

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN BELERANG PADA ASPAL PENETRASI
60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN LASTON AC-BC
(Studi Penelitian)**

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

Disusun Oleh:

EKA SAPUTRA
1607210011



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2020**



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400
Website : <http://www.umsu.ac.id> Email : rektor@umsu.ac.id

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Eka Saputra
NPM : 1607210011
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Belerang Pada Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-BC (*Studi Penelitian*)
Bidang Ilmu : Transportasi

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya
Medan, 05 November 2020

Dosen Pembimbing

M. Husin Gultom, S.T, M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Eka Saputra

NPM : 1607210011

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Belerang Pada Aspal Penetrasi
60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-BC
(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, 05 November 2020

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Muhammad Husin Gultom, S.T., M.T.

Dosen Pembanding I



Hj. Irma Dewi, S.T, M.Si

Dosen Pembanding II



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

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Eka Saputra
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 29 April 1998
NPM : 1607210011
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa Laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Pengaruh Penambahan Belerang Pada Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-BC”

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena/hubungan material dan non-material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya 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 keadaan sadar dan tidak dalam tekanan ataupun paksaan dari pihak mana pun, demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 05 November 2020

Saya yang menyatakan,



METERAI
TEMPEL
TGL. 20
5A222AHF768262573
6000
ENAM RIBURUPIAH
Eka Saputra

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN BELERANG PADA ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN LASTON AC-BC (Studi Penelitian)

Eka Saputra
1607210011
M. Husin Gultom, ST, MT

Belerang merupakan kumpulan kristal kuning padat dengan berat jenis berkisar 2,00. Dalam keadaan padat, struktur belerang berbentuk belah ketupat dan tetap stabil hingga suhu 95°C (203°F). Campuran dengan sulfur-aspal memiliki nilai kuat tarik tak langsung (*Indirect tensile strength, IDT*) 50% lebih tinggi. Stabilitas marshall dan kelelahan (*flow*) meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan kadar sulfur. Sulfur menurunkan tingkat pengerasan aspal, perkerasan menjadi lebih tahan terhadap retak buaya. Sebagai bahan tambah di dalam campuran LASTON AC-BC adalah belerang dengan kadar 2%,3%,dan 4%. Tulisan ini mencoba meneliti pengaruh belerang terhadap campuran Laston AC-BC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai karakteristik *Marshall* pada campuran aspal dengan menggunakan belerang yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan belerang akan mempengaruhi karakteristik campuran aspal. Hasil *Marshall test* yang didapatkan, dengan nilai tertinggi dalam keadaan aspal optimum dan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 terdapat pada campuran aspal dengan penambahan belerang 2%, 3%, dan 4%, dimana diperoleh nilai Stabilitas sebesar 1.533,06 kg, 1.459,12 kg, dan 1.407,75 kg, *Bulk Density* sebesar 2,341 gr/cc, 2,342 gr/cc, dan 2,345 gr/cc, Flow sebesar 3,75 mm, 3,85 mm, dan 3,93 mm, VIM sebesar 3,17%, 3,14%, dan 3,02% serta VMA sebesar 15,45%, 15,42%, dan 15,31%.

Kata kunci: Belerang, Laston AC-BC, Karakteristik *marshall*.

ABSTRACT

THE EFFECT OF ADDITIONAL SULFUR ON 60/70 PENETRATION ASPHALT ON THE CHARACTERISTICS OF AC-BC LASTON MIXING (Research Study)

Eka Saputra
1607210011
M. Husin Gultom, S.T, M.T

Sulfur is a collection of solid yellow crystals with a density of around 2.00. In the solid state, the structure of sulfur is rhombic and remains stable up to 95°C (203 °F). The mixture with sulfur-asphalt has a 50% higher Indirect tensile strength (IDT) value. Marshall stability and flow increased with increasing sulfur content. Sulfur lowers the hardening rate of the asphalt, the pavement becomes more resistant to crocodile cracking. As an added ingredient in the mixture LASTON AC-BC is sulfur with levels of 2%, 3%, and 4%. This paper tries to examine the effect of sulfur on the Laston AC-BC mixture. This study aims to determine how much the value of the Marshall characteristics in the asphalt mixture using sulfur is in accordance with the General Specifications of Bina Marga 2018. The results show that the use of sulfur will affect the characteristics of the asphalt mixture. The Marshall test results obtained, with the highest value in the optimum asphalt state and meeting the specifications of Bina Marga 2018 are found in the asphalt mixture with the addition of 2%, 3%, and 4% sulfur, where the Stability values obtained are 1,533.06 kg, 1,459.12 kg, and 1,407.75 kg, Bulk Density of 2.341 gr / cc, 2.342 gr / cc, and 2.345 g / cc, Flow of 3.75 mm, 3.85 mm, and 3.93 mm, VIM of 3.17% , 3.14%, and 3.02% as well as VMA of 15.45%, 15.42%, and 15.31%.

Keywords: Sulfur, Laston AC-BC, Characteristics of Marshall

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 “Pengaruh Penambahan Belerang Pada Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-BC (Penelitian)” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

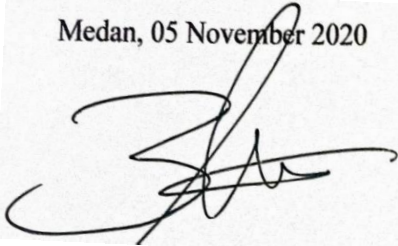
Banyak pihak yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Bapak Muhammad Husin Gultom, ST., M.T. Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Hj. Irma Dewi, S.T., M.Si, Selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, S.T, M.Sc, Selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Bapak Munawar Alfansuri Siregar, S.T., M.Sc, Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak memberikan ilmu keteknik sipil kepada penulis.
6. Bapak/Ibu staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Sugino dan Ibunda tercinta Semi yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
8. Teristimewa sekali juga kepada Abangda Bimbo Sartyka S.Pd, Abangda Vivut Anggara, S.T Ars, M.Si, Abangda Kushendro, Abangda Gita Syaputra S.Kom, Abangda Wiwin Andika, Kakanda Fitri Sari dan Adinda Elviana Sarah yang telah memberikan dukungan, baik dengan doa maupun nasehat.
9. Rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil terutama Diki Akbar, Shania Novilsha, Arief Prasetio, M. Yusril Chair, Mazferdian Palka, Erdi Darmaniara dan lainnya yang tidak mungkin namanya disebut satu persatu.

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, 05 November 2020



Eka Saputra

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	
LEMBAR PENGESAHAN	i
LEMBAR KEASLIAN SKRIPSI	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xii
DAFTAR SINGKATAN	xiv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Agregat	6
2.2.1 Sifat Agregat	7
2.2.2 Klarifikasi Agregat	8
2.2.3 Jenis Agregat	8
2.2.4 Pengujian Agregat	9
2.2.5 Gradasi Agregat	14
2.2.6 Gradasi Agregat Gabungan	16
2.3 Aspal	17
2.3.1 Jenis Aspal	18
2.3.2 Sifat Fisik Aspal	19

2.3.3 Klarifikasi Aspal	20
2.3.4 Pemeriksaan Properties Aspal	22
2.4 Jenis Campuran Beraspal	24
2.5 Laston AC	25
2.6 Bahan Tambah	27
2.7 Metode Pengujian Rencana Campuran	28
BAB 3 METODELOGI PENELITIAN	33
3.1 Alir Metode Penelitian	33
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	34
3.3 Metode Penelitian	34
3.4 Teknik Pengumpulan Data	34
3.5 Material Untuk Penelitian	34
3.6 Prosedur Penelitian	35
3.7 Pemeriksaan Bahan Campuran	35
3.7.1 Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar dan Halus	35
3.7.2 Alat Yang Digunakan	36
3.7.3 Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan Mesin Los Angeles	37
3.8 Prosedur Kerja	37
3.8.1 Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	37
3.8.2 Tahapan Pembuatan Benda Uji	38
3.8.3 Metode Pengujian Benda Uji (<i>Sample</i>)	40
3.8.4 Penentuan Berat Jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>)	40
3.8.5 Pengujian Stabilitas (<i>Stability</i>) dan Kelelehan (<i>Flow</i>)	41
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	
4.1 Hasil Penelitian	43
4.1.1 Pemeriksaan Gradasi Agregat	43
4.1.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat	47
4.1.3 Hasil Pemeriksaan Aspal	52
4.1.4 Pemeriksaan Terhadap Parameter Benda Uji	53
4.1.5 Pemeriksaan Kadar Aspal Optimum	54

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	64
DAFTAR PUSTAKA	67
LAMPIRAN	
DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1: Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal	6
Tabel 2.2: Ukuran saringan menurut ASTM	10
Tabel 2.2: <i>Lanjutan</i>	11
Tabel 2.3: Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal	16
Tabel 2.4: Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70	17
Tabel 2.5: Klasifikasi aspal keras berdasarkan viskositas	20
Tabel 2.6: Klasifikasi aspal keras berdasarkan hasil RTFOT	21
Tabel 2.7: Klasifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi aspal	22
Tabel 2.8: Ketentuan sifat-sifat campuran laston AC	26
Tabel 4.1: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (Ca) $\frac{3}{4}$ inch	43
Tabel 4.2: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (Ma) $\frac{1}{2}$ inch	44
Tabel 4.3: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus pasir (<i>Sand</i>)	44
Tabel 4.4: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr)	45
Tabel 4.5: Hasil kombinasi gradasi agregat standar	45
Tabel 4.6: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji standar	47
Tabel 4.7: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji penggunaan belerang 2% , 3% , 4% dengan KAO 5,53% 47	47
Tabel 4.8: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch	48
Tabel 4.9: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar MA $\frac{3}{8}$ inch	49
Tabel 4.10: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir (<i>sand</i>)	50
Tabel 4.11: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu batu (Cr)	51
Tabel 4.12: Hasil pemeriksaan karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70	52
Tabel 4.13: Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran Normal	56
Tabel 4.14: Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran penambahan belerang 2%, 3% dan 4%	56

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1: Berat Jenis Agregat	11
Gambar 2.2: Jenis gradasi agregat	15
Gambar 2.3: Distribusi agregat	16
Gambar 2.4: Hubungan volume dan rongga-density benda uji campuran aspal panas padat	29
Gambar 3.1: Bagan alir penelitian	33
Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat	46
Gambar 4.2: Penentuan rentang (<i>range</i>) kadar aspal optimum campuran aspal normal	54
Gambar 4.2: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density</i> (gr/cc) campuran normal	57
Gambar 4.3: Grafik hubungan <i>Bulk Density</i> (gr/cc) dengan belerang (%)	57
Gambar 4.4: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Stability</i> (Kg) campuran normal	58
Gambar 4.5: Grafik hubungan antara <i>Stability</i> (Kg) dengan belerang (%)	59
Gambar 4.6: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) Campuran normal	59
Gambar 4.7: Grafik hubungan antara <i>Air Voids</i> (VIM) dengan belerang (%)	60
Gambar 4.8: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) Campuran normal	61
Gambar 4.9: Grafik hubungan antara VMA (%) dengan belerang (%)	61
Gambar 4.10: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VFB (%) Campuran normal	62
Gambar 4.11: Grafik hubungan antara VFB (%) dengan belerang (%)	63
Gambar 4.12: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Flow</i> (mm) Campuran normal	63
Gambar 4.13: Grafik hubungan antara <i>Flow</i> (mm) dengan belerang	64

DAFTAR NOTASI

A	= Berat piknometer (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)
C	= Berat piknometer berisi aspal (gr)
D	= Berat piknometer berisi air dan aspal
Fk	= Faktor Koreksi
G	= Berat isi sampel
Gb	= Berat jenis aspal
Gmb	= Berat jenis curah campuran padat
Gmm	= Berat jenis maksimum campuran
Gsa	= Berat jenis semu
Gsb	= Berat jenis curah
Gse	= Berat jenis efektif agregat
K	= Kelelehan (<i>Flow</i>)
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
Pb	= Aspal, persen berat total campuran
Pba	= Aspal yang terserap
Pbe	= Kadar aspal efektif
Pmm	= Campuran lepas total, persentase terhadap berat total campuran
Ps	= Agregat, persen terhadap total campuran
S	= Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan
Sa	= Berat jenis semu (<i>apparent specific gravity</i>)
Sa	= Stabilitas akhir
Sd	= Berat jenis curah (<i>bulk specific gravity</i>)
Ss	= Berat jenis kering permukaan jenuh
Sw	= Penyerapan air
V	= Volume aspal pada temperatur
Va	= Volume Air yang di masukkan ke dalam piknometer

V_t	= Volume aspal pada temperature tertentu
VFA/VFB	= Rongga terisi aspal (%)
VIM	= Rongga udara dalam campuran (%)
VMA	= Rongga dalam agregat mineral (%)
V_{pp}	= Volume pori meresap aspal
$V_{pp} - V_{ap}$	= Volume pori meresap air yang tidak meresap aspal
V_s	= Volume bagian padat agregat
W	= Berat Piknometer Kosong
W_s	= Berat agregat kering (gr)
γ_w	= Berat isi air

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

AC-Base	= <i>Asphalt Concrete-Base</i>
AC-BC	= <i>Asphalt Concrete-Binder Course</i>
AC-WC	= <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i>
AMP	= <i>Asphalt Mixing Plant</i>
ASTM	= <i>American Standard Testing and Material</i>
HMA	= <i>Hot Mix Asphalt</i>
HRS	= <i>Hot Rolled Sheet</i>
MC	= <i>Medium Curing</i>
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
PAV	= <i>Pressure Aging Vessel</i>
PRD	= <i>Persentase Refusal Density</i>
RC	= <i>Rapid Curing</i>
RTFOT	= <i>Rolling Thin Film Oven Test</i>
SC	= <i>Slow Curing</i>
SMA	= <i>Split Mastic Asphalt</i>
SSD	= <i>Saturad Surface Dry</i>
TFOT	= <i>Thin Film Oven Test</i>
VFB	= <i>Void filled Bitumen</i>
VFWA	= <i>Void filled with asphalt</i>
VIM	= <i>Void in mix</i>
VMA	= <i>Void in mineral aggregate</i>

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring meningkatnya kebutuhan akan jalan, memacu manusia untuk meningkatkan kualitas jalan. Kualitas jalan yang ditingkatkan dapat berupa peningkatan geometrik jalan maupun struktur perkerasan. Dalam meningkatkan struktur perkerasan, dicari alternatif-alternatif bahan untuk dicampur dengan aspal ataupun agregat (Nurdajat & Elkhasnet, 2007).

Campuran beraspal masih merupakan lapis penutup perkerasan jalan yang dominan di Indonesia, walaupun di beberapa ruas jalan telah dilakukan dengan lapis perkerasan kaku dengan beton. Campuran beraspal panas merupakan campuran antara agregat dengan aspal sebagai pengikat pada komposisi dan suhu tertentu. Banyak jenisnya campuran beraspal dan umumnya ditentukan oleh tipe gradasi agregat yang digunakan, jenis aspal dan suhu pencampuran/pemadatan (Saleh, Anggraini, & Aquina, 2014).

Dalam beberapa kasus yang terjadi, banyak konstruksi jalan yang mengalami masa kerusakan dalam masa pelayanan tertentu, padahal tujuan akhir adalah tersedianya jalan dengan standar baik sesuai dengan fungsinya. Untuk mencapai tujuan ini, salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan umur pelayanan adalah dengan meningkatkan fungsi aspal sebagai bahan pengikat dengan menggunakan bahan tambah/*additive*.

Beberapa penelitian telah dicoba untuk meneliti berbagai jenis bahan yang dapat digunakan untuk mengurangi penyerapan agregat terhadap air. Bahan yang banyak digunakan adalah bahan kimia yang kedap terhadap air. Bahan kimia yang digunakan pada penelitian ini adalah belerang atau *sulfur* yang merupakan salah satu material dasar yang penting dalam proses kimia, berbentuk zat padat yang berwarna kuning dan banyak dipakai untuk bermacam-macam bahan kimia pokok maupun sebagai bahan pembantu, sehingga dijuluki sebagai Raja Kimia.

Belerang dihasilkan oleh proses vulkanisme, sifat-sifat fisik belerang adalah kristal berwarna kuning, kuning kegelapan, dan kehitam-hitaman, karena

pengaruh unsur pengotornya. Berat jenis belerang adalah 2,05-2,09, kekerasan 1,5-2,5 (skala Mohs). Ketahanan belerang bersifat getas/mudah hancur. Sifat belerang lainnya adalah tidak larut dalam air, atau H_2SO_4 . Titik lebur $129^{\circ}C$ dan titik didihnya $446^{\circ}C$. Mudah larut dalam CS_2 , CCl_4 , minyak bumi, minyak tanah, dan aniline. Penghantar panas dan listrik yang buruk. Apabila dibakar apinya berwarna biru dan menghasilkan gas-gas SO_2 yang berbau busuk (Bahri, 2014).

Penelitian penggunaan sulfur memberikan harapan yang menggembirakan. Fromm et. Al 1979, 1981 dalam SHRP-A-631, 1993 menyatakan bahwa penambahan sulfur akan meningkatkan stabilitas dan flow serta menurunkan kedalaman alur dari perkerasan. Oleh karenanya penelitian ini menjadi perlu untuk dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi material lokal yang ada (Setiawan, 2012).

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan sulfur terhadap perubahan karakteristik campuran Laston AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) yang terjadi sehingga akan diketahui berapa besar kadar sulfur yang masih memenuhi persyaratan dari Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 serta menjawab apakah penambahan sulfur memberikan pengaruh yang signifikan terhadap perubahan karakteristik campuran Laston AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*).

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini, adapun rumusan masalah yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

1. Apakah penambahan belerang yang digunakan dalam percobaan dapat memenuhi sifat-sifat parameter uji Marshall yang terdapat pada spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
2. Bagaimana pengaruh belerang terhadap campuran Laston AC-BC dalam penelitian ini.

1.3 Ruang Lingkup

Beberapa batasan masalah yang dipakai dalam penelitian ini antara lain:

1. Menyelidiki pengaruh penggunaan belerang sebagai bahan penambah campuran aspal jenis Laston *AC-BC*.
2. Tinjauan karakteristik campuran Laston *AC-BC* terbatas pada pengamatan terhadap hasil pengujian *Marshall*.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian tugas akhir ini antara lain:

1. Untuk mengetahui apakah penelitian ini memenuhi sifat-sifat parameter uji *Marshall* yang terdapat pada spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
2. Untuk mengetahui apakah belerang dapat bermanfaat sebagai bahan penambah pada campuran Laston *AC-BC* dalam penelitian ini.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini dapat ditinjau dari:

1. Aspek keilmuan atau akademis
Dengan dilakukannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan pengetahuan yang luas serta mengembangkan pola pikir tentang penambahan belerang pada campuran Laston *AC-BC* yang kemudian mampu memberikan gagasan dalam inovasi aspal yang lebih baik.
2. Aspek praktek
Diharapkan dari hasil penelitian ini dapat digunakan pada jalan yang ada di Indonesia yang memiliki lalu lintas yang padat.
3. Untuk memanfaatkan potensi sumber daya alam belerang yang berasal dari proses vulkanisme.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis mengelompokan ke dalam 5 bab dengan sistematika sebagai berikut:

1. BAB 1 PENDAHULUAN

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

2. BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan kajian dari berbagai literatur serta hasil studi yang relevan dengan pembahasan ini. Dalam hal ini diuraikan hal-hal tentang beberapa teori-teori yang berhubungan dengan karakteristik campuran Laston *AC-BC* dengan penambahan belerang.

3. BAB 3 METODE PENELITIAN

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

4. BAB 4 ANALISIS DATA

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

5. BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Perkerasan lentur (*Flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Pada umumnya perkerasan lentur baik digunakan untuk jalan yang melayani beban lalu lintas ringan sampai sedang, seperti jalan perkotaan, jalan dengan system utilitas terletak dibawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan, atau perkerasan dengan konstruksi bertahap.

Campuran beraspal adalah suatu kombinasi campuran antara agregat dan aspal. Dalam campuran beraspal, aspal berperan sebagai pengikat atau lem antar partikel agregat, dan agregat 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 (Tombeg, Manoppo, & Sendow, 2019).

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)

Aspal beton merupakan campuran yang homogen antara agregat (agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi/filler) dan aspal sebagai bahan pengikat yang mempunyai gradasi tertentu, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan pada suhu tertentu untuk menerima beban lalu lintas yang tinggi (Sitohang & Sinuhaji,

2018). Laston terdiri dari tiga macam campuran, yaitu AC Lapis Aus (AC-WC), AC Lapis Antara (AC-Binder Course, AC-BC) dan AC Lapis Pondasi (AC-Base), dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan Aspal Polymer disebut masing-masing sebagai AC-WC Modifikasi, AC-BC Modifikasi, dan AC-Base Modifikasi (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

Adapun tebal total campuran beraspal tidak boleh kurang dari jumlah tebal rancangan dari masing-masing campuran, pada suatu sub-segmen yang tidak memenuhi syarat akan di ulang atau dalam lapangan dibongkar yang disyaratkan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1: Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
<i>Split Mastic Asphalt</i> – Tipis		SMA – Tipis	3,0
<i>Split Mastic Asphalt</i> – Halus		SMA – Halus	4,0
<i>Split Mastic Asphalt</i> – Kasar		SMA – Kasar	5,0
Lataston	Lapis Aus	HRS – WC	3,0
	Lapis Pondasi	HRS – Base	3,5
Laston	Lapis Aus	AC – WC	4,0
	Lapis Antara	AC – BC	6,0
	Lapis Pondasi	AC – Base	7,5

2.2 Agregat

Agregat atau batu, atau glanular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Agregat diperoleh dari sumber daya alam yang telah mengalami pengecilan ukuran secara alamiah melalui proses pelapukan dan aberasi yang berlangsung lama.

Agregat menurut Silvia Sukirman, 2007 merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan prosentase berat, atau

75-85% agregat berdasarkan prosentase volume. Dengan demikian, kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Agregat adalah bahan pengisi atau yang dicampurkan dalam pembuatan aspal yang berasal dari batu dan mempunyai peranan penting terhadap kualitas aspal maupun harganya. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan (Mardiansah, Haris, & Lubis, 2018).

Agregat merupakan komponen utama dari konstruksi perkerasan jalan yang berfungsi sebagai kerangka atau tulangan yang memikul beban yakni beban kendaraan yang melewati jalantersebut. Jumlah agregat dalam suatu campuran lapis perkerasan jalan adalah berkisar 90% dari total berat campuran atau sebesar 75-85% dari total volume campuran, sisanya adalah aspal dan mineral pengisi (*filler*) (Tarigan & Saragih, 2017).

2.2.1 Sifat Agregat

Sifat agregat merupakan salah satu penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi tiga, 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

Agregat dapat dibedakan berdasarkan kelompok terjadinya, pengolahan, dan ukuran butirnya. Berdasarkan proses terjadinya agregat dapat dibedakan atas agregat beku (*igneous rock*), agregat sedimen (*sedimentary rock*) dan agregat metamorfik (*metamorphic rock*) (Sukirman, 2003).

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 metamorfik

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

2.2.3 Jenis Agregat

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

1. Agregat alam (*natural aggregates*)

Agregat alam adalah agregat yang digunakan dalam bentuk alamiahnya dengan sedikit atau tanpa pemrosesan sama sekali. Agregat ini terbentuk dari proses erosi alamiah atau proses pemisahan akibat angin, air, pergeseran es, dan

reaksi kimia. Aliran gletser dapat menghasilkan agregat dalam bentuk bongkahan bulat dan batu kerikil, sedangkan aliran air menghasilkan batuan yang bulat licin. Dua jenis utama dari agregat alam yang digunakan untuk konstruksi jalan adalah pasir dan kerikil. Kerikil biasanya berukuran lebih besar 6,35 mm. Pasir partikel yang lebih kecil dari 6,35 mm tetapi lebih besar dari 0,075 mm. Sedangkan partikel yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut sebagai mineral pengisi (*filler*). Pasir dan kerikil selanjutnya diklasifikasikan menurut sumbernya. Material yang diambil dari tambang terbuka (*open pit*) dan digunakan tanpa proses lebih lanjut disebut material dari tambang terbuka (*pit run materials*) dan bila diambil dari sungai (*stream bank*) disebut material sungai (*stream bank materials*).

2. Agregat yang diproses

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

3. Agregat buatan

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

2.2.4 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.

2. 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 2.2.

Tabel 2.2: Ukuran saringan menurut ASTM (Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002).

No. Saringan	Lubang Saringan	
	Inch	Mm
½	0,50	12,7
3/8	0,375	9,51
No. 4	0,187	4,76
No. 8	0,0937	2,38
No. 16	0,0469	1,19

Tabel 2.2: Lanjutan

No. Saringan	Lubang Saringan	
	Inch	Mm
No. 30	0,0234	0,595
No. 50	0,0117	0,297
No. 100	0,0059	0,149
No. 200	0,0029	0,074

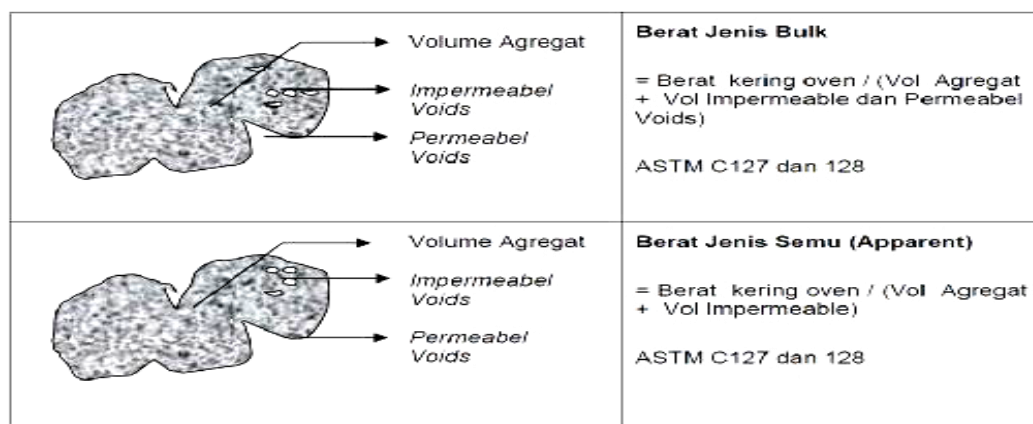
Ukuran saringan yang digunakan ditentukan dalam spesifikasi. Analisis saringan ada 2 macam yaitu analisis saringan kering dan analisis saringan dicuci (analisis saringan basah). Analisis saringan kering biasanya digunakan untuk pekerjaan rutin untuk agregat normal. Namun bila agregat tersebut mengandung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

3. 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, yaitu:

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



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. 2.1–2.3.

Berat Jenis Semu:

$$G_{sa} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_w} \quad (2.1)$$

Berat Jenis Curah:

$$G_{sb} = \frac{W_s}{(V_s + V_{pp}) \cdot \gamma_w} \quad (2.2)$$

Berat Jenis Efektif:

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

Dengan pengertian:

W_s = Berat agregat kering

γ_w = Berat Isi air = 1 g/cm^3

V_s = Volume bagian padat agregat

V_{pp} = Volume pori meresap aspal

$V_{pp} - V_{ap}$ = 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. 2.4–2.7.

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. 2.8–2.11.

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.

2.2.5 Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran partikel agregat dan dinyatakan dalam presentase terhadap total beratnya. Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, dimana contoh agregat ditimbang dan dipresentasikan agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan terhadap berat total. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan apakah gradasi agregat memenuhi spesifikasi atau tidak (Tombeg et al., 2019).

Gradasi adalah distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat yang saling mengisi sehingga terjadinya suatu ikatan yang saling mengunci (*interlocking*) (Faisal, Shaleh, & Isya, 2014).

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 untuk 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 sarungan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawatnya dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inci persegi dan saringan tersebut (Sitorus, 2018).

Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

1. Gradasi seragam

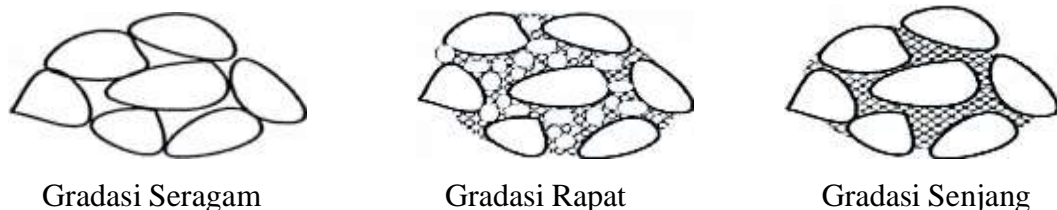
Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agrgat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang kosong antar agregat.

2. Gradasi rapat

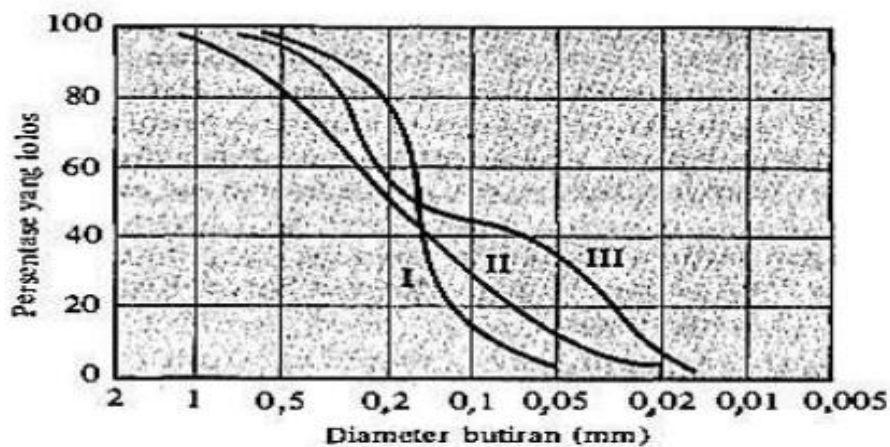
Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapis perkerasan dengan stabilitas tinggi, kedap air, dan berat volume besar.

3. Gradasi senjang

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebut diatas.



Gambar 2.2: Jenis gradasi agregat



Gambar 2.3: Distribusi agregat

2.2.6 Gradasi Agregat Gabungan

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

Tabel 2.3: Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
3/4"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	10-15					9-22	7-20	6-15
No.100	0,150						6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

2.3 Aspal (Asphalt)

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya. Pengerasan aspal dapat terjadi karena oksidasi, penguapan, dan perubahan kimiawi lainnya (Mardiansah et al., 2018).

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam pencampuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, 2003).

Aspal keras dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Aspal untuk lapis beton harus memenuhi beberapa syarat sebagaimana tercantum pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70 (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan Pen.60/70
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-
3.	Vikositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48

Tabel 2.4: *Lanjutan*

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan Pen.60/70
5.	Daktalitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥323
7.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥99
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥1,0
9.	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-

2.3.1 Jenis Aspal

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan atas:

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

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

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

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

Aspal buatan adalah bitumen yang merupakan jenis aspal hasil penyulingan minyak bumi yang mempunyai kadar parafin yang rendah dan biasa disebut *paraffin base crude oil*. Minyak bumi banyak mengandung gugusan aromatik dan

syklis sehingga kadar aspalnya tinggi dan kadar parafinnya rendah. Aspal buatan terdiri dari berbagai bentuk padat, cair, dan emulsi.

2.3.2 Sifat Fisik Aspal

Adapun sifat-sifat aspal adalah sebagai berikut:

1. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal untuk mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa umur pelayanan. 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*).

2. Adhesi dan kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal. Kohesi adalah ikatan didalam molekul aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

3. Kekerasan dan penuaan aspal

Kekerasan aspal tergantung pada viskositasnya (kekentalan) aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal. Pada proses pelaksanaan terjadinya oksidasi yang mengakibatkan aspal menjadi getas (viskositasnya bertambah tinggi). Peristiwa itu berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai. Pada masa pelayanan aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi ketebalan aspal menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan agregat yang menyelimuti agregat, semakin tinggi tingkat kerapuhan yang terjadi (Luhung, Setyawan, & Syafi'i, 2015).

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*) (Purba, 2019).

2.3.3 Klasifikasi Aspal

Aspal keras dapat diklasifikasikan kedalam tingkatan (*grade*) atau kelas berdasarkan tiga sistem yaitu viskositas, viskositas setelah penuaan dan penetrasi. Dari ketiga jenis sistem pengklasifikasian aspal yang ada, yang paling banyak digunakan adalah sisten 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 Poise. Klasifikasi aspal keras dapat dilihat pada Tabel 2.5–Tabel 2.7.

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	219	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	4000	12000	16000
-Daktilitas 25°C, 5 cm/menit	Cm	100	100	75	75	40	25

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

Tabel 2.6: Klasifikasi aspal keras berdasarkan hasil RTFOT (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Tes Residu (AASHTO T 240)	Satuan	VISKOSITAS				
		AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viskositas 60°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	20
Penetrasi sisa 25°C, 100 gram, 5 detik. Terhadap penetrasi awal	%	-	40	45	50	52
Daktilitas min, 25 °C. 5 cm/mnt	cm	100	100	75	75	75
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

Pada uji ini, sebuah jarum standar dengan beban 100 gram (termasuk berat jarum) ditusukkan ke atas permukaan aspal, panjang jarum yang masuk kedalam contoh aspal dalam waktu lima detik diukur dalam satuan persepuluh mili meter (0,1 mm) dan dinyatakan sebagai nilai penetrasi aspal. Semakin kecil nilai penetrasi aspal, semakin keras aspal tersebut.

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

2.3.4 Pemeriksaan Properties Aspal

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

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

a. Uji penetrasi

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

pembangunan, peningkatan atau pemeliharaan jalan. Pengujian penetrasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor berat beban total, ukuran sudut dan kehalusan permukaan jarum, temperatur dan waktu.

b. Titik lembek

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

c. Daktilitas

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

d. Berat jenis

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

Berat jenis diperlukan untuk perhitungan dengan menggunakan pers. 2.12.

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

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.

2.4 Jenis Campuran Beraspal

Jenis campuran beraspal dibedakan berdasarkan ketebalan pada setiap lapisan, antara lain:

1. *Split Mastic Asphalt* (SMA).

Split Mastic Asphalt disebut SMA, terdiri dari tiga jenis yaitu SMA Tipis, SMA Halus, SMA Kasar, dengan ukuran partikel maksimum agregat masing-masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm, 25 mm. Setiap campuran SMA yang

menggunakan bahan aspal *polymer* disebut masing-masing sebagai SMA Tipis Modifikasi, SMA Halus Modifikasi, SMA Kasar Modifikasi.

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

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

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

Lapis Aspal Beton (Laston) yang disebut juga AC, terdiri dari tiga jenis yaitu AC Lapis Aus (*AC-Wearing Course*), AC Lapis Antara (*AC-Binder Course*) dan AC Lapis Fondasi (*AC-Base*), dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm, setiap jenis campuran AC yang menggunakan Aspal Polymer disebut masing-masing sebagai AC-WC Modifikasi, AC-BC Modifikasi, dan *AC-Base* Modifikasi.

2.5 Laston AC

Lapisan aspal beton (Laston) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu (Safariadi, Erwan, & Akhmadali, n.d.).

Pengertian lain menyebutkan Lapis beton aspal (Laston) adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural. Beton aspal (*Asphalt Concrete*, AC) ini mula-mula dikembangkan oleh Asphalt Institute di Amerika Serikat. Menurut Bina Marga, campuran beton aspal terdiri atas agregat bergradasi menerus dan aspal keras, yang dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu. Temperatur pencampuran ditentukan berdasarkan jenis dan karakteristik aspal yang digunakan (Bethary, Subagio, & Rahman, 2018)

Ciri lainnya adalah memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu aspal beton memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku.

Sesuai fungsinya Laston (AC) mempunyai 3 macam campuran yaitu:

1. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm.
2. Laston sebagai lapisan antara , dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm.
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*), dengan tebal nominal minimum adalah 7,5 cm.

Sebagai lapis permukaan perkerasan jalan, Laston (AC) mempunyai nilai struktur, kedap air, dan mempunyai stabilitas tinggi.

Campuran bergradasi menerus mempunyai sedikit rongga dalam struktur agregatnya bila dibandingkan gradasi senjang. Sehingga campuran AC lebih peka terhadap variasi dalam proporsi campuran.

Ketentuan sifat-sifat campuran beraspal jenis laston dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut ini.

Tabel 2.8: Ketentuan sifat-sifat campuran laston AC (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Apal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min	2		

2.6 Bahan Tambah

Bahan tambah merupakan suatu komponen/bahan diluar komponen/bahan utama dalam aspal beton (aspal dan bahan batuan) yang dicampurkan ke dalam campuran beton aspal (L, 2013).

Bahan tambah adalah bahan yang ditambahkan dalam campuran aspal yang fungsinya untuk memperbaiki sifat-sifat aspal minyak. Pada dasarnya alasan utama kerusakan dan penurunan kekuatan perkerasan lentur jalan raya adalah rendahnya kekuatan dan keawetan di dalam lapisan aus dan bahan ikat konstruksi perkerasan jalan.

Keawetan yang tinggi biasanya ditunjukkan oleh proses mekanik dalam campuran sehingga daya tahan di dalam lapis keras selama umur rencana pelayanan konstruksinya menjadi lama, karena pemakaian material setempat tidak bisa dihindarkan sehingga harus dibuat modifikasi untuk menjamin keawetan adhesi.

Belerang atau sulfur merupakan kumpulan kristal kuning padat dengan berat jenis berkisar 2,00. Dalam keadaan padat, struktur belerang berbentuk belah ketupat dan tetap stabil hingga suhu 95°C (203°F). Pada suhu ini wujud struktur belerang akan berbentuk prisma padat. Titik leleh belerang berkisar 116°C (240°F) dimana akan berubah menjadi cairan berwarna kuning muda dengan kekentalan/viskositas yang rendah. Belerang mencair pada suhu sekitar 116°C hingga 149°C. Pada pemanasan hingga 159°C, belerang telah melebihi tingkat polimerisasinya sehingga nilai viskositasnya menjadi meningkat drastis. Kemudian suhu di atas 200°C, nilai viskositas belerang akan mulai menurun kembali. Titik didih dari cairan belerang sekitar 440°C (Mashuri & Patunrangi, 2011).

Belerang murni yang ditemukan dari sumber alam biasanya tidak memiliki rasa, tidak menimbulkan bau, memiliki bentuk yang padat, warna kekuningan dan tidak memiliki sifat larut dalam air. Belerang juga tidak bisa menjadi penghantar listrik dan tidak bisa bereaksi dengan logam emas. Sumber belerang yang masih berada dalam alam biasanya akan membentuk senyawa lain dengan mineral bukan logam.

Berikut ini adalah beberapa karakteristik belerang dari alam:

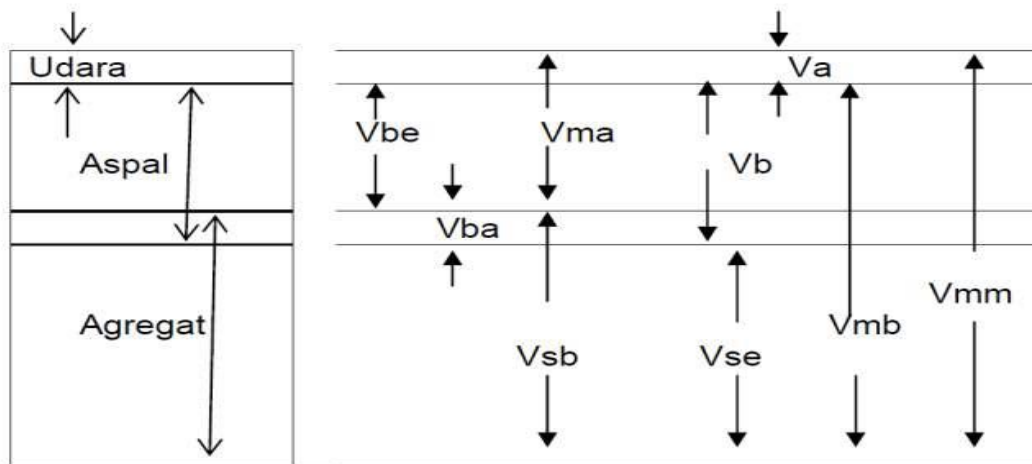
- Belerang akan menimbulkan warna biru jika terbakar karena akan membentuk sulfat dioksida dan menimbulkan bau yang sangat menyengat.
- Belerang yang masih dalam bentuk bongkahan tidak akan bisa larut dalam air.
- Belerang bisa menjadi polimer khusus jika dipanaskan diatasr suhu 200 derajat celcius.
- Belerang murni dapat ditemukan di bagian kerak bumi, lapisan pertambangan maupun dalam laut

Penelitian penggunaan sulfur sudah lama dilakukan, diantaranya mempunyai hasil yang memuaskan. Didalam SHRP-A-631 tahun 1993 yang diterbitkan oleh *Strategic Highway Research Program* Washington tahun 1993, meninjau beberapa penelitian diberbagai negara diantaranya Penelitian dari Fromm et.al tahun 1979 dan 1981 (Dalam SHRP-A-631,1993) menyatakan bahwa penambahan sulfur akan meningkatkan stabilitas dan *flow* serta menurunkan kedalaman alur dari perkerasan. Penelitian dari kota Michigan oleh Defoe tahun1983 (Dalam SHRP-A-631,1993) menyatakan bahwa campuran sulfur dan aspal menghasilkan modulus resilien meningkat dibandingkan kontrol sekitar 30% pada suhu 72°F dan 50% pada suhu 40°F. Campuran dengan sulfur-aspal memiliki nilai kuat tarik tak langsung (*Indirect tensile strength, IDT*) 50% lebih tinggi. Penelitian Fromm et.al tahun 1979 dan 1981 menyatakan bahwa stabilitas marshall dan kelelahan (*flow*) meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan kadar sulfur. Kedalaman alur yang terjadi pada perkerasan menurun dengan adanya penambahan sulfur. Penelitian Predoehl, 1989 menyatakan bahwa sulfur menurunkan tingkat pengerasan aspal, perkerasan menjadi lebih tahan terhadap retak buaya (*alligator cracking*) (Setiawan, 2012) dan (SHRP-A-631,1993). Oleh karenanya penelitian ini menjadi perlu untuk dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi material lokal yang ada (Ayun, 2017).

2.7 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 2.4 dan menggunakan persamaan seperti Pers. 2.13–2.15.



Gambar 2.4: Hubungan volume dan rongga-density benda uji campuran aspal panas padat (Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002).

Keterangan gambar:

V_{ma} = Volume rongga dalam agregat mineral

V_{mb} = Volume contoh padat

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

V_a = Volume rongga udara

V_b = Volume aspal

V_{ba} = Volume aspal terabsorpsi

V_{be} = Volume aspal efektif

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

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

W_b = Berat aspal

W_s = Berat agregat

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

G_{mb} = Berat jenis Curah contoh campuran padat

$$\% \text{ rongga} = \left(\frac{Va}{Vmb} \right) \times 100 \quad (2.13)$$

$$\% \text{ VMA} = \left(\frac{Vbe + Va}{Vmb} \right) \times 100 \quad (2.14)$$

$$\text{Density} = \left(\frac{Wbe = Ws}{Vmb} \right) \times \gamma_w = Gmbx \gamma_w \quad (2.15)$$

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, Va 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 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 campurna perkerasan untuk lapisan tipis aspal beton 3%-6%.

3. Rongga udara antara agregat (VMA)

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

$$VMA = 100 - \frac{G_{xb}}{B_j \text{ agregat}} \quad (2.17)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara antara agregat

G = Berat jenis maksimum dari campuran

B = Berat jenis campuran yang telah dipadatkan

4. Rongga terisi aspal (VFB)

VFB adalah persen (%) volume rongga di dalam agregat yang telah 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.

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

Keterangan:

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 lempung 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.

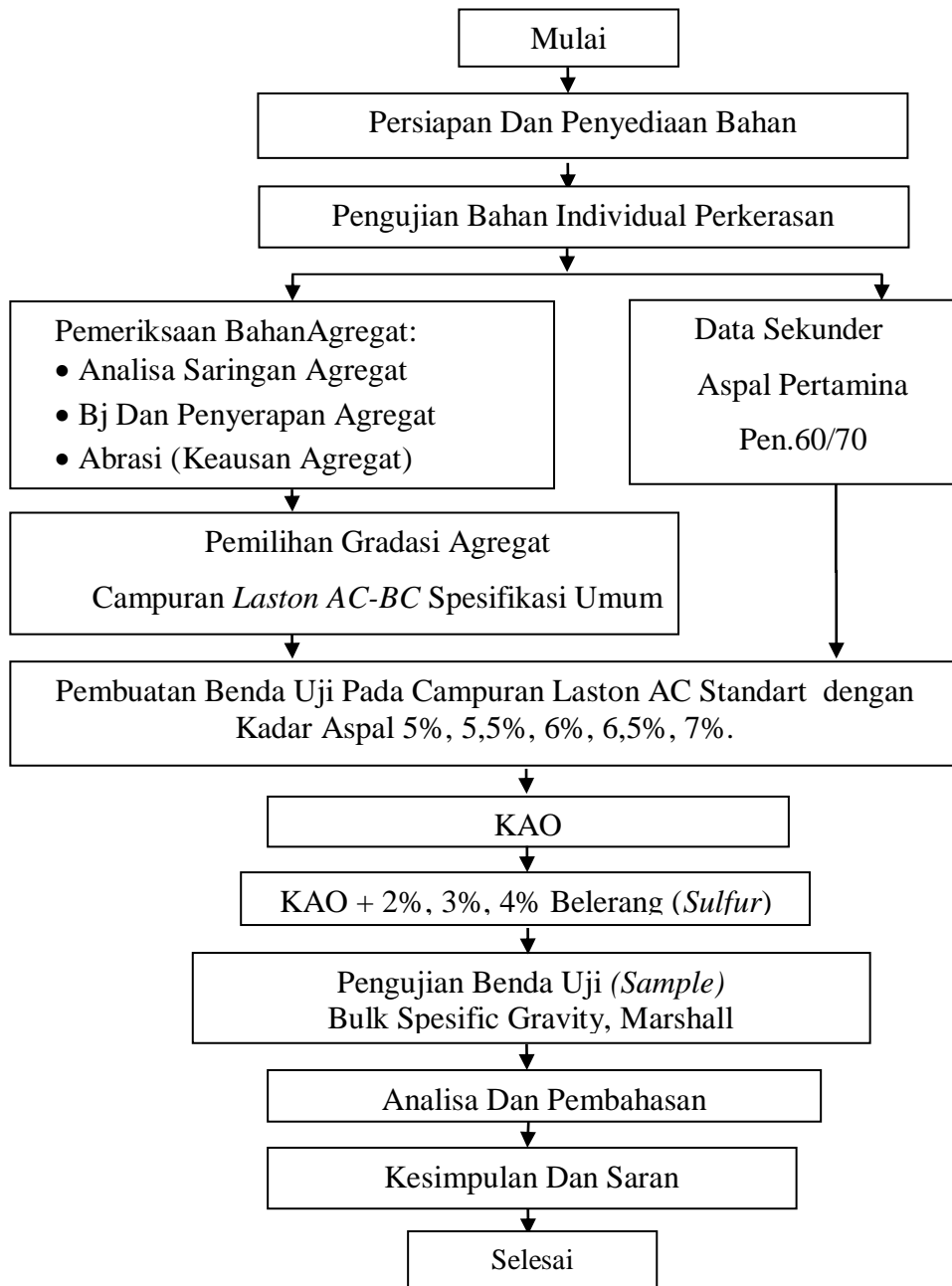
$$\text{Absorpsi} = \frac{\text{Berat campuran direndam} - \text{berat campuran}}{\text{berat campuran}} \quad (2.19)$$

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 penelitian yang dilaksanakan dengan kegiatan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Tempat dan waktu penelitian adalah sebagai berikut:

1. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di UPT. Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas Bina Marga Dan Bina Konstruksi Provinsi Sumatera Utara, yang berlokasi di jalan Sakti Lubis No.7R, Kp. Baru, Kecamatan Medan Maimun, Kota Medan.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 03 Februari 2020 sampai dengan 20 April 2020.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan kegiatan percobaan untuk mendapatkan data. Tahapan awal penelitian yang dilakukan di UPT. Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas Bina Marga Dan Bina Konstruksi Provinsi Sumatera Utara adalah pengambilan data sekunder mutu bahan aspal dan memeriksa mutu agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji dari berbagai kondisi perlakuan yang diuji di laboratorium. Untuk beberapa hal pada pengujian bahan, digunakan data sekunder. Data sekunder adalah data yang digunakan dari benda uji material yang telah dilakukan perusahaan dan di uji di Balai Pengujian Material. Data literatur adalah data dari bahan kuliah laporan dari pratikum dan konsultasi langsung dengan pembimbing dan asisten laboratorium tempat penelitian berlangsung.

3.5 Material Untuk Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Aspal Keras

Penelitian ini menggunakan aspal keras Pertamina yang diperoleh dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)*, PT. Karya Murni Perkasa, Patumbak, Deli Serdang.

2. Agregat Kasar dan Halus

Agregat kasar dan halus yang digunakan diperoleh dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)*, PT. Karya Murni Perkasa, Patumbak, Deli Serdang.

3. Belerang

Penelitian ini menggunakan belerang sebagai bahan untuk campuran Laston AC-BC yang diperoleh dari salah satu toko bangunan yang berlokasi di Jl. Musyawarah F, Kel.Seintis, Kec.Percut Sei Tuan, Deli Serdang.

3.6 Prosedur Penelitian

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

1. Pengadaan alat dan penyediaan bahan yang akan digunakan untuk melakukan penelitian.
2. Pemeriksaan terhadap bahan material yang akan digunakan untuk melakukan penelitian.
3. Merencanakan contoh campuran *Laston AC-BC*.
4. Merencanakan contoh campuran dengan pembuatan sampel benda uji.
5. Melakukan pengujian dengan alat *Marshall test*.
6. Analisa hasil pengujian sehingga diperoleh hasil dari pengujian.

3.7 Pemeriksaan Bahan Campuran

Untuk mendapatkan campuran *Laston AC-BC* yang berkualitas ditentukan dari penyusunan campuran agregat. Bahan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sifat dan karekateristiknya.

3.7.1 Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar dan Halus

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

1. Diperlukan analisa saringan untuk agregat kasar maupun agregat halus, dimana prosedur dalam pemeriksaan ini mengikuti SNI 03-1968-1990.
2. Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat kasar, dimana prosedur dalam pemeriksaan ini mengikuti SNI 1969:2008.
3. Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat halus, dimana prosedur dalam pemeriksaan ini mengikuti SNI 1970:2008.
4. Pengujian pemeriksaan sifat-sifat campuran dengan *Marshall test*, dimana prosedur dalam pemeriksaan ini mengikuti RSNI M-01-2003.
5. Metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat.

3.7.2 Alat Yang Digunakan

1. Saringan atau ayakan ayakan 11/2, 1, 3/4, 1/2, 3/8, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 dan pan.
2. Sekop digunakan sebagai alat mengambil sampel material di laboratorium maupun pada saat pengambilan material di AMP.
3. Goni dan juga pan sebagai tempat atau wadah tempat material.
4. Timbangan kapasitas 20 kg dan timbangan kapasitas 3000 gr dengan ketelitian 0,1 gram.
5. *Shieve shaker* berfungsi sebagai alat mempermudah pengayakan material.
6. Sendok pengaduk dan spatula.
7. *Thermometer* sebagai alat pengukur suhu aspal dan juga material.
8. Piknometer dengan kapasitas 500 ml, untuk pemeriksaan berat jenis penyerapan agregat halus.
9. Cetakan mold berbentuk silinder yang berdiameter 101,6 mm (4 inci) dantinggi 76, 2 mm (3 inci), beserta *jack hammer Marshall Laston AC-BC*.
10. *Extruder* berfungsi sebagai alat untuk mengeluarkan banda uji *Marshall* dari mold.
11. Cat dan spidol untuk menandai benda uji.
12. *Water bath* dengan kedalaman 152,4 mm (6 inci) yang dilengkapi dengan pengatur temperatur air $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
13. Oven pengering material.

14. Alat uji *Marshal test* dilengkapi dengan kepala penekan (*breaking head*), cincin penguji (*proving ring*) dan arloji (*dial*).

3.7.3 Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan Mesin Los Angeles

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin Los Angeles. Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No.12 terhadap berat semula, satuannya dalam % dan pemeriksaan ini mengikuti prosedur SNI 2417:2008. Peralatan untuk pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut:

1. Mesin Abrasi Los Angeles merupakan mesin yang terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter dalam 711 mm (28 inci) panjang dalam 508 mm (20 inci); silinder bertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus dan berputar pada poros mendatar; silinder berlubang untuk memasukkan benda uji; penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu; di bagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh setinggi 89 mm (3,5 inci).
2. Saringan No.12 (1,70 mm) dan saringan-saringan lainnya.
3. Timbangan, dengan ketelitian 0,1% terhadap berat contoh atau 5 gram.
4. Bola-bola baja dengan diameter rata-rata 4,68 cm (1 27/32 inci) dan berat masing-masing antara 390 gram sampai dengan 445 gram.
5. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur temperatur untuk memanasi sampai dengan $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$.
6. Alat bantu pan dan kuas.

3.8 Prosedur Kerja

3.8.1 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 agregat gabungan lapisan *Laston AC-BC*. Dan dilihat pada gradasi yang ideal yang sesuai dengan Spesifikasi

Umum Bina Marga 2018. 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 untuk benda uji normal adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 29,00%
2. Agregat medium MA $\frac{3}{8}$ inch = 28,00%
3. Agregat halus abu batu (Cr) = 28,10%
4. Agregat halus pasir (*Sand*) = 13,00%
5. Semen = 1,90%

Adapun diperoleh komposisi campuran agregat untuk benda uji lapisan *Laston AC-BC* dengan Belerang (*Sulfur*) sebagai bahan tambah adalah sebagai berikut:

1. Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 29,00%
2. Agregat medium MA $\frac{3}{8}$ inch = 28,00%
3. Agregat halus abu batu (Cr) = 28,10%
4. Agregat halus pasir (*Sand*) = 13,00%
5. Semen = 1,90%
6. Belerang (*Sulfur*) = 2%, 3% dan 4%

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

3.8.2 Tahapan Pembuatan Benda Uji

Adapun tahapan pembuatan benda uji adalah sebagai berikut:

1. Mengeringkan agregat pada temperatur 105°C-110°C sekurang kurangnya selama 4 jam di dalam oven.
2. Mengeluarkan agregat dari oven dan tunggu sampai beratnya tetap.

3. Memisah-misahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan secara kumulatif.
4. Melakukan pengujian kekentalan aspal untuk memperoleh temperatur pencampuran dan pemadatan.
5. Memanaskan agregat pada temperatur 28°C di atas temperatur pencampuran sekurang - kurangnya 4 jam di dalam oven.
6. Memanaskan aspal sampai mencapai kekentalan (viskositas) yang disyaratkan untuk pekerjaan pencampuran dan pemadatan.
7. Pencampuran benda uji
 - a. Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 63,5 mm $\pm 1,27$ mm ($2,5 \pm 0,05$ inch).
 - b. Memanaskan wadah pencampur kira-kira 28°C di atas temperatur pencampuran aspal keras.
 - c. Memasukkan agregat yang telah dipanaskan ke dalam wadah pencampur.
 - d. Menuangkan 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.
8. Pemadatan benda uji
 - a. Membersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara 90°C-150°C.
 - b. Meletakkan cetakan di atas landasan pematat dan ditahan dengan pemegang cetakan.
 - c. Meletakkan kertas saring atau kertas penghisap dengan ukuran sesuai ukuran dasar cetakan.
 - d. Memasukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali di sekeliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya.
 - e. Meletakkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan.

- f. Memadatkan campuran dengan temperatur yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan dengan jumlah tumbukan 50 kali untuk sisi atas dan 50 kali untuk sisi bawah.
- g. Sesudah dilakukan pemadatan campuran, lepaskan pelat alas dan pasang alat pengeluar yaitu *Extruder* pada permukaan ujung benda uji tersebut, keluarkan dan letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan diberi tanda pengenal serta biarkan selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang.

3.8.3 Metode Pengujian Benda Uji (*Sample*)

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan prosedur *Marshall test* yang dikeluarkan oleh RSNI M-01-2003. Pengujian benda uji (*sample*) terbagai atas 2 bagian pengujian, yaitu:

1. Penentuan *bulk specific gravity* benda uji (*sample*).
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 benda uji (*sample*) untuk menguji semi *circular testing head* dengan kecepatan konstan 51 mm (2 inch) per menit. 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 50mm.
3. *Thermometer*, ini adalah sebagai pengukur suhu air dalam *water bath* yang mempunyai menahan suhu sampai $\pm 200^{\circ}\text{C}$.

3.8.4 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 ini dilakukan sesuai dengan SNI 03-6757-2002 metode pengujian berat jenis nyata campuran beraspal 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 di dalam air dan berat jenuh. Perbedaan berat benda uji kering permukaan dengan berat uji dalam air adalah volume *bulk specific gravity* benda uji (cm^3). Sedangkan *bulk specific gravity* benda uji (*sample*) merupakan perbandingan antara benda uji di udara dengan volume bulk benda uji (gr/cm^3).

Adapun proses tahapan penimbangan sebagai berikut:

- a. Timbang benda uji di udara.
- b. Rendam benda uji di dalam air.
- c. Timbang benda uji SSD di udara.
- d. Timbang benda uji di dalam air.

3.8.5 Pengujian Stabilitas (*Stability*) dan Kelelehan (*Flow*)

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

1. Merendam benda uji dalam penangas air selama 30-40 menit dengan temperatur tetap $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ 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* disetel dengan jarum menunjukkan angka nol dengan tanpa beban.
3. Benda uji (*sample*) 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. Memasang bagian atas alat penekan uji *Marshall* di atas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*.
5. Memasang arloji pengukur pelelehan (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan.
6. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
7. Mengatur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
8. Memberikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50,8 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, untuk pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (stabilitas) yang dicapai. Untuk benda uji dengan tebal tidak sama dengan 63,5 mm, beban harus dikoreksi dengan faktor pengali.
9. Mencatat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai. Setelah itu, bersihkan alat dan selesai.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pemeriksaan Gradasi Agregat

Pada pembuatan aspal beton maka komponen utama pembentuknya adalah aspal dan agregat. Untuk menentukan suatu gradasi agregat pada lapisan Campuran AC-BC maka agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal $\frac{3}{4}$ "', agregat halus adalah campuran batu pecah, abu batu dan pasir, sedangkan untuk bahan tambah adalah belerang. Untuk memperoleh aspal beton yang baik maka gradasi dari agregat harus memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018 yang telah ditetapkan dengan acuan (SNI-ASTM-C136-2012). Dari percobaan pencampuran agregat diperoleh hasil perbandingan campuran agregat hasil analisis saringan seperti yang tertera pada Tabel 4.1 – 4.4.

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
$\frac{3}{4}$	19.00	100%
$\frac{1}{2}$	12.50	60.76%
$\frac{3}{8}$	9.50	14.33%
4	4.75	0.59%
8	2.36	0.13%
200	0.075	0.00%

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
¾	19.00	100%
½	12.50	100%
3/8	9.50	86.00%
4	4.75	10.24%
8	2.36	4.64%
200	0.075	1.98%
Pan	-	1.48%

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
3/8	9.50	100%
4	4.750	97.63%
8	2.360	91.88%
16	1.180	81.50%
30	0.600	60.31%
50	0.300	34.50%
100	0.150	11.81%
200	0.075	3.63%
Pan	-	-

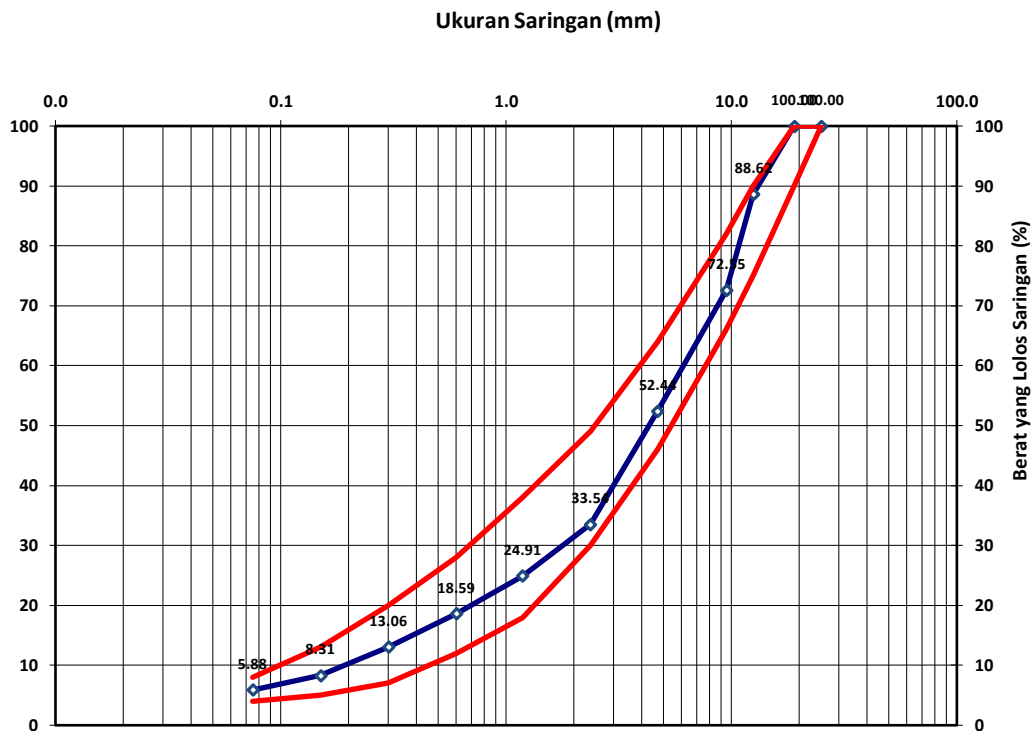
Tabel 4.4: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
4	4.750	100%
8	2.360	65.44%
16	1.180	42.31%
30	0.600	30.63%
50	0.300	23.25%
100	0.150	17.13%
200	0.075	12.38%
Pan	-	-

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran Laston AC-BC harus berada di antara batas atas dan batas bawah yang sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga 2018. Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Hasil kombinasi gradasi agregat standar.

Kombinasi Agregat						
No.Saringan	3/4"	1/2"	3/8"	No. 4	No. 8	No. 200
Batas spesifikasi	90-100	75-90	66-82	46-64	30-49	4-8
Batu pecah 3/4"	29,00	17,62	4,16	0,17	0,04	0
Medium agregat	28,00	28,00	25,39	9,57	1,27	0,03
Abu batu	28,10	28,10	28,10	28,10	18,39	3,48
Pasir	13,10	13,00	13,00	12,69	11,94	0,47
Semen	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
Total agregat	100,00	88,62	72,55	52,44	33,54	5,88



Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat.

Dari hasil pengujian analisis saringan di dapat hasil kombinasi gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018.

Data persen agregat yang di peroleh pada normal.

- 6. Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch = 29,00%
- 7. Agregat medium MA $\frac{3}{8}$ inch = 28,00%
- 8. Agregat halus abu batu (Cr) = 28,10%
- 9. Agregat halus pasir (*Sand*) = 13,00%
- 10. Semen = 1,90%

Setiap benda uji diperlukan agregat dan aspal sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$. Dari hasil analisa saringan agregat didapat perhitungan berat agregat yang diperlukan seperti pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji standar.

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	CA ^{3/4} inch (gram)	MA 3/8 inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	Semen (gram)
5	60	330,60	319,20	320,34	148,20	21,66
5,5	66	328,86	317,52	318,65	147,42	21,55
6	72	327,12	315,84	316,97	146,64	21,43
6,5	78	325,38	314,16	315,28	145,86	21,32
7	84	323,64	312,48	313,60	145,08	21,20

Tabel 4.7: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji penggunaan belerang 2% , 3% , 4% dengan KAO 5,53%

Material	% Agregat	Berat Agregat (gram)	Kumulatif (gram)
Batu Pecah ^{3/4}	27,39	328,68	328,68
Medium	26,45	317,40	646,06
Abu Batu	26,55	318,60	964,68
Pasir	12,38	147,36	1112,04
Semen	1,79	21,53	1133,64
Aspal	5,53	66,36	1200
2% Belerang	2	1,32	1201,32

4.1.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Berat jenis suatu agregat yang digunakan dalam suatu rancangan campuran beraspal sangat berpengaruh terhadap banyaknya rongga udara yang diperhitungkan sehingga mendapatkan suatu campuran beraspal yang baik. Berat jenis efektif dianggap paling mendekati nilai sebenarnya untuk menentukan besarnya rongga udara dalam campuran beraspal. Dalam pengujian berat jenis agregat kasar prosedur pemeriksaan mengikuti SNI 1969-2008 dan SNI 1970-2008. Dari hasil pemeriksaan tersebut didapat data seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.8.

1. Berat jenis agregat kasar CA ¾ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{3.274,50}{3.299,00 - 2.060,00} = 2,643 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{3.274,50}{3.274,50 - 2.060,00} = 2,696 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{3.299,00}{3.299,00 - 2.060,00} = 2,663 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{3.299,00 - 3.274,50}{3.274,50} \times 100\% = 0,748 \text{ gr}$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat CA ¾ inch dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar CA ¾ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Bulk)	2,643	2,640	2,642
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2,663	2,661	2,662
Berat jenis semu (Apparent)	2,696	2,697	2,696
Penyerapan (Absorbtion)	0,748	0,792	0,770

2. Berat jenis agregat kasar MA 3/8 inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{2.419,00}{2.439,00 - 1.529,00} = 2,658 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{2.419,00}{2.419,00 - 1.529,00} = 2,718 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{2.439,00}{2.439,00 - 1.529,00} = 2,680 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{2.439,00 - 2.419,00}{2.419,00} \times 100\% = 0,827 \text{ gr}$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat MA 3/8 inch dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar MA 3/8 inch.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Bulk)	2,658	2,658	2,658
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2,718	2,718	2,718
Berat jenis semu (Apparent)	2,680	2,680	2,680
Penyerapan (Absorbtion)	0,827	0,823	0,825

3. Berat jenis agregat halus Pasir (*Sand*)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{488}{655,50 + 500 - 964,40} = 2.554 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{488}{655,50 + 488 - 964,40} = 2.725 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{500}{655,50 + 500 - 964,40} = 2.616 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{500 - 488}{488} \times 100\% = 0,024 \text{ gr}$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat halus pasir dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir (*sand*).

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Bulk)	2.554	2.554	2.554
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2.725	2.725	2.725
Berat jenis semu (Apparent)	2.616	2.617	2.617
Penyerapan (Absorbtion)	0,024	0,024	0,024

4. Berat jenis agregat halus Abu Batu (Cr)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{496}{676,40 + 500 - 984,30} = 2.582 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{596}{676,40 + 496 - 984,30} = 2.637 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{500}{676,40 + 500 - 984,30} = 2.603 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{500 - 496}{496} \times 100\% = 0,806 \text{ gr}$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat halus abu batu dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu batu (Cr).

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Bulk)	2.582	2.581	2.581
Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)	2.637	2.635	2.636
Berat jenis semu (Apparent)	2.603	2.601	2.602
Penyerapan (Absorbtion)	0,806	0,806	0,806

4.1.3 Hasil Pemeriksaan Aspal

Dalam penelitian ini, pemeriksaan aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji campuran aspal beton dalam penelitian ini adalah aspal keras Pertamina Pen 60/70. Data hasil pemeriksaan uji aspal diperoleh dari data sekunder yang dilakukan UPT Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas Marga Dan Bina Konstruksi Provinsi Sumatera Utara, tidak ada aspal yang boleh digunakan sampai aspal ini telah di uji dan disetujui. Dari pemeriksaan karakteristik aspal keras yang telah dilakukan perusahaan dan diuji di balai pengujian material diperoleh hasilnya seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Hasil pemeriksaan karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi	Satuan
1	Penetrasi Pada 25°C	SNI 2456 : 2011	66,15	60-70	0,1 mm
2	Titik Lembek	SNI 2434 : 2011	48,20	≥ 48	°C
3	Daktalitas Pada 25°C 5cm/menit	SNI 2432 : 2011	140	≥ 100	Cm
4	Kelarutan dalam C ₂ HCL ₃	SNI 2438 : 2011	99,93	≥ 99	%
5	Titik Nyala (TOC)	SNI 2433 : 2011	325	≥ 232	°C
6	Berat Jenis	SNI 2441 : 2011	1,0241	≥ 1,0	-

Dari hasil pemeriksaan laboratorium diperoleh hasil bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 memenuhi standart pengujian spesifikasi umum Bina Marga 2018 sebagai bahan ikat campuran aspal beton.

4.1.4 Pemeriksaan Terhadap Parameter Benda Uji

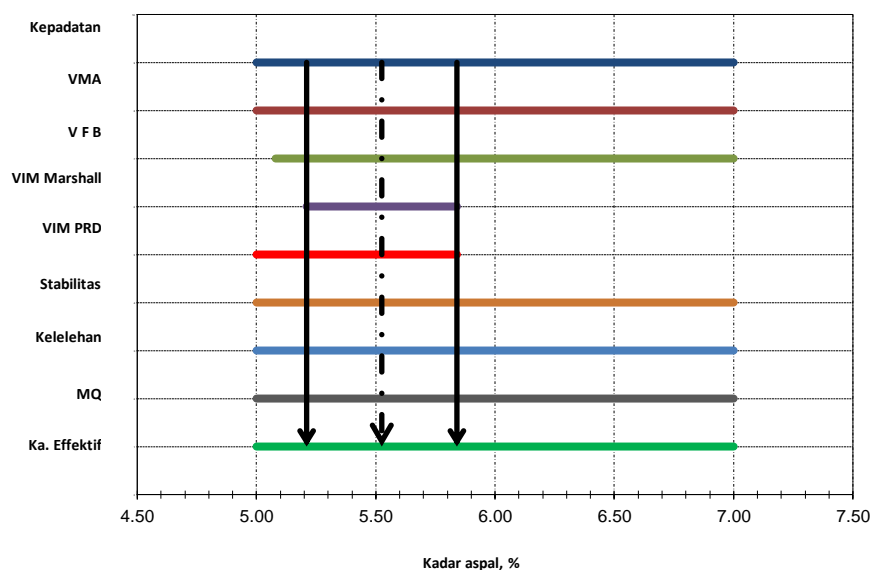
Nilai parameter *Marshall* diperoleh dengan melakukan perhitungan terhadap hasil-hasil percobaan di laboratorium. Berikut analisis yang digunakan untuk menghitung parameter pengujian *Marshall* pada campuran normal dengan kadar aspal 5,53 %:

- a. Persentase terhadap batuan = 5,8 %
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 5,53 %
- c. Berat sampel kering = 1167,6 gram
- d. Berat sampel jenuh (SSD) = 1173,2 gram
- e. Berat sampel dalam air = 670,0 gram
- f. Isi Benda Uji = 1167,6 – 670,0
= 503,20 cc
- g. Kepadatan = 1167,6 / 503,20
= 2,320 gr/cc
- h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\left(\frac{100-5,5\%}{2,625}\right) + \left(\frac{5,5\%}{1,0245}\right)}$
= 2,417 %
- i. Persentase volume aspal = $\frac{5,5\% \times 2,261}{1,024}$
= 12,142 %
- j. Persentase volume agregat = $\frac{(100-5,5\%) \times 2,261}{2,254}$
= 84,642 %
- k. Rongga terhadap agregat(VMA) = $100 - \left(\frac{2,320 \times (100-5,5\%)}{2,616}\right)$
= 16,19%
- l. Rongga terhadap campuran (VIM) = $100 - \left(100 \times \frac{2,320}{2,417}\right)$
= 4,01 %

- | | |
|--------------------------------|---|
| m. Rongga terisi aspal (VFB) | $= \frac{(16,19 - 4,01) \times 100}{16,19}$ |
| | $= 75,23 \%$ |
| n. Kadar aspal efektif | $= 5,38$ |
| o. Pembacaan arloji stabilitas | $= 1,280,19$ |
| p. Kalibrasi proving ring | $= 1,00$ |
| q. Stabilitas sisa | $= 94,27$ |
| r. Kelelahan | $= 3,65$ |

4.1.5 Pemeriksaan Kadar Aspal Optimum

Setelah selesai melakukan pengujian di Laboratorium dan menghitung nilai-nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *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 4.2



Gambar 4.2: Penentuan rentang (*range*) kadar aspal optimum campuran aspal normal.

Setelah melakukan percobaan pada campuran normal, didapat hasil kadar aspal optimum (KAO) yaitu 5,53% dengan KAO tersebut maka didapatkan komposisi campuran aspal dengan bahan tambah belerang sebagai berikut:

- | | |
|--|----------------|
| 1. Agregat kasar CA ¾inch | = 27,39% |
| 2. Agregat medium MA 3/8 inch | = 26,45% |
| 3. Agregat halus abu batu (Cr) | = 26,55% |
| 4. Agregat halus pasir (<i>Sand</i>) | = 12,28% |
| 5. Semen | = 1,80% |
| 6. Aspal | = 5,53% |
| 7. Belerang | = 2% , 3% , 4% |

Dari hasil pemeriksaan uji *Marshall* yang dilakukan di UPT Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas Bina Marga Dan Bina Konstruksi Provinsi Sumatera Utara mendapatkan nilai Berat Isi (*Bulk Density*), *stabilitas (Stability)*, Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), Kelelehan (*Flow*). Berikut analisa perhitungan untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5,5% serta rekapitulasi hasil uji *marshall* pada campuran aspal normal dan penambahan belerang 2%,3% dan 4% dapat dilihat pada Tabel 4.13 – 4.14.

- | | | | |
|----|---------------------|---|-----------|
| 1. | <i>Bulk Density</i> | = $\frac{\text{sample 1} + \text{sample 2}}{2}$ | |
| | | = $\frac{2,336 + 2,346}{2}$ | = 2,341 |
| 2. | <i>Stability</i> | = $\frac{\text{sample 1} + \text{sample 2}}{2}$ | |
| | | = $\frac{1525,58 + 1540,55}{2}$ | = 1533,06 |
| 3. | <i>VIM</i> | = $\frac{\text{sample 1} + \text{sample 2}}{2}$ | |
| | | = $\frac{3,39 + 2,95}{2}$ | = 3,17 |

$$\begin{aligned}
 4. \quad VMA &= \frac{\text{sample 1} + \text{sample 2}}{2} \\
 &= \frac{15,64 + 15,25}{2} = 15,45 \\
 5. \quad VFB &= \frac{\text{sample 1} + \text{sample 2}}{2} \\
 &= \frac{78,44 + 82,23}{2} = 80,33 \\
 6. \quad Flow &= \frac{\text{sample 1} + \text{sample 2}}{2} \\
 &= \frac{3,60 + 3,90}{2} = 3,75
 \end{aligned}$$

Tabel 4.13: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran Normal.

Karakteristik	Kadar aspal %				
	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Bulk Density (gr/cc)	2,293	2,320	2,337	2,342	2,334
Stabilty (kg)	1163,60	1280,19	1335,29	1180,19	1048,74
VIM (%)	5,83	4,02	2,62	1,74	1,36
VMA(%)	16,74	16,19	16,03	16,32	17,03
Flow (mm)	3,30	3,65	3,85	3,65	3,25

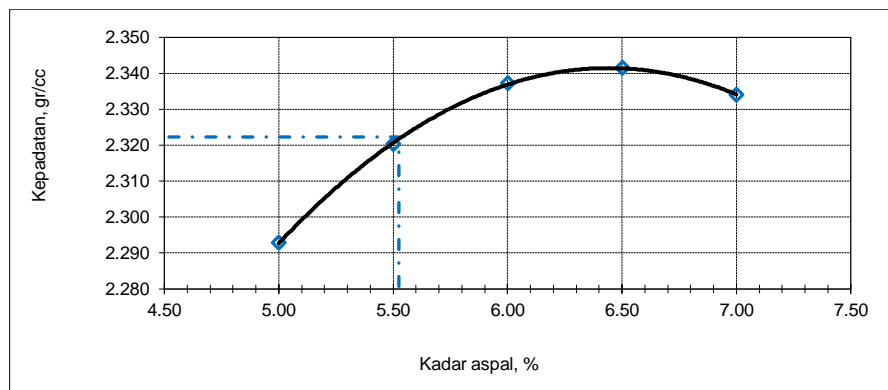
Tabel 4.14: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran penambahan belerang 2%, 3% dan 4%.

Karakteristik	Kadar Belerang %		
	2%	3%	4%
Bulk Density (gr/cc)	2,341	2,342	2,345
Stabilty (kg)	1533,06	1459,12	1407,75
VIM (%)	3,17	3,14	3,02
VMA (%)	15,45	15,42	15,31
Flow (mm)	3,75	3,85	3,93

Berikut grafik dari hasil nilai Berat Isi (*Bulk Density*), *stabilitas (Stability)*, Persentase Rongga Terhadap Campuran (*VIM*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), Kelelehan (*Flow*) untuk campuran aspal normal serta penambahan belerang 2%, 3% dan 4%.

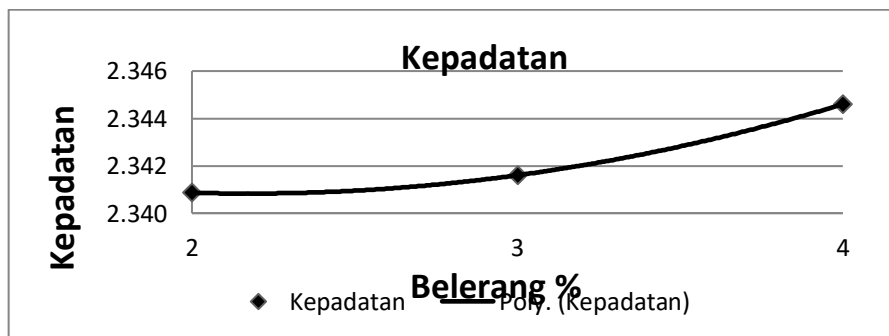
a. *Bulk Density*

Hasil nilai *bulk density* pada aspal normal serta penambahan belerang 2%,3% dan 4% dilihat pada Gambar 4.2 – 4.3.



Gambar 4.2: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (*gr/cc*) campuran normal.

Dilihat dari grafik kepadatan (*bulk density*) untuk campuran aspal normal dapat diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 5% kepadatan mencapai 2,293 gr/cc, 5,5% naik mencapai 2,320 gr/cc, 6% naik mencapai 2,337 gr/cc, 6,5% mencapai 2,342 gr/cc dan pada 7% mengalami penurunan menjadi 2,334 gr/cc sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penambahan kadar aspal yang berlebihan pada batas tertentu dapat menurunkan kepadatan suatu campuran.

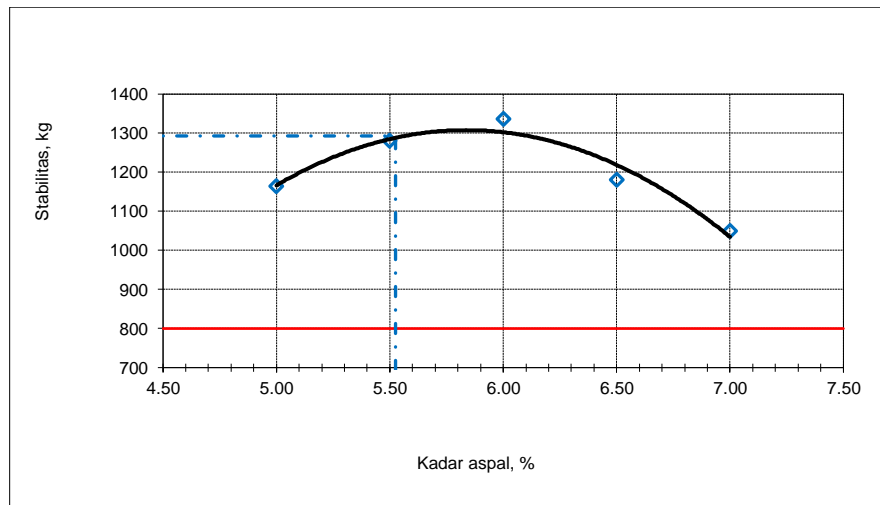


Gambar 4.3: Grafik hubungan *Bulk Density* (*gr/cc*) dengan belerang (%).

Dilihat dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada penambahan belerang di 2% kepadatan mencapai 2,341 gr/cc, 3% mencapai 2,342 gr/cc dan 4% mencapai 2,345 gr/cc, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase belerang yang ditambahkan pada campuran aspal maka kepadatan semakin meningkat.

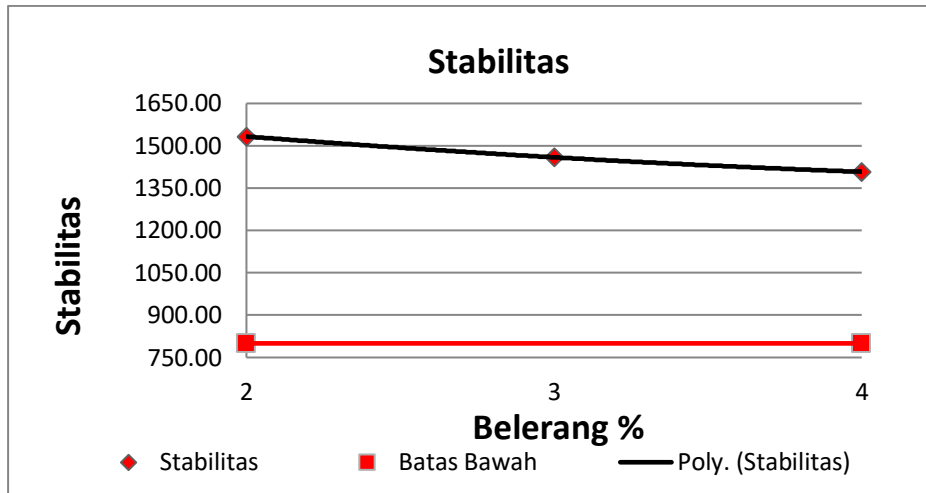
b. *Stability*

Hasil nilai *stability* pada aspal normal serta penambahan belerang 2%, 3% dan 4% dilihat pada Gambar 4.4 – 4.5.



Gambar 4.4: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* (Kg) campuran normal.

Dilihat dari grafik *Stabilitas (stability)* untuk campuran aspal normal dapat diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 5% *stability* mencapai 1.163,60 kg, pada 5,5% naik mencapai 1.280,19 kg, pada 6% naik mencapai 1.335,29, pada 6,5% mengalami penurunan menjadi 1.180,19 kg dan pada 7% juga mengalami penurunan sebesar 1.048,74 sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penambahan kadar aspal yang berlebihan pada batas tertentu dapat menurunkan *stability* suatu campuran.

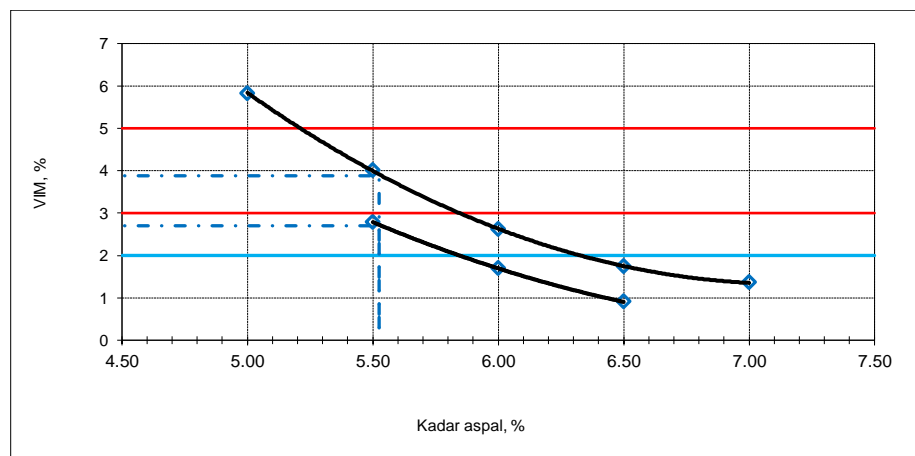


Gambar 4.5: Grafik hubungan antara *Stability* (Kg) dengan belerang (%).

Dilihat dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada penambahan belerang di 2% stabilitas mencapai 1533,06 gr, 3% mencapai 1459,12 gr dan 4% mencapai 1407,75 gr, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase belerang yang ditambahkan pada campuran aspal maka stabilitas semakin menurun.

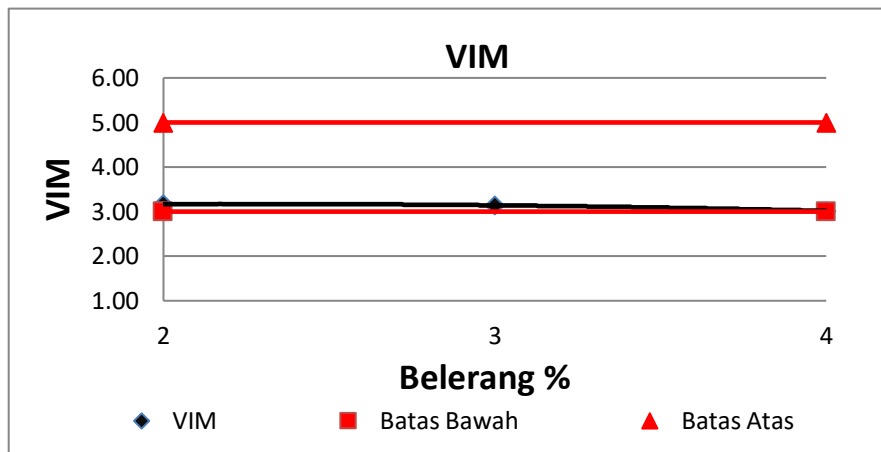
c. *Air Voids/Voids in Mix Marshall (VIM)*

Hasil nilai *air voids* (VIM) pada aspal normal serta penambahan 2%, 3% dan 4%, dilihat pada Gambar 4.6 – 4.7.



Gambar 4.6: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran normal.

Dilihat dari grafik *VIM Marshall* untuk campuran aspal normal dapat diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 5% *VIM Marshall* mencapai 5,83%, pada 5,5% turun sebesar 4,02%, pada 6% turun sebesar 2,62%, pada 6,5% turun sebesar 1,74% dan pada 7% juga mengalami penurunan sebesar 1,36%. Begitu pula dengan *VIM PRD* pada penambahan kadar aspal 5,5% mencapai 2,79%, pada 6% turun sebesar 1,69% dan pada 6,5% juga mengalami penurunan sebesar 0,91% sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penambahan kadar aspal yang berlebihan pada batas tertentu *VIM Marshall* dan *VIM PRD* suatu campuran menjadi turun.

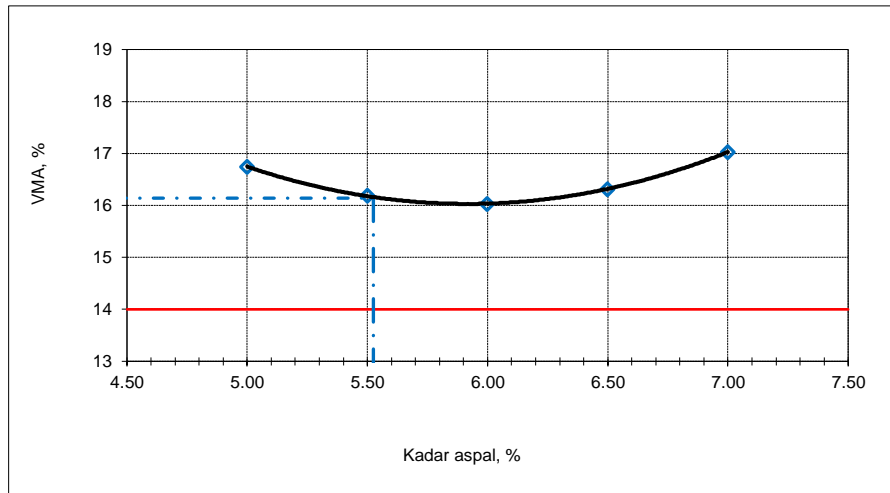


Gambar 4.7: Grafik hubungan antara *Air Voids* (VIM) dengan belerang (%).

Dilihat dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada penambahan belerang di 2% VIM mencapai 3,17%, 3% mencapai 3,14% dan 4% mencapai 3,02%, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase belerang yang ditambahkan pada campuran aspal maka VIM semakin menurun.

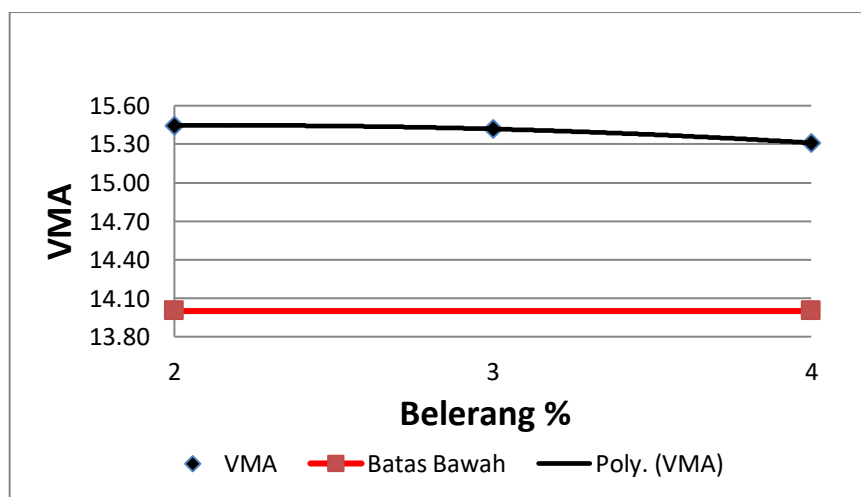
d. *Void In Mineral Agreggate* (VMA)

Hasil nilai VMA pada aspal normal serta penambahan belerang 2%,3% dan 4%, dilihat pada Gambar 4.8 – 4.9.



Gambar 4.8: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) Campuran normal.

Dilihat dari grafik VMA untuk campuran aspal normal dapat diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 5% nilai VMA sebesar 16,74%, pada 5,5% turun sebesar 16,19%, pada 6% juga turun sebesar 16,03%, pada 6,5% kembali mengalami kenaikan mencapai 16,32 dan pada 7% juga mengalami kenaikan sebesar 17,03%. sehingga dapat disimpulkan bahwa pada penambahan kadar aspal pada rentang 5%-6% VMA mengalami penurunan yang berarti rongga dalam agregat semakin sedikit sedangkan pada rentang 6%-7% mengalami kenaikan yang berarti rongga dalam agregat semakin bertambah.

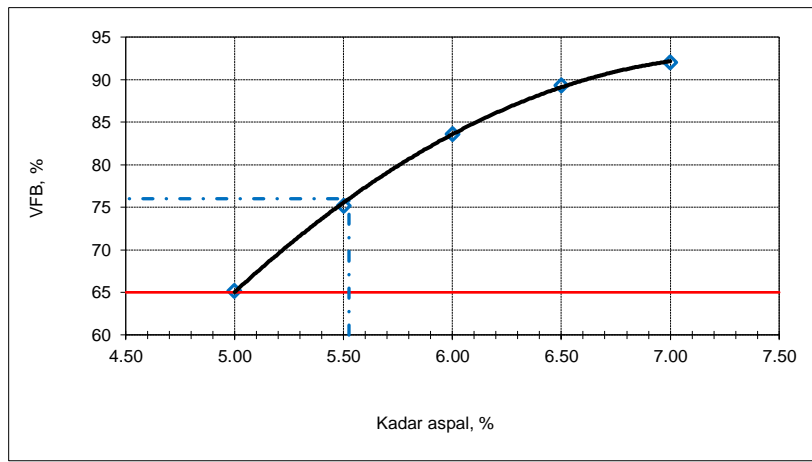


Gambar 4.9: Grafik hubungan antara VMA (%) dengan belerang (%).

Dilihat dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada penambahan belerang di 2 % VMA mencapai 15,45 %, 3 % mencapai 15,42 % dan 4 % mencapai 15,31 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase belerang yang ditambahkan pada campuran aspal maka VMA semakin menurun.

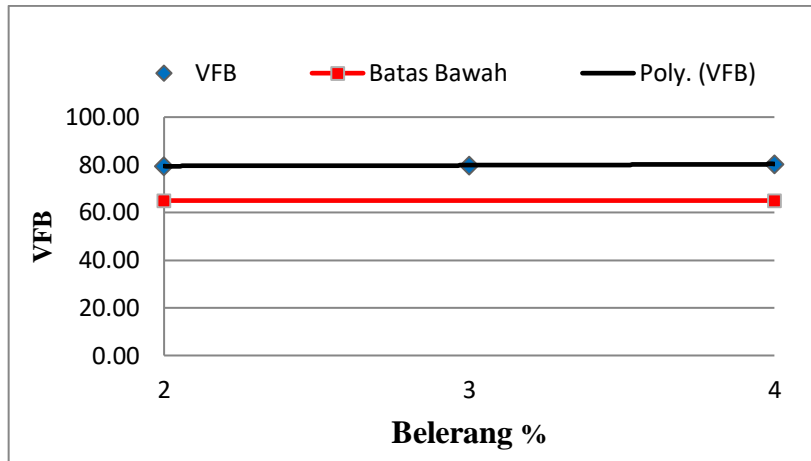
e. *Void In Filled Bitumen* (VFB)

Hasil nilai VMA pada aspal normal serta penambahan belerang 2%,3% dan 4%, dilihat pada Gambar 4.10 – 4.11.



Gambar 4.10: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VFB (%) Campuran normal.

Dilihat dari grafik VFB untuk campuran aspal normal dapat diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 5% nilai VFB sebesar 65,12%, pada 5,5% naik sebesar 75,13%, pada 6% naik sebesar 83,58%, pada 6,5% naik sebesar 89,27% dan pada 7% juga mengalami kenaikan sebesar 91,95%. sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan kadar aspal pada 5%-7%, VFB mengalami kenaikan.

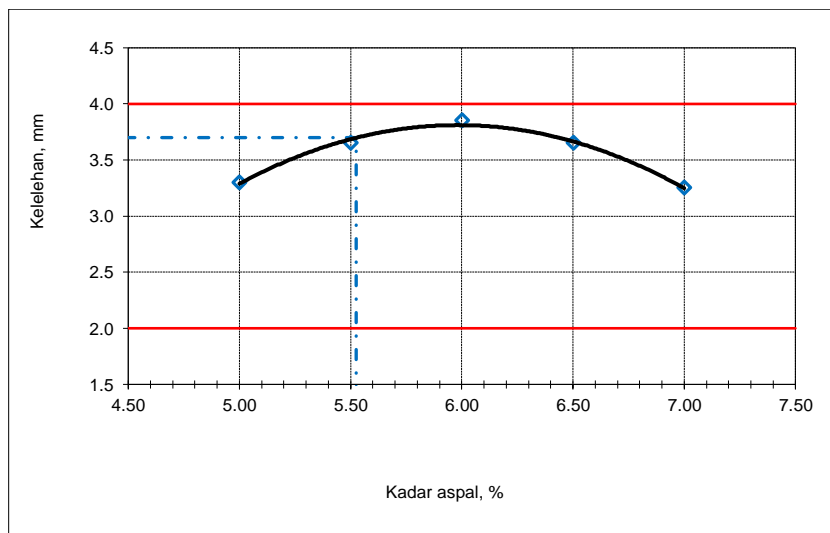


Gambar 4.11: Grafik hubungan antara VFB (%) dengan belerang (%).

Dilihat dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada penambahan belerang di 2% VFB mencapai 79,48%, 3% mencapai 79,77% dan 4% mencapai 80,31%, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase belerang yang ditambahkan pada campuran aspal maka VFB semakin meningkat.

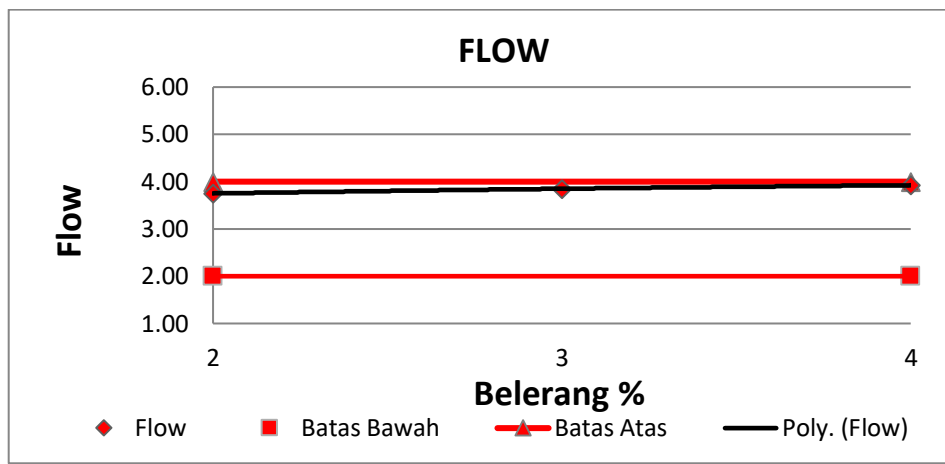
f. *Flow*

Hasil nilai *flow* pada aspal normal serta penambahan belerang 2%, 3% dan 4%, dilihat pada Gambar 4.12 – 4.13.



Gambar 4.12: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) Campuran normal.

Dilihat dari grafik *Flow* untuk campuran aspal normal dapat diketahui bahwa pada penambahan kadar aspal 5% nilai *Flow* sebesar 3,30mm, pada 5,5% naik sebesar 3,65mm, pada 6% juga naik sebesar 3,85mm, pada 6,5% kembali mengalami penurunan sebesar 3,65mm dan pada 7% juga mengalami penurunan sebesar 3,25mm. sehingga dapat disimpulkan bahwa penambahan kadar aspal pada rentang 5%-6% *Flow* mengalami kenaikan sedangkan pada rentang 6%-7% mengalami penurunan.



Gambar 4.13: Grafik hubungan antara *Flow* (mm) dengan belerang.

Dilihat dari grafik diatas dapat diketahui bahwa pada penambahan belerang di 2% *Flow* mencapai 3,75 mm, 3% mencapai 3,85 mm dan 4% mencapai 3,93 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar persentase belerang yang ditambahkan pada campuran aspal maka *Flow* semakin meningkat.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembahasan terhadap pengujian campuran LASTON AC-BC dengan penambahan Belerang diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian karakteristik sifat marshall pada campuran LASTON AC-BC yang menggunakan Belerang sebagai bahan tambah dengan variasi 2%, 3% dan 4% didapat bahwa hasil pengujian tersebut standart spesifikasi Bina Marga 2018.
2. Hasil *Marshall test* yang didapatkan, dengan nilai tertinggi dalam keadaan aspal optimum dan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 terdapat pada campuran aspal dengan:
 - Penambahan Belerang 2% dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 1.533,06 kg, *Bulk Density* 2,341 gr/cc, flow 3,75 mm, VFB 79,48%, VIM 3,17% dan VMA sebesar 15,45%..
 - Penambahan Belerang 3% dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 1.459,12 kg, *Bulk Density* 2,342 gr/cc, flow 3,85 mm, VFB 79,77%, VIM 3,14% dan VMA sebesar 15,42%.
 - Penambahan Belerang 4% dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 1.407,75 kg, *Bulk Density* 2,345 gr/cc, flow 3,93 mm, VFB 80,3%, VIM 3,02% dan VMA sebesar 15,31%.

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 spesifikasi umum bina marga 2018 agar

memperkecil kesalahan dalam pembuatan benda uji dan pengujian
Marshall.

DAFTAR PUSTAKA

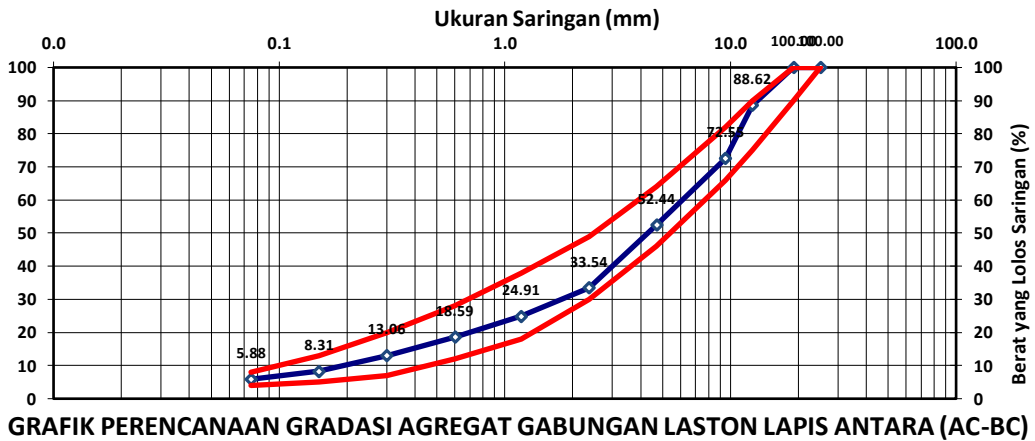
- Bahri, S. (2014). *PENGARUH PENAMBAHAN BELERANG DALAM HOTMIX JENIS AC-BC TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL*. 1(10).
- Nurdajat, D., & Elkhasnet. (2007). Perbaikan Sifat Agregat Dengan Belerang Untuk Meningkatkan Kinerja Campuran Beraspal. *Jurnal Teknik Sipil ITENAS*, 5(1), 17–25.
- Saleh, S. M., Anggraini, R., & Aquina, H. (2014). *Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60 / 70*. 21(3), 241–250.
- Setiawan, A. (2012). Pengaruh Sulfur Terhadap Karakteristik Marshall Asphaltic Concrete Wearing Course (Ac-Wc). *Journal of Transportation Management and Engineering*, 2(1), 12. Retrieved from <https://media.neliti.com/media/publications/210653-none.pdf>
- Ayun, Q. (2017). *PENGARUH PENAMBAHAN SULFUR TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL DAN PERMEABILITAS PADA ASPAL BERPORI*.
- Bethary, R. T., Subagio, B. S., & Rahman, H. (2018). *CAMPURAN BERASPAL MENGGUNAKAN RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT DAN AGREGAT SLAG BAJA*. 18(2), 117–126.
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. (2002).
- Faisal, Shaleh, S. M., & Isya, M. (2014). *KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN ASPAL BETON AC-BC MENGGUNAKAN MATERIAL AGREGAT*. 3(3), 38–48.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan (General Specifications of Bina Marga 2018 for Road Works and Bridges)*.
- L, J. S. (2013). *Pengaruh Penambahan Minyak Pelumas Bekas Dan Styrofoam Pada Beton Aspal*. 12(2), 117–127.
- Luhung, T. B., Setyawan, A., & Syafi'i. (2015). Evaluasi karakter agregat dan ketahanan Campuran Aspal Terhadap Penuaan (Ageing). *Jurnal Teknik Sipil Magister Teknik Sipil Universitas Sebelas Maret*.
- Mardiansah, M., Haris, V. T., & Lubis, F. (2018). Analisis Kehilangan Kadar Aspal pada Aspal Buton untuk Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC).

- Mashuri, & Patunrangi, J. (2011). *Perubahan karakteristik mekanis aspal yang ditambahkan sulfur sebagai bahan tambah*.
- Purba, A. R. (2019). *ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN CRUMB RUBBER SEBAGAI BAHAN PENAMBAH ASPAL DENGAN FILLER FLY ASH UNTUK CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE (AC-WC)*.
- Safariadi, Erwan, H. K., & Akhmadali. (n.d.). *KARAKTERISTIK CAMPURAN BERASPAL (LASTON) AKIBAT PENGARUH PENGGUNAAN INSTANT POWDER SEBAGAI PENGGANTI FILLER beraspal sebagai lapis permukaan jalan , mempunyai prosentase yang terkecil disamping aspal . Namun mempunyai fungsi gradasi agregat halus dalam*.
- Sitohang, O., & Sinuhaji, S. (2018). *Penggunaan Abu Vulkanik Sinabung Terhadap Stabilitas Campuran Aspal Beton (Hot Mix). 1(2), 79–94*.
- Sitorus, M. S. (2018). *PENINJAUAN NILAI-NILAI MARSHAL PADA CAMPURAN ASPAL LASTON AC-WC MEMAKAI CRUMB RUBBER PADA ASPAL DAN FILLER ABU CANGKANG SAWIT*.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas* (1st ed.). Retrieved from https://books.google.co.id/books?hl=id&lr=&id=BDz5E4ijzr4C&oi=fnd&pg=PR5&dq=aspal&ots=xA4sEojr_e&sig=A98Zzgkm6qMjIqhZ5AsWUQtN624&redir_esc=y#v=onepage&q=aspal&f=false
- Tarigan, R. R., & Saragih, L. V. R. (2017). *PEMANFAATAN ABU VULKANIK GUNUNG SINABUNG SEBAGAI FILLER DAN SERBUK BAN BEKAS SEBAGAI BAHAN PENGGANTI ASPAL PEN 60/70 PADA CAMPURAN PANAS AC-WC. 01(01), 1–10*.
- Tombeg, C. V., Manoppo, M. R. E., & Sendow, T. K. (2019). *PEMANFAATAN SEDIMEN TRANSPORT ABU VULKANIK (GUNUNG SOPUTAN) SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI PADA ABU BATU DALAM CAMPURAN ASPAL HRS – WC GRADASI SEMI SENJANG. 7(3), 309–318*.
- Das, B. M., Endah, N., & Mochtar, I. B. (1995). *MEKANIKA TANAH Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. 1–291.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*.

LAMPIRAN

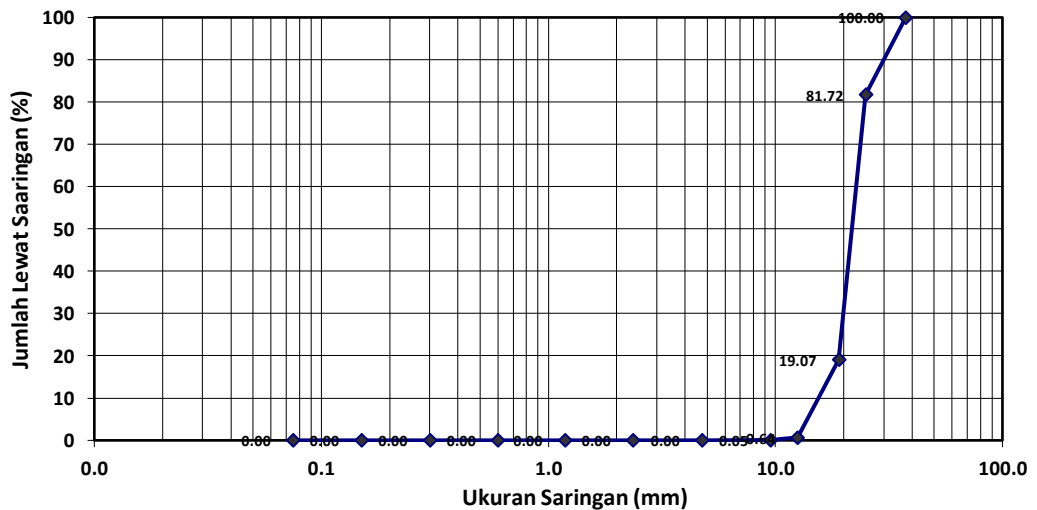
KOMBINASI ANALISA SARINGAN NORMAL

Ukuran Saringan												
ASTM	1½"	1"	¾"	½"	⅜"	No. 4	No. 8	No. 16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
mm	37,50	25,00	19,00	12,50	9,50	4,70	2,360	1,180	0,600	0,300	0,150	0,075
Persen Agregat Lolos Saringan												
Batu Pecah ¾"	100,00	100,00	100,00	60,76	14,33	0,59	0,13	-	-	-	-	-
Medium Agregat	100,00	100,00	100,00	100,00	90,70	34,19	4,53	1,87	0,89	0,49	0,23	0,10
Abu Batu	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	65,44	42,31	30,63	23,25	17,13	12,38
Pasir	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	97,63	91,88	81,50	60,31	34,50	11,81	3,63
Semen	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Kompisisi Agregat Gabungan												
Batu Pecah ¾"	29,00 %	29,00	29,00	29,00	17,62	4,16	0,17	0,04	-	-	-	-
Medium Agregat	28,00 %	28,00	28,00	28,00	28,00	25,39	9,57	1,27	0,52	0,25	0,14	0,06
Abu Batu	28,10 %	28,10	28,10	28,10	28,10	28,10	18,39	11,89	8,61	6,53	4,81	3,48
Pasir	13,00 %	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	12,69	11,94	10,60	7,84	4,49	1,54
Semen	1,90 %	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90	1,90
Total Agregat	100,00 %	100,00	100,00	100,00	88,62	72,55	52,44	33,54	24,91	18,59	13,06	8,31
Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan Campuran Beraspal Laston Lapis Antara (AC - BC)												
Maksimum		100	100	90	82	64	49	38	28	20	13	8
Minimum		100	90	75	66	46	30	18	12	7	5	4

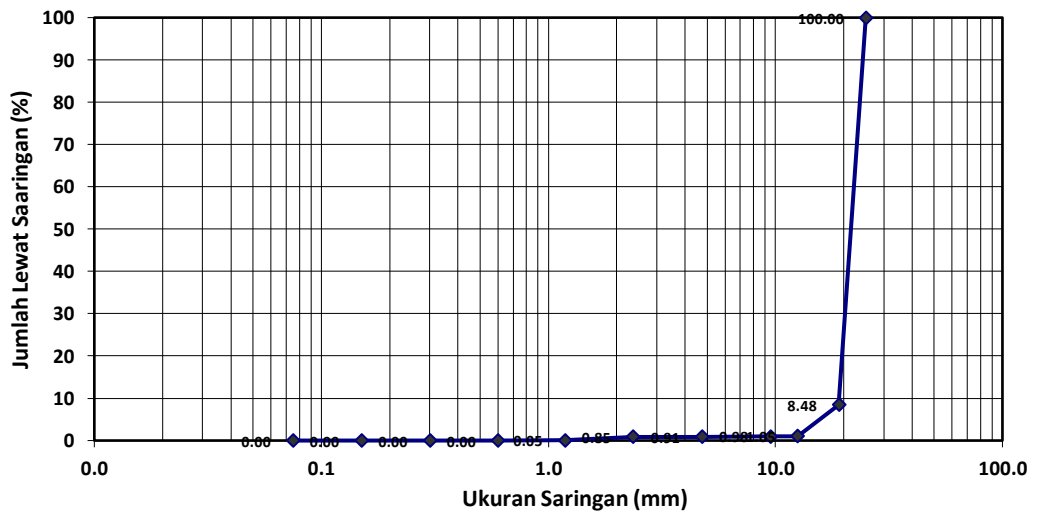


ANALISA SARINGAN

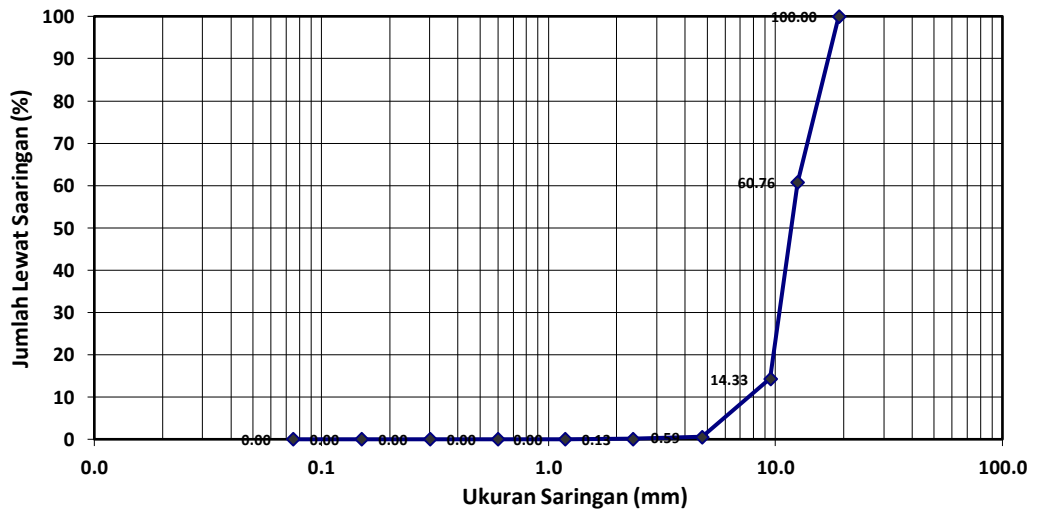
Batu Pecah 1½"			Massa Contoh Kering Oven		=	9.907
No. Saringan		Massa	Jumlah	Persen Jumlah		Spesifikasi
		Tertahan	Massa Tertahan	Tertahan	Lewat	
ASTM	mm	gram	gram	%	%	
1½"	37,50	-	-	-	100,00	
1"	25,00	1.811,00	1.811,00	18,28	81,72	
¾"	19,00	6.207,00	8.018,00	80,93	19,07	
½"	12,50	1.826,00	9.844,00	99,36	0,64	
⅜"	9,50	58,00	9.902,00	99,95	0,05	
No. 4	4,750	5,00	9.907,00	100,00	-	
No. 8	2,360	-	-	-	-	
No. 16	1,180	-	-	-	-	
No. 30	0,600	-	-	-	-	
No. 50	0,300	-	-	-	-	
No. 100	0,150	-	-	-	-	
No. 200	0,075	-	-	-	-	
P a n						



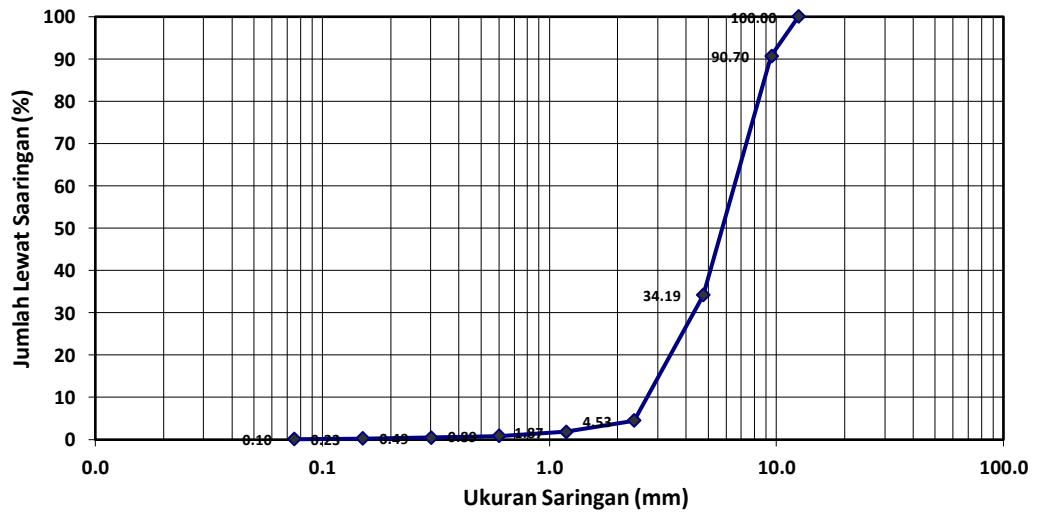
Batu Pecah 1"				Massa Contoh Kering Oven		=	10.385
No. Saringan		Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Persen Jumlah		Spesifikasi	
ASTM	mm	gram	gram	Tertahan %	Lewat %		
1½"	37,50						
1"	25,00	-	-	-	100,00		
¾"	19,00	9.504,00	9.504,00	91,52	8,48		
½"	12,50	772,00	10.276,00	98,95	1,05		
⅜"	9,50	7,00	10.283,00	99,02	0,98		
No. 4	4,750	8,00	10.291,00	99,09	0,91		
No. 8	2,360	6,00	10.297,00	99,15	0,85		
No. 16	1,180	83,00	10.380,00	99,95	0,05		
No. 30	0,600	5,00	10.385,00	100,00	-		
No. 50	0,300	-	-	-	-		
No. 100	0,150	-	-	-	-		
No. 200	0,075	-	-	-	-		
P a n							



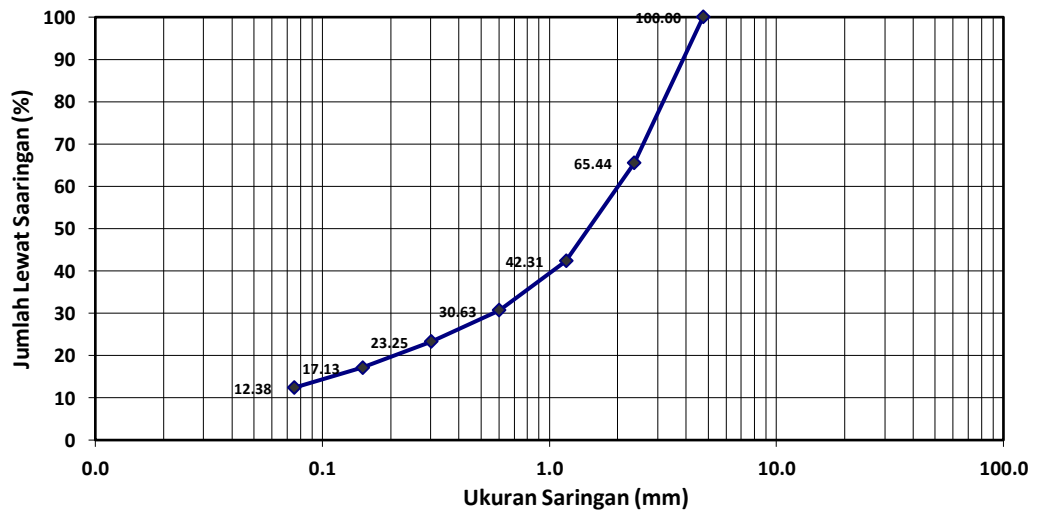
Batu Pecah 3/4"			Massa Contoh Kering Oven		=	9.986
No. Saringan		Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Persen Jumlah		Spesifikasi
ASTM	mm	gram	gram	Tertahan %	Lewat %	
1 1/2"	37,50					
1"	25,00					
3/4"	19,00	-	-	-	100,00	
1/2"	12,50	3.919,00	3.919,00	39,24	60,76	
3/8"	9,50	4.636,00	8.555,00	85,67	14,33	
No. 4	4,750	1.372,00	9.927,00	99,41	0,59	
No. 8	2,360	46,00	9.973,00	99,87	0,13	
No. 16	1,180	13,00	9.986,00	100,00	-	
No. 30	0,600	-	-	-	-	
No. 50	0,300	-	-	-	-	
No. 100	0,150	-	-	-	-	
No. 200	0,075	-	-	-	-	
P a n						



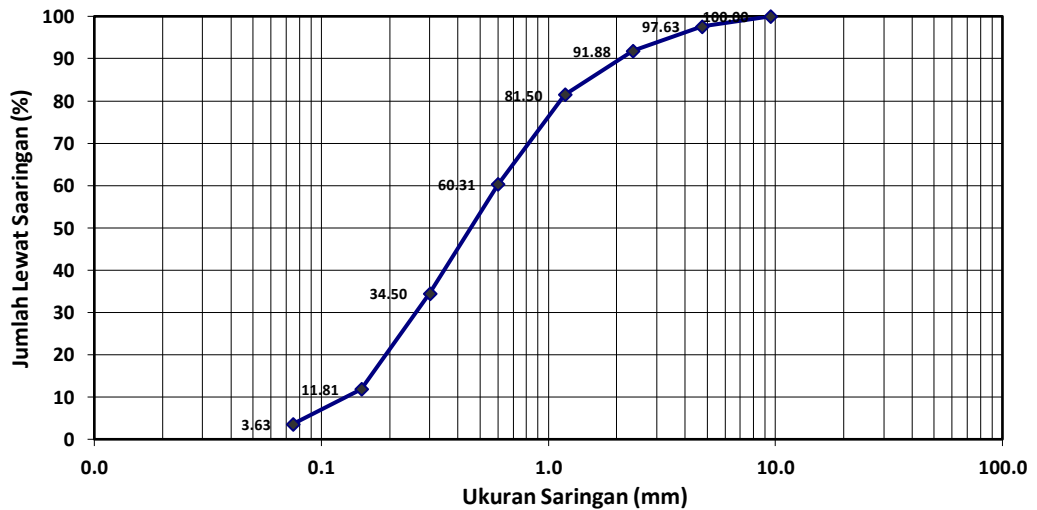
Medium Agregat		Massa Contoh Kering Oven		=		4.858	
No. Saringan		Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Persen Jumlah		Spesifikasi	
ASTM	mm	gram	gram	Tertahan %	Lewat %		
1½"	37,50						
1"	25,00						
¾"	19,00						
½"	12,50	-	-	-	100,00		
3/8"	9,50	452,00	452,00	9,30	90,70		
No. 4	4,750	2.745,00	3.197,00	65,81	34,19		
No. 8	2,360	1.441,00	4.638,00	95,47	4,53		
No. 16	1,180	129,00	4.767,00	98,13	1,87		
No. 30	0,600	48,00	4.815,00	99,11	0,89		
No. 50	0,300	19,00	4.834,00	99,51	0,49		
No. 100	0,150	13,00	4.847,00	99,77	0,23		
No. 200	0,075	6,00	4.853,00	99,90	0,10		
P a n							



Abu Batu		Massa Contoh Kering Oven		=	800	
No. Saringan		Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Persen Jumlah		Spesifikasi
ASTM	mm	gram	gram	Tertahan %	Lewat %	
1½"	37,50					
1"	25,00					
¾"	19,00					
½"	12,50					
3/8"	9,50					
No. 4	4,750	-	-	-	100,00	
No. 8	2,360	276,50	276,50	34,56	65,44	
No. 16	1,180	185,00	461,50	57,69	42,31	
No. 30	0,600	93,50	555,00	69,38	30,63	
No. 50	0,300	59,00	614,00	76,75	23,25	
No. 100	0,150	49,00	663,00	82,88	17,13	
No. 200	0,075	38,00	701,00	87,63	12,38	
P a n						



		Pasir		Massa Contoh Kering Oven =		800	
No. Saringan		Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Persen Jumlah		Spesifikasi	
ASTM	mm	gram	gram	Tertahan %	Lewat %		
1½"	37,50						
1"	25,00						
¾"	19,00						
½"	12,50						
3/8"	9,50	-	-	-	100,00		
No. 4	4,750	19,00	19,00	2,38	97,63		
No. 8	2,360	46,00	65,00	8,13	91,88		
No. 16	1,180	83,00	148,00	18,50	81,50		
No. 30	0,600	169,50	317,50	39,69	60,31		
No. 50	0,300	206,50	524,00	65,50	34,50		
No. 100	0,150	181,50	705,50	88,19	11,81		
No. 200	0,075	65,50	771,00	96,38	3,63		
P a n							



TABEL BERAT JENIS AGREGAT

Agregat Kasar tertahan saringan No. 4		Batu Pecah 1½"			
Nomor pengujian		I	II	Rata-rata	Satuan
Massa contoh uji kering oven	<i>BK</i>				gram
Massa contoh uji JKP (SSD)	<i>SSD</i>				gram
Massa contoh dalam air	<i>BA</i>				gram
Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	$\frac{BK}{SSD - BA}$				gram/cc
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{SSD}{SSD - BA}$				gram/cc
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	$\frac{BK}{BK - BA}$				gram/cc
Penyerapan (<i>Absorbtion</i>)	$\frac{SSD - BK}{BK} \times 100\%$				%
Agregat Kasar tertahan saringan No. 4		Batu Pecah ¾"			
Nomor pengujian		I	II	Rata-rata	Satuan
Massa contoh uji kering oven	<i>BK</i>	3.274,50	3.282,00		gram
Massa contoh uji JKP (SSD)	<i>SSD</i>	3.299,00	3.308,00		gram
Massa contoh dalam air	<i>BA</i>	2.060,00	2.065,00		gram
Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	$\frac{BK}{SSD - BA}$	2,643	2,640	2,642	gram/cc
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{SSD}{SSD - BA}$	2,663	2,661	2,662	gram/cc
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	$\frac{BK}{BK - BA}$	2,696	2,697	2,696	gram/cc
Penyerapan (<i>Absorbtion</i>)	$\frac{SSD - BK}{BK} \times 100\%$	0,748	0,792	0,770	%
Agregat Kasar tertahan saringan No. 4		Medium Agregat			
Nomor pengujian		I	II	Rata-rata	Satuan
Massa contoh uji kering oven	<i>BK</i>	2.419,00	2.310,00		gram
Massa contoh uji JKP (SSD)	<i>SSD</i>	2.439,00	2.329,00		gram
Massa contoh dalam air	<i>BA</i>	1.529,00	1.460,00		gram
Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	$\frac{BK}{SSD - BA}$	2,658	2,658	2,658	gram/cc

Lanjutan : Tebel Berat Jenis Agregat

Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{SSD}{SSD - BA}$	2,680	2,680	2,680	gram/cc
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	$\frac{BK}{BK - BA}$	2,718	2,718	2,718	gram/cc
Penyerapan (<i>Absorbtion</i>)	$\frac{SSD - BK}{BK} \times 100\%$	0,827	0,823	0,825	%

Agregat Halus, lolos saringan No. 4		Abu Batu			
No Contoh		I	II	Rata-rata	Satuan
Berat Contoh Uji JKP (SSD)		500,00	500,00		gram
Berat Contoh Kering Oven	<i>BK</i>	496,00	496,00		gram
Berat Piknometer + Air (25 ⁰ C)	<i>B</i>	676,40	685,20		gram
Berat Piknometer + Contoh + Air (25 ⁰ C)	<i>Bt</i>	984,30	993,00		gram
Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	$\frac{BK}{B + 500 - Bt}$	2,582	2,581	2,581	gram/cc
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2,603	2,601	2,602	gram/cc
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	$\frac{BK}{B + BK - Bt}$	2,637	2,635	2,636	gram/cc
Penyerapan (<i>Absorbtion</i>)	$\frac{500 - BK}{BK} \times 100\%$	0,806	0,806	0,806	%
Agregat Halus, lolos saringan No. 4		Pasir			
No Contoh		I	II	Rata-rata	Satuan
Berat Contoh Uji JKP (SSD)		500,00	500,00		gram
Berat Contoh Kering Oven	<i>BK</i>	488,00	488,00		gram
Berat Piknometer + Air (25 ⁰ C)	<i>B</i>	655,50	656,50		gram
Berat Piknometer + Contoh + Air (25 ⁰ C)	<i>Bt</i>	964,40	965,45		gram
Berat Jenis Curah (<i>Bulk</i>)	$\frac{BK}{B + 500 - Bt}$	2,554	2,554	2,554	gram/cc
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{500}{B + 500 - Bt}$	2,616	2,617	2,617	gram/cc
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)	$\frac{BK}{B + BK - Bt}$	2,725	2,725	2,725	gram/cc
Penyerapan (<i>Absorbtion</i>)	$\frac{500 - BK}{BK} \times 100\%$	2,459	2,459	2,459	%

MARSHALL TEST CAMPURAN NORMAL

No.	Kadar Aspal		Massa Benda Uji			Isi Benda Uji cc	Kepada tan gr/cc	Massa Jenis Campuran Maksimum (teoritis))	Rongga Dalam Agregat (VMA) %	Rongga Terhadap Campuran (VIM) %	Rongga Terisi Aspal (VFB) %	Stabilitas			Pelelehan mm	Hasil Bagi Marshall kg/m ^m	Kadar Aspal Efektif %
	thd Massa Agregat %	thd Massa Campuran %	Kering gr	SSD gr	Dalam Air gr							Bacaan Pada Alat	Kalibrasi Proving Ring	Setelah Dikoreksi kg			
a	b	c	d	e	f	$g = e - f$	$h = d/g$	$i = 100 / ((100 - c) / v + c/w)$	$j = 100 - (h \times (100 - c)) / u$	$k = 100 - ((100 \times h) / i)$	$l = 100 \times ((j - k) / i)$	m	n	$o = m \times n$	p	$q = o/p$	$r = c - ((w/100) \times (100 - c))$
1. a	-	5,0	1174,9	1181,4	668,8	512,60	2,292	2,435	16,77	5,86	65,04	1.150,70	1.150,70	1.150,70	3,20	359,59	4,88
b	-	5,0	1192,5	1196,4	676,5	519,90	2,294	2,435	16,71	5,79	65,33	1.176,50	1.176,50	1.176,50	3,40	346,03	4,88
							2,293	2,435	16,74	5,83	65,19			1.163,60	3,30	352,81	4,88
2. a	-	5,5	1167,6	1173,2	670,0	503,20	2,320	2,417	16,19	4,01	75,23	1.211,80	1.211,80	1.260,27	3,50	360,08	5,38
b	-	5,5	1169,3	1174,5	670,5	504,00	2,320	2,417	16,20	4,02	75,17	1.250,10	1.250,10	1.300,10	3,80	342,13	5,38
							2,320	2,417	16,19	4,02	75,20			1.280,19	3,65	351,11	5,38

Lanjutan : Tabel Marshall Test Campuran Normal

3.	a	-	6,0	1147,3	1150,3	659,3	491,00	2,337	2,400	16,04	2,64	83,55	1.228,50	1.228,50	1.339,07	3,80	352,39	5,88
	b	-	6,0	1178,6	1184,0	679,8	504,20	2,338	2,400	16,01	2,60	83,75	1.280,30	1.280,30	1.331,51	3,90	341,41	5,88
								2,337	2,400	16,03	2,62	83,65			1.335,29	3,85	346,90	5,88
4.	a	-	6,5	1161,6	1166,1	669,8	496,30	2,341	2,383	16,35	1,78	89,10	1.181,10	1.181,10	1.228,34	3,60	341,21	6,38
	b	-	6,5	1174,8	1176,7	675,2	501,50	2,343	2,383	16,28	1,70	89,58	1.175,50	1.088,50	1.132,04	3,70	305,96	6,38
								2,342	2,383	16,32	1,74	89,34			1.180,19	3,65	323,58	6,38
5.	a	-	7,0	1202,0	1203,2	688,0	515,20	2,333	2,366	17,06	1,40	91,80	1.161,60	1.021,60	1.021,60	3,30	309,58	6,88
	b	-	7,0	1184,3	1185,2	678,0	507,20	2,335	2,366	17,00	1,32	92,24	1.144,50	1.034,50	1.075,88	3,20	336,21	6,88
								2,334	2,366	17,03	1,36	92,02			1.048,74	3,25	322,89	6,88

Ka : 6,0 BJ. Bulk Agregat : 2,616 BJ. Aspal : 1,0245 GMM : 2,400 BJ. Efektif Agregat : 2,625 Absorpsi Aspal : 0,13

Keterangan

GMM ditentukan dengan cara AASHTO T 209 pada kadar aspal optimum perkiraan (Pb)

$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 \times (\%FF) + K$; K = 0,5 - 1 untuk Laston dan 2 - 3 untuk Lataston.

$$BJ. Efektif Agregat = \frac{(100 - K_a)}{(100/G_{mm}) - (K_w / BJ.aspal)}$$

$$Absorpsi Aspal = 100 \times \frac{(BJ. Efektif Agregat - BJ. Bulk Agregat)}{(BJ. Efektif Agregat \times BJ. Bulk Agregat)} \times BJ. Aspal$$

DOKUMENTASI PADA SAAT PENELITIAN



Agregat $\frac{3}{4}$



Medium Agregat



Pasir (Sand)



Abu Batu (Cr)



Pengujian *Kuartring* (Pembagi Agregat)



Pengujian Gradasi



Proses Penimbangan Agregat Untuk Pembuatan Benda Uji



Benda Uji Saat Di Timbang



Proses Pemanasan Agregat



Proses Pencetakan Benda Uji



Benda Uji Setelah Di Cetak



Proses Penumbukan Benda Uji



Proses Penimbangan Benda Uji



Proses Perendaman Benda Uji



Proses Pengujian Marshall Test

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama : Eka Saputra
Panggilan : Eka
Tempat, Tanggal Lahir : Cinta Rakyat, 29 April 1998
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat Sekarang : Jl. P.Diponegoro Dusun II, Cinta Rakyat
HP/Tlpn Seluler : 0852-7073-9307

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1607210011
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Jenis Kelamin : Laki-laki
Peguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Peguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 3 Medan 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun Kelulusan
Sekolah Dasar	SD Negeri 104208	2010
Sekolah Menengah Pertama	SMP Negeri 3 Percut Sei Tuan	2013
Sekolah Menengah Kejuruan	SMA Negeri 1 Percut Sei Tuan	2016

ORGANISASI

Informasi	Tahun
OSIS SMA Negeri 1 Percut Sei Tuan	2014-2016
