

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENAMBAHAN BELERANG PADA CAMPURAN
ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL UNTUK PERKERASAN AC-WC
(Studi Penelitian)**

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

Disusun Oleh:

RICKO ABDUL MALIK
1607210217



UMSU

Unggul | Cerdas | Terpercaya

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2023**



LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Ricko Abdul Malik
NPM : 1607210217
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Belerang Pada Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall Untuk Perkerasan AC-WC (Studi Penelitian)
Bidang Ilmu : Transportasi

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, Mei 2023

Dosen Pembimbing

Ir. Zurkiyah, MT

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Ricko Abdul Malik
NPM : 1607210217
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Belerang Pada Campuran Aspal
Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik *Marshall* Untuk
Perkerasan AC-WC (Studi Penelitian)
Bidang Ilmu : Transportasi

Telah berhasil dipertahankan dihadapan 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, Mei 2023

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



Ir. Zurkiyah, MT

Dosen Pembanding I



Muhammad Husin Gultom, ST, MT,

Dosen Pembanding II



Dr. Fahrizal Zulkarnain

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Ricko Abdul Malik
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 16 Mei 1997
NPM : 1607210217
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Pengaruh Penambahan Belerang Pada Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik *Marshall* Untuk Perkerasan AC-WC (Studi Penelitian)”

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 atau ke-sarjana saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan keadaan sadar dan tidak dalam tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun, demi menegakkan integritas Akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, Mei 2023
Saya yang menyatakan,


5FAKX450567662 Ricko Abdul Malik

ABSTRAK

PENGARUH PENAMBAHAN BELERANG PADA CAMPURAN ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL UNTUK PERKERASAN AC-WC

Ricko Abdul Malik
1607210217
Ir. Zurkiyah, M.T

Belerang adalah salah satu unsur kimia yang tidak termasuk dalam kelompok mineral logam. Belerang memiliki sifat yang bisa membuat lapisan aspal menjadi lebih elastis, bersifat mengikat dan meningkatkan kualitas aspal agar lebih tahan lama dalam aplikasinya dalam pembuatan jalan raya. Indonesia perlu mencari alternatif pemanfaatan belerang tersebut, termasuk memanfaatkannya sebagai bahan modifikasi aspal. Stabilitas marshall dan kelelahan (flow) meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan kadar sulfur. Sulfur menurunkan tingkat pengerasan aspal, perkerasan menjadi lebih tahan terhadap retak buaya. Penelitian ini dilakukan dengan membuat 3 jenis aspal yang dimodifikasi belerang, yang masing-masing dengan variasi belerang sebesar 4 %, 5 %, dan 6 %. Pada hasil penelitian yang dilakukan hasil dari penambahan belerang sebagai bahan tambah pada lapis Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC). Nilai stabilitas mengalami kenaikan dengan nilai terbesar 877,67 kg berada pada variasi belerang 4%, nilai Bulk Density juga mengalami kenaikan dengan nilai 2.280 gr yaitu pada variasi belerang 4%, nilai kelelahan (flow) mengalami kenaikan pada setiap variasi penambahan belerang, nilai flow tidak ada yang memenuhi spesifikasi dengan rentang 2 mm sampai 4 mm, nilai Void In Mineral Agregat (VMA) yang memenuhi hanya pada variasi belerang 4% yaitu sebesar 14,69 % dengan nilai batas >15%, nilai Void In the total Mix (VIM) yang memenuhi standart spesifikasi hanya terdapat pada variasi belerang 4 % dengan nilai 6,44 %, nilai Void Filled with Asphalt (VFA) pada campuran getah karet 4% = 56,13%, 5% = 65,80%, dan 6% = 72,47%, seluruhnya sudah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan ketentuan minimum 65%.

Kata Kunci: Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC), Perkerasan Jalan, Belerang

ABSTRACT

THE EFFECT OF SULFUR ADDITION IN 60/70 PENETRATION ASPHALT MIXTURE ON MARSHALL CHARACTERISTICS FOR AC-WC PAVEMENT

Ricko Abdul Malik

1607210217

Ir. Zurkiyah, M.T

Sulfur is a chemical element that is not included in the group of metallic minerals. Sulfur has properties that can make asphalt layers more elastic, bind and improve the quality of asphalt so that it is more durable in its application in road construction. Indonesia needs to find alternative uses for this sulfur, including using it as an asphalt modification material. Marshall stability and melting (flow) increased with increasing sulfur content. Sulfur reduces the hardening rate of asphalt, making pavement more resistant to alligator cracking. This research was conducted by making 3 types of asphalt modified with sulfur, each with a sulfur variation of 4%, 5% and 6%. In the results of research carried out the results of the addition of sulfur as an added ingredient in layers Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC). The value of stability has increased with the largest value of 877.67 kg is at 4% sulfur variation, value Bulk Density also increased with a value of 2,280 gr, namely at 4% sulfur variation, melting value (flow) experienced an increase in each variation of the addition of sulfur, value flow none met specifications within the 2mm to 4mm range, values Void In Mineral Aggregat (VMA) which meets only in the 4% clearance variation, namely 14.69% with a limit value of > 15%, the value Void In the total Mix (VIM) which meet the specification standards are only found in 4% sulfur variations with a value of 6.44%, value Void Filled with Asphalt (VFA) in a rubber latex mixture of 4% = 56.13%, 5% = 65.80%, and 6% = 72.47%, all of which meet the 2018 Highways Specifications with a minimum requirement of 65%.

Keywords: Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC), Pavement, Sulfur

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 Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall Untuk Perkerasan Ac-Wc (Studi 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. Ibu Ir. Zurkiyah, MT, Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Muhammad Husin Gultom, ST, MT, Selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, Selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini dan selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
4. Ibu Rizki Efrida ST, M.T. selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansury Siregar, S.T., M.Sc, Selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
7. Bapak/Ibu staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Teristimewa sekali kepada Ayahanda tercinta Kemis dan Ibunda tercinta Juwarni yang telah bersusah payah membesarkan dan memberikan kasih sayangnya yang tidak ternilai kepada penulis.
9. Terima kasih kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara Stambuk 2016

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, Mei 2023

Penulis

RICKO ABDUL MALIK

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	Error! Bookmark not defined.
HALAMAN PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	i
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR	i
DAFTAR GAMBAR	v
DAFTAR LAMPIRAN	vi
DAFTAR TABEL	vii
DAFTAR NOTASI	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Ruang Lingkup Penelitian	2
1.4 Tujuan Penelitian	2
1.5 Manfaat Penelitian	2
1.6 Sistematika Pembahasan	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Konstruksi Perkerasan Jalan	4
2.2 Lapisan Aspal Beton (Laston)	5
2.3 Material Pembuatan Perkerasan Lentur AC-WC	6
2.3.1 Aspal	7
2.3.2 Agregat	7
2.4 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) Untuk Campuran Beraspal	10
2.4.1 Belerang (<i>Sulfur</i>)	11
2.5 Gradasi Agregat Gabungan	13
2.6 Bahan Aspal Untuk Campuran Beraspal	14
2.7 Pengujian <i>Marshall</i> Untuk Perencanaan Campuran	17
2.7.1 Pengujian <i>Marshall</i> Untuk Perencanaan Campuran	18
2.7.2 Pengujian Volumetrik	20

2.7.3	Pengujian Stabilitas Dan Kelelehan (<i>Flow</i>)	23
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		25
3.1	Bagan Alir Penelitian	25
3.2	Metode Penelitian	26
3.2.1	Data Primer	26
3.2.2	Data Sekunder	26
3.3	Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.4	Bahan dan Peralatan	27
3.4.1	Bahan	27
3.4.2	Peralatan	27
3.5	Persiapan Material	29
3.6	Pemeriksaan Agregat	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN		30
4.1	Hasil Penelitian	30
4.1.1	Pemeriksaan Gradasi Agregat	30
4.1.2	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat	37
4.1.3	Hasil Pemeriksaan Aspal	39
4.1.4	Pemeriksaan Terhadap Parameter Benda Uji	40
4.2	Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum	45
4.2.5	Rongga Antara Mineral Agregat (VMA)	48
4.2.7	Kadar Aspal Optimum (KAO)	49
4.3	Pembahasan Pengujian Marshall	50
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN		63
5.1	Kesimpulan	63
5.2	Saran	63
DAFTAR PUSTAKA		65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lapis Aspal Beton	5
Gambar 3.1 Langkah-Langkah Penelitian	25
Gambar 4.1 Grafik hasil kombinasi gradasi agregat.	32
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density</i> (gr/cc)	40
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Stability</i> (Kg) campuran normal.	40
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) campuran normal.	41
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VFA (%) campuran normal.	42
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) campuran normal.	42
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran normal.	43
Gambar 4.8 Grafik KAO	43
Gambar 4.9 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density</i> (gr/cc) belerang 4%, 5%, dan 6%.	44
Gambar 4.10 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Stability</i> (Kg)	45
Gambar 4.11 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) belerang 4%, 5%, 6%.	46
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) belerang 4%, 5%, 6%.	46
Gambar 4.13 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%)	47
Gambar 4.14 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan Flow (mm)	48

DAFTAR LAMPIRAN

Gambar L.1 Tabel data Marshall normal.	68
Gambar L.2 Tabel data Marshall normal.	Error! Bookmark not defined.
Gambar L.3 Tabel data Marshall campuran Belerang.	69
Gambar L.4 Agregat Kasar MA.	75
Gambar L.5 Pasir.	75
Gambar L.6 Belerang	76
Gambar L.7 Proses pencampuran aspal dan agregat	76
Gambar L.8 Proses memasukkan campuran kedalam cetakan.	77
Gambar L.9 Proses pemadatan campuran.	77
Gambar L.10 Proses pengukuran suhu Aspal sebesar 160°C	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Campuran Laston(AC)	16
Tabel 2.8 Tabel Koreksi <i>Marshall</i>	23
Tabel 4.1 Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus pasir	32
Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar ½ inch.	30
Tabel 4.3 Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu	32
Tabel 4.4 Hasil kombinasi gradasi agregat standar.	33
Tabel 4.5 Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar MA 1/2 inch.	
	Error! Bookmark not defined.
Tabel 4.6 Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir	Error!
	Bookmark not defined.
Tabel 4.7 Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu batu	Error!
	Bookmark not defined.
Tabel 4.8 Hasil pemeriksaan karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70	Error!
	Bookmark not defined.
Tabel 4.9 Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran Normal. Error!	Bookmark not defined.
Tabel 4.10 Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran normal. Error!	Bookmark not defined.
Tabel 4.11 Rekapitulasi hasil uji Marshall campuran substitusi Belerang	Error!
	Bookmark not defined.

DAFTAR NOTASI

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)
Fk	= Faktor Koreksi
G	= Berat isi sampel
Gb	= Berat jenis aspal
K	= Kelelehan (<i>Flow</i>)
Pb	= Aspal, persen berat total campuran
Pba	= Aspal yang terserap
Pbe	= Kadar aspal efektif
Sa	= Stabilitas akhir
VFA/VFB	= Rongga terisi aspal (%)
VIM	= Rongga udara dalam campuran (%)
VMA	= Rongga dalam agregat mineral (%)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Aspal merupakan material yang berwarna hitam sampai coklat tua dimana pada temperatur ruang berbentuk padat sampai semi padat. Jika temperatur tinggi aspal akan mencair dan pada saat temperatur menurun aspal akan kembali menjadi keras (padat) sehingga aspal merupakan material yang termoplastis. Berdasarkan cara memperolehnya aspal dapat dibedakan atas aspal alam dan aspal buatan. Aspal alam adalah aspal yang tersedia di alam seperti aspal danau di Trinidad dan aspal gunung seperti di Pulau Buton. Aspal buatan adalah aspal yang diperoleh dari proses destilasi minyak bumi (aspal minyak) dan batu bara. Jenis aspal yang umum digunakan pada campuran aspal panas adalah aspal minyak. Aspal minyak dapat dibedakan atas aspal keras (aspal semen), aspal dingin/cair dan aspal emulsi. (Mashuri 2010).

Seiring meningkatnya kebutuhan akan jalan, maka dibutuhkan usaha-usaha untuk meningkatkan kualitas jalan. Upaya-upaya yang dilakukan antara lain adalah penggunaan campuran aspal yang baik, yaitu; mempunyai daya lekat yang cukup tinggi, titik lembek yang tinggi (di atas 60°C), dan penetrasi diatas 50.

Beberapa penelitian telah dicoba untuk meneliti berbagai jenis bahan yang dapat digunakan untuk mencapai sifat-sifat aspal yang diinginkan. Penggunaan bahan-bahan tambah ke dalam campuran aspal tergantung pada hasil akhir yang diinginkan. Sebagai contoh; jika diinginkan aspal sebagai bahan pengikat yang berdaya lekat tinggi maka digunakan bahan pengikat yang berdaya lekat tinggi.

Berdasarkan hal tersebut peneliti mencoba untuk melihat pengaruh pada bahan sulfur dalam campuran beraspal. Dengan mengetahui pengaruh belerang yang ditambah kedalam campuran beraspal maka dapat diperkirakan kelebihan dan kekurangan campuran tersebut.(Siregar and Lubis 2019)

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut :

1. Berapa besar pengaruh belerang terhadap karakteristik *Marshall* pada aspal penetrasi 60/70 ?
2. Berapa persen nilai karakteristik *Marshall* yang menggunakan bahan tambah belerang pada campuran AC-WC penetrasi 60/70 yang memenuhi spesifikasi Bina Marga, 2018?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Adapun ruang lingkup penelitian yang akan dibahas dalam penulisan skripsi ini, yaitu:

1. Penelitian ini meninjau karakteristik *Marshall* terhadap campuran dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70.
2. Penelitian ini meninjau pengaruh penambahan belerang terhadap campuran pada lapisan antara (AC-WC).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan pada penelitian ini untuk:

1. Mengetahui pengaruh penambahan belerang pada campuran AC-WC penetrasi 60/70 terhadap karakteristik *Marshall*.
2. Mengetahui nilai karakteristik *Marshall* yang menggunakan bahan tambah belerang pada campuran AC-WC penetrasi 60/70 yang memenuhi spesifikasi Bina Marga, 2018.

1.5 Manfaat Penelitian

1. Secara akademis penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan penggunaan belerang sebagai bahan penambahan pada campuran aspal penetrasi 60/70.

2. Secara teoritis dapat meningkatkan pemahaman dalam menganalisa data untuk mengetahui nilai *Marshall* dari hasil yang dikaji secara umum.
3. Secara praktis dapat mengetahui pengaruh penambahan belerang terhadap aspal penetrasi 60/70.

1.6 Sistematika Pembahasan

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

BAB 1 Pendahuluan

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

BAB 2 Tinjauan Pustaka

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

BAB 3 Metodologi Penelitian

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

BAB 4 Hasil dan Pembahasan

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

BAB 5 Kesimpulan dan Saran

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

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Konstruksi Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah bagian dari jalur lalu lintas, yang bila kita perhatikan secara struktural pada penampang struktur dalam kedudukan yang paling sentral dalam suatu badan jalan. Saat ini perkerasan jalan menjadi suatu komponen yang sangat penting untuk kepentingan dan kelancaran pergerakan lalu lintas yang terdiri dari lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), lapisan tanah dasar (*subgrade*) (Mashuri 2010).

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Fungsi perkerasan adalah memikul beban lalu lintas secara cukup aman dan nyaman, serta sebelum umur rencananya tidak terjadi kerusakan yang berarti. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis

Pada umumnya perkerasan jalan terdiri dari 3 jenis, yaitu:

1. Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur adalah jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat untuk lapisan perkerasan. Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi sebagai penerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya. Perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat.

2. Perkerasan Kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku menggunakan semen sebagai bahan pengikat, yang berupa pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah.

3. Perkerasan Komposit (*composite pavement*)

Perkerasan komposit, yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

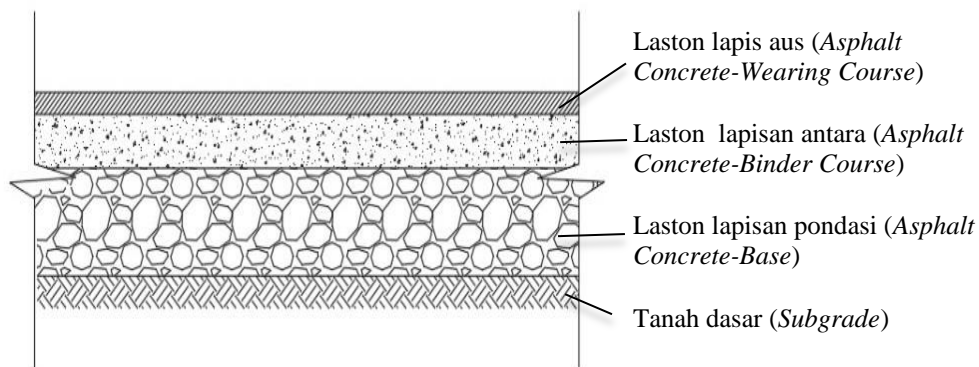
2.2 Lapisan Aspal Beton (Laston)

Lapisan aspal beton 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

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.



Gambar 2. 1: Lapis Aspal Beton

(Mayssara A. Abo Hassanin Supervised 2014)

Lapisan Aspal Beton adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural yang pertama kali dikembangkan oleh *The Asphalt Institute* dengan nama *Asphalt Concrete* (AC). (Agustian and Ridha 2018)

Laston lapis aus (AC-WC) merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan. Lapisan ini juga berfungsi sebagai pelindung konstruksi dibawahnya dari kerusakan akibat air dan cuaca, sebagai lapisan aus dan menyediakan permukaan jalan rata dan tidak licin. (Razuardi, Saleh, and Isya 2018)

2.3 Material Pembuatan Perkerasan Lentur AC-WC

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

Aspal atau bitumen adalah 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. (IRWANSYAH 2021)

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 di bongkar 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 Fondasi	HRS – Base	3,5
Laston	Lapis Aus	AC – WC	4,0
	Lapis Antara	AC – BC	6,0
	Lapis Fondasi	AC – Base	7,5

2.3.1 Aspal

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat *viskoelastic* 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. Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen, oleh sebab itu aspal sering disebut material berbituminous. Fungsi aspal adalah sebagai bahan pengikat aspal dan agregat atau antara aspal itu sendiri, juga sebagai pengisi rongga pada agregat. Daya tahannya (*durability*) berupa kemampuan aspal mempertahankan sifat aspal akibat pengaruh cuaca dan tergantung pada sifat campuran aspal dan agregat. Sedangkan sifat adhesi dan kohesi yaitu kemampuan aspal mempertahankan ikatan yang baik. Sifat kepekaan terhadap temperaturnya aspal adalah material termoplastik yang bersifat lunak / cair apabila temperaturnya bertambah.

2.3.2 Agregat

Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidrolik. Berdasarkan ukuran besar butirnya, agregat yang dipakai dalam adukan beton dapat dibedakan menjadi

dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Kandungan agregat dalam beton kira-kira mencapai 70% - 75% dari volume beton. Agregat sangat berpengaruh terhadap sifat-sifat beton, sehingga pemilihan agregat merupakan suatu bagian yang penting dalam pembuatan beton. Agregat dibedakan menjadi 2 macam, yaitu agregat halus dan agregat kasar yang didapat secara alami atau buatan. Untuk menghasilkan dengan kepadatan yang baik, diperlukan gradasi agregat yang baik pula. Gradasi agregat adalah distribusi ukuran kekasaran butiran agregat. Gradasi diambil dari hasil pengayakan dengan lubang ayakan 10 mm, 20 mm, 30 mm dan 40 mm untuk kerikil. Untuk pasir lubang ayakan 4,8 mm, 2,4 mm, 1,2 mm, 0,6 mm, 0,3 mm dan 0,15 mm. (Salani et al. 2021)

2.3.2.1 Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm) dan haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan. Fraksi agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal. Agregat kasar harus mempunyai angularitas yaitu persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 2,36 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu saringan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu saringan yang lebih kecil dari saringan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%, yang terdapat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Ketentuan Agregat Kasar (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks 12 %
		Magnesium Sulfat		Maks 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks 6 %
		500 putaran		Maks 30 %
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks 8 %
		500 putaran		Maks 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal		-	SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir Pecah pada agregat kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
		Lainnya		95/90 **)
Partikel pipih dan lonjong		SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks 5 %
		Lainnya		Maks 10 %
Material lolos ayakan No.200		-	SNI ASTM C117 2012	Maks 1 %

Catatan:

- *) 100/90 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
- ***) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2.3.2.2 Agregat Halus

Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu. Agar dapat memenuhi ketentuan mutu, batu pecah halus harus diproduksi dari batu yang bersih. Agregat

halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm).

Untuk memperoleh agregat halus yang memenuhi ketentuan adalah sebagai berikut:

Bahan baku untuk agregat halus harus dicuci terlebih dahulu secara mekanis sebelum dimasukkan ke dalam mesin pemecah batu. Digunakan *scalping screen*, dari hasil pemecah batu tahap pertama tidak boleh langsung digunakan.

Diperoleh dari hasil tahap pertama harus di pisahkan dengan *vibro scalping screen* antara mesin pemecah tahap pertama dengan mesin pemecah tahap kedua.

Material tertahan oleh *vibro scalping screen* akan dipecah oleh mesin pemecah tahap kedua, hasil pengayakan dapat digunakan sebagai agregat halus.

Material lolos *vibro scaling screen* hanya boleh digunakan sebagai komponen material Lapis Fondasi Agregat.

Frakasi agregat kasar, agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditumpuk terpisah, dan harus memenuhi ketentuan yang terdapat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.3: Ketentuan Agregat Halus (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018)

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428 -1997	Min 50 %
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min 45 %
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1 %
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117 2012	Maks 10 %

2.4 Bahan Pengisi (*Filler*) Untuk Campuran Beraspal

Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butir pengisi pada pembuatan campuran aspal. Didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan no. 200 (0.074) dan yang ditambahkan dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*) atau debu kapur padam, debu kapur magnesium, dolomite, semen dan abu terbang tipe C dan F yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2014). Debu batu (*stone dust*) dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan, bila diuji dengan penyaringan

harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% dari yang lolos saringan No.30 (0,600 mm) dan mempunyai sifat non plastis. Bahan pengisi yang ditambahkan semen dan bahan pengisi lainnya harus rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat, khusus untuk SMA tidak dibatasi kadarnya. (“Tondi Mario Sitorus (1607210188),” n.d.)

Penggunaan bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal akan mempengaruhi karakteristik campuran aspal dan dapat menyebabkan dampak, sebagai berikut:

1. Dampak penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal akan mempengaruhi campuran, penggelaran dan pemadatan. Di samping itu jenis *filler* akan mempengaruhi terhadap sifat elastik campuran dan sensitivitasnya terhadap air.
2. Dampak penggunaan *filler* terhadap karakteristik campuran aspal dalam hal ini masih digolongkan lagi menjadi :
 - a. Dampak penggunaan *filler* terhadap viskositas campuran yang menyebabkan semakin besarnya permukaan *filler* akan menaikkan viskositas campuran.
 - b. Dampak suhu dan pemanasan setiap *filler* memberikan pengaruh yang saling berbeda pada berbagai temperatur.

2.4.1 Belerang (*Sulfur*)

Belerang adalah salah satu unsur kimia yang tidak termasuk dalam kelompok mineral logam. Belerang dalam tabel periodik disebut dengan simbol S atau *sulfur*. (Sebagai et al. 2018)

Belerang memiliki sifat pozolan karena banyak mengandung Silika dan Alumina. Belerang bila diberi air akan bersifat plastis dan mudah dibentuk tapi pada saat mengering bersifat keras dan sulit untuk deformasi (Ilmiah Bidang Sains -Teknologi Murni Disiplin dan Antar Disiplin et al. 2012)

Stabilisasi tanah dengan Belerang yaitu mencampur tanah dengan Belerang yang sudah di hancurkan menjadi bubuk atau yang telah dilelehkan pada lokasi pekerjaan di lapangan untuk merubah sifat-sifat tanah tersebut menjadi material yang lebih baik yang memenuhi ketentuan sebagai bahan konstruksi yang

dijinkan dalam perencanaan. Ia mengoksidasi hampir sebagian besar logam dan beberapa non logam. Stabilisasi tanah dengan belerang belum banyak bahkan hampir belum pernah digunakan dalam proyek-proyek.(Rompas et al. 2018)

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 belerang bersifat getas/mudah hancur. Sifat belerang hancur. Sifat belerang lainnya adalah tidak larut dalam air. Titik lebur 129°C dan titik dididihnya 446°C. Mudah larut dalam minyak bumi, minyak tanah, dan aniline. Penghantar panas dan listrik yang buruk. Apabila dibakar apinya berwarna biru dan menghasilkan gas-gas yang berbau busuk

Berikut ini adalah beberapa karakteristik belerang dari alam:

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

Sumber air panas yang mengandung belerang sering dipercaya menjadi tempat untuk menyembuhkan beberapa penyakit seperti penyakit kulit dan juga terapi kecantikan. Sebenarnya ada banyak manfaat belerang dalam kehidupan kita sehari-hari yang tidak pernah kita sadari, disini penulis memanfaatkan belerang sebagai bahan tambah terhadap aspal. Belerang memiliki sifat yang bisa membuat lapisan aspal menjadi lebih elastis, bersifat mengikat dan meningkatkan kualitas aspal agar lebih tahan lama dalam aplikasinya dalam pembuatan jalan raya.(Penambahan, Pada, and Penetrasi 2020)

2.5 Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi harus memenuhi batas-batas. Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.4. Untuk memperoleh gradasi HRS - WC atau HRS - Base yang senjang, maka paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus lolos ayakan No.30 (0,600 mm).

Gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran butir agregat. Gradasi agregat berpengaruh pada besarnya rongga dalam campuran dan menentukan *workabilitas* serta stabilitas campuran. Gradasi agregat ditentukan dengan cara analisa saringan dimana sampel agregat harus melalui satu set saringan. Bilamana gradasi yang diperoleh tidak memenuhi kesenjangan yang disyaratkan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Aspal (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
¾"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
⅜"	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

Tabel 2.5: Contoh Batas-Batas “Bahan Bergradasi Senjang” (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Ukuran Ayakan	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
% Lolos No.8	40	50	60	70
% Lolos No.30	Paling sedikit 32	Paling sedikit 40	Paling sedikit 48	Paling sedikit 56
% Kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

2.6 Bahan Aspal Untuk Campuran Beraspal

Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal adalah:

- a) Bahan aspal berikut yang sesuai dengan Tabel 2.6 dapat digunakan.

Bahan pengikat ini dicampur dengan agregat sehingga menghasilkan campuran beraspal sebagaimana mestinya sesuai dengan yang disyaratkan yang disebutkan dalam tabel 2.7 mana yang relevan, sebagaimana yang disebutkan dalam gambar atau yang di perintahkan oleh pengawas pekerjaan. Pengambilan contoh bahan aspal harus dilaksanakan sesuai dengan SNI 06-6399-2000 dan pengujian sesuai sifat-sifat (properties) yang disyaratkan dalam tabel 2.6 harus dilakukan. Bilamana jenis aspal modifikasi tidak disebutkan dalam gambar maka penyedia jasa dapat memilih aspal Tipe II jenis PG 70 dalam tabel 2.6 dibawah ini.

- b) Contoh bahan aspal harus diekstraksi dari benda uji sesuai dengan cara SNI 03-3640-1994 (metoda soklet) atau SNI 03-6894-2002 (metoda sentrifus) atau AASHTO T164-14 (metoda tungku pengapian). Jika metoda sentrifitus digunakan, setelah konsentrasi larutan aspal yang terekstraksi mencapai 200 mm, partiker mineral yang terkandung harus di pindahkan kedalam suatu alat sentrifugal. Pemindahan ini dianggap memenuhi bila mana kadar abu dalam bahan aspal yang diperoleh kembali tidak melebihi 1% (dengan pengapian). Jika bahan aspal diperlukan untuk pengujian lebih lanjut maka bahan aspal itu harus diperoleh kembali dalam larutan sesuai dengan prosedur SNI 03-6894-2002.
- c) Aspal tipe I harus diuji pada setiap kedatangan dan sebelum dituangkan ke tangki penyimpanan AMP untuk penetrasi pada 25°C (SNI 2456:2011). Tipe

II harus diuji untuk stabilitas penyimpanan sesuai dengan ASTM D5976-00 Part 6.1. Semua tipe aspal yang baru datang harus ditempatkan dalam tangki sementara sampai hasil pengujian tersebut diketahui. Tidak ada aspal yang boleh digunakan sampai aspal tersebut telah diuji dan disetujui.

Tabel 2.6: Ketentuan Untuk Aspal Keras (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG70	PG76
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 red/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽²⁾	
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASTHO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-	
9.	Stabilitas penyimpanan perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10.	Kadar paraffin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002)					
11.	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	
12.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 red/detik 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13.	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456-2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa					

Catatan:

1. Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang disyaratkan. Sedangkan untuk pengendalian mutu di lapangan, ketentuan untuk aspal dengan penetrasi ≥ 50 adalah ± 4 (0,1 mm) dan untuk aspal

dengan penetrasi < 50 adalah ± 2 (0,1 mm), masing-masing dari nilai penetrasi yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.

2. Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang disyaratkan. Sedangkan untuk pengendalian mutu di lapangan, ketentuan titik lembek diterima adalah $\pm 1^{\circ}\text{C}$ dari nilai titik lembek yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.
3. Viskositas diuji juga pada temperatur 100°C dan 160°C untuk tipe I, untuk tipe II pada temperatur 100°C dan 170°C untuk menetapkan temperatur yang akan diterapkan.
4. Jika untuk pengujian viskositas tidak dilakukan sesuai dengan AASHTO T201-15 maka hasil pengujian harus dikonversikan ke satuan SI.

Tabel 2.7: Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC) (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
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 aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		

Catatan:

1. Penentuan VCmix dan VCAdre sesuai AASHTO R46-08 (2012).
 VCmix : *Voids in coarse aggregate within compacted mixture.*
 VCAdre : *Voids in coarse aggregate fraction in dry-rodded condition.*
2. Pengujian draindown sesuai AASHTO T305-14
3. Modifikasi Marshall.
4. Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian berat jenis Maksimum Agregat (Gmm test, SNI 03-6893-2002).
5. Pengawas pekerjaan dapat atau menyetujui AASHTO T283-14 sebagai

alternatif pengujian kepekaan terhadap kadar air. Pengondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Nilai Indirect Tensile Strength Retained (ITSR) minimum 80% pada VIM (Rongga dalam Campuran) $7\% \pm 0,5\%$. Untuk mendapatkan VIM $7\% \pm 0,5\%$, buatlah benda uji Marshall dengan variasi tumbukan pada kadar aspal optimum, misal 2x40, 2x50, 2x60 dan 2x75 tumbukan. Kemudian dari setiap benda uji tersebut, hitung nilai VIM dan buat hubungan antara jumlah tumbukan dan VIM. Dari grafik tersebut dapat diketahui jumlah tumbukan yang memiliki nilai VIM $7\% \pm 0,5\%$, kemudian lakukan pengujian ITSR untuk mendapatkan *Indirect Tensile Strength Ratio* (ITSR) sesuai SNI 6753 : 2008 atau AASTHO T283-14 tanpa pengondisian $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$.

6. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), disarankan menggunakan penumbuk bergetar (*vibratory hammer*) agar pecahnya butiran agregat dalam campuran dapat dihindari. Jika digunakan penumbukan manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 inch dan 400 untuk Jatakan berdiameter 4 inch.
7. Pengujian Wheel Tracking Machine (WTM) harus dilakukan pada temperatur 60°C . Prosedur pengujian harus mengikuti serti pada *Technical Guideline for Pavement Design and Construction*, Japan Road Association (JRA 2005).

2.7 Pengujian Marshall Untuk Perencanaan Campuran

Metode *Marshall* standar diperuntukkan untuk perencanaan campuran beton aspal dengan ukuran agregat maksimum 25 mm (1 inchi) dan menggunakan aspal keras. Pengujian *Marshall* dimulai dengan persiapan benda uji. Untuk keperluan ini perlu diperhatikan hal sebagai berikut:

1. Bahan yang digunakan masuk spesifikasi
2. Kombinasi agregat memenuhi gradasi yang disyaratkan
3. Untuk keperluan analisa volumetrik (*density-voids*)

Berat jenis *bulk* dari semua agregat yang digunakan pada kombinasi agregat, dan berat jenis aspal keras harus dihitung terlebih dahulu. Ukuran benda uji adalah tinggi 64 mm (2 1/2 inchi) dan diameter 102 mm (4 inchi) yang dipersiapkan

dengan menggunakan prosedur khusus untuk pemanasan, pencampuran dan pemadatan campuran agregat dengan aspal. Dua prinsip penting pada perencanaan campuran dengan pengujian *Marshall* adalah analisa volumeterik dan analisa stabilitas, kelelahan (*flow*) dari benda uji padat.

Stabilitas benda uji adalah daya tahan beban maksimum benda uji pada temperature 60°C (140°F). Nilai kelelahan adalah perubahan bentuk suatu campuran beraspal yang terjadi pada benda uji sejak tidak ada beban hingga beban maksimum yang diberikan selama pengujian stabilitas. Pada penentuan kadar aspal optimum untuk suatu kombinasi agregat atau gradasi tertentu dalam pengujian *Marshall*, perlu disiapkan suatu seri dari contoh uji dengan interval kadar aspal yang berbeda sehingga didapatkan suatu kurva lengkung yang teratur. Pengujian agar direncanakan dengan dasar ½ % kenaikan kadar aspal dengan perkiraan minimum dua kadar aspal diatas optimum dan dua kadar aspal dibawah optimum.

Metode *Marshall* standar diperuntukkan untuk perencanaan campuran beton aspal dengan ukuran agregat maksimum 25 mm (1 inchi) dan menggunakan aspal keras. Untuk ukuran butir maksimum lebih besar dari 25 mm (1 inchi) digunakan prosedur *Marshall* modifikasi. Prosedur *Marshall* yang dimodifikasi pada dasarnya sama dengan metode *Marshall* standar, namun karena campuran beraspal menggunakan ukuran butir maksimum yang lebih besar maka digunakan diameter benda uji yang lebih besar pula, yaitu 15,24 cm (6 inchi) dan tinggi 95,2 mm. Berat palu penumbuk 10,2 kg (22 lbs) dengan tinggi jatuh 457 mm (18 inchi). Benda uji secara tipikal mempunyai berat sekitar 4 kg. Jumlah tumbukan untuk *Marshall* modifikasi adalah 112 kali (untuk lalu-lintas berat > 500.000 SST) dan 50-75 tumbukan (untuk lalu-lintas rendah < 500.000 SST). Kriteria perencanaan harus diubah di mana stabilitas minimum ditingkatkan 2,25 kali sedangkan kelelahan 1,5 kali dari ukuran benda uji normal (diamter 4 inchi).

2.7.1 Pengujian *Marshall* Untuk Perencanaan Campuran

Setelah benda uji selesai, kemudian dikeluarkan dengan menggunakan ekstruder dan didinginkan, Berat isi untuk benda uji porus ditentukan dengan

melakukan beberapa kali penimbangan seperti prosedur (ASTM D 1188). Secara garis besar adalah sebagai berikut:

- a. Timbang benda uji di udara
- b. Selimuti benda uji dengan paraffin
- c. Timbang benda uji ber parafin di udara
- d. Timbang benda uji ber parafin dalam air

Berat isi untuk benda uji tidak porus atau bergradasi menerus dapat ditentukan menggunakan benda uji kering permukaan jenuh (SSD) seperti prosedur ASTM D 2726. Secara garis besar adalah 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

Adapun yang didapat dari *Marshall* dengan Pers.2.1 – Pers.2.2.

$$\text{Volume sampel} = B_j - B_a \quad (2.1)$$

$$\text{Berat isi sampel} = \frac{B_k}{V_s} \quad (2.2)$$

Dengan keterangan:

B_j = Berat sampel jenuh, dalam gram

B_a = Berat sampel dalam air, dalam gram

B_k = Berat sampel kering, dalam gram

V_s = Volume sampel

Berat jenis Maksimum dari campuran dengan perbedaan kadar aspal pada perencanaan campuran dengan suatu agregat tertentu Berat jenis maksimum G_{mm} , untuk kadar aspal yang berbeda diperlukan untuk menghitung persentase rongga udara masing-masing kadar aspal. Berat Jenis Maksimum dapat dihitung dengan Pers.2.3 :

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (2.3)$$

Dengan keterangan:

Gmm = Berat Jenis maksimum campuran (tidak ada rongga udara)

Pmm = Campuran lepas total, persentase terhadap berat total campuran = 100 %

Ps = agregat, persen berat total campuran

Pb = aspal, persen berat total campuran

Gse = Berat jenis efektif agregat

Gb = Berat jenis aspal

2.7.2 Pengujian Volumetrik

Tiga sifat dari benda uji campuran aspal panas ditentukan pada analisa rongga density. Sifat tersebut adalah:

- a. Berat isi dan atau berat jenis benda uji padat
- b. Rongga dalam agregat mineral
- c. Rongga udara dalam campuran padat

Dari berat contoh dan persentase aspal dan agregat dan berat jenis masing-masing, volume dari material yang bersangkutan dapat ditentukan. Dalam Pers. 2.4 – Pers. 2.5 :

$$\% \text{Volume aspal} = \frac{B.G}{Gb} \quad (2.4)$$

$$\% \text{Volume agregat} = \frac{(100 - B).G}{Gse} \quad (2.5)$$

Dengan keterangan:

B = % Aspal terhadap campuran

G = Berat isi sampel

Gse = Berat jenis efektif agregat

Gb = Berat jenis aspal

Kadar aspal efektif campuran adalah kadar aspal total dikurangi besarnya jumlah aspal yang meresap kedalam partikel agregat. Pers. 2.6. untuk perhitungan adalah:

$$Pbe = Pb - \left(\frac{Pba}{100}\right)Ps \quad (2.6)$$

Dengan keterangan :

Pbe = kadar aspal efektif, persen berat total campuran

Ps = agregat, persen berat total campuran

Pb = aspal, persen berat total campuran

Pba = aspal yang terserap, persen berat total campuran

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. Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)

Rongga dalam mineral agregat, VMA, adalah rongga antar partikel agregat pada campuran padat termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, dinyatakan dalam persen volume total. VMA dihitung berdasarkan Berat Jenis agregat curah (*bulk*) dan dinyatakan dalam persentase dari volume curah campuran padat. Sebagai contoh penyimpangan nilai VMA akibat kesalahan perhitungan yang mana kesalahan ini akan menyebabkan pergeseran puncak lengkung hiperbola (titik terendah) kurva hubungan antara VMA dengan kadar aspal. Pergeseran tersebut akan menyebabkan kesalahan penentuan kadar aspal dan selanjutnya akan sangat mempengaruhi kinerja campuran beraspal yang dihasilkan pada Pers. 2.7 :

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gmb.Ps}{Gsb} \right) \quad (2.7)$$

Dengan keterangan:

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Gsb = Berat Jenis curah agregat

Ps = Agregat, persen berat total campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat (ASTM D 2726)

2. Rongga Udara Didalam Campuran Padat (VIM)

Rongga udara (VIM) setelah selesai dipadatkan di laboratorium idealnya adalah 7%. Rongga udara yang kurang jauh dari 7% akan rentan terhadap

perlelehan, alur dan deformasi plastis. Sementara VIM setelah selesai pemadatan yang jauh dari 7% akan rentan terhadap retak dan perlepasan butir (disintegrasi). Untuk mencapai nilai lapangan tersebut dalam spesifikasi, nilai VIM rencana dibatasi pada interval 3,5% sampai 5,5%. Dengan kepadatan lapangan dibatasi minimum 98%. Rongga udara, VIM, dalam campuran padat terdiri atas ruang-ruang kecil antara partikel agregat terselimuti aspal. Rongga udara dihitung dengan Pers. 2.8 :

$$VIM = 100\left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm}\right) \quad (2.8)$$

Dengan keterangan:

VIM = rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

Gmb = berat jenis curah campuran padat

Gmm = berat jenis maksimum campuran

3. Rongga Udara Terisi Aspal (VFA)

Kriteria VFA bertujuan menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi batasan yang cukup. Pada gradasi yang sama, semakin tinggi nilai VFA makin banyak kadar aspal campuran tersebut. Sehingga kriteria VFA dapat menggantikan kriteria kadar aspal dan tebal lapisan film aspal. VFA, VMA, dan VIM saling berhubungan karena itu bila dua diantaranya diketahui maka dapat mengevaluasi yang lainnya. Kriteria VFA membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima atau memenuhi persyaratan. Rongga udara terisi aspal, VFA, merupakan persentase rongga antar agregat partikel (VMA) yang terisi aspal. VFA, tidak termasuk aspal yang terserap agregat, dihitung dengan Pers. 2.9.

$$VFA = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \quad (2.9)$$

Dengan keterangan:

VFA = Rongga terisi aspal, persen terhadap VMA

VMA = Rongga diantara mineral agregat, persen terhadap volume total campuran

VIM = Rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran.

2.7.3 Pengujian Stabilitas Dan Kelelahan (*Flow*)

Setelah penentuan berat jenis *bulk* benda uji dilaksanakan, pengujian stabilitas dan kelelahan dilaksanakan dengan menggunakan alat uji. Prosedur pengujian berdasarkan ketentuan, secara garis besar adalah sebagai berikut:

1. Rendam benda uji pada temperatur 60°C (140°F) selama 30-40 menit sebelum pengujian.
2. Keringkan permukaan benda uji dan letakkan pada tempat yang tersedia pada alat uji
3. Setel dial pembacaan stabilitas dan kelelahan. Lakukan pengujian dengan kecepatan deformasi konstan 51 mm (2 in.) per menit sampai terjadi runtuh.
4. Catat besarnya stabilitas dan kelelahan yang terjadi pada dial.

Stabilitas adalah nilai besarnya kemampuan perkerasan dalam hal menahan deformasi akibat beban berulang. Semakin banyak kadar serat selulosa yang digunakan mengakibatkan campuran semakin rapat dan sifat saling mengunci antar agregat bertambah.

Kelelahan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk campuran yang terjadi akibat suatu beban yang dinyatakan dalam milimeter. Ketahanan terhadap kelelahan (*flow*) merupakan kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi. *Marshall Quotient* (MQ) adalah rasio antara nilai stabilitas dan kelelahan. Dengan Pers.2.10.

$$MQ = \frac{Sa}{K} \quad (2.10)$$

Dengan keterangan:

MQ = *Marshall Quotient*

Sa = Stabilitas akhir

K = Kelelahan (*flow*).

Angka koreksi untuk stabilitas akhir sesuai dengan SNI 06-2489-1991 dapat dilihat pada tabel 2.8 :

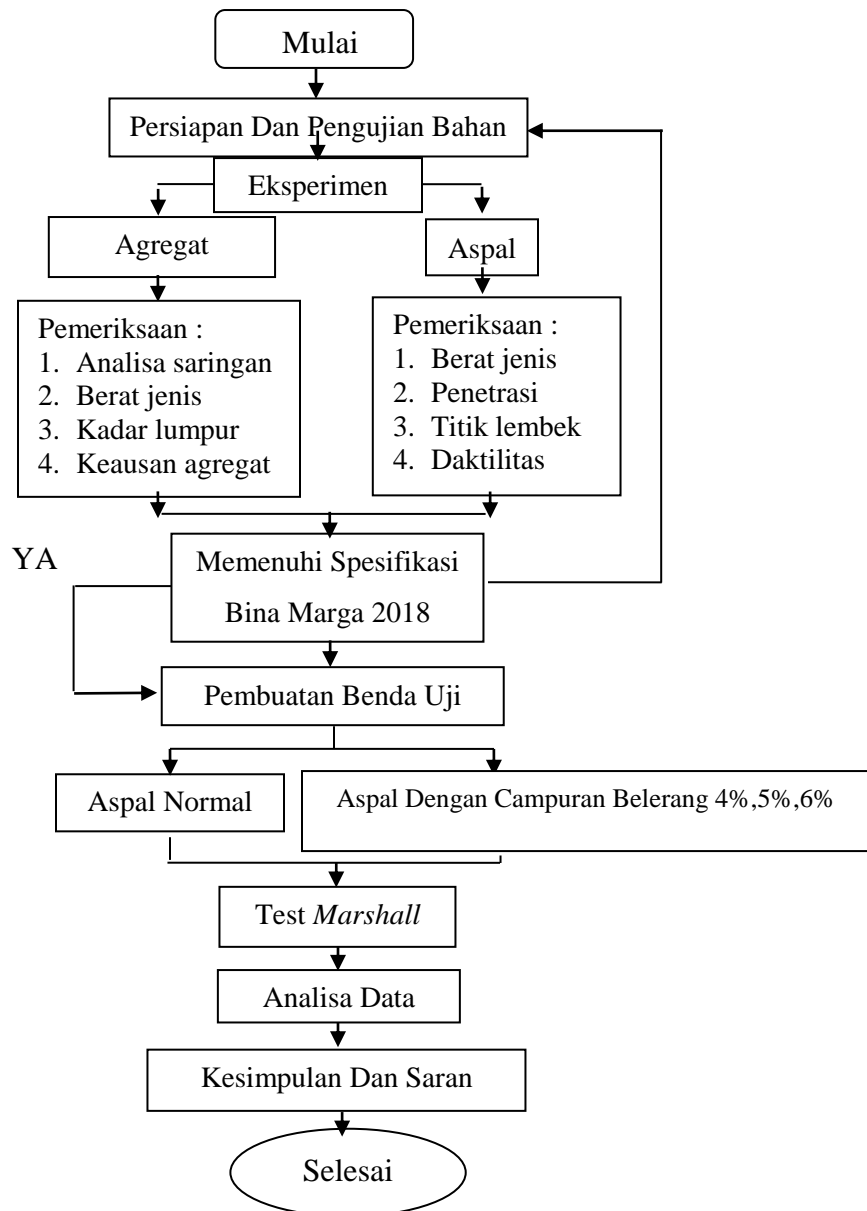
Tabel 2.8 : Tabel Koreksi *Marshall* (Badan Standardisasi Nasional 1991)

Isi Benda Uji (Cm3)		Tebal Benda Uji (m)	Angka Koreksi
200	213	25.4	5.56
214	225	27.0	5
226	237	28.6	4.55
251	264	31.8	3.85
238	250	30.2	4.17
265	276	33.3	3.57
277	289	34.9	3.33
290	301	36.5	3.03
302	316	38.1	2.78
317	328	39.7	2.5
329	340	41.3	2.27
341	353	42.9	2.08
354	367	44.4	1.92
368	379	46.0	1.79
380	392	47.6	1.67
393	405	49.2	1.56
406	420	50.8	1.47
421	431	52.4	1.39
432	443	54.0	1.32
444	456	55.6	1.25
457	470	57.2	1.19
471	482	58.7	1.14
483	495	60.3	1.09
496	508	61.9	1.04
509	522	63.5	1
523	535	65.1	0.96
536	546	66.7	0.93
547	559	68.3	0.89
560	573	69.9	0.86
574	585	71.4	0.83
586	598	73.0	0.81
599	610	74.6	0.78
611	625	76.2	0.76

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Penelitian

Langkah-langkah yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :



Gambar 3.1. Langkah-Langkah Penelitian

3.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan merupakan jenis metode eksperimen dilaboratorium, dengan data-data pendukung dalam penyelesaian tugas akhir diperoleh dari, sebagai berikut :

3.2.1 Data Primer

Data yang akan dilakukan pada penelitian di Laboratorium, yaitu:

- a. Analisa saringan agregat.
- b. Berat jenis dan penyerapan.
- c. Pemeriksaan kadar lumpur.
- d. Pemeriksaan keausan agregat.
- e. Variasi penggunaan lateks pada campuran aspal (*Job Mix Formula*).
- f. Tes penetrasi aspal.
- g. Tes daktilitas.
- h. Tes titik lembek aspal.
- i. Tes berat jenis aspal.
- j. Tes kehilangan berat.
- k. Uji *Marshall*.

3.2.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari beberapa buku yang berhubungan dengan konstruksi jalan (literatur) dan konsultasi langsung dengan dosen pembimbing di Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Data teknis mengenai Standar Nasional Indonesia serta buku-buku atau literatur sebagai penunjang guna memperkuat suatu penelitian yang dilakukan.

3.3 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dimulai pada saat selesai Seminar Proposal. Penelitian dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.4 Bahan dan Peralatan

3.4.1 Bahan

Bahan-bahan pembentuk benda uji yaitu:

- a. Aspal penetrasi 60/70.
- b. Agregat halus.
- c. Agregat kasar.
- d. Belerang (*Sulfur*).
- e. Bensin.

3.4.2 Peralatan

Alat penelitian adalah semua benda yang digunakan untuk menunjang dalam pelaksanaan proses penelitian. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat Pengujian Aspal

Dalam pengujian ini, alat yang digunakan adalah satu set alat uji titik lembek, uji titik nyala, titik bakar, berat jenis dan satu set alat pengujian penetrasi.

Berikut adalah alat-alat yang digunakan untuk pengujian :

a. Alat-alat pengujian berat jenis aspal

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian berat jenis aspal meliputi sebagai berikut:

- 1) *Neraca ohaus*
- 2) *Picnometer* labu

b. Alat-alat pengujian penetrasi aspal

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian berat jenis aspal meliputi

sebagai berikut:

- 1) *Stopwatch*
- 2) *Penetrometer*
- 3) Jarum Penetrasi
- 4) Cawan

c. Alat-alat penguji titik lembek aspal

Alat-alat yang digunakan dalam pengujian berat jenis aspal meliputi sebagai berikut:

- 1) *Termometer*
- 2) Cincin Penguji
- 3) Bola baja
- 4) Gelas ukur
- 5) Dudukan benda uji
- 6) Kompor listrik
- 7) Plat penghantar/ kawat kassa
- 8) Penjepit *Termometer*

2. Alat-alat pengujian agregat

- a. Satu set alat pengujian gradasi
- b. Satu set alat pengujian berat jenis dan penyerapan

3. Alat-alat pembuat benda uji

Untuk membuat benda uji diperlukan beberapa peralatan yang meliputi cetakan benda uji (*mould*), penumbuk benda uji dan landasanya, dongkrak (untuk mengeluarkan benda uji), kompor listrik, thermometer, wadah pencampur, piring, kertas penyaring, spatula, dan sarung tangan.

- a. Alat cetak benda uji (*Mould*)
- b. Alat penumbuk benda uji beserta landasan penumbuk
- c. Bak pengaduk
- d. Alat pengujian benda uji dengan metode *Marshall*

3.5 Persiapan Material

Secara umum pelaksanaan penelitian ini terdapat beberapa langkah pekerjaan. Diawali dengan menetapkan komposisi campuran, penyiapan material, pemeriksaan material, pembuatan benda uji, perawatan, dan pengujian benda uji. Tahapan-tahapan penelitian tersebut di atas, dilaksanakan dengan berdasarkan standar peraturan pengerjaan aspal yang disesuaikan dengan kondisi laboratorium. Sebagian langkah pemeriksaan material hanya dibatasi pada pemeriksaan karakteristik, karena dianggap penting dalam perhitungan komposisi campuran. Namun tidak semua material dapat diperiksa karakteristiknya. Tidak dilakukan pemeriksaan terhadap air dan material aditif.

Semua material (aspal, agregat) berasal dari tempat yang berbeda. Semua bahan ditempatkan pada tempat yang aman dan tidak mengalami perubahan fisik dan kimia serta bebas dari benda asing. Untuk menjaga kelembaban supaya tetap, material dimasukkan ke dalam kantong plastik. Aspal yang digunakan adalah AC Penetrasi 60/70. Agregat kasar adalah batu pecah yang berasal dari Binjai. Agregat halus adalah pasir yang berasal dari Binjai. Bahan tambah belerang berasal dari toko kimia yang ada di Medan.

3.6 Pemeriksaan Agregat

Agregat halus pasir berasal dari Binjai, agregat kasar batu pecah berasal dari Binjai. Agregat kemudian dilakukan Pengujian Gradasi, Berat Jenis dan Absorpsi Agregat Halus, Keausan dan Berat Volume untuk perhitungan proporsi campuran aspal.

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-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) maka agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal $\frac{3}{4}$ "', agregat halus adalah campuran batu pecah dengan pasir, sedangkan untuk bahan pengisi adalah abu batu dan belerang sebagai bahan penambah. 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. – 4.3.

Tabel 4.1: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (Ma) $\frac{1}{2}$ inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1"	25	100,00
$\frac{3}{4}$ "	19	100,00
$\frac{1}{2}$ "	12,5	100,00
$\frac{3}{8}$ "	9,5	50,68
NO. 4	4,75	31,64
NO. 8	2,36	20,62
NO.16	1,18	0,24
NO. 30	0,600	0,24
NO. 50	0,300	0,24
NO. 100	0,150	0,24
NO. 200	0,075	0,24
PAN	0,000	0

Tabel 4.2: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus pasir (Sand).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1"	25	100,00
3/4"	19	100,00
1/2"	12,5	100,00
3/8"	9,5	100,00
NO. 4	4,75	67,60
NO. 8	2,36	41,80
NO.16	1,18	24,80
NO. 30	0,600	16,20
NO. 50	0,300	11,80
NO. 100	0,150	6,80
NO. 200	0,075	2,40
PAN	0,000	0

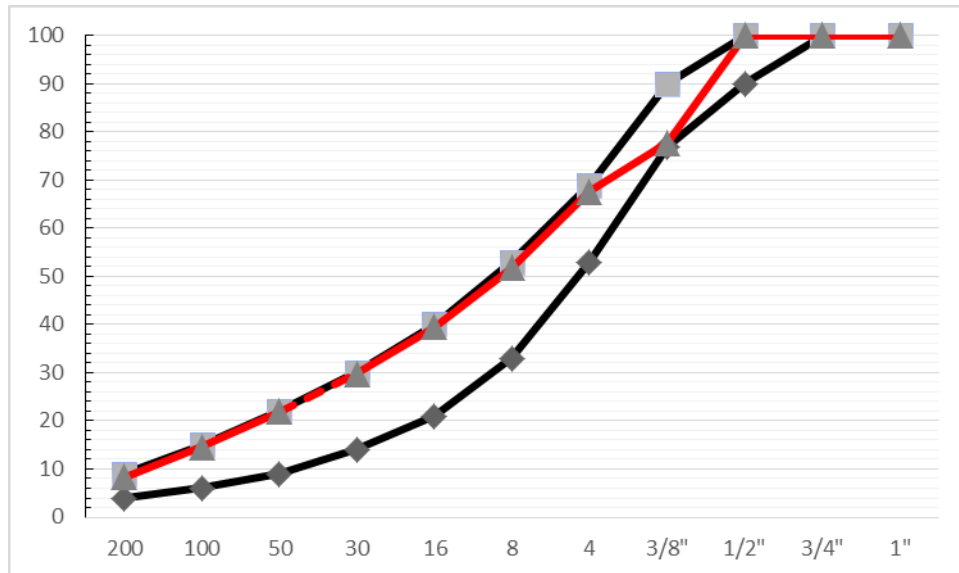
Tabel 4.3: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1"	25	100,00
3/4"	19	100,00
1/2"	12,5	100,00
3/8"	9,5	100,00
NO. 4	4,75	100,00
NO. 8	2,36	89,80
NO.16	1,18	80,20
NO. 30	0,600	62,20
NO. 50	0,300	48,00
NO. 100	0,150	32,20
NO. 200	0,075	11,80
PAN	0,000	2,00

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran AC-WC 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 4.4.

Tabel 4.4: Hasil kombinasi gradasi agregat standar.

No. Saringan	Batas spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			1	2	3	4	5	
	100	100		0%	45%	45%	10%	100
1/2"	90	100	0	0	45	45	10	100
3/8"	77	90	0	0	20.74	45	10	75.74
No.4	53	69	0	0	0.27	45	8.38	53.65
No.8	33	53	0	0	0.11	40.41	7.09	47.61
No.16	21	40	0	0	0.11	36.09	6.24	42.44
No.30	14	30	0	0	0.11	27.99	5.81	33.91
No.50	9	22	0	0	0.11	21.6	5.59	27.3
No.100	6	15	0	0	0.11	14.49	5.34	19.94
No 200	4	9	0	0	0.11	5.31	5.12	10.54



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.

1. Data persen agregat yang diperoleh pada campuran aspal normal
 - a. Agregat kasar (MA) = 45%
 - b. Agregat halus (*Sand*) = 10%
 - c. Abu batu (Cr) = 45%

2. Data persen agregat yang diperoleh pada campuran belerang 4%,5%, 6%.
 - a. Aspal = 6,2%
 - b. Agregat kasar (MA) = 42,2%
 - c. Agregat halus (*Sand*) = 9,4%
 - d. Abu batu (Cr) = 42,2%
 - e. Belerang = 4%,5%, 6%.

Setiap benda uji diperlukan agregat dan aspal sebanyak \pm 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 63,5 mm \pm 1,27 mm. Dari hasil analisa saringan agregat didapat perhitungan berat agregat yang diperlukan seperti pada Tabel 4.5 - 4.6.

Berikut hasil perhitungan komposisi campuran benda uji normal dengan kadaraspal 5,5%, 6%, 6,5%, 7% dan 7,5%.

1. Kadar aspal = 5,5 %
2. Agregat kasar (Ma) = $(510,3 / 1200) \times 100\% = 42,5 \%$
3. Agregat halus abu batu (Cr) = $(510,3 / 1200) \times 100\% = 42,5 \%$
4. Agregat halus pasir (*Sand*) = $(113,4 / 1200) \times 100\% = 9,5 \%$
5. Total = 100 %

Tabel 4.5 : Hasil Komposisi Campuran Benda Uji Normal

Aspal	Agregat Kasar (Ma)	Agregat Halus Abu Batu (Cr)	Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>)	Total
5,5%	42,5%	42,5%	9,5%	100%
6,0%	42,3%	42,3%	9,4%	100%
6,5%	42,1%	42,1%	9,4%	100%
7,0%	41,9%	41,9%	9,3%	100%
7,5%	41,6%	41,6%	9,3%	100%

Berikut perhitungan untuk berat agregat yang di perlukan pada benda uji normal dengan kadar aspal 5,5%, serta hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel

4.5 :

1. Kadar Aspal 5,5 % : $1200 \times 5,5 \%$ = 66 gr
2. Agregat MA ½ inch (Kasar) : $1200 \times 42,5 \%$ = 510,3 gr
3. Agregat Halus Abu Batu (Cr) : $1200 \times 42,5 \%$ = 510,3 gr
4. Agregat Halus Pasir (*Sand*) : $1200 \times 9,5 \%$ = 113,4 gr
- Total = 1200 gr

Tabel 4.6 : Hasil Perhitungan Pembuatan Benda Uji

Kadar Aspal(%)	Aspal (gr)	MA ½ Inch (gr)	Abu Batu(gr)	Pasir (gr)
5,5	66	510,3	510,3	113,4
6,0	72	507,6	507,6	112,8
6,5	78	504,9	504,9	112,2
7,0	84	502,2	502,2	111,6
7,5	90	499,5	499,5	111,0

Berikut perhitungan untuk berat agregat yang di perlukan pada benda uji normal dengan kadar aspal 5,5%, serta hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel

4.5 :

1. Kadar Aspal 5,5 % : $1200 \times 5,5 \%$ = 66 gr
2. Agregat MA ½ inch (Kasar) : $(1200 - 66) \times 45 \%$ = 510,3 gr
3. Agregat Halus Abu Batu (Cr) : $(1200 - 66) \times 45 \%$ = 510,3 gr
4. Agregat Halus Pasir (*Sand*) : $(1200 - 66) \times 10 \%$ = 113,4 gr
- Total = 1200 gr

Berikut perhitungan untuk berat agregat yang diperlukan pada benda uji campuran belerang 4%, 5% dan 6% dengan kadar aspal optimum (KAO) 6,2 %.Serta hasil dapat dilihat pada Tabel 4.6 :

A. Belerang 5% :

1. Kadar Aspal 6,2 % : $1200 \times 6,2\%$ = 74,4 gr
2. Agregat MA(kasar) : $1200 \times 42,2 \%$ = 506,4 gr
3. Abu Batu : $1200 \times 42,2 \%$ = 506,4 gr

4. Agregat Halus	: 1200 x 9,4 %	= 112,8 gr
5. Belerang 4 %	: 74,4 x 4 %	= 2,97 gr
Total		= 1202,97 gr

B. Belerang 5% :

1. Kadar Aspal 6,2 %	: 1200 x 6,2 %	= 74,4 gr
2. Agregat MA(kasar)	: 1200 x 42,2 %	= 506,4 gr
3. Abu Batu	: 1200 x 42,2 %	= 506,4 gr
4. Agregat Halus	: 1200 x 9,4 %	= 112,8 gr
5. Belerang 5 %	: 74,4 x 5 %	= 3,72 gr
Total		= 1203,72 gr

C. Belerang 6% :

1. Kadar Aspal 6,24 %	: 1200 x 6,2 %	= 74,4 gr
2. Agregat MA(kasar)	: 1200 x 42,2 %	= 506,4 gr
3. Abu Batu	: 1200 x 42,2 %	= 506,4 gr
4. Agregat Halus	: 1200x 9,4 %	= 112,8 gr
5. Belerang 6 %	: 74,4 x 6 %	= 4,46 gr
Total		= 1204,46 gr

Tabel 4.7 : Hasil Perhitungan Benda Uji Penggunaan Belerang 4%, 5% Dan 6% Pada KAO (Kadar Aspal Optimum).

Kadar Aspal (%)	Aspal (gr)	MA ½ (gr)	Abu Batu (gr)	Pasir (gr)	Belerang (gr)
6,2	74	506,7	503,74	112,6	2,97
		506,7	503	112,6	3,72
		506,7	502,26	112,6	4,46

Berikut hasil perhitungan komposisi campuran benda uji dengan penambahan belerang dengan kadar aspal 6,2 %.

4.4.4 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 dan tabel 4.9.

1. Berat jenis agregat kasar MA 1/2 inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{2981}{3014 - 1893} = 2,659 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{3014}{3014 - 1893} = 2,689 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{2981}{2981 - 1893} = 2,740 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{3014 - 2981}{3014} \times 100\% = 1,107\%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat MA ½ inch dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 : Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar MA ½ Inch.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,659	2,663	2,661
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Ss)	2,689	2,692	2,691
Berat Jenis Semu (Ss)	2,740	2,743	2,742
Penyerapan (Sw)	1,107	1,107	1,107

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1 :

- Berat Jenis Curah $= \frac{479}{690 + 500 - 1002} = 2,521 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{500}{690 + 500 - 1002} = 2,538 \text{ gr}$

- Berat Jenis Semu $= \frac{479}{690 + 479 - 1002} = 2,834 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{500 - 479}{479} \times 100\% = 1,419\%$

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

Tabel 4.10 : Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu (Cr).

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,521	2,526	2,524
Berat jenis kering permukaan jenuh (Ss)	2,538	2,631	2,585
Berat jenis semu (Ss)	2,834	2,823	2,829
Penyerapan (Sw)	4,384	4,166	4,275

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{493}{697 + 500 - 1002} = 2,528 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{500}{697 + 500 - 1002} = 2,564 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{493}{697 + 493 - 1002} = 2,622 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{500 - 488}{488} \times 100\% = 1,419\%$

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 : Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir (*Sand*).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat Jenis Curah Kering (Sd)	2,528	2,497	2,513
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (Ss)	2,564	2,538	2,551
Berat Jenis Semu (Ss)	2,622	2,603	2,613
Penyerapan (Sw)	1,419	1,626	1,523

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 dari PT. Tri Murti Patumbak 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 4.11.

Tabel 4.11: Hasil pemeriksaan karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70 (PT. Tri Murti Patumbak).

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 5,5%:

- a. Persentase terhadap batuan = 5,8%
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 5,5%
- c. Berat sampel kering = 1145 gr
- d. Berat sampel jenuh = 1150 gr
- e. Berat sampel dalam air = 640 gr
- f. Volume sampel = Berat SSD – Berat Dalam Air
= 1150-640 = 510 cc
- g. Berat isi sampel = Berat Awal / Volume Sampel
= 1145-510 = 2,245 gr/cc
- h. Berat jenis maksimum =
$$\frac{100}{\frac{\%agregat}{bj.agregat} + \frac{\%aspal}{bj.aspal}}$$

=
$$\frac{100}{\frac{100}{2,665} + \frac{5,5}{1,035}} = 2,334\%$$
- i. Persentase volume aspal =
$$\frac{(b \times g) / bj. aspal}{1,035}$$

=
$$\frac{5,5\% \times 2,245}{1,035} = 11,930\%$$
- j. Persentase volume agregat =
$$\frac{((100-b) \times g) / bj.agregat}{2,587}$$

=
$$\frac{(100 - 5,5) \times 2,245}{2,587} = 82,011\%$$
- k. Persentase rongga terhadap campuran =
$$100 - ((100 \times g) / h)$$

$$= 100 - \frac{(100 \times 2,245)}{2,334} = 3,794\%$$

l. Persentase rongga terhadap agregat = $100 - ((g \times b) / bj.agregat)$
 $= 100 - \left(\frac{2,245 \times 5,5}{2,587}\right) = 33,882\%$

m. Persentase rongga terisi aspal = $1000 \times (i - k) / i$
 $= 1000 \times \frac{(33,882 - 3,794)}{33,882} = 88,802\%$

n. Kadar aspal efektif = 4,395

o. Pembacaan arloji stabilitas = 108

p. Kalibrasi proving ring = $(7,693 \times 110) + 0,316$
 $= 847$

q. Stabilitas akhir = $(134434 \times 510^{-1,8897}) \times 847$
 $= 860$

r. Kelelahan = 3,83 mm

Berikut analisis yang digunakan untuk menghitung parameter pengujian *Marshall* pada campuran belerang dengan variasi 4%,5%,6% :

Belerang 4% :

a. Persentase terhadap batuan = 6,6%

b. Persentase aspal terhadap campuran = 6,2%

c. Berat sampel kering = 1165 gr

d. Berat sampel jenuh = 1210 gr

e. Berat sampel dalam air = 685 gr

f. Volume sampel = Berat SSD – Berat Dalam Air
 $= 1210 - 685 = 525 \text{ cc}$

g. isi sampel = Berat Awal / Volume Sampel
 $= 1165 / 525 = 2,219 \text{ gr/cc}$

h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\frac{\%agregat}{bj.agregat} + \frac{\%aspal}{bj.aspal}}$

- $$= \frac{100}{\frac{100}{2,665} + \frac{5,5}{1,035}} = 2,295\%$$
- i. Persentase volume aspal $= (b \times g) / b_j \text{. aspal}$
 $= \frac{6,2\% \times 2,245}{1,035} = 13,38\%$
- j. Persentase volume agregat $= ((100-b) \times g) / b_j \text{. agregat}$
 $= \frac{(100 - 6,2) \times 2,245}{2,587} = 78,10\%$
- k. Persentase rongga terhadap campuran $= 100 - ((100 \times g) / h)$
 $= 100 - \frac{(100 \times 2,219)}{2,295} = 3,32\%$
- l. Persentase rongga terhadap agregat $= 100 - ((g \times b) / b_j \text{. agregat})$
 $= 100 - \left(\frac{2,219 \times 6,2}{2,587} \right) = 32,34\%$
- m. Persentase rongga terisi aspal $= 1000 \times (i - k) / i$
 $= 1000 \times \frac{(32,34 - 3,794)}{32,34} = 78,10\%$
- n. Kadar aspal efektif $= 6,5$
- o. Pembacaan arloji stabilitas $= 67$
- p. Kalibrasi proving ring $= (7,693 \times 110) + 0,316$
 $= 924$
- q. Stabilitas akhir $= (134434 \times 525^{-1,8897}) \times 924$
 $= 859$
- r. Kelelehan $= 2,8 \text{ mm}$

Belerang 5% :

- a. Persentase terhadap batuan $= 6,6\%$
- b. Persentase aspal terhadap campuran $= 6,2\%$
- c. Berat sampel kering $= 1182 \text{ gr}$
- d. Berat sampel jenuh $= 1225,1 \text{ gr}$
- e. Berat sampel dalam air $= 694 \text{ gr}$

- f. Volume sampel = Berat SSD – Berat Dalam Air
= 1225,1-694 = 531,1 cc
- g. isi sampel = Berat Awal / Volume Sampel
= 1182-531,1 = 2,226 gr/cc
- h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\frac{\%agregat}{bj.agregat} + \frac{\%aspal}{bj.aspal}}$
= $\frac{100}{\frac{100}{2,665} + \frac{6,2}{1,035}} = 2,295\%$
- i. Persentase volume aspal = (b x g) / bj. aspal
= $\frac{6,2\% \times 2,226}{1,035} = 13,42\%$
- j. Persentase volume agregat = ((100-b) x g) / bj.agregat
= $\frac{(100 - 6,2) \times 2,226}{2,587} = 78,33\%$
- k. Persentase rongga terhadap campuran = $100 - ((100 \times g) / h)$
= $100 - \frac{(100 \times 2,226)}{2,295} = 3,04\%$
- l. Persentase rongga terhadap agregat = $100 - ((g \times b) / bj.agregat)$
= $100 - \left(\frac{2,226 \times 6,2}{2,587}\right) = 32,32\%$
- m. Persentase rongga terisi aspal = $1000 \times (i - k) / i$
= $1000 \times \frac{(32,32 - 3,04)}{32,32} = 90,60\%$
- n. Kadar aspal efektif = 6,5
- o. Pembacaan arloji stabilitas = 85
- p. Kalibrasi proving ring = (7,693 x 110) + 0,316
= 1172
- q. Stabilitas akhir = $(134434 \times 532,1^{-1,8897}) \times 1125$
= 1125

r. Kelelehan = 3,3 mm

Belerang 6% :

- a. Persentase terhadap batuan = 6,6%
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 6,2%
- c. Berat sampel kering = 1140,2 gr
- d. Berat sampel jenuh = 1185,7 gr
- e. Berat sampel dalam air = 673,2 gr
- f. Volume sampel = Berat SSD – Berat Dalam Air
= 1185,7-673,2 = 512,2 cc
- g. isi sampel = Berat Awal / Volume Sampel
= 1140,2/512,2 = 2,225 gr/cc
- h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\frac{\%agregat}{bj.agregat} + \frac{\%aspal}{bj.aspal}}$
= $\frac{100}{\frac{6,2}{2,665} + \frac{6,2}{1,035}} = 2,295\%$
- i. Persentase volume aspal = (b x g) / bj. aspal
= $\frac{6,2\% \times 2,225}{1,035} = 13,41\%$
- j. Persentase volume agregat = ((100-b) x g) / bj.agregat
= $\frac{(100 - 6,2) \times 2,225}{2,587} = 78,30\%$
- k. Persentase rongga terhadap campuran = $100 - ((100 \times g) / h)$
= $100 - \frac{(100 \times 2,225)}{2,295} = 3,07\%$
- l. Persentase rongga terhadap agregat = $100 - ((g \times b) / bj.agregat)$
= $100 - \left(\frac{2,225 \times 6,2}{2,587}\right) = 32,33\%$
- m. Persentase rongga terisi aspal = $1000 \times (i - k) / i$
= $1000 \times \frac{(32,33 - 3,07)}{32,33} = 90,49\%$
- n. Kadar aspal efektif = 6,5

- o. Pembacaan arloji stabilitas = 84
- p. Kalibrasi proving ring = $(7,693 \times 110) + 0,316$
= 1158
- q. Stabilitas akhir = $(134434 \times 510^{-1,8897}) \times 1158$
= 1112
- r. Kelelehan = 3,5 mm

4.2. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

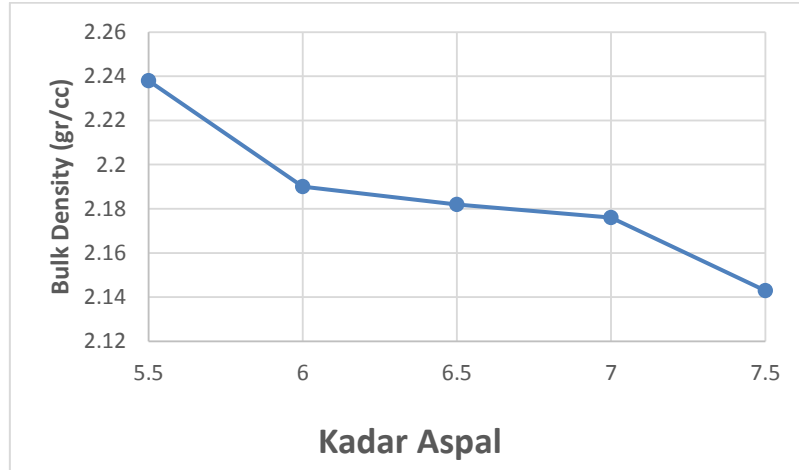
Berikut rekapitulasi perhitungan untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5%. Dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12 : Rekapitulasi hasil uji Marshall campuran normal.

Karakteristik	Spesifikasi		Kadar aspal %				
	Min	Max	5,5%	6%	6,5%	7%	7,5%
Bulk Density (gr/cc)	-	-	2,238	2,190	2,182	2,176	2,143
Stabilty (kg)	800	-	850	873	892	858	816
Air Voids (%)	3	5	4,109	5,104	4,396	3,582	4,034
Voids Filleds (%)	65	-	87,878	84,801	86,758	89,070	87,567
VMA (%)	15	-	33,897	33,576	33,173	32,766	32,442
Flow (mm)	2	4	3,61	3,85	4,13	4,32	4,83

4.2.1 Kepadatan (*Bulk Density*)

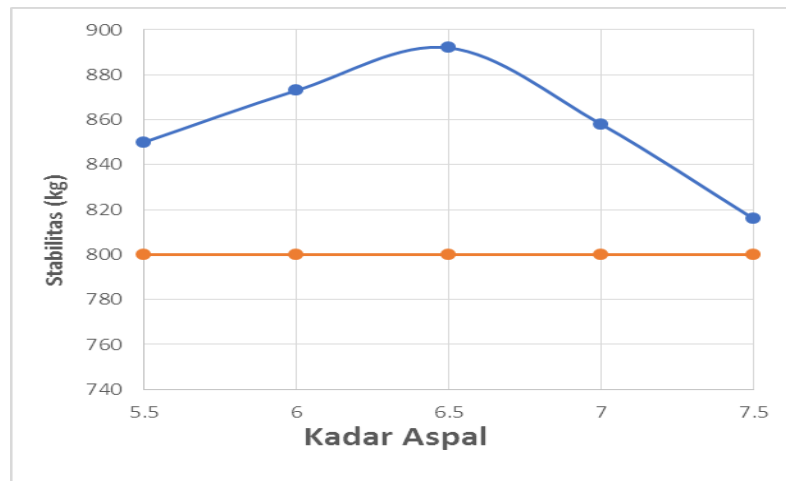
Hasil nilai *bulk density* pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 2,238 gr/cc, kadar 6% sebesar 2,190 gr/cc, kadar 6,5% sebesar 2,176 gr/cc, kadar 7% sebesar 2,176 gr/cc, dan kadar 7,5% sebesar 2,143 gr/cc. Dari hasil nilai *Bulk Density* dapat dilihat grafik



Gambar 4.2: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk density* (Kg) campuran normal.

4.2.2 Stabilitas (*Stability*)

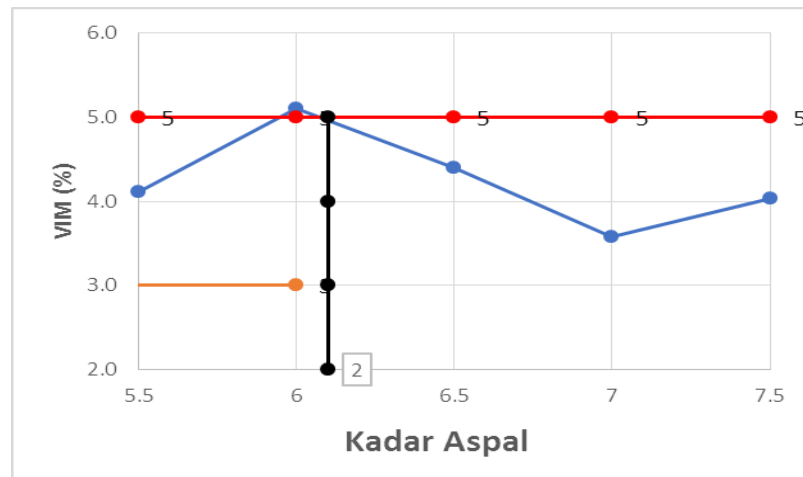
Hasil nilai stability pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 850 kg, kadar 6% sebesar 873 kg, kadar 6,5% sebesar 892 kg, kadar 7% sebesar 858 kg, dan kadar 7,5% sebesar 816 kg. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* (Kg) campuran normal.

4.2.3 Rongga Udara Dalam Campuran (*Air Voids/Voids in Mix Marshall, VIM*)

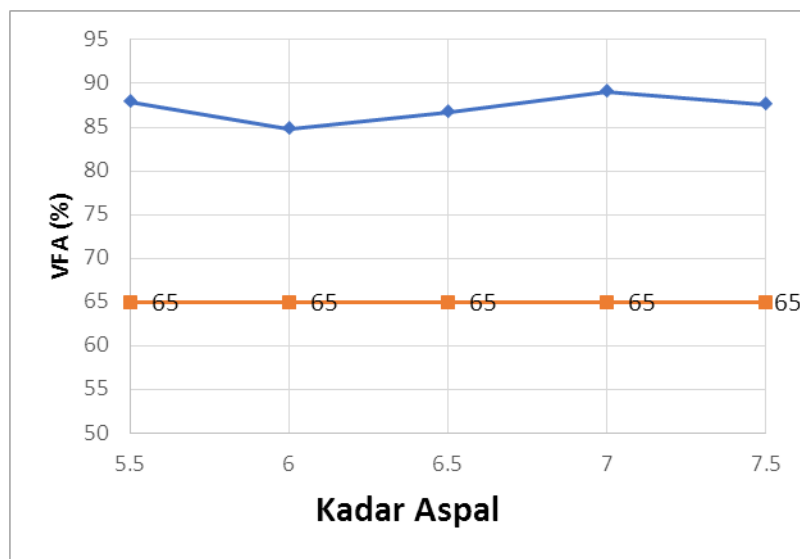
Hasil nilai VIM pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 4,109%, kadar 6% sebesar 5,104%, kadar 6,5% sebesar 4,396%, kadar 7% sebesar 3,582%, dan kadar 7,5% sebesar 4,034%. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) campuran normal.

4.2.4 Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled with Asphalt, VFA*)

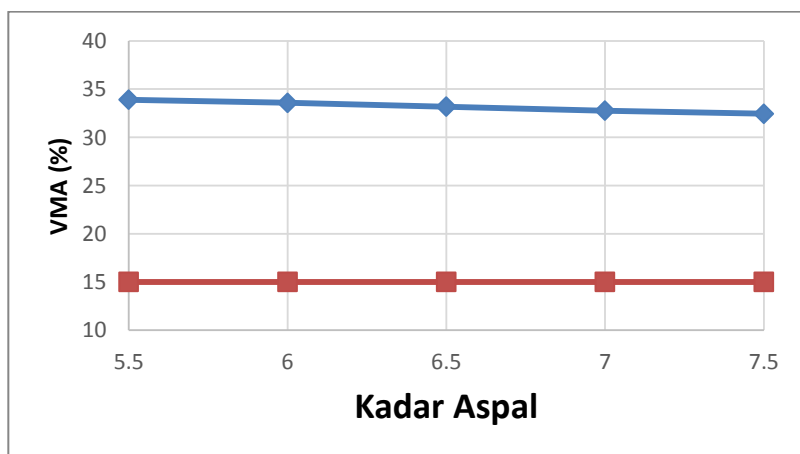
Hasil nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA) pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 87,878%, kadar 6% sebesar 84,801%, kadar 6,5% sebesar 86,758%, kadar 7% sebesar 89,07%, dan kadar 7,5% sebesar 87,567%. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VFA (%) campuran normal.

4.2.5 Rongga Antara Mineral Agregat (Void In Mineral Aggregate, VMA)

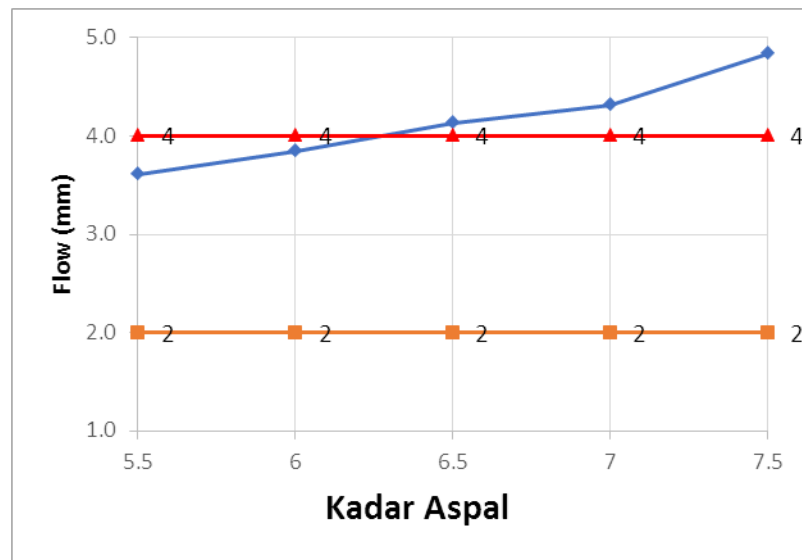
Hasil nilai *Void In Mineral Aggregate* (VMA) pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 33,897%, kadar 6% sebesar 33,576%, kadar 6,5% sebesar 33,173%, kadar 7% sebesar 32,766%, dan kadar 7,5% sebesar 32,442%. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) campuran normal.

4.2.6 Kelelehan (*Flow*)

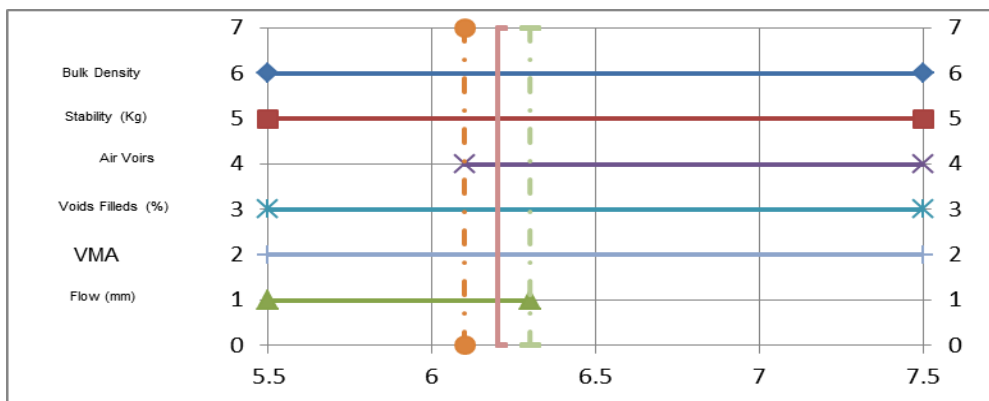
Hasil nilai kelelehan (*Flow*) ada aspal normal kadar 5,5% sebesar 3,61 mm, kadar 6% sebesar 3,85 mm, kadar 6,5% sebesar 4,13 mm, kadar 7% sebesar 4,32 mm, kadar 7,5% sebesar 4,83 mm. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4. 7: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan Flow (mm) Campuran normal.

4.2.7 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Hasil dari nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,2% dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8: Grafik KAO

4.3 Pembahasan Pengujian Marshall

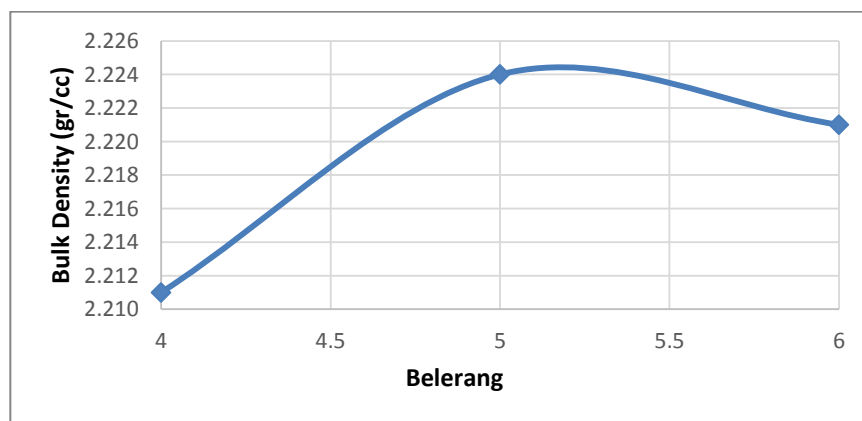
Berikut rekapitulasi perhitungan untuk campuran aspal substitusi belerang pada kadar 4%, 5%, dan 6%. Dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13 : Rekapitulasi hasil uji Marshall campuran substitusi Belerang 4%,5%, dan 6% pada keadaan KAO.

Karakteristik	Spesifikasi		Belerang %		
	Min	Max	4%	5%	6%
Bulk Density (gr/cc)	-	-	2,211	2,224	2,221
Stabilty (kg)	800	-	877,67	1080,37	1142,83
Air Voids (%)	3	5	3,66	3,10	3,23
Voids Filleds (%)	65	-	77,83	78,28	78,18
VMA (%)	15	-	13,33	13,41	13,39
Flow (mm)	2	4	2,77	3,47	3,48

4.3.1 Kepadatan (*Bulk Density*)

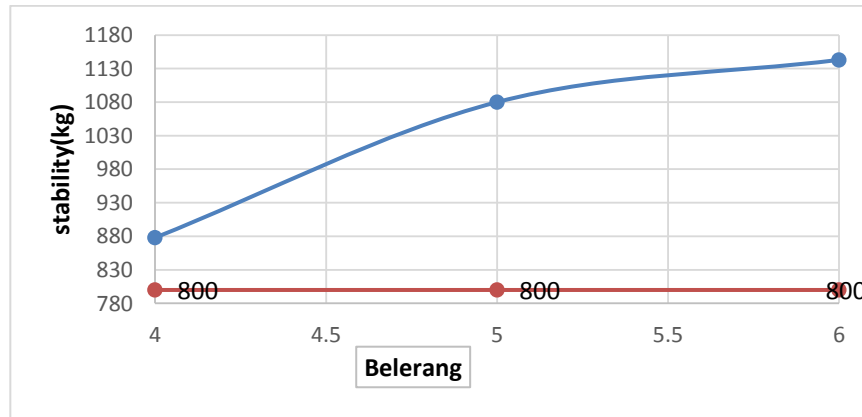
Hasil nilai *bulk density* pada kadar belerang 4% sebesar 2,211 gr/cc, kadar belerang 5% sebesar 2,224 gr/cc, dan kadar belerang 6% sebesar 2,221 gr/cc. Grafik dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) belerang 4%, 5%, dan 6%.

4.3.2 Stabilitas (*Stability*)

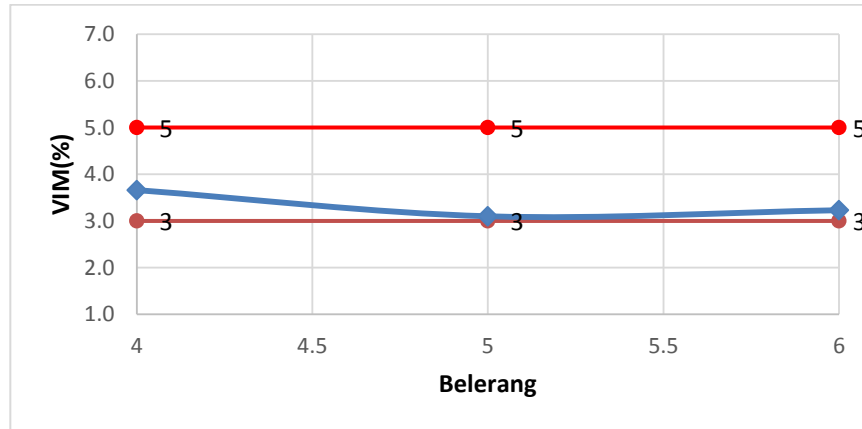
Nilai Stabilitas (*stability*) pada kadar belerang 4% sebesar 877,67 kg, kadar belerang 5% sebesar 1080,37 kg, dan kadar belerang 6% sebesar 1142,83 kg, sehingga memenuhi spesifikasi minimal 800 kg. Grafik dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan Stability (Kg) belerang 4%, 5%, 6%.

4.3.3 Rongga Udara Dalam Campuran (*Air Voids/Voids in Mix Marshall, VIM*)

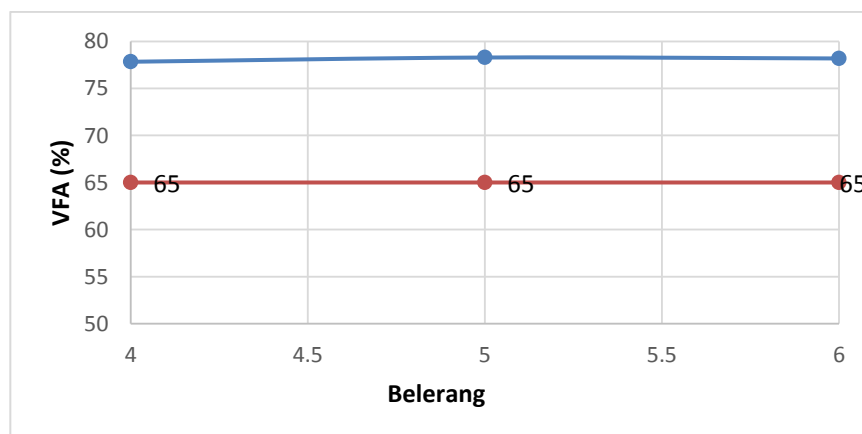
Nilai *Voids in Mix* (VIM) pada kadar belerang 4% sebesar 3,66%, kadar belerang 5% sebesar 3,10%, belerang 6% sebesar 3,23%, sehingga memenuhi spesifikasi antara 3% - 5%. Didapat nilai kadar belerang memenuhi spesifikasi, Belerang mengakibatkan rongga udara dalam campuran semakin kecil sehingga dapat memenuhi spesifikasi. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan Air Voids (VIM) (%) belerang 4%, 5%, 6%.

4.3.4 Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled with Asphalt, VFA*)

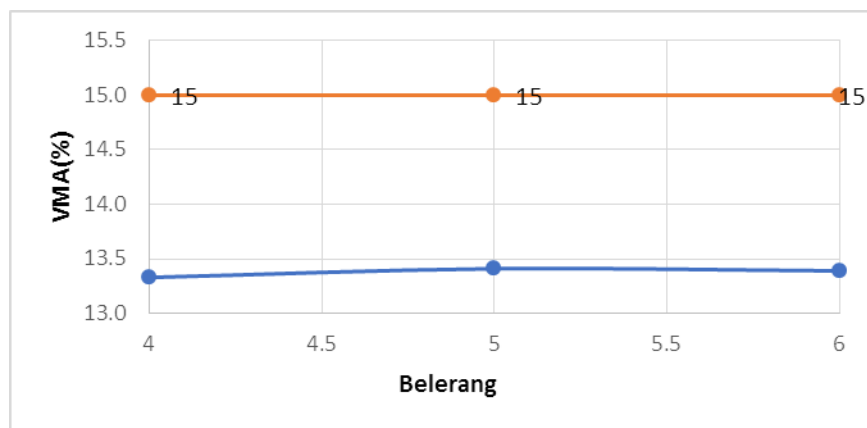
Nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA) pada kadar belerang 4% sebesar 77,83%, kadar belerang 5% sebesar 78,28%, dan kadar belerang 6% sebesar 78,18%, sehingga memenuhi spesifikasi minimal sebesar 65%. Penurunan nilai VFA diakibatkan oleh meningkatnya nilai VMA. Semakin besar VMA maka rongga terisi aspal (aspal yang menyelimuti agregat semakin kecil. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Voids Filled with Asphalt* (VFA) belerang 4%, 5%, 6%.

4.3.5 Rongga Antara Mineral Agregat (*Void In Mineral Agreggate, VMA*)

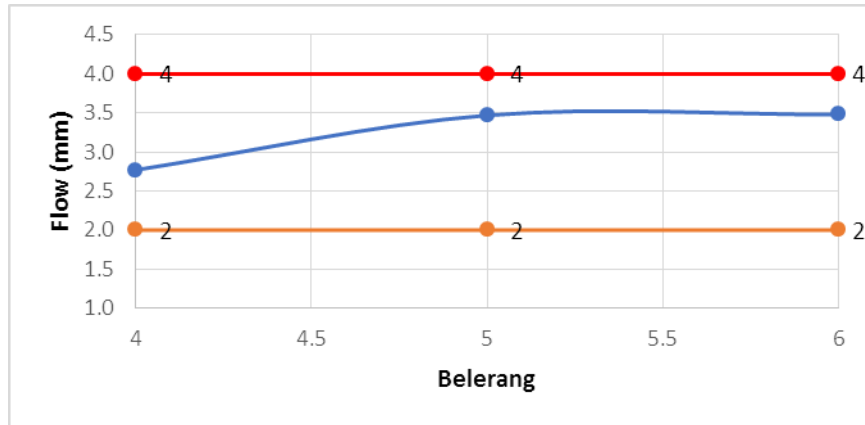
Nilai *Void In Mineral Agreggate* (VMA) pada kadar belerang 4% sebesar 13,33%, belerang 5% sebesar 13,41%, dan kadar belerang 6% sebesar 13,39%, sehingga tidak memenuhi spesifikasi minimal sebesar 15%. VMA cenderung meningkat akibat pemanasan aspal yang terlalu lama sehingga dapat mengakibatkan sifat aspal menjadi rusak, sehingga sulit untuk aspal merekat dengan butir agregat. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) belerang 4%, 5%, 6%.

4.3.6 Kelelehan (*Flow*)

Nilai Kelelehan (*flow*) pada kadar belerang 4% sebesar 2,77 mm, kadar belerang 5% sebesar 3,47 mm, kadar belerang 6% sebesar 3,48 mm, sehingga kadar belerang yang memenuhi spesifikasi adalah kadar 5% dan 6%. Semakin banyak belerang yang digunakan maka semakin besar kelelehan. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.19.



Gambar 4.14: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan Flow (mm) belerang 4%, 5%, 6%.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan menggunakan belerang, maka didapat kesimpulan :

1. Pengaruh Belerang pada aspal memiliki nilai kuat tarik tak langsung 50% lebih tinggi. Stabilitas Marshall dan kelelahan (flow) meningkat seiring dengan meningkatnya penambahan kadar belerang. Belerang menurunkan tingkat pengerasan aspal, perkerasan menjadi lebih tahan terhadap retakan.
2. Perubahan nilai karakteristik Marshall pada substitusi aspal dengan belerang, berikut adalah hasil pengujian dibawah ini :
 - Penambahan Belerang 4% dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 877,67 kg, Bulk Density 2,211 gr/cc, flow 2,77 mm, VFA 77,83%, VIM 3,66% dan VMA sebesar 13,33 %.
 - Penambahan Belerang 5% dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 1080,37 kg, Bulk Density 2,224 gr/cc, flow 3,47 mm, VFA 78,28 %, VIM 3,10 % dan VMA sebesar 13,41 %.
 - Penambahan Belerang 6% dimana diperoleh nilai stabilitas sebesar 1142,83 kg, Bulk Density 2,221 gr/cc, flow 3,48 mm, VFA 78,18%, VIM 3,23% dan VMA sebesar 13,39%.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa data dalam penelitian dapat diambil beberapa saran sebagai berikut:

1. Dalam melakukan pengujian Analisa Saringan dan Marshall diperlukan ketelitian agar tidak terjadi kesalahan.

2. Diperlukannya pemahaman tentang tahap perencanaan campuran aspal yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 serta Standart Nasional Indonesia agar memperkecil kesalahan dalam tahapan pembuatan campuran beraspal.

DAFTAR PUSTAKA

- (Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018). 2018. "Spesifikasi Umum 2018."
- Agustian, Kusmira, and Muhammad Ridha. 2018. "Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Dengan Menggunakan 6% Getah Damar Sebagai Bahan Substitusi Aspal." *Jurnal Teknik Sipil Unaya* 4 (1): 1. <https://doi.org/10.30601/unayaded.v4i1.193>.
- Badan Standardisasi Nasional. 1991. "Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall." *Sni 06-2489-1991*.
- Ilmiah Bidang Sains -Teknologi Murni Disiplin dan Antar Disiplin, Jurnal, Diterbitkan Oleh, Jalan Raya Kandang Limun Bengkulu, Pengaruh Penambahan Belerang dalam Hotmix Jenis AC-BC terhadap, Karakteristik Marshall Oleh, Lansul Bahri, Teknik Sipil, et al. 2012. "Pengaruh Penggantian (Retrofit) Refrigeran Halokarbon (R22) Menjadi 11 Refrigeran Hidrokarbon (IIRC22) Yang Ramah Lingkungan Terhadap Massa Refrigeran Optimum Mesin Pendingin Kompresi Uap Oleh Afdhal Kurniawan Mainil, *Telmik Mesin UNIB r Perbandingan Me*" I (10): 1978–8819.
- IRWANSYAH, RIZKI(2021). 2021. "Pengaruh Substitusi Styarofom Pada Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Asphalt Conctere – Wearing Course (AC-WC) Dengan Pengujian Marshall," no. February: 6.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. "General Specifications of Bina Marga 2018 for Road Works and Bridges," no. September.
- Mashuri. 2010. "Karakteristik Aspal Sebagai Bahan Pengikat Yang Ditambahkan Styrofoam." *SMARTek* 8 (1): 1–12.
- Mayssara A. Abo Hassanin Supervised, Affiifi. 2014. "Struktur Lapisan Jalan Lentur(2014)." Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents. 2014.
- Penambahan, Pengaruh, Belerang Pada, and Aspal Penetrasi. 2020. "(Studi Penelitian)."
- Razuardi, Razuardi, Sofyan M. Saleh, and Muhammad Isya. 2018. "Pengaruh

- Penambahan Buton Rock Asphalt (Bra) Sebagai Filler Pada Campuran Laston Lapis Aus (Ac-Wc).” *Jurnal Teknik Sipil* 1 (3): 715–24. <https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.10031>.
- Rompas, Christian Th, Fakultas Teknik, Jurusan Sipil, Universitas Sam, and Ratulangi Manado. 2018. “GESER TANAH” 6 (10): 793–800.
- Salani, E K A Putra, Program Studi, Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah, and Sumatera Utara. 2021. “Tugas Akhir.”
- Sebagai, Diajukan, Syarat Dalam, Program Studi, Teknik Sipil, and Singgih Agus Setiono. 2018. “Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tidar 2018.”
- Siregar, M. Imam Fadhli, and Marwan Lubis. 2019. “Analisa Pengaruh Penambahan Belerang Pada Aspal AC-WC Terhadap Nilai Stabilitas Dan Kelelahan Marshall.” *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation* 2 (1): 20. <https://doi.org/10.31289/jcebt.v2i1.1965>.
- “Tondi Mario Sitorus (1607210188).” n.d.

LAMPIRAN

Gambar L.1: Tabel data Marshall normal.

PROPERTIES OF HIGH DURABILITY ASPHALT MIXES BY THE MARSHALL METHOD SNI 06 – 2489 – 1991																			
Contoh		AC - WC		No		Material		%		Bulk		SSD		Apparent		Efektif		Normal	
Aspal	60/70	1	Coarse aggregate 1"	0%	0%	0%	0%	0%	0%	Bj Aspal	1,035								
Kalibrasi Prov	7,693 x 110 + 0,316	2	Coarse aggregate 3/4"	0%	0%	0%	0%	0%	0%	Bj Agregat	2,587								
		3	Medium aggregate 1/2"	45%	2,62	2,655	2,714	2,66		Eff	2,664								
		4	Cr	45%	2,526	2,604	2,74	2,62											
		5	Sand	10%	2,724	2,779	2,881	2,79											

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	5,8	5,5	1.145,0	1.150,0	640,0	510,0	2,245	2,334	11,930	82,011	3,794	33,882	88,802	4,395	108	847	860	3,83	225
2		5,5	1.182,0	1.187,0	654,0	533,0	2,218	2,334	11,785	81,008	4,971	33,940	85,354	4,395	108	831	858	3,50	245
3		5,5	1.168,0	1.184,0	665,0	519,0	2,250	2,334	11,959	82,207	3,563	33,870	89,479	4,395	108	823	831	3,51	237
		5,5	1.165,0	1.173,7	653,0	520,7	2,238	2,334	11,891	81,742	4,109	33,897	87,878	4,395	108	834	850	3,61	235
1	6,4	6	1.192,0	1.196,0	654,0	542,0	2,199	2,308	12,749	79,911	4,696	33,554	86,005	4,901	111	854	859	3,89	221
2		6	1.177,0	1.181,0	645,0	536,0	2,196	2,308	12,730	79,789	4,842	33,562	85,574	4,901	110	847	874	3,75	233
3		6	1.172,0	1.181,0	642,0	539,0	2,174	2,308	12,605	79,008	5,773	33,612	82,824	4,901	112	862	886	3,90	227
		6	1.180,3	1.186,0	647,0	539,0	2,190	2,308	12,695	79,569	5,104	33,576	84,801	4,901	111	854	873	3,85	227
1	6,9	6,5	1.177,0	1.182,0	635,0	547,0	2,152	2,282	13,513	77,769	5,716	33,248	82,809	5,407	114	877	902	3,81	237
2		6,5	1.184,0	1.190,0	645,0	545,0	2,172	2,282	13,644	78,518	4,807	33,196	85,520	5,407	111	854	875	4,84	181
3		6,5	1.184,0	1.190,0	657,0	533,0	2,221	2,282	13,951	80,286	2,664	33,073	91,946	5,407	114	877	899	3,75	240
		6,5	1.181,7	1.187,3	645,7	541,7	2,182	2,282	13,703	78,858	4,396	33,173	86,758	5,407	113	869	892	4,13	219
1	7,5	7	1.170,0	1.173,0	630,0	543,0	2,155	2,257	14,573	77,459	4,545	32,825	86,153	5,913	106	816	845	4,21	201
2		7	1.168,0	1.170,0	634,0	536,0	2,179	2,257	14,738	78,337	3,464	32,759	89,426	5,913	109	839	872	4,71	185
3		7	1.168,0	1.170,0	638,0	532,0	2,195	2,257	14,849	78,926	2,738	32,714	91,630	5,913	107	823	856	4,04	212
		7	1.168,7	1.171,0	634,0	537,0	2,176	2,400	14,720	78,240	3,582	32,766	89,070	5,913	107	826	858	4,32	199
1	8,1	7,5	1.189,0	1.191,0	639,0	552,0	2,154	2,233	15,609	77,017	3,536	32,410	89,090	6,418	105	808	807	5,20	155
2		7,5	1.183,0	1.184,0	630,0	554,0	2,135	2,233	15,474	76,352	4,369	32,464	86,541	6,418	105	808	819	4,90	167
3		7,5	1.183,0	1.184,0	631,0	553,0	2,139	2,233	15,502	76,490	4,196	32,453	87,069	6,418	106	816	823	4,40	187
		7,5	1.185,0	1.186,3	633,3	553,0	2,143	2,383	15,528	76,620	4,034	32,442	87,567	6,418	105	811	816	4,83	170

Keterangan

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

h = berat jenis maksimum $\frac{100}{\frac{\%agregat}{bj\ agregat} + \frac{\%aspal}{bj\ aspal}}$
 i = % volume aspal = (b x g) / bj aspal
 j = % volume agregat = ((100-b) x g) / bj agregat
 k = % rongga terhadap campuran = 100 - ((100 x g) / h)
 l = % rongga terhadap agregat = 100 - ((g x b) / bj agregat)

m = % rongga terisi aspal = 1000 x (l - k) / l
 n = kadar aspal efektif
 o = pembacaan arloji stabilitas
 p = kalibrasi proving ring
 q = stabilitas akhir
 r = kelelahan (mm) / 100
 s = marshall quotient = q/r

Tabel data Marshall campuran Belerang.

PROPERTIES OF HIGH DURABILITY ASPHALT MIXES BY THE MARSHALL METHOD SNI 06-2489-1991																			
																Belerang			
Contoh	AC - WC						No	Material			%	Bulk	SSD	Apparent	Effektif				
Aspal	60/70						1	Coarse aggregate 1"			0%	0%	0%	0%	0%	Bj Aspal	1.035		
Kali brasi Prov	7,693x 110+0,316						2	Coarse aggregate 3/4"			0%	0%	0%	0%	0%	Bj Agregat	2.587		
							3	Medium aggregate 1/2"			45%	2.661	2.691	2.742	2.70	Eff	2.664		
							4	Cr			43%	2.524	2.585	2.829	2.65				
							5	Sand			10%	2.513	2.551	2.613	2.50				
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s
1	66	6.24	1,165.0	1,210.0	685.0	525.0	2.219	2.295	13.38	78.10	3.32	32.34	89.72	6.5	67	924	859	2.8	307
2		6.24	1,161.2	1,205.0	675.2	529.8	2.192	2.295	13.21	77.14	4.51	32.40	86.08	6.5	66	910	874	2.6	336
3		6.24	1,167.0	1,207.2	682.3	524.9	2.223	2.295	13.40	78.25	3.14	32.33	90.29	6.5	68	938	900	2.90	310
		6.24	1,164.4	1,207.4	680.8	526.6	2.211	2.295	13.33	77.83	3.66	32.36	88.70	6.5	67	924	878	2.77	318
1	66	6.24	1,182.0	1,225.1	694.0	531.1	2.226	2.295	13.42	78.33	3.04	32.32	90.60	6.5	85	1172	1125	3.3	341
2		6.24	1,164.1	1,204.7	681.5	523.2	2.225	2.295	13.41	78.31	3.07	32.33	90.51	6.5	82	1131	1052	3.65	288
3		6.24	1,176.2	1,219.4	690.0	529.4	2.222	2.295	13.39	78.20	3.21	32.33	90.09	6.5	83	1144	1064	3.45	308
		6.24	1,174.1	1,216.4	688.5	527.9	2.224	2.30	13.41	78.28	3.10	32.33	90.40	6.5	83	1149	1080	3.47	313
1	66	6.24	1,140.2	1,185.7	673.2	512.5	2.225	2.295	13.41	78.30	3.07	32.33	90.49	6.5	84	1158	1112	3.5	318
2		6.24	1,140.7	1,195.8	682.1	513.7	2.221	2.295	13.39	78.15	3.26	32.34	89.92	6.5	88	1213	1164	3.4	342
3		6.24	1,147.0	1,198.2	681.2	517.0	2.219	2.295	13.38	78.08	3.34	32.34	89.66	6.5	87	1200	1152	3.55	325
		6.24	1,142.6	1,193.2	678.8	514.4	2.221	2.295	13.39	78.18	3.23	32.33	90.02	6.5	86	1190	1143	3.48	328
Keterangan																			
a =% aspal terhadap batuan						h = berat jenis maksimum $\frac{100}{\frac{\% agregat}{bj agregat} + \frac{\% aspal}{bj aspal}}$						m =% rongga terisi aspal = $100 \times (1 - k) / l$							
b =% aspal terhadap campuran												n = kadar aspal efektif							
c = berat sampel kering (gr)												o = pembacaan arloji stabilitas							
d = berat sampel jenuh (gr)						i =% volume aspal = $(b \times g) / bj aspal$						p = kalibrasi proving ring							
e = berat sampel dalam air (gr)						j =% volume agregat = $((100 - b) \times g) / bj agregat$						q = stabilitas akhir							
f = volume sampel (cc) = $d - e$						k =% rongga terhadap campuran = $100 - ((100 \times g) / h)$						r = kelelahan (mm) / 100							
g = berat isi sampel (gr/cc) = c / f						l =% rongga terhadap agregat = $100 - ((g \times b) / bj agregat)$						s = marshall quotient = c / r							

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

Nama : Ricko Abdul Malik
NPM : 1607210217
Judul Tugas Akhir : Pengaruh penambahan Belerang pada campuran aspal penetrasi 60/70
Terhadap karakteristik marshall untuk perkerasan AC- WC.

Dosen Pembanding – I : Mhd Husin Gultom ST. MT
Dosen Pembanding – II : Dr Fahrizal Zulkarnain
Dosen Pembimbing – : Ir Zurkiyah MT

KEPUTUSAN

1. Baik dapat diterima ke sidang sarjana (collogium)
2. Dapat mengikuti sidang sarjana (collogium) setelah selesai melaksanakan perbaikan antara lain :
Perbaikan: analisa data
.....
.....
.....
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :
Mac. 22/3. 2023
cf
.....
.....
.....

Medan, 18 Sya'ban 1444 H
10 Maret 2023 M

Diketahui :
Ketua Prodi. T. Sipil

Dosen Pembanding I



Dr Fahrizal Zulkarnain



Mhd Husin Gultom ST. MT



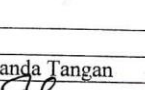

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK Sipil
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2022 – 2023**

Peserta seminar

Nama : Ricko Abdul Malik

NPM : 1607210217

Judul Tugas Akhir : Pengaruh penambahan Belerang pada campuran aspal penetrasi 60/70 terhadap karakteristik marshall untuk perkerasan AC- WC

DAFTAR HADIR			TANDA TANGAN
Pembimbing –	: Ir Zurkiyah MT		: 
Pemanding – I	: Mhd Husin Gultom ST. MT		: 
Pemanding – II	: Dr Fahrizal Zulkarnain		: 
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1	1607210217	RICKO ABDUL MALIK	
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 18 Sya'ban 1444 H
10 Maret 2023 M

Ketua Prodi. T. Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain



FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

LEMBAR ASISTENSI

PROPOSAL

ANALISA PENGARUH PENAMBAHAN BELERANG PADA ASPAL AC-
WC TERHADAP NILAI STABILITAS DAN KELELEHAN MARSHALL

NAMA : RICKO ABDUL MALIK

NPM : 1607210217

KELAS : A.2 Transportasi

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
1	5-7-2021	- Judul di perbaiki / ganti - Untuk rumus & tujua - Bab 3 di mulai dari lagi abr puektia	
2	28-7-2021	- Perbaiki letak halaman bagian alir - - Buat identifikasi wasalidng.	
3	2-8-2021	Acc u/ di seminar Proposal kan.	

DOSEN PEMBIMBING

Ir. Zurkiyah M.T



**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA**
Jl. Kapten Mukhtar Basri No.3 Medan Telp. (061)6622400

**LEMBAR ASISTENSI
PROPOSAL**

**PENGARUH PENAMBAHAN BELERANG PADA CAMPURAN ASPAL
PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL UNTUK
PERKESAN AC-WC**

NAMA : RICKO ABDUL MALIK

NPM : 1607210217

KELAS : A.2 Transportasi

No	Tanggal	Keterangan	Paraf
	17 / 02 2023	- Perbaiki penulisan BAB - Perbaiki Tabel Marshall - Perbaiki di setiap sub tabel - Perbaiki kesimpulan	
	23/02-2023	Acc U/summa	

DOSEN PEMBIMBING

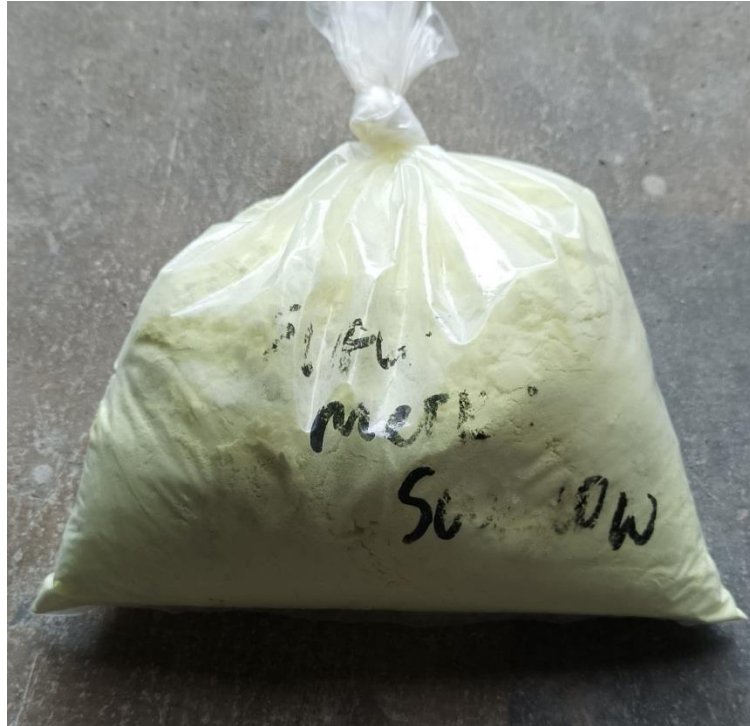
Ir. Zurkiyah M.T



Gambar L. 2 : Agregat Kasar MA.



Gambar L.3 : Pasir.



Gambar L.4 : Belerang



Gambar L.5 : Proses pencampuran aspal dan agregat



Gambar L.6 : Proses memasukkan campuran kedalam cetakan.



Gambar L.7 : Proses pemadatan campuran.



Gambar L.8 :Proses pengukurans suhu Aspal sebesar 160°C



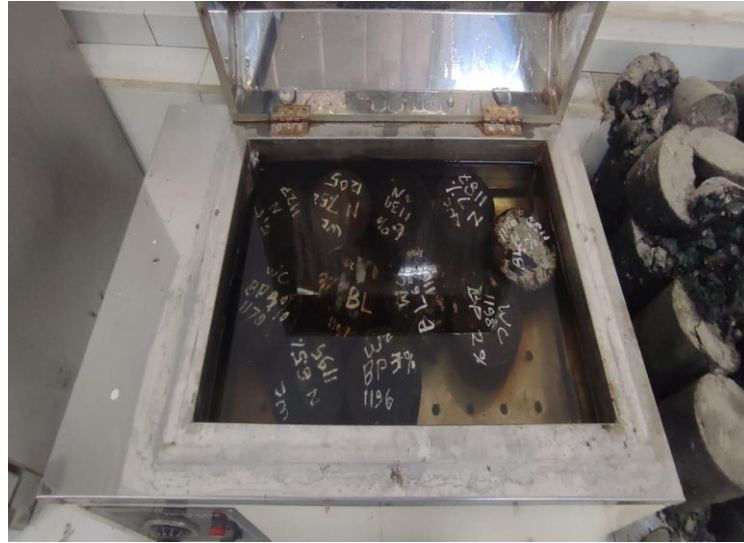
Gambar L.9 : Alat Uji *Marshall*



Gambar L.12 : Proses Penimbangan Benda Uji



Gambar L.13 : Proses Pengeluaran Benda Uji Dari Cetakan



Gambar L.14 : Sampel Benda Uji Aspal

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama : Ricko Abdul Malik
Panggilan : Riko
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 16 Mei 1997
Jenis Kelamin : Laki-laki
Alamat Sekarang : Jl. Bilal Gg.Bakti No.09
HP/Tlpn Seluler : 0859-9594-8451

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1607210217
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
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 060866	2009
Sekolah Menengah Pertama	SMP Pahlawan Nasional Medan	2012
Sekolah Menengah Atas	SMA Dharmawangsa Medan	2015
