694	3,090	18,306	83,120	6,870	121	931	926	4,30	215,39	0,13
3		7,0	1.191,0	1.201,0	680,0	521,0	2,286	2,366	15,456	81,163	3,381	18,837	82,052	6,870	125	962	950	4,40	215,87	7,00
		7,0					2,290	2,366	15,485	81,504	3,203	18,496	82,690	6,870			929	4,30	216,12	2,420
1	8,1	7,5	1.190,0	1.203,0	679,0	524,0	2,271	2,350	16,452	80,480	3,351	19,520	82,831	7,371	112	862	842	4,60	183,02	0,13
2		7,5	1.192,0	1.203,0	680,0	523,0	2,279	2,350	16,511	80,769	3,004	19,231	84,379	7,371	126	970	951	4,70	202,24	0,13
3		7,5	1.189,0	1.204,0	679,0	525,0	2,265	2,350	16,407	79,977	3,617	20,023	81,938	7,371	116	893	869	4,80	181,00	7,50
		7,5					2,272	2,350	16,456	80,409	3,324	19,591	83,049	7,371			887	4,70	188,76	2,586

Keterangan

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

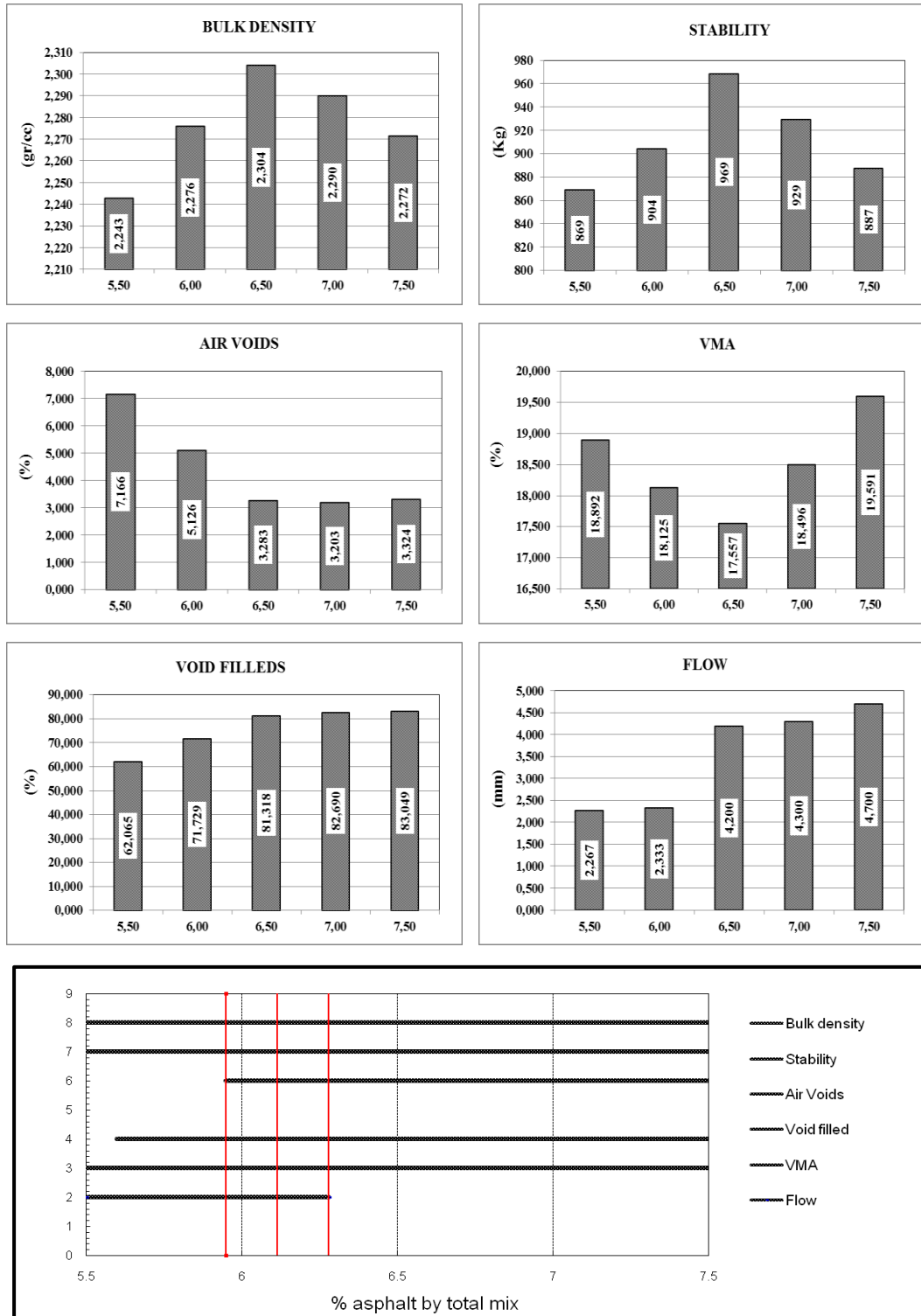


**LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**



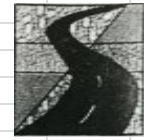
Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

Grafik Hasil Uji Karakteristik Marshall Aspal Normal





LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

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

Contoh	AC - WC						No	Material	Persen	Bulk	SSD	Apparent	Effektif	Bj Aspal	Bj Gabung						
Aspal	60/70						1	Coarse Aggregate 3/4"	13%	2,780	2,799	2,765	2,773	1,035							
Agregat	Campuran KAO+Crumb Rubber						2	Medium Aggregate 1/2"	35%	2,573	2,543	2,499	2,536		Bulk		2,610				
Kalibrasi Prov	7,693 x + 0,316						3	Crusher Dust	40%	2,587	2,703	2,670	2,629		Eff		2,619				
Tanggal							4	Natural Sand	12%	2,626	2,789	2,744	2,685								
							5														
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	
1	6,5	6,115	3,0%	1.193,0	1.196,0	677,0	519,0	2,299	2,395	13,577	82,680	4,034	17,320	76,709	5,984	117	900	896	3,50	256	0,13
2		6,115	3,0%	1.191,0	1.195,0	678,0	517,0	2,304	2,395	13,607	82,860	3,824	17,140	77,687	5,984	105	808	810	3,60	225	0,13
3		6,115	3,0%	1.196,0	1.195,0	679,0	516,0	2,318	2,395	13,690	83,076	3,233	16,631	80,557	5,984	122	939	944	3,70	255	0,13
								2,307	2,395	13,625	82,872	3,697	17,030	78,318	5,984		883	3,60	245	0,13	
1	6,5	6,115	4,0%	1.188,0	1.188,0	678,0	510,0	2,329	2,395	13,759	83,786	2,750	16,214	83,040	5,984	115	885	910	3,80	239	0,13
2		6,115	4,0%	1.193,0	1.197,0	679,0	518,0	2,303	2,395	13,603	82,839	3,849	17,161	77,572	5,984	108	831	830	3,90	213	0,13
3		6,115	4,0%	1.192,0	1.196,0	676,0	520,0	2,292	2,395	13,540	82,162	4,299	17,549	75,503	5,984	110	847	839	4,00	210	0,13
								2,308	2,395	13,634	82,929	3,633	16,974	78,705	5,984		859	3,90	221	0,13	
1	6,5	6,115	5,0%	1.194,0	1.198,0	681,0	517,0	2,309	2,395	13,641	83,069	3,582	16,931	78,843	5,984	97	747	748	4,10	182	0,13
2		6,115	5,0%	1.192,0	1.197,0	682,0	515,0	2,315	2,395	13,671	83,252	3,370	16,748	79,880	5,984	110	847	854	4,40	194	0,13
3		6,115	5,0%	1.193,0	1.198,0	683,0	515,0	2,317	2,395	13,682	83,029	3,289	16,971	80,622	5,984	101	777	785	4,50	174	0,13
								2,314	2,395	13,665	83,117	3,414	16,883	79,781	5,984		796	4,33	184	0,13	
1	6,5	6,115	6,0%	1.195,0	1.199,0	683,0	516,0	2,316	2,395	13,679	83,300	3,314	16,700	80,154	5,984	96	739	743	4,60	162	0,13
2		6,115	6,0%	1.197,0	1.199,0	684,0	515,0	2,324	2,395	13,728	83,601	2,964	16,399	81,923	5,984	94	723	730	4,70	155	0,13
3		6,115	6,0%	1.198,0	1.200,0	686,0	514,0	2,331	2,395	13,767	83,539	2,694	16,461	83,631	5,984	98	754	764	4,80	159	0,13
								2,324	2,395	13,725	83,480	2,991	16,520	81,903	5,984		746	4,70	159	0,13	
1	6,5	6,115	7,0%	1.192,0	1.196,0	686,0	510,0	2,337	2,395	13,805	84,068	2,422	15,932	84,795	5,984	96	739	760	4,90	155	0,13
2		6,115	7,0%	1.195,0	1.199,0	685,0	514,0	2,325	2,395	13,732	83,624	2,938	16,376	82,059	5,984	91	700	709	5,00	142	0,13
3		6,115	7,0%	1.194,0	1.197,0	684,0	513,0	2,327	2,395	13,747	83,422	2,830	16,578	82,927	5,984	87	670	681	5,10	133	0,13
								2,330	2,395	13,761	83,705	2,730	16,295	83,260	5,984		717	5,00	143	0,13	

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 = % volume aspal = (b x g) / bj aspal
 k = % volume agregat = ((100 - b) x g) / bj agregat
 l = % rongga terhadap campuran = 100 - ((100 x g) / h)
 m = % rongga terhadap agregat = 100 - ((g x b) / bj agregat)

n = % rongga terisi aspal = 1000 x (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

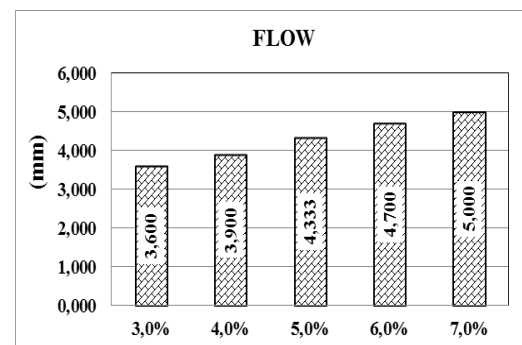
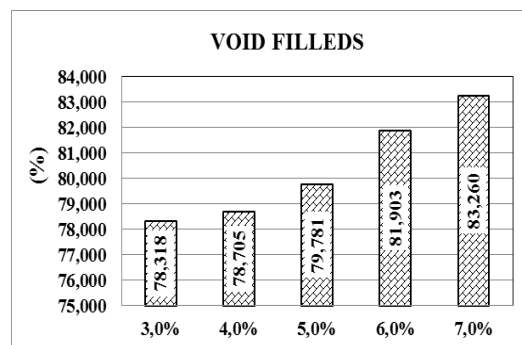
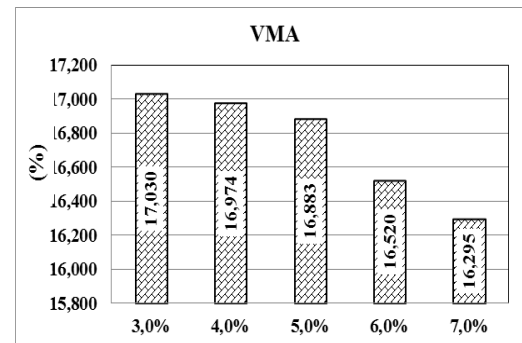
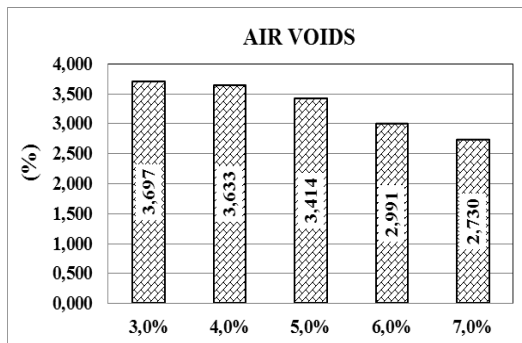
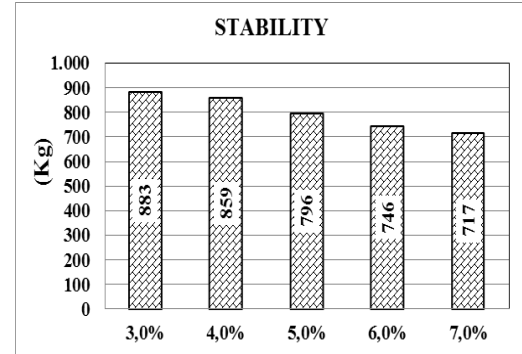
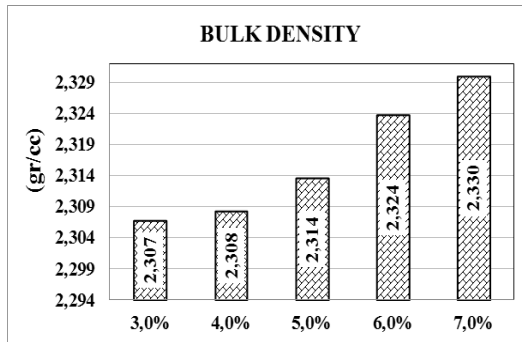


LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



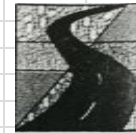
Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

Grafik Hasil Uji Karakteristik Marshall Kao+Crumb Rubber





LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

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

Contoh	AC - WC				No	Material	Persen	Bulk	SSD	Apparent	Efektif	Bj Aspal	Bj Gabung								
Aspal	60/70				1	Coarse Aggregate 3/4"	13%	2,780	2,799	2,765	2,650	1,035									
Agregat	Campuran KAO+Crumb Rubber+Filler				2	Medium Aggregate 1/2"	35%	2,573	2,543	2,536	2,625		Bulk	2,610							
Kalibrasi Prov	7,693 x		+	0,316	3	Crusher Dust	38%	2,587	2,703	2,670	2,633		Eff	2,620							
Tanggal					4	Natural Sand	12%	2,626	2,789	2,744	2,539										
					5	Filler	2%	2,563	2,717	2,674	2,618										
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	
1	6,5	6,115	3,0%	1.194,0	1.197,0	676,0	521,0	2,292	2,396	13,536	82,447	4,349	17,553	75,223	5,965	120	923	912	3,50	261	0,15
2		6,115	3,0%	1.191,0	1.195,0	678,0	517,0	2,304	2,396	13,607	82,876	3,851	17,124	77,510	5,965	118	908	910	3,70	246	0,15
3		6,115	3,0%	1.190,0	1.195,0	679,0	516,0	2,306	2,396	13,622	82,633	3,746	17,033	78,009	5,965	110	847	851	3,60	236	0,15
								2,301	2,396	13,588	82,652	3,982	17,237	76,914	5,965		891	3,60	248	0,15	
1	6,5	6,115	4,0%	1.197,0	1.197,0	678,0	519,0	2,306	2,396	13,623	82,973	3,739	17,027	78,040	5,965	121	931	926	3,90	237	0,15
2		6,115	4,0%	1.198,0	1.200,0	680,0	520,0	2,304	2,396	13,608	82,882	3,844	17,118	77,543	5,965	110	847	839	3,80	221	0,15
3		6,115	4,0%	1.195,0	1.198,0	681,0	517,0	2,311	2,396	13,652	82,819	3,528	16,846	79,055	5,965	106	816	817	3,92	209	0,15
								2,307	2,396	13,628	82,891	3,704	16,997	78,213	5,965		861	3,87	222	0,15	
1	6,5	6,115	5,0%	1.192,0	1.196,0	682,0	514,0	2,319	2,396	13,698	83,430	3,209	16,570	80,635	5,965	114	877	889	4,28	208	0,15
2		6,115	5,0%	1.194,0	1.197,0	681,0	516,0	2,314	2,396	13,667	83,246	3,422	16,754	79,574	5,965	109	839	844	4,10	206	0,15
3		6,115	5,0%	1.197,0	1.200,0	680,0	520,0	2,302	2,396	13,596	82,479	3,924	17,521	77,602	5,965	109	839	831	4,30	193	0,15
								2,312	2,396	13,654	83,052	3,518	16,948	79,270	5,965		855	4,23	202	0,15	
1	6,5	6,115	6,0%	1.193,0	1.197,0	682,0	515,0	2,317	2,396	13,682	83,338	3,316	16,662	80,101	5,965	109	839	847	4,60	184	0,15
2		6,115	6,0%	1.195,0	1.198,0	684,0	514,0	2,325	2,396	13,732	83,640	2,965	16,360	81,875	5,965	111	854	865	4,50	192	0,15
3		6,115	6,0%	1.196,0	1.200,0	686,0	514,0	2,327	2,396	13,744	83,372	2,884	16,628	82,655	5,965	108	831	842	4,70	179	0,15
								2,323	2,396	13,719	83,450	3,055	16,550	81,544	5,965		851	4,60	185	0,15	
1	6,5	6,115	7,0%	1.191,0	1.196,0	683,0	513,0	2,322	2,396	13,713	83,522	3,102	16,478	81,178	5,965	107	823	837	4,80	174	0,15
2		6,115	7,0%	1.194,0	1.197,0	684,0	513,0	2,327	2,396	13,747	83,733	2,857	16,267	82,435	5,965	99	762	775	4,70	165	0,15
3		6,115	7,0%	1.197,0	1.200,0	686,0	514,0	2,329	2,396	13,755	83,442	2,803	16,558	83,073	5,965	110	847	858	5,20	165	0,15
								2,326	2,396	13,738	83,566	2,921	16,434	82,228	5,965		823	4,90	168	0,15	

Keterangan

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

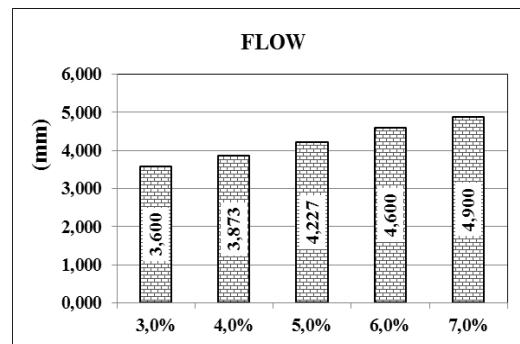
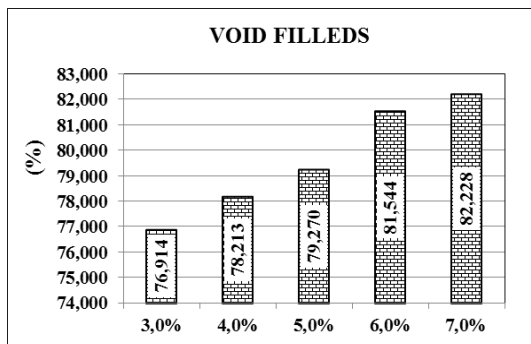
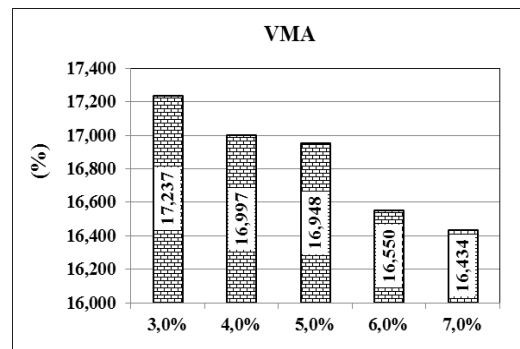
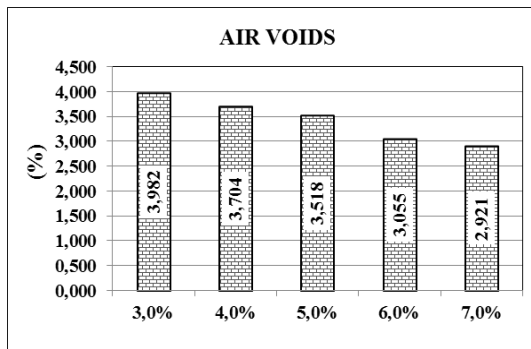
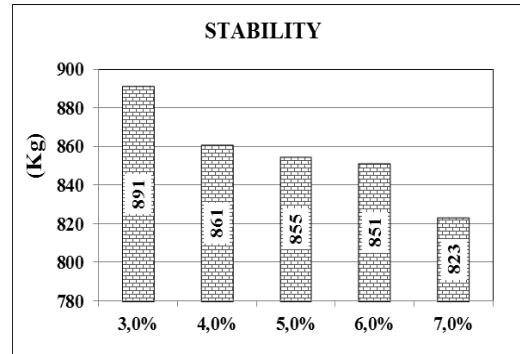
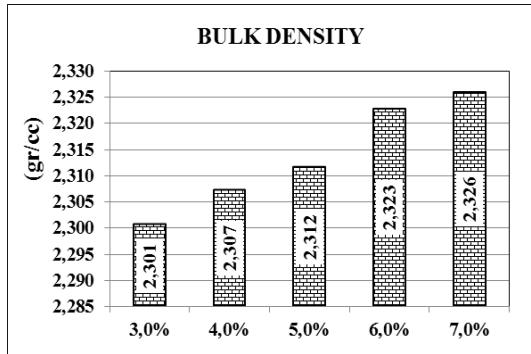


LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

Grafik Hasil Uji Karakteristik Marshall Kao+Crumb Rubber+Filler





LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

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

Contoh	AC - WC	No	Material	Persen	Bulk	SSD	Apparent	Effektif	Bj Aspal	Bj Gabung
Aspal	60/70	1	Coarse Aggregate 3/4"	13%	2,780	2,799	2,765	2,650	1,035	
Agregat	Campuran KAO+ Filler	2	Medium Aggregate 1/2"	35%	2,573	2,543	2,536	2,625		Bulk 2,610
Kalibrasi Prov	7,693 x +	3	Crusher Dust	38%	2,587	2,703	2,670	2,633		Eff 2,620
Tanggal		4	Natural Sand	12%	2,626	2,789	2,744	2,539		
		5	Filler	2%	2,563	2,717	2,674	2,618		

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
1	6,5	6,115	1.194,0	1.200,0	682,0	518,0	2,305	2,396	13,615	82,924	3,795	17,076	77,775	5,965	134	1.031	1.029	2,93	351	0,15
2		6,115	1.195,0	1.201,0	684,0	517,0	2,311	2,396	13,652	83,154	3,528	16,846	79,055	5,965	146	1.123	1.126	2,60	433	0,15
3		6,115	1.196,0	1.201,0	686,0	515,0	2,322	2,396	13,717	83,211	3,073	16,453	81,325	5,965	101	777	785	3,10	253	0,15
		6,115					2,313	2,396	13,661	83,096	3,465	16,791	79,385	5,965			980	2,88	346	0,15

Keterangan

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

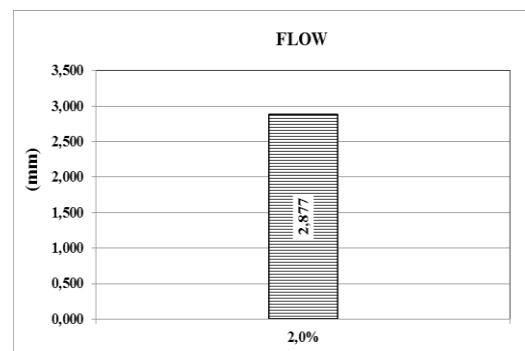
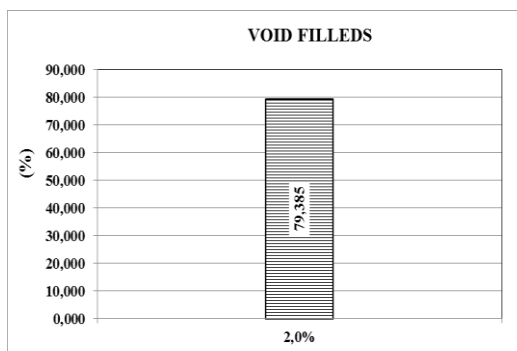
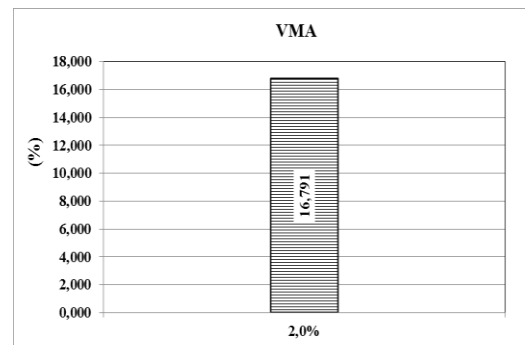
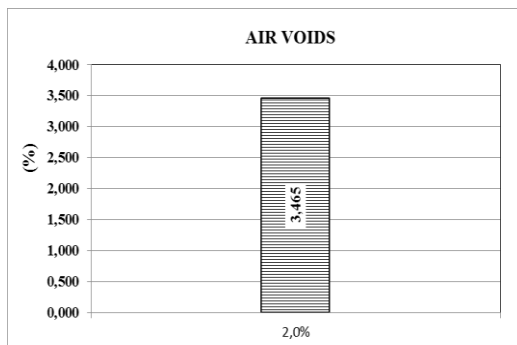
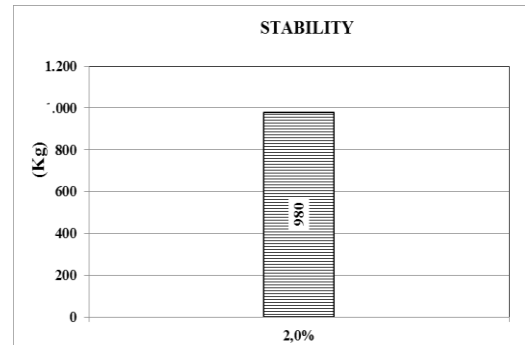
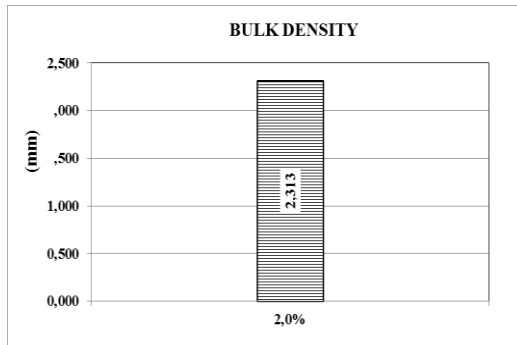


LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

Grafik Hasil Uji Karakteristik Marshall Kao+Filler





LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

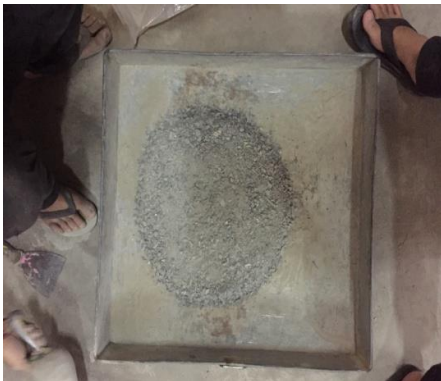
DOKUMENTASI PADA SAAT PENELITIAN



Medium Agregat (Ma $\frac{3}{4}$)



Fine Agregat (Fa $\frac{1}{2}$) inch



Abu Batu (Cr)



Pasir (Sand)



Abu Batu Bara (Fly Ash)



Serbuk Ban Bekas (Crumb Rubber)



**LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

DOKUMENTASI PADA SAAT PENELITIAN



Set Saringan



Pengujian Berat Jenis



Proses Pemanasan Agregat



Aspal Pertamina Pen 60/70



Proses Pencampuran Aspal Dan Agregat



Campuran Aspal Panas



LABORATORIUM JALAN RAYA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Jl. Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan Telp. (061)6622400

DOKUMENTASI PADA SAAT PENELITIAN



Proses Pengeluaran Benda Uji
Dengan Alat Extruder



Pengujian Benda Uji
Dengan Alat Marshall Test



Sampel Benda Uji