

TUGAS AKHIR

**PENGARUH SUBSTITUSI *STYROFOAM* PADA CAMPURAN ASPHALT
CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC) DENGAN PENGUJIAN
MARSHALL
(Studi Penelitian)**

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

DISUSUN OLEH:

NAUVAL RIZKY

1607210160



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

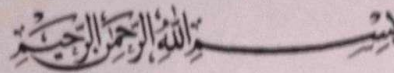
**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
2021**



**MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN & PENGEMBANGAN
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
FAKULTAS TEKNIK**

Jalan Kapten Mukhtar Basri No. 3 Medan 20238 Telp. (061) 6622400 – EXT. 12
Website : <http://fatek.umsu.ac.id> Email : fatek@umsu.ac.id

sejawab surat ini agar disebutkan
dan tanggalnya



LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Nauval Rizky
NPM : 1607210160
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Styrofoam Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall
Bidang Ilmu : Transportasi



DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

UMSU
Medan, 29 Januari 2021
Dosen Pembimbing

Unggul | *af* | Terpercaya

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

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

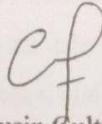
Nama : Nauval Rizky
NPM : 1607210160
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi *Styrofoam* Pada Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall
Bidang Ilmu : Transportasi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 29 Januari 2021

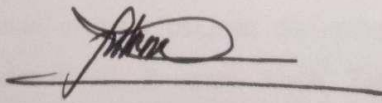
Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



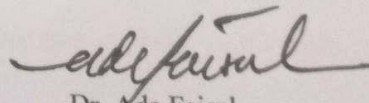
Muhammad Husin Gultom, S.T, M.T.

Dosen Pembanding I



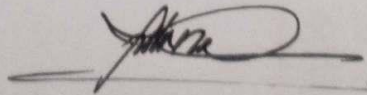
Dr. Fahrizal Zulkarnain

Dosen Pembanding II



Dr. Ade Faisal

Ketua Prodi Teknik Sipil



Dr. Fahrizal Zulkarnain

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Nauval Rizky
Tempat, Tanggal Lahir : Sigli, 20 Desember 1998
NPM : 1607210160
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil

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

“Pengaruh Substitusi *Styrofoam* Pada Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall”

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, 29 Januari 2020

Saya yang menyatakan,



ABSTRAK

PENGARUH SUBSTITUSI *STYROFOAM* PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC) DENGAN PENGUJIAN MARSHALL

Nauval Rizky

1607210160

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

Material yang digunakan dalam pembuatan jalan diantaranya adalah aspal dan agregat. Penggunaan aspal murni dalam pembuatan sangat mempengaruhi ketersediaan aspal yang ada di dunia. Untuk meminimalisir penggunaan aspal dalam pembuatan jalan maka digunakan aspal modifikasi. Aspal modifikasi terdiri campuran material lain yang digunakan sebagai material penyusun aspal. Penggunaan aspal modifikasi menggunakan bahan campuran *styrofoam* masih harus melewati beberapa tahapan pengujian dan evaluasi. Pengujian dan evaluasi bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari aspal modifikasi apabila diterapkan sebagai material pembuatan jalan raya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya nilai perbandingan karakteristik aspal yang menggunakan substitusi *Styrofoam* dengan aspal yang tidak menggunakan *Styrofoam*. Aspal yang digunakan pada penelitian adalah aspal dengan penetrasi 60/70 dengan Persentase campuran *styrofoam* yang digunakan adalah 2%, 2,5%, dan 3% dari total berat Kadar Aspal Optimum. Pada setiap variasi campuran terdapat 3 benda uji. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 5,99%. Nilai *bulk density* pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 2,346 gr/cc, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 2,357 gr/cc, kadar *styrofoam* 3% sebesar 2,356 gr/cc. Nilai *stability* pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 828 kg, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 853 kg, kadar *styrofoam* 3% sebesar 878 kg. Nilai VIM pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 3,66%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 3,20%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 3,25%. Nilai VFA pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 76,42%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 78,08%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 78,94%. Nilai VMA pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 14,9%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 14,5%, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 15,3%. Nilai flow pada kadar 2% sebesar 2,47 mm, pada kadar 2,5% sebesar 2,76 mm, kadar 3% sebesar 3,01 mm. Aspal dengan campuran *styrofoam* memenuhi nilai spesifikasi

Kata Kunci: *Styrofoam*, Nilai flow, Kadar Aspal Optimum

ABSTRACT

THE EFFECT OF SUBSTITUTION STYROFOAM ON ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE (AC-BC) MIXING WITH MARSHALL TESTING

Nauval Rizky

1607210160

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

The materials used in road construction include asphalt and aggregate. The use of pure asphalt in manufacturing greatly affects the availability of asphalt in the world. To minimize the use of asphalt in road construction, modified asphalt is used. Modified asphalt consists of a mixture of other materials used as a constituent of asphalt. The use of modified asphalt using mixture styrofoam still has to go through several stages of testing and evaluation. Testing and evaluation aims to determine the strength of modified asphalt when applied as a road construction material. This study aims to determine the comparative value of the characteristics of asphalt using substitution Styrofoam with asphalt that does not use Styrofoam. The asphalt used in this research is asphalt with 60/70 penetration with the percentage of the mixture styrofoam used is 2%, 2.5%, and 3% of the total weight of the optimal asphalt content. In each variation of the mixture there are 3 test objects. From the tests carried out, it was found that the optimum asphalt content value was 5.99%. The bulk density value at 2% styrofoam content was 2.346 gr / cc, 2.5% styrofoam content was 2.357 gr / cc, 3% styrofoam content was 2.356 gr / cc. The value stability at 2% styrofoam content was 828 kg, 2.5% styrofoam content was 853 kg, 3% styrofoam content was 878 kg. The VIM value at the 2% styrofoam content was 3.66%, the 2.5% styrofoam content was 3.20%, the 3% styrofoam content was 3.25%. The VFA value at the 2% styrofoam content was 76.42%, the 2.5% styrofoam content was 78.08%, the 3% styrofoam content was 78.94%. The VMA value at the 2% styrofoam content was 14.9%, the 2.5% styrofoam content was 14.5%, and the 3% styrofoam content was 15.3%. The flow value at 2% level is 2.47 mm, at 2.5% level is 2.76 mm, at 3% level is 3.01 mm. Asphalt with mixture styrofoam meets specification values.

Keywords: Styrofoam, Flow Value, Optimum Asphalt Content

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji syukur penulis ucapkan kepada ALLAH SWT berkat dan rahmatnya penulis dapat menyelesaikan skripsi penelitian pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Judul dari skripsi ini adalah “Pengaruh Substitusi *Styrofoam* Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall”.

Didalam penulisan skripsi ini penulis telah berusaha dan berupaya dengan segala kemampuan yang ada, namun penulis menyadari masih terdapat kekurangan didalamnya, untuk itu penulis dengan rasa rendah hati bersedia menerima saran dan kritik yang sifatnya membangun dalam perbaikan skripsi penelitian ini kedepannya. Dalam mempersiapkan skripsi ini, penulis banyak menerima bantuan berupa bimbingan dan petunjuk. Untuk itu pada kesempatan ini izinkanlah penulis untuk mengucapkan banyak terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan skripsi ini:

1. Bapak Muhammad Husin Gultom, S.T, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang selama ini bersedia meluangkan waktu dan memberikan bantuannya kepada penulis dalam mempersiapkan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, selaku Dosen Pembimbing I sekaligus Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan masukan.
3. Bapak Dr. Ade Faisal. selaku Dosen Pembimbing II sekaligus Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan masukan.
4. Ibu Irma Dewi, S.T, M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Bapak Munawar Alfansuri S.T, M.T. 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 materi pembelajaran Teknik Sipil kepada penulis.
7. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
8. Kedua orang tua, Ayahanda Wagiran dan Ibunda Radhiah Yusuf tercinta yang telah mengasuh dan membesarkan penulis dengan rasa cinta dan kasih sayang yang tulus dan tak terhingga sampai akhir hayat serta telah memberikan dorongan, semangat, doa serta cinta kasih yang begitu dalam kepada penulis.
9. Terimakasih kepada rekan-rekan seperjuangan Teknik Sipil Stambuk 2016 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas doa dan dukungannya.

Terimakasih atas bantuan, kebersamaannya, waktu serta dan dukungannya selama ini kepada penulis. Semoga ALLAH SWT membalas kebaikan yang telah diberikan kepada penulis, semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Medan, 29 Januari 2021

Penulis



Nauval Rizky
NPM.1607210160

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan Penelitian	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penelitian	3
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1. Aspal	4
2.2. Sifat Fisik Aspal	6
2.3. Perkerasan Jalan	6
2.4. Agregat	7
2.4.1. Agregat Kasar	8
2.4.2. Agregat Halus	9
2.4.3. Gradasi Agregat Gabungan	10
2.5. <i>Styrofoam</i>	11
2.6. Campuran Beton Aspal Sebagai Lapis Perkerasan	12
2.7. Metode Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI 03-1968-1990)	15
2.7.1. Peralatan	15

2.7.2. Benda Uji	16
2.7.3. Cara Pengujian	16
2.8. Pengujian Marshall	17
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	24
3.1. Metode Penelitian	24
3.1.1. Data Primer	26
3.1.2. Data Sekunder	26
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.3. Bahan dan Peralatan	26
3.3.1. Bahan	26
3.3.2. Peralatan	26
3.4. Persiapan Material	27
3.5. Pemeriksaan Agregat	27
3.6. Pembuatan Benda Uji	27
3.7. Pengujian dengan Alat <i>Marshall</i>	29
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Hasil Penelitian	31
4.1.1. Pemeriksaan Gradasi Agregat	31
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat	35
4.1.3. Hasil Pemeriksaan Aspal	37
4.1.4. Pemeriksaan Terhadap Parameter Benda Uji	38
4.2. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum	40
4.3. Pembahasan dan Analisis	41
4.3.1 <i>Bulk Density</i>	41
4.3.2. Stabilitas (<i>Stability</i>)	42
4.3.3. Rongga Udara Dalam Campuran (<i>Air Voids/ VIM</i>)	43
4.3.4. Rongga Terisi Aspal (<i>VFA</i>)	44
4.3.5. Rongga Antara Mineral Agregat (<i>VMA</i>)	45
4.3.6. Kelelehan (<i>Flow</i>)	46

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN	48
5.1 Kesimpulan	48
5.2 Saran	49
DAFTAR PUSTAKA	51
LAMPIRAN	51

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	: Alat Pengujian <i>Marshall</i>	17
Gambar 2.2	: Grafik Angka Korelasi Beban (Stabilitas)	23
Gambar 3.1	: Bagan Alir	25
Gambar 4.1	: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat	33
Gambar 4.2	: Grafik KAO	40
Gambar 4.3	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density (gr/cc)</i> campuran normal	41
Gambar 4.4	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density (gr/cc)</i> <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%	42
Gambar 4.5	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Stability (Kg)</i> campuran normal	42
Gambar 4.6	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Stability (Kg)</i> <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%	43
Gambar 4.7	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids (VIM) (%)</i> Campuran normal	43
Gambar 4.8	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids (VIM) (%)</i> <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%	44
Gambar 4.9	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Voids Filleds (%)</i> Campuran Normal	44
Gambar 4.10	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids (VIM) (%)</i> <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%	45
Gambar 4.11	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>VMA (%)</i> Campuran normal	45
Gambar 4.12	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>VMA (%)</i> <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%	46
Gambar 4.13	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Flow (mm)</i> Campuran normal	46
Gambar 4.14	: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Flow (mm)</i> <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%	47

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	: Ketentuan Agregat Kasar (Spesifikasi Bina Marga 2018)	8
Tabel 2.2	: Ketentuan Agregat Halus (Spesifikasi Bina Marga 2018)	10
Tabel 2.3	: Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Bina Marga 2018)	11
Tabel 2.4	: Contoh Batas-Batas “Bahan Bergradasi Senjang” (Spesifikasi Bina Marga 2018)	11
Tabel 2.5	: Ketentuan Untuk Aspal Keras (Spesifikasi Bina Marga 2018)	12
Tabel 2.6	: Ketentuan Sifat Campuran Laston (Spesifikasi Bina Marga 2018)	14
Tabel 2.7	: Ketentuan Sifat Campuran Laston Modifikasi (Spesifikasi Bina Marga 2018)	15
Tabel 2.8	: Angka Korelasi Beban (Stabilitas)	22
Tabel 4.1	: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar $\frac{3}{4}$ ” inch	31
Tabel 4.2	: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar $\frac{1}{2}$ inch	31
Tabel 4.3	: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus pasir (<i>Sand</i>)	32
Tabel 4.4	: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr)	32
Tabel 4.5	: Hasil kombinasi gradasi agregat standar	33
Tabel 4.6	: Persenan agregat yang di peroleh pada normal	34
Tabel 4.7	: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji standar	34
Tabel 4.8	: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji penggunaan styrofoam 2%,2,5%, 3%, pada KAO	34
Tabel 4.9	: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ inch	35
Tabel 4.10	: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar MA $\frac{1}{2}$ inch	36
Tabel 4.11	: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir (<i>sand</i>)	36
Tabel 4.12	: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu batu	37
Tabel 4.13	: Hasil pemeriksaan karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70 (PT. Tri Murti Patumbak)	38
Tabel 4.14	: Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran Normal	40
Tabel 4.15	: Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran substitusi <i>styrofoam</i> 2%,2,5%, 3% pada keadaan KAO	41

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan limbah *styrofoam* sebagai bahan alternatif untuk perkuatan perkerasan aspal merupakan suatu ide cemerlang, karena bisa mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang ke lingkungan, mengingat jumlah limbah *styrofoam* selalu meningkat dari tahun ke tahun (Adly, 2016).

Jalan adalah salah satu faktor yang mempengaruhi perkembangan pembangunan di Indonesia. Kualitas jalan sebanding dengan tingkat kelancaran transportasi jalan. Salah satu faktor yang mempengaruhi kualitas jalan raya adalah material yang digunakan dalam pembuatan jalan. Material yang digunakan dalam pembuatan jalan diantaranya adalah aspal dan agregat. Penggunaan aspal murni dalam pembuatan sangat mempengaruhi ketersediaan aspal yang ada di dunia. Untuk meminimalisir penggunaan aspal dalam pembuatan jalan maka digunakan aspal modifikasi. Aspal modifikasi terdiri campuran material lain yang digunakan sebagai material penyusun aspal. Pencampuran material tersebut membuat penggunaan aspal menjadi berkurang. Ada beberapa material yang dapat digunakan sebagai material pencampur aspal yaitu salah satunya adalah *styrofoam*. *Styrofoam* memiliki sifat yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. Hal ini membuat *styrofoam* memiliki potensi menjadi material pencampur yang digunakan untuk membuat aspal modifikasi. *Styrofoam* digunakan didasarkan pada cukup banyaknya penggunaan dalam kehidupan sehari-hari tetapi sedikit dimanfaatkan. Penggunaan aspal modifikasi menggunakan bahan campuran *styrofoam* masih harus melewati beberapa tahapan pengujian dan evaluasi. Pengujian dan evaluasi bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari aspal modifikasi apabila diterapkan sebagai material pembuatan jalan raya. *Styrofoam* adalah salah satu jenis polimer plastic yang bersifat termoplastik yang mana jika di panaskan akan menjadi lunak dan mengeras kembali jika telah dingin. Bila dicampur dengan bensin, *Styrofoam* akan melunak dan dapat berfungsi sebagai perekat. Selain itu juga memiliki sifat tahan terhadap

asam, basa, dan sifat korosif lainnya seperti garam dan memiliki sifat mudah larut dalam *hydrocarbon aromatic* (Adly, 2016).

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Apakah substitusi *Styrofoam* dapat digunakan pada aspal penetrasi 60/70?
2. Apakah ada perbandingan karakteristik *Marshall* yang menggunakan substitusi *Styrofoam* dengan yang tidak menggunakan *Styrofoam*?

1.3. Ruang Lingkup

Pada penelitian ini permasalahan dibatasi pada:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
2. Ketentuan bahan penelitian antara lain:
 - a. Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70.
 - b. Agregat Kasar (Batu pecah) dan Agregat Halus (Pasir) berasal dari binjai.
 - c. *Styrofoam* berasal dari limbah dekorasi *wedding organizer*.
 - d. Persentase campuran *styrofoam* yang digunakan adalah 2%, 2,5%, dan 3% dari total berat Kadar Aspal Optimum. Pada setiap variasi campuran terdapat 3 benda uji.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan pada penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui pengaruh substitusi styrofoam pada campuran AC-BC penetrasi 60/70 terhadap karakteristik *Marshall*.
2. Untuk mengetahui nilai perbandingan karakteristik *Marshall* yang menggunakan substitusi *Styrofoam* dengan karakteristik *Marshall* yang tidak menggunakan *Styrofoam* pada campuran aspal AC-BC.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan pada perkerasan lentur Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) yang disubstitusikan dengan *Styrofoam*.

1.6. Sistematika Penelitian

BAB 1 PENDAHULUAN:

Bab ini menyajikan pendahuluan yang meliputi latar belakang masalah, permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitian.

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA:

Bab ini membahas tentang landasan teori yang mencakup pengertian keadaan social ekonomi, prestasi belajar, kerangka berfikir, dan hipotesis.

BAB 3 METODE PENELITIAN:

Bab ini membahas mengenai kerangka penentuan obyek penelitian, metode pengumpulan data, dan analisis data.

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN:

Bab ini menyajikan tentang laporan hasil penelitian dan pembahasan dari penelitian sehingga data yang ada mempunyai arti.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN:

Bab ini menyajikan kesimpulan hasil penelitian yang ditarik dari Analisa data, hipotesis dan pembahasan serta saran yang memuat masukan-masukan dari penulis yang terkait dengan penelitian dan diuraikan kelemahan penelitian.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Aspal

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan.

Bahan dasar dari aspal adalah hidrokarbon yang umum disebut sebagai bitumen. Aspal yang umum digunakan saat ini terutama berasal dari salah satu hasil destilasi minyak bumi, dan disamping itu mulai banyak pula digunakan aspal yang berasal dari pulau Buton. Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya 4%-10% berdasarkan berat atau 10%-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal (Maulana, 2019).

Aspal merupakan bahan yang larut dalam Karbon Disulfida yang mempunyai sifat tidak tembus air dan mempunyai sifat adesi atau daya lekat sehingga umum digunakan dalam campuran perkerasan jalan dimana aspal sebagai bahan pengikatnya. 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 aspal gunung seperti aspal 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).

Secara Umum Menurut Bina Marga 2018, campuran aspal panas dapat diklasifikasikan dalam :

1) *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Stone Matrix Asphalt (SMA), terdiri dari tiga jenis: SMA Tipis, SMA Halus dan SMA Kasar, dengan ukuran partikel maksimum agregat masing-masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm, 25 mm. Setiap campuran SMA yang menggunakan bahan aspal polymer disebut masing-masing sebagai SMA Tipis Modifikasi, SMA Halus Modifikasi dan SMA Kasar Modifikasi.

2) *Lapisan Tipis Aspal Beton (Hot Rolled Sheet)*

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

3) *Lapis Aspal Beton (Asphalt Concrete)*

Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis: AC Lapis Aus (AC-WC), AC Lapis Antara (AC-BC) dan AC Lapis Fondasi (AC-Base) dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal polymer disebut masing-masing sebagai AC-WC Modifikasi, dan AC-Base Modifikasi.

Ciri lain aspal 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:

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

Sebagai lapis permukaan perkerasan jalan, Laston (AC) mempunyai nilai struktur, kedap air, dan mempunyai stabilitas tinggi (Supriadi.T, Syafaruddin AS, 2010).

2.2. Sifat Fisik Aspal

Aspal sebagai bahan pengikat sering dikarakterisasi sesuai dengan sifat-sifat fisiknya. Sifat-sifat fisik aspal secara langsung menggambarkan bagaimana aspal tersebut berkontribusi terhadap kualitas perkerasan aspal campuran panas. Pengujian fisik aspal yang paling awal adalah pengujian yang diturunkan secara empiris seperti pengujian penetrasi, pengujian viskositas aspal yang merupakan cara untuk menggambarkan sifat-sifat fisik aspal sebagai bahan pengikat. Hingga kini hubungan sifat-sifat fisik aspal hasil pengujian dan di lapangan terkadang tidak memuaskan. Kemudian pada Tahun 1980-an dan 1990-an dikembangkan pengujian fisik berupa pengujian bahan pengikat superpave yang bertujuan untuk mengetahui kinerja bahan pengikat aspal yang secara langsung terkait dengan kinerja perkerasan (Mashuri, 2010).

Bentuk lain dari sifat-sifat fisik aspal adalah keawetan aspal dalam hubungannya dengan usia atau masa layan perkerasan. Aspal secara umum, seiring dengan bertambahnya waktu aspal akan mengalami peningkatan viskositas yang membuat aspal cenderung keras dan rapuh. Aspal yang cenderung keras dan rapuh dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti:

- Proses oksidasi yaitu adanya reaksi antara aspal dengan oksigen di udara.
- Penguapan, yaitu penguapan bahan-bahan pembentuk aspal yang terjadi selama proses produksi campuran aspal panas.
- Polimerisasi, yaitu proses pembentukan molekul yang lebih besar dimana molekul-molekul ini akan menyebabkan pengerasan pada aspal yang bersifat progresif.
- Proses tixotropi yaitu proses dimana aspal sebagai bahan pengikat mengalami peningkatan nilai viskositas dan pengerasan aspal yang diakibatkan oleh proses hidrofilik dimana pada aspal terbentuk suatu kisi-kisi partikel (Mashuri, 2010).

2.3. 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 (Raharjo, Pratomo, & Ali, 2016).

2.4. Agregat

Agregat atau batu adalah material berbutir yang keras dan kompak, yang mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu dan pasir. Agregat digunakan sebagai bahan campuran beraspal, membentuk suatu kombinasi ikatan yang seimbang di antara pembentuk campuran beraspal, mortar atau beton (Tarmizi, Saleh, & Isya, 2018).

Agregat harus mempunyai gradasi yang baik dan memenuhi syarat agar seluruh massa beton dapat berfungsi secara utuh, homogen dan padat, dimana agregat yang berukuran kecil dapat mengisi rongga-rongga yang ada diantara agregat yang berukuran besar.

1. Agregat yang akan digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar campuran beraspal, yang proporsinya dibuat sesuai dengan rumusan campuran kerja, memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan dalam Tabel 2.1, sampai dengan Tabel 2.1, tergantung campuran mana yang dipilih.
2. Agregat tidak boleh digunakan sebelum disetujui terlebih dahulu oleh Pengawas Pekerjaan. Bahan harus ditumpuk sesuai dengan ketentuan.
3. Sebelum memulai pekerjaan Penyedia Jasa harus sudah menumpuk setiap fraksi agregat pecah dan pasir untuk campuran beraspal, paling sedikit untuk kebutuhan satu bulan dan selanjutnya tumpukan persediaan harus dipertahankan paling sedikit untuk kebutuhan campuran beraspal satu bulan berikutnya.
4. Dalam pemilihan sumber agregat, Penyediaan Jasa dianggap sudah memperhitungkan penyerapan aspal oleh agregat. Variasi kadar aspal akibat tingkat penyerapan aspal yang berbeda, tidak dapat diterima sebagai alasan untuk negosiasi kembali harga satuan dari Campuran beraspal.

5. Penyerapan air oleh agregat maksimum 2% untuk SMA dan 3% untuk yang lain (Tarmizi, Saleh, & Isya, 2018).

2.4.1. Agregat Kasar

1. Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Tabel 2.1.
2. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.
3. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel 2.1. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut SNI 7619:2012.
4. Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.

Tabel 2.1: Ketentuan Agregat Kasar (Spesifikasi 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	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 **)
--	---------	--	-----------

Tabel 2.1: *Lanjutan* ketentuan Agregat Kasar (Spesifikasi Bina Marga 2018)

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10	Maks 5 %
	Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks 10 %
Material lolos ayakan No.200	-	SNI ASTM C117 2012	Maks 1 %
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.

2.4.2. Agregat Halus

1. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 4 (4,75 mm).
2. Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.
3. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi campuran aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold binfeeds*) yang terpisah sehingga gradasi gabungan dan presentase pasir di dalam campuran dapat dikendalikan dengan baik.
4. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran.

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

Untuk memperoleh agregat halus yang memenuhi ketentuan diatas:

- a. Bahan baku untuk agregat halus dicuci terlebih dahulu secara mekanis sebelum dimasukkan ke dalam mesin pemecah batu, atau
 - b. Digunakan *scalping screen* dengan proses berikut ini:
 - Fraksi agregat halus yang diperoleh dari hasil pemecah batu tahap pertama (*primary crusher*) tidak boleh langsung digunakan
 - Agregat yang diperoleh dari hasil pemecah batu tahap pertama (*primary crusher*) harus dipisahkan dengan *vibro scalping screen* yang dipasang di antara *primary crusher* dan *secondary crusher*
 - Material tertahan *vibro scalping screen* akan dipecah oleh *secondary crusher* hasil pengayakan dapat digunakan sebagai agregat halus
 - Material lolos *vibro scalping screen* hanya boleh digunakan sebagai komponen material Lapis Fondasi Agregat.
5. Agregat halus harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2: Ketentuan Agregat Halus (Spesifikasi 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 %

2.4.3. Gradasi Agregat Gabungan

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

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). Bilamana gradasi yang diperoleh tidak memenuhi kesenjangan yang disyaratkan Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3: Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi 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 2.4: Contoh Batas-Batas "Bahan Bergradasi Senjang" (Spesifikasi 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

2.5. Styrofoam

Styrofoam adalah sejenis plastik yang terbuat dari 90%-95% polistirena dan 5%-10% gas seperti n-butana atau n-pentana, yang banyak digunakan sebagai pelindung dan penahan getaran barang-barang seperti barang elektronik (Putri, 2016).

Styrofoam merupakan suatu bahan sintetis yang banyak digunakan sebagai bahan pengganjal pada kemasan atau pengepakan barang-barang elektronik. Pada

umumnya setelah tidak terpakai, *styrofoam* ini dibuang begitu saja di tempat sampah. Penumpukan limbah *styrofoam* di Tempat Pembuangan Akhir akan menimbulkan masalah yang baru, karena limbah ini sulit didaur ulang. *Styrofoam* adalah salah satu jenis polimer *plastic* yang bersifat termoplastik yang mana jika di panaskan akan menjadi lunak dan mengeras kembali jika telah dingin. Bila dicampur dengan bensin, *Styrofoam* akan melunak dan dapat berfungsi sebagai perekat. Selain itu juga memiliki sifat tahan terhadap asam, basa, dan sifat korosif lainnya seperti garam dan memiliki sifat mudah larut dalam *hydrocarbon aromatic* (Adly, 2016).

2.6. Campuran Beton Aspal Sebagai Lapis Perkerasan

Laston adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural yang pertama kali dikembangkan di Amerika oleh The Asphalt Institute dengan nama *Asphalt Concrete* (AC). Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Salah satu produk campuran aspal yang kini banyak digunakan oleh Departemen Pekerjaan umum adalah AC-BC (*Asphalt Concrete - Binder Course*) / Lapis Antara Aspal Beton. AC-BC adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-WC, AC-BC dan AC-Base. Ketiga jenis Laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh Bina Marga bersama-sama dengan Pusat Litbang Jalan (Agustian & Ridha, 2018).

Analisa volumetrik marshall terhadap suatu campuran perkerasan adalah untuk melihat sifat-sifat fisik dan mekanik campuran perkerasan dan menghubungkannya dengan sifat-sifat fisik dari agregat yang membentuk campuran tersebut. Sifat fisik agregat yang akan ditinjau dalam analisa ini terutama adalah gradasi, berat jenis dan penyerapan agregat terhadap aspal, index kepipihan dan kebersihan agregat (Waani, 2013).

Tabel 2.5: Ketentuan Untuk Aspal Keras (Spesifikasi Bina Marga 2018)

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-	Aspal Modifikasi
				Elastomer

			70	Sintesis	
				PG70	PG76
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan	

Tabel 2.5: Lanjutan ketentuan Untuk Aspal Keras (Spesifikasi Bina Marga 2018)

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG70	PG76
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	
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> (%)	AASHTO 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					
15.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sebagai salah satu jenis konstruksi lapis perkerasan, campuran beton aspal (AC-BC) yang merupakan campuran antara agregat, aspal dan abu batu sebagai material pengisi yang dicampur pada suhu yang panas, haruslah memiliki karakteristik sebagai berikut:

a. Stabilitas

Stabilitas lapis perkerasan haruslah seimbang dengan besarnya beban lalu lintas yang menggunakan jalan tersebut.

b. Durabilitas

Lapis perkerasan jalan harus tahan terhadap keausan yang diakibatkan oleh pengaruh cuaca, adanya air, perubahan suhu ataupun keausan karena adanya gesekan antara permukaan lapis perkerasan dengan roda kendaraan.

c. Fleksibilitas

Lapis perkerasan jalan harus bersifat lentur dalam menerima beban, dalam arti perkerasan dapat menerima beban dan mengikuti deformasi akibat adanya pembebanan tanpa berakibat retak atau perubahan volume.

d. Kekesatan

Lapis perkerasan jalan harus memiliki permukaan yang tidak licin, sehingga kendaraan tidak mudah selip terutama diwaktu basah.

e. Ketahanan leleh

Campuran lapis perkerasan jalan diharapkan memiliki ketahanan terhadap pembebanan berulang-ulang tanpa mengalami alur atau retak.

f. Kemudahan dalam pelaksanaan

Suatu campuran lapis perkerasan haruslah mudah untuk dicampur, dihampar dan dipadatkan, sehingga kualitas campuran dapat dipertahankan mulai saat dicampur hingga dihamparkan di lapangan (Waani, 2013).

Tabel 2.6: Ketentuan Sifat Campuran Laston (Spesifikasi 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	Min	90		

perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2

Tabel 2.7: Ketentuan Sifat Campuran Laston Modifikasi (Spesifikasi Bina Marga 2018)

Sifat-Sifat Campuran		Laston Modifikasi		
		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 (%) ⁽⁴⁾	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	1000		2250 ⁽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		
Stabilitas dinamis, lintasan/mm ⁽⁷⁾	Min	2500		

2.7. Metode Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI 03-1968-1990)

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Metode pengujian jenis tanah ini mencakup jumlah dan jenis-jenis tanah baik agregat halus maupun agregat kasar. Hasil pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar dapat digunakan antara lain:

- Penyelidikan quarry agregat;

2.7.1. Peralatan

Peralatan yang dipergunakan adalah sebagai berikut :

- 1) Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
- 2) Satu set saringan; 37,5 mm (3"); 63,5 mm (2½"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (⅜"); No.4 (4.75 mm); No.8 (2,36 mm); No.16 (1,18 mm); No.30 (0,600 mm); No.50 (0,300 mm); No.100 (0,150 mm); No.200 (0,075 mm).

- 3) Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(110 + 5)^{\circ}\text{C}$.
- 4) Alat pemisah contoh.
- 5) Mesin pengguncang saringan.
- 6) Pan.
- 7) Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya.

2.7.2. Benda Uji

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat banyak benda uji disiapkan berdasarkan standar yang berlaku dan terkait kecuali apabila butiran yang melalui saringan No. 200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat-syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian.

- 1) Agregat halus terdiri dari :
 - a) Ukuran maksimum 4,76 mm; berat minimum 500 gram.
 - b) Ukuran maksimum 2,38 mm; berat minimum 100 gram.
- 2) Agregat kasar terdiri dari :
 - a) Ukuran maks. 3,5"; berat minimum 35,0 kg
 - b) Ukuran maks. 3"; berat minimum 30,0 kg
 - c) Ukuran maks. 2,5"; berat minimum 25,0 kg
 - d) Ukuran maks. 2"; berat minimum 20,0 kg
 - e) Ukuran maks. 1,5"; berat minimum 15,0 kg
 - f) Ukuran maks. 1"; berat minimum 10,0 kg
 - g) Ukuran maks. 3/4" berat minimum 5,0 kg
 - h) Ukuran maks. 1/2"; berat minimum 2,5 kg
 - i) Ukuran maks. 3/8"; berat minimum 1,0 kg
- 3) Bila agregat berupa campuran dari agregat halus dan agregat kasar, agregat tersebut dipisahkan menjadi 2 bagian dengan saringan No. 4. Selanjutnya agregat halus dan agregat kasar disediakan sebanyak jumlah seperti tercantum diatas.

2.7.3. Cara Pengujian

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

- 1) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
- 2) Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

2.8. Pengujian Marshall

Pengujian Marshall bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran beraspal dan kadar aspal optimum. Konsep ini dikembangkan oleh seorang insinyur bahan aspal bernama Bruce Marshall bersama dengan *The Mississippi State Highway Departement*. Penelitian ini kemudian dilanjutkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers*. Pengujian ini mengacu pada AASHTO T 245-97 (2004). Pengujian ini bertujuan untuk menentukan stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) dari campuran aspal dengan mengukur ketahanan campuran dan menentukan perubahan bentuk yang terjadi akibat beban lalu lintas (Maulana, 2019).

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III Tahun 2010, nilai stabilitas minimal pada campuran beraspal adalah sebesar 800 kg dan besar nilai kelelahan sebesar 2-4 mm. Alat pengujian Marshall yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Alat pengujian Marshall (Maulana, 2019)

Menurut (Maulana, 2019), sifat-sifat campuran aspal beton dapat dilihat dari parameter-parameter Marshall berikut ini:

1. Stabilitas Marshall

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis atau dengan arti lain yaitu kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Stabilitas merupakan parameter yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang (Maulana, 2019).

2. *Flow* (Kelelehan)

Flow adalah besarnya penurunan atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat Marshall yang lain seperti stabilitas, VIM dan VFA. Nilai VIM yang besar menyebabkan berkurangnya *interlocking resistance* campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja jarum dial *flow* biasanya dalam satuan mm (millimeter). Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan (Maulana, 2019).

3. *Density* (Kepadatan)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang dimiliki nilai *density* yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kontak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antara butiran agregat menjadi besar. Nilai kepadatan/*density* dihitung dengan digunakan kedalam Pers.2.1 dan Pers.2.2

$$g = c / f \quad (2.1)$$

$$f = d - e \quad (2.2)$$

Dimana:

g = Nilai kepadatan (gr/cc)

c = Berat kering/sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cc)

4. Rongga Udara (VIM)

VIM adalah rongga yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal meleleh menjadi lunak akibat naiknya suhu udara. VIM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan digunakan kedalam Pers.2.3

$$VIM = (100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}) \% \quad (2.3)$$

Dimana:

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat

5. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Hasil Bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan. Semakin tinggi nilai MQ, maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan

sedangkan nilai MQ yang terlalu rendah dapat berakibat alur dan *bleeding*. Semakin besar nilai MQ berarti campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur sehingga mudah retak sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur dan plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi digunakan kedalam Pers.2.4

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \quad (2.4)$$

6. Rongga Antar Agregat (VMA)

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat dari campuran total, maka VMA dihitung dengan digunakan kedalam Pers.2.5

$$\text{VMA} = \left(100 - \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}}\right)\% \quad (2.5)$$

Dimana:

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

7. Void Filled With Asphalt (VFA)

Void Filled With Asphalt (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFA berarti semakin

banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding*. Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Nilai VMA dihitung dengan digunakan kedalam Pers.2.6

$$VFA = \frac{100 - (VMA - VIM)}{VMA} \quad (2.6)$$

Dimana:

VFA = Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

8. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa dianalisis dari data-data hasil pengujian terhadap sifat-sifat mekanik benda uji (stabilitas dan *flow*) dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas Marshallnya dengan perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T1 dan kelompok kedua diuji setelah perendamannya pada suhu 60°C selama waktu T2.

$$IKS = \frac{S2}{S1} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana:

S1 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T1 menit

S2 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T2 menit

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

9. Berat jenis maksimum aspal beton yang belum didapatkan (Gmm)

Berat jenis maksimum dari campuran aspal beton yang belum didapatkan (Gmm) adalah berat jenis campuran aspal beton tanpa pori/udara, yang diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium dengan digunakan kedalam Pers.2.8

$$Gmm = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pa}{Ga}} \quad (2.8)$$

Dimana:

Ps = Kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat

Pa = kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %

Gse = berat jenis efektif dari agregat pembentuk aspal beton padat

Ga = berat jenis aspal

10. Berat jenis bulk aspal beton padat (Gmb)

Berat jenis bulk dari aspal beton padat (Gmb) dapat diukur dengan digunakan kedalam Pers.2.9

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \quad (2.9)$$

Dimana:

Gmb = Berat jenis bulk dari aspal beton padat

Bk = Berat kering aspal beton

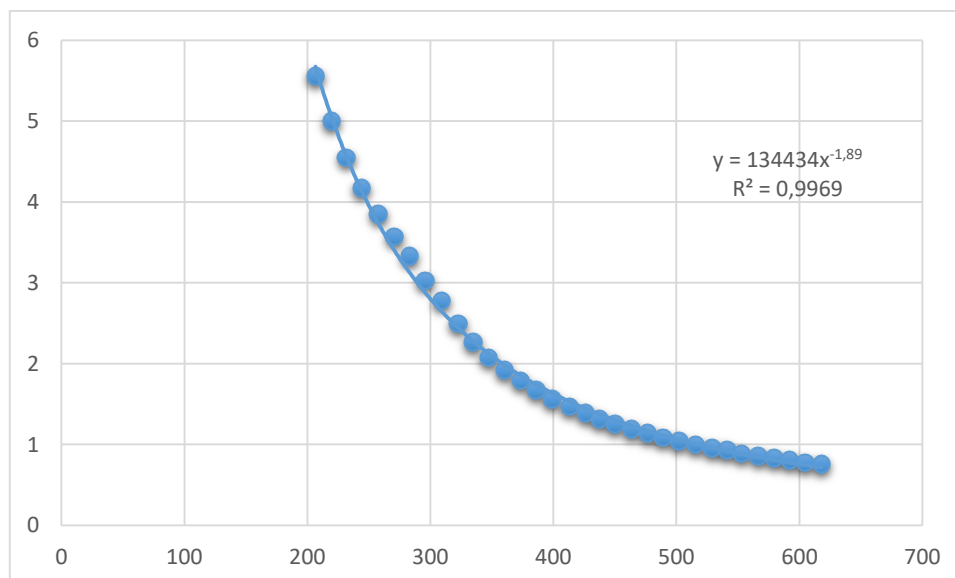
Bssd = Berat kering permukaan dari aspal beton yang telah didapatkan

Ba = Berat aspal beton padat di dalam air (Maulana, 2019).

Tabel 2.8: Angka Korelasi Beban (Stabilitas)

Isi Benda Uji (Cm ³)	Rata-rata	Angka Koreksi
200-213	206,5	5,56
214-225	219,5	5
226-237	231,5	4,55
238-250	244	4,17
251-264	257,5	3,85
265-276	270,5	3,57
277-289	283	3,33
290-301	295,5	3,03
302-316	309	2,78
317-328	322,5	2,5
329-340	334,5	2,27
341-353	347	2,08
354-367	360,5	1,92
368-379	373,5	1,79

380-392	386	1,67
393-405	399	1,56
406-420	413	1,47
421-431	426	1,39
432-443	437,5	1,32
444-456	450	1,25
457-470	463,5	1,19
471-482	476,5	1,14
Isi Benda Uji (Cm ³)	Rata-rata	Angka Koreksi
483-495	489	1,09
496-508	502	1,04
509-522	515,5	1
523-535	529	0,96
536-546	541	0,93
547-559	553	0,89
560-573	566,5	0,86
574-585	579,5	0,83
586-598	592	0,81
599-610	604,5	0,78
611-625	618	0,76



Gambar 2.2: Grafik Angka Korelasi Beban (Stabilitas)

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

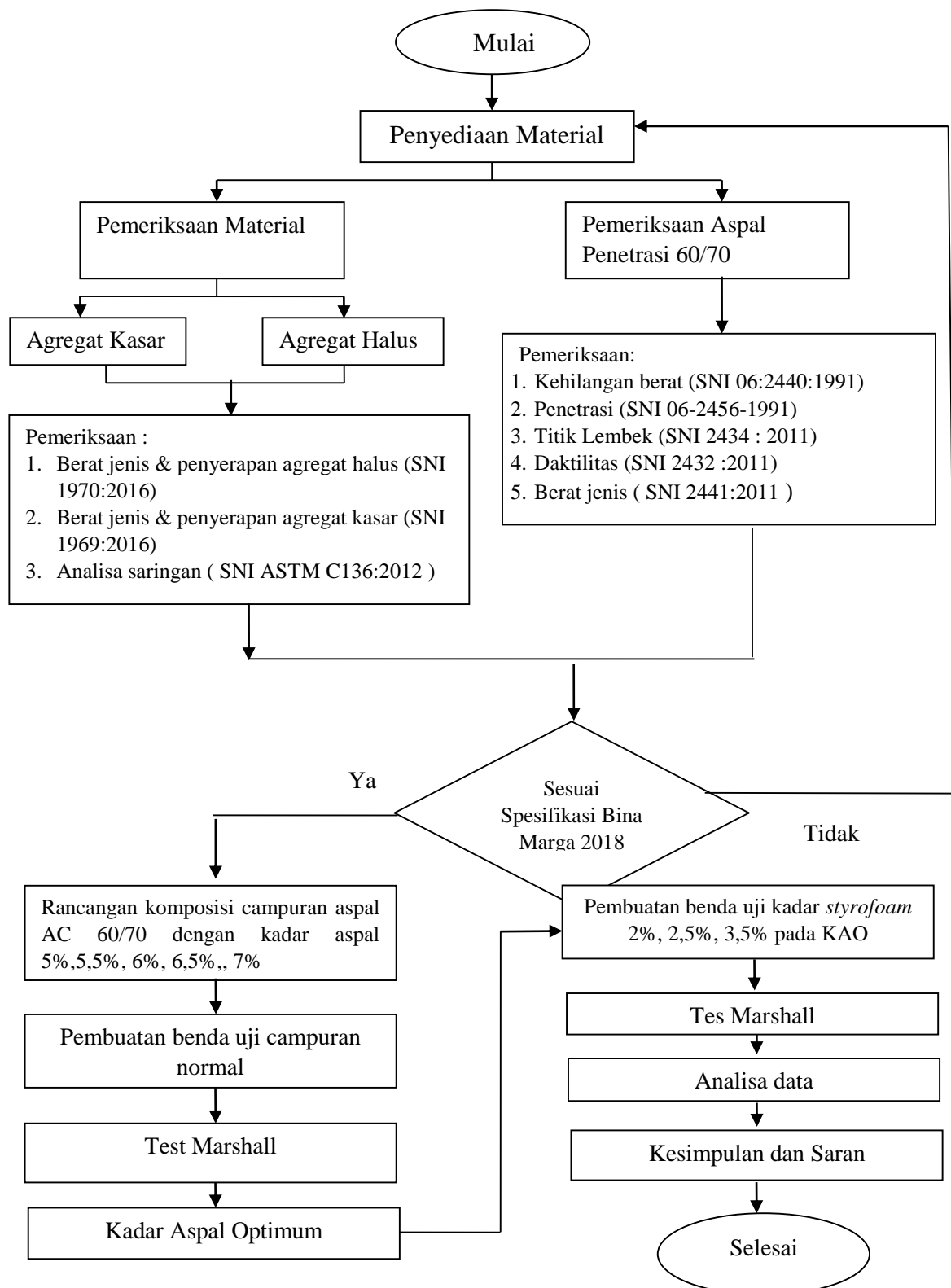
3.1. Metode Penelitian

Penelitian dimulai setelah mendapatkan izin dari dosen pembimbing dan Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Kemudian melakukan studi literatur, seperti mencari jurnal referensi, kandungan dalam bahan tambah yang digunakan, dan metode yang digunakan dalam melakukan penelitian.

Setelah mencari informasi tentang penelitian yang akan dilakukan, selanjutnya dilakukan pemeriksaan dasar seperti penetrasi aspal, titik nyala aspal, titik lembek aspal, berat jenis aspal, daktilitas aspal, kehilangan berat aspal, analisa saringan yang bertujuan untuk mendapatkan data-data pendukung yang diperoleh di laboratorium.

Selanjutnya mencari *KAO* (Kadar Aspal Optimum) untuk mengetahui proporsi campuran untuk setiap benda uji yang akan dibuat. Setelah memperoleh proporsi campuran aspal, kemudian dilakukan penyaringan bahan tambah (*filler*) yang telah dikeringkan. Setelah bahan-bahan yang dibutuhkan telah siap digunakan, tahap selanjutnya adalah pembuatan benda uji. Pembuatan benda uji dilakukan sesuai kebutuhan masing-masing variasi campuran bahan tambah yaitu aspal normal, aspal dengan *filler styrofoam* 2 %, aspal dengan *filler Styrofoam* 2,5 %, dan aspal dengan *filler styrofoam* 3 %.

Setelah pembuatan benda uji selesai kemudian dilakukan test Marshall. Dari pengujian Marshall yang dilakukan kita dapat memperoleh data-data yang dibutuhkan sesuai dengan tujuan penelitian.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian yang dilaksanakan

3.1.1. Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium, yaitu:

- a. Berat jenis dan penyerapan.
- b. Analisa saringan agregat.
- c. Variasi penggunaan Styrofoam pada campuran aspal (*Job Mix Formula*).
- d. Uji marshall.

3.1.2. Data Sekunder

Data yang diperoleh yaitu:

- a. Tes titik lembek aspal.
- b. Tes kehilangan berat.
- c. Tes penetrasi aspal.
- d. Tes berat jenis aspal.
- e. Tes daktilitas.

3.2. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dimulai pada bulan November 2019. Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

3.3. Bahan dan Peralatan

3.3.1. Bahan

Bahan-bahan pembentuk benda uji yaitu:

- a. Aspal penetrasi 60/70.
- b. Agregat halus.
- c. Agregat kasar.
- d. Styrofoam.

3.3.2. Peralatan

Tahap Persiapan Alat Pada tahap ini dipersiapkan beberapa alat yang akan digunakan untuk melakukan pemeriksaan material yaitu :

1. Alat untuk pengujian Berat Jenis.
2. Alat untuk pengujian Modulus Kekakuan (Marshall Test).
3. Alat pendukung pengujian dan pembuatan aspal.

3.4. 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 *styrofoam* berasal dari limbah dekorasi *wedding organizer*.

3.5. 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.

3.6. Pembuatan Benda Uji

Menurut SNI 06-2489-1991 Langkah-langkah pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

1. Keringkan agregat pada suhu 105°C - 110°C minimum selama 4 jam, keluarkan dari alat pengering (oven) dan tunggu sampai beratnya tetap.
2. Pisah-pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan.
3. Panaskan aspal sampai mencapai tingkat kekentalan (viscositas) yang disyaratkan.
4. Pencampuran, dilakukan sebagai berikut :
 - a. Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$.
 - b. Memanaskan agregat di dalam wajan hingga suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$. Pencampuran untuk aspal padat, bila menggunakan aspal cair pemanasan sampai $\pm 140^{\circ}\text{C}$ di atas suhu pencampuran.
 - c. Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan yang disyaratkan sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan tersebut sambil diaduk sampai agregat terselimuti aspal secara merata dengan suhu $\pm 145^{\circ}\text{C}$.
5. Pemadatan, dilakukan sebagai berikut :
 - a. Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama.
 - b. Letakkan cetakan di atas landasan pemadat tahan dengan pemegang cetakan.
 - c. Letakkan selembur kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran cetakan ke dalam dasar cetakan.
 - d. Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran keras-keras dengan spatula yang dipanaskan sebanyak 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya.
 - e. Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak : 75 kali tumbukkan untuk lalu lintas berat 50 kali tumbukkan untuk lalu lintas sedang 35 kali tumbukkan untuk lalu lintas ringan dengan tinggi jatuh 457,2 mm selama

pemadatan harus diperhatikan agar sumbu palu pemadat selalu tegak lurus pada alas cetakan.

6. Pelat alas berikut leher sambung dilepas dari cetakan benda uji, kemudian cetakan yang berisi benda uji dibalikkan dan pasang kembali pelat alas berikut leher sambung pada cetakan yang dibalikkan tadi.
7. Terhadap permukaan benda uji yang sudah dibalikkan ini tumbulah dengan jumlah tumbukkan yang sama sebanyak 75 kali tumbukan.
8. Sesudah pemadatan, lepaskan keping alas dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan ujung ini.
9. Kemudian dengan hati-hati keluarkan dan letakan benda uji di atas permukaan yang rata dan biarkan selama kira-kira 24 jam pada suhu ruang.

3.7. Pengujian dengan Alat *Marshall*

Menurut SNI 06-2489-1991 Langkah-langkah pengujian menggunakan alat marshall adalah sebagai berikut :

1. Rendamlah benda uji dalam bak perendam (water bath) selama 30 – 40 menit dengan suhu tetap 60°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$) untuk benda uji yang menggunakan aspal padat, untuk benda uji yang menggunakan aspal cair masukkan benda uji ke dalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap 25°C ($\pm 1^{\circ}\text{C}$).
2. Keluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan.
3. Pasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
4. Pasang arloji pengukur alir (flow) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (sleeve) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
5. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji.
6. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
7. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan

menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (stability) yang dicapai.

8. Catat nilai alir (flow) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Untuk menentukan suatu gradasi agregat pada lapisan Campuran AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*) maka agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal ½”, ¾”, agregat halus adalah campuran batu pecah dengan pasir, sedangkan untuk bahan pengisi adalah abu batu dan styrofoam 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. – 4.4.

Tabel 4.1: Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar ¾” inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1"	25.40	100,00
¾"	19.00	100,00
½"	12.50	51,26
⅜"	9.50	27,62
NO. 4	4.75	0,26
NO. 8	2.36	0,08
NO.16	1.18	0,04
NO.30	0.600	0,02
NO.200	0.075	0,00
PAN	-	0,00

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1"	25.40	100,00
¾"	19.00	100,00
½"	12.50	100,00

Tabel 4.2: Lanjutan hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar ½ inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
3/8"	9.50	45,95
NO. 4	4.75	0,36
NO. 8	2.36	0,00
NO.16	1.18	0,00
NO.30	0.600	0,00
NO.200	0.075	0,00
PAN	-	0,00

Tabel 4.3: 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	100,00
NO. 8	2,36	89,59
NO.16	1,18	79,80
NO. 30	0,600	61,43
NO. 50	0,300	46,94
NO. 100	0,150	30,82
NO. 200	0,075	10,00
PAN		0,00

Tabel 4.4: 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	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

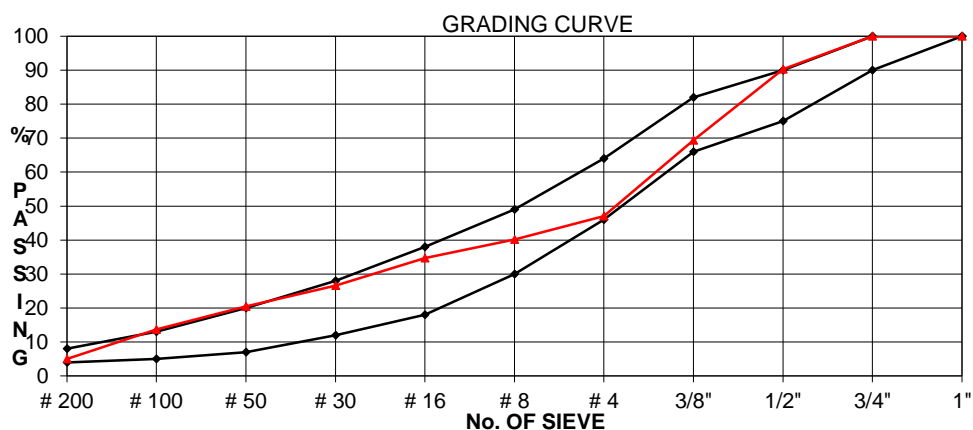
Tabel 4.4: Lanjutan Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
NO. 100	0,150	6,80
NO. 200	0,075	2,40
PAN		0,00

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

Tabel 4.5: Hasil kombinasi gradasi agregat standar.

No. Saringan	Batas		Kombinasi Agregat					AVG
			1	2	3	4	5	
			0%	20%	30%	40%	10%	100
¾"	90	100	0,00	20,00	30,00	40,00	10,00	100,00
½"	75	90	0,00	10,26	30,00	40,00	10,00	90,26
⅜"	66	82	0,00	5,54	13,82	40,00	10,00	69,36
No.4	46	64	0,00	0,07	0,18	40,00	6,76	47,01
No.8	30	49	0,00	0,02	0,07	35,92	4,18	40,19
No.16	18	38	0,00	0,01	0,07	32,08	2,48	34,64
No.30	12	28	0,00	0,01	0,07	24,88	1,62	26,58
No.50	7	20	0,00	0,01	0,07	19,20	1,18	20,46
No.100	5	13	0,00	0,01	0,07	12,88	0,68	13,64
No 200	4	8	0,00	0,01	0,07	4,72	0,24	5,04



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.

Tabel 4.6: Persenan agregat yang di peroleh pada normal

Asphalt(%)	5	5,5	6	6,5	7
$\frac{3}{4}$ (%)	19,00	18,90	18,80	18,70	18,60
$\frac{1}{2}$ (%)	28,50	28,35	28,20	28,05	27,90
Cr(%)	38,00	37,80	37,60	37,40	37,20
Sand(%)	9,50	9,45	9,40	9,35	9,30

Data persen agregat yang di peroleh pada campuran styrofoam 2%, 2,5%, 3%.

1. Aspal = 5,99%
2. Agregat kasar CA $\frac{3}{4}$ " inch = 18,80%
3. Agregat kasar MA $\frac{1}{2}$ inch = 28,20%
4. Agregat halus abu batu (Cr) = 37,60%
5. Agregat halus pasir (*Sand*) = 9,40%
6. Styrofoam = 2%, 2,5%, 3%

Hasil analisa saringan agregat didapat perhitungan berat agregat yang diperlukan seperti pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji standar.

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	MA $\frac{3}{4}$ inch (gram)	MA $\frac{1}{2}$ inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)
5	60,0	228,0	342,0	456,0	114,0
5,5	66,0	226,8	340,2	453,6	113,4
6	72,0	225,6	338,4	451,2	112,8
6,5	78,0	224,4	336,6	448,8	112,2
7	84,0	223,2	334,8	446,4	111,6

Tabel 4.8: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji penggunaan styrofoam 2%,2,5%, 3%, pada KAO.

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	MA $\frac{3}{4}$ inch (gram)	MA $\frac{1}{2}$ inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	Styrofoam (gr)
5,99	70,5	225,6	338,4	451,2	112,8	1,4
	70,1	225,6	338,4	451,2	112,8	1,8

	69,7	225,6	338,4	451,2	112,8	2,2
--	------	-------	-------	-------	-------	-----

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat

Berat jenis suatu agregat yang digunakan dalam suatu rancangan campuran beraspal sangat berpengaruh terhadap banyaknya rongga udara yang diperhitungkan sehingga mendapatkan suatu campuran beraspal yang baik. Berat jenis efektif dianggap paling mendekati nilai sebenarnya untuk menentukan besarnya rongga udara dalam campuran beraspal. Dalam pengujian berat jenis agregat kasar prosedur pemeriksaan mengikuti SNI 1969-2008 dan SNI 1970-2008. Dari hasil pemeriksaan tersebut didapat data seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.8 dan tabel 4.9.

1. Berat jenis agregat kasar MA 3/4 inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{4911}{4973 - 3093} = 2,612 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{4973}{4973 - 3093} = 2,645 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{4911}{4911 - 3093} = 2,701 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{4973 - 4911}{4911} \times 100\% = 1,262\%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat MA 3/4 inch dapat dilihat pada Tabel 4.9

Tabel 4.9: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar CA 3/4 inch.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,612	2,622	2,617
Berat jenis kering permukaan jenuh (Ss)	2,645	2,655	2,650
Berat jenis semu (Ss)	2,701	2,712	2,706
Penyerapan (Sw)	1,262	1,256	1,259

2. Berat jenis agregat kasar MA 1/2 inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{2981}{3020 - 1882} = 2,620 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{3020}{3020 - 1882} = 2,654 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{2981}{2981 - 1882} = 2,712 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{3020 - 2981}{2981} \times 100\% = 1,308\%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat MA 1/2 inch dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar CA 1/2 inch.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,620	2,620	2,620
Berat jenis kering permukaan jenuh (Ss)	2,654	2,656	2,655
Berat jenis semu (Ss)	2,712	2,716	2,714
Penyerapan (Sw)	1,308	1,341	1,325

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1 :

- Berat Jenis Curah $= \frac{488}{697 + 500 - 1002} = 2,50 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{500}{697 + 500 - 1002} = 2,56 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{488}{697 + 488 - 1002} = 2,67 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{500 - 488}{488} \times 100\% = 2,46\%$

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

Tabel 4.11: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir (*sand*).

Perhitungan	I	II	Rata-rata
-------------	---	----	-----------

Berat jenis curah kering (Sd)	2,50	2,95	2,724
-------------------------------	------	------	-------

Tabel 4.11: *Lanjutan* Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir (*sand*).

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis kering permukaan jenuh (Ss)	2,56	2,99	2,779
Berat jenis semu (Ss)	2,67	3,09	2,881
Penyerapan (Sw)	2,46	1,63	2,043

4. Berat jenis agregat halus Abu Batu (Cr)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{485}{692 + 500 - 1000} = 2,53 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{500}{692 + 500 - 1000} = 2,60 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{485}{692 + 485 - 1000} = 2,74 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{500 - 485}{485} \times 100\% = 3,09\%$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat halus abu batu dapat dilihat pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu batu (Cr).

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,53	2,53	2,526
Berat jenis kering permukaan jenuh (Ss)	2,60	2,60	2,604
Berat jenis semu (Ss)	2,74	2,74	2,740
Penyerapan (Sw)	3,09	3,09	3,093

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 4.13.

Tabel 4.13: 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	$\geq 1,0$	-

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%:

- a. Persentase terhadap batuan = 5,3%
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 5%
- c. Berat sampel kering = 1180 gr
- d. Berat sampel jenuh = 1192 gr
- e. Berat sampel dalam air = 682 gr
- f. Volume sampel = Berat SSD – Berat Dalam Air

- $= 1192 - 682 = 510 \text{ cc}$
- g. Berat isi sampel $= \text{Berat Awal} / \text{Volume Sampel}$
 $= 1180 - 510 = 2,314 \text{ gr/cc}$
- h. Berat jenis maksimum $= \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{b_j \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{b_j \text{ aspal}}}$
 $= \frac{100}{\frac{100}{2,665} + \frac{5}{1,035}} = 2,471\%$
- i. Persentase volume aspal $= (b \times g) / b_j \text{ aspal}$
 $= \frac{5\% \times 2,314}{1,035} = 11,177\%$
- j. Persentase volume agregat $= ((100 - b) \times g) / b_j \text{ agregat}$
 $= \frac{(100 - 5) \times 2,314}{2,591} = 84,840\%$
- k. Persentase rongga terhadap campuran $= 100 - ((100 \times g) / h)$
 $= 100 - \frac{(100 \times 2,314)}{2,471} = 6,348\%$
- l. Persentase rongga terhadap agregat $= 100 - ((g \times b) / b_j \text{ agregat})$
 $= 100 - \left(\frac{2,314 \times 5}{2,591} \right) = 15,160\%$
- m. Persentase rongga terisi aspal $= 1000 \times (i - k) / i$
 $= 1000 \times \frac{(11,177 - 6,348)}{11,177} = 58,124\%$
- n. Kadar aspal efektif $= 3,942$
- o. Pembacaan arloji stabilitas $= 110$
- p. Kalibrasi proving ring $= (7,693 \times 110) + 0,316$
 $= 847$
- q. Stabilitas akhir $= (134434 \times 510^{-1,8897}) \times 847$
 $= 870$
- r. Kelelehan $= 2,97 \text{ mm}$

Untuk rekapitulasi perhitungan campuran normal serta substitusi *styrofoam*

2%, 2,5, 3% dapat dilihat pada lampiran.

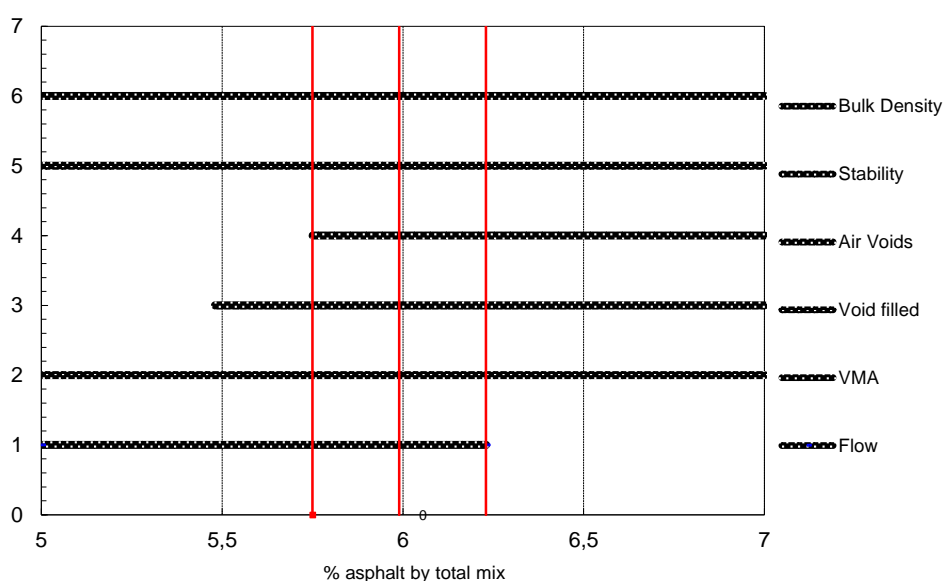
Dari hasil pemeriksaan uji *Marshall* yang dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara mendapatkan nilai Berat Isi (*Bulk Density*), *stabilitas* (*Stability*), Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), Kelelehan (*Flow*). Berikut analasi perhitungan untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5,5% serta rekapitulasi hasil uji *marshall* pada campuran aspal normal dan substitusi *styrofoam* 2%, 2,5%, 3% dapat dilihat pada Tabel 4.14 – 4.15.

4.2. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

Berikut adalah tabel rekapitulasi hasil uji marshall pada campuran normal dengan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%.

Tabel 4.14: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran Normal.

Karakteristik	Spesifikasi umum	Kadar aspal %				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Bulk Density (gr/cc)	-	2,313	2,319	2,325	2,314	2,309
Stability (kg)	Min 800	868	873	915	865	838
Air Voids (%)	3-5	6,36	5,47	4,52	4,27	3,80
Voids Filled (%)	Min 65	58,08	64,57	72,35	75,13	78,65
VMA (%)	Min 14	15,2	15,4	16,4	17,3	17,9
Flow (mm)	2-4	2,88	3,38	3,88	4,14	4,37



Gambar 4.2: Grafik KAO

4.3. Pembahasan dan Analisis

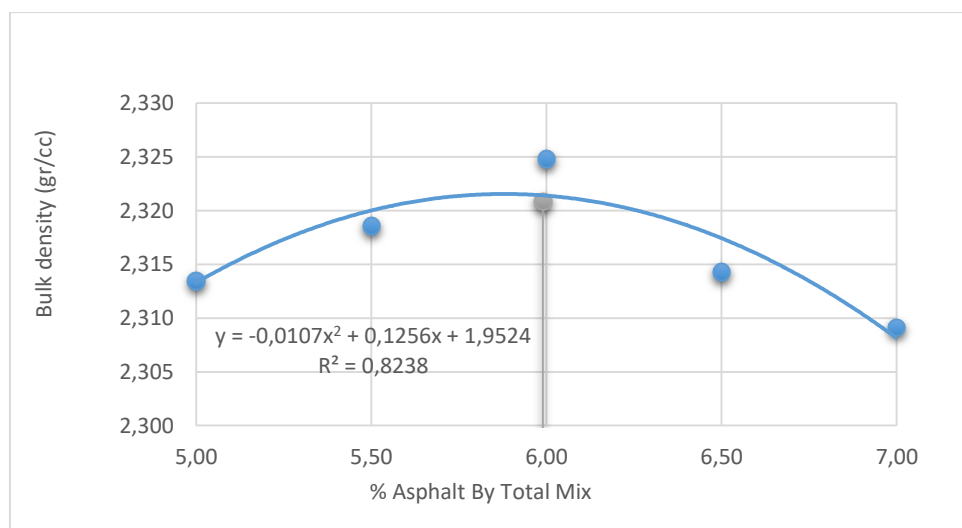
Tabel 4.15: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran substitusi *styrofoam* 2%, 2,5%, 3% pada keadaan KAO.

Karakteristik	Spesifikasi umum	Styrofoam %		
		2%	2,5%	3%
Bulk Density (gr/cc)	-	2,346	2,357	2,356
Stability (kg)	Min 800	828	853	878
Air Voids (%)	3-5	3,66	3,20	3,25
Voids Filleds (%)	Min 65	76,42	78,08	78,94
VMA (%)	Min 14	14,9	14,5	15,3
Flow (mm)	2-4	2,47	2,76	3,01

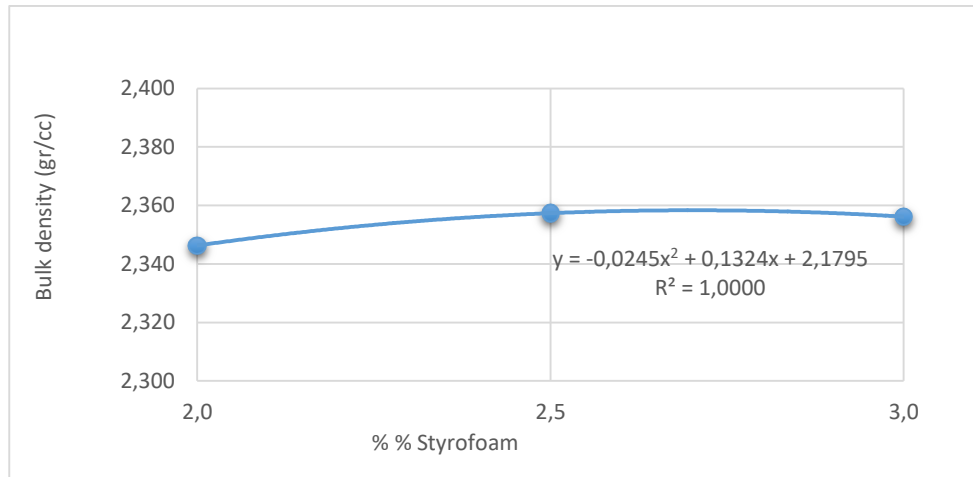
Dari hasil nilai pengujian sifat *Marshall* untuk nilai Berat Isi (*Bulk Density*), *stabilitas* (*Stability*), Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), Kelelehan (*Flow*) untuk campuran aspal normal dengan substitusi styrofoam 2%, 2,5% dan 3% dapat dilihat perbandingannya pada berikut.

4.3.1 *Bulk Density*

Nilai *bulk density* yang didapat pada aspal normal serta penggunaan bahan styrofoam 2%, 2,5%, 3% dapat dilihat pada Gambar 4.3 – 4.4



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

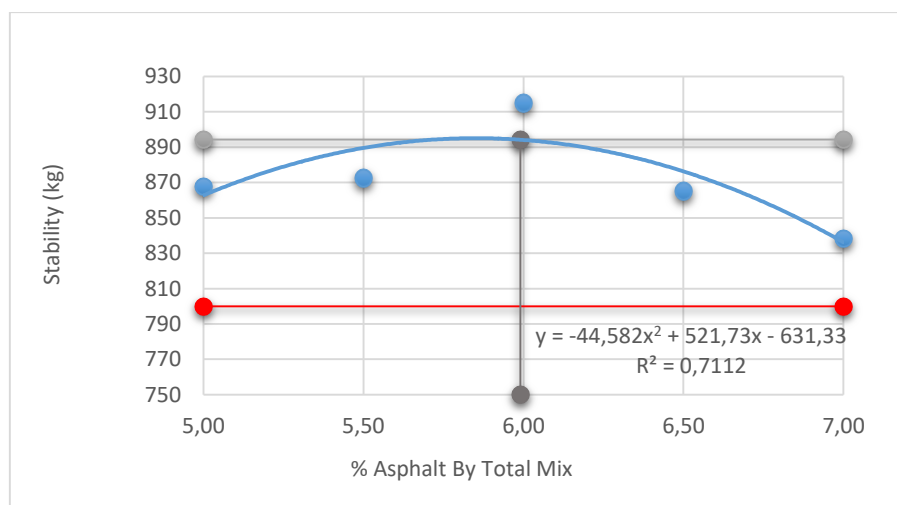


Gambar 4.4: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) Styrofoam 2%, 2,5%, 3%.

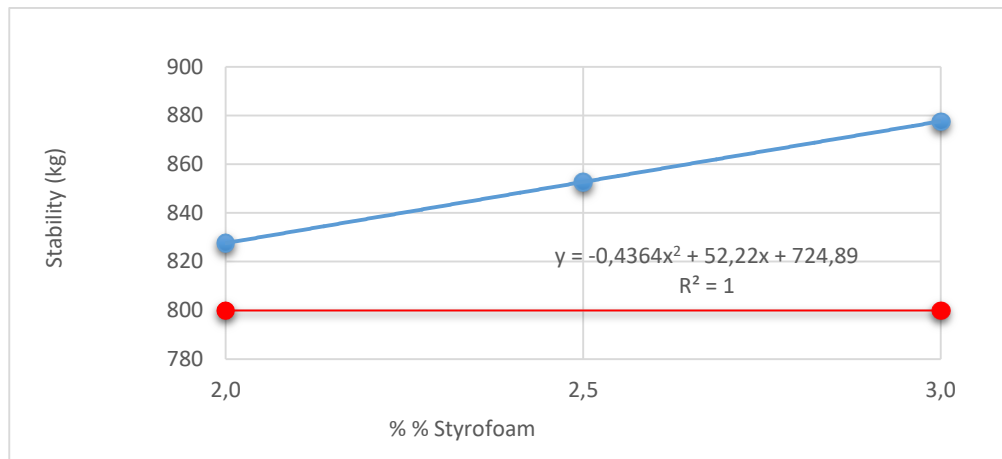
Dari hasil pengujian untuk nilai *bulk density* pada aspal normal didapatkan nilai tertinggi pada campuran 6% dengan nilai 2,325 gr/cc. Sedangkan nilai KAO pada bulk density 2,321 gr/cc, lalu nilai bulk density pada campuran kadar styrofoam 2% sebesar 2,346 gr/cc, kadar styrofoam 2,5% sebesar 2,357 gr/cc, kadar styrofoam 3% sebesar 2,356 gr/cc.

4.3.2. Stabilitas (*Stability*)

Nilai *stability* yang didapat pada aspal normal serta penggunaan bahan styrofoam 2%, 2,5%, 3% dapat dilihat pada Gambar 4.5 – 4.6.



Gambar 4.5: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* (Kg) campuran normal.

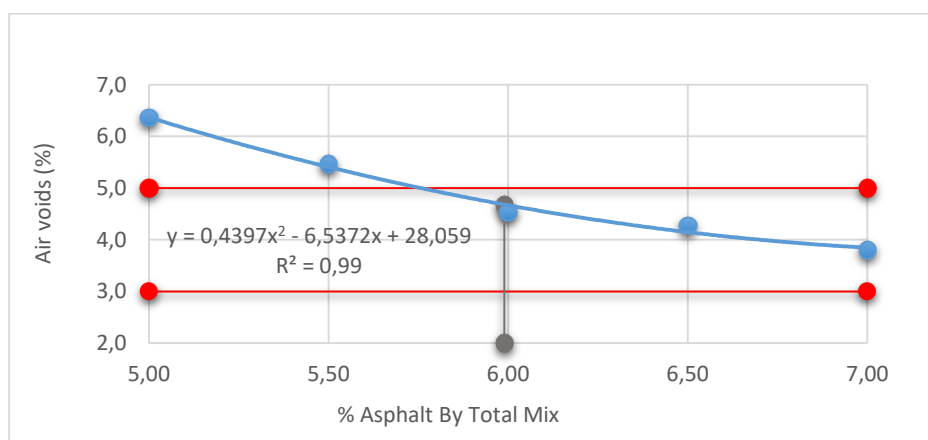


Gambar 4.6: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Stability* (Kg) *Styrofoam* 2%, 2,5%, 3%.

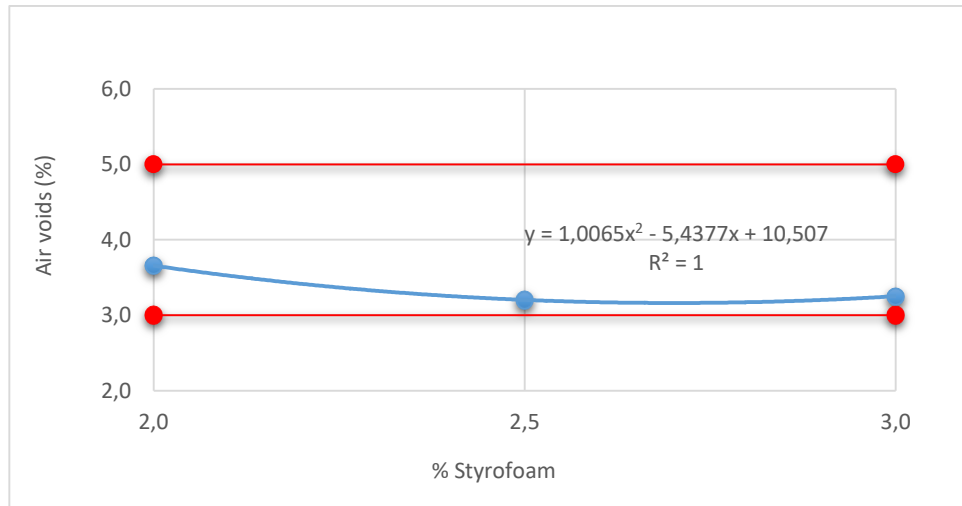
Dari hasil pengujian untuk nilai *stability* dari gambar 4.5 – 4.6 dapat dilihat bahwa nilai *Stability* dari campuran normal dan pada kadar styrofoam 2%, styrofoam 2,5%, styrofoam 3% seluruhnya memenuhi batas dari spesifikasi bina marga yang memiliki nilai stabilitas minimum 800 kg, Pada grafik campuran normal dapat dilihat nilai tertinggi berada di kadar 6% dengan nilai 915 kg dan pada KAO nilai yang didapatkan sebesar 894 kg. Sedangkan hasil yang didapat pada saat menggunakan kadar styrofoam 2%, 2,5%, 3% terus mengalami peningkatan di setiap persenan Styrofoam yang digunakan.

4.3.3. Rongga Udara Dalam Campuran (*Air Voids/ VIM*)

Nilai *Air voids(VIM)* yang didapat pada aspal normal serta penggunaan bahan styrofoam 2%, 2,5%, 3% dapat dilihat pada Gambar 4.7 – 4.8.



Gambar 4.7: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) Campuran normal.

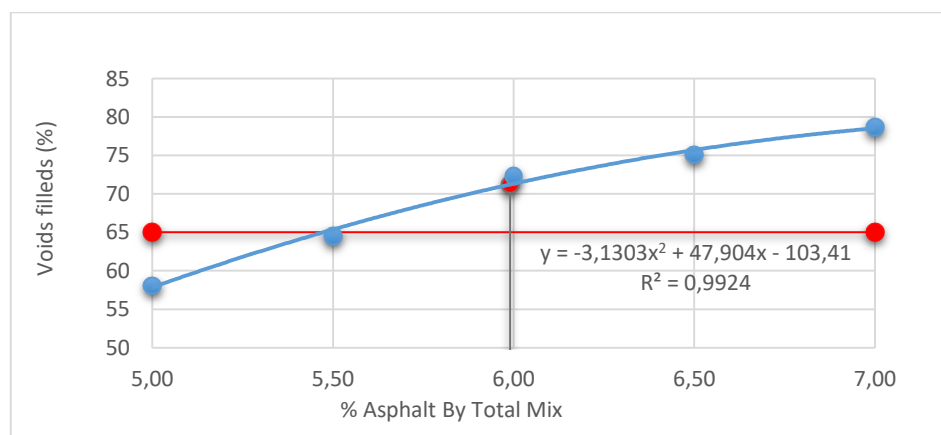


Gambar 4.8: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) *Styrofoam* 2%, 2,5%, 3%.

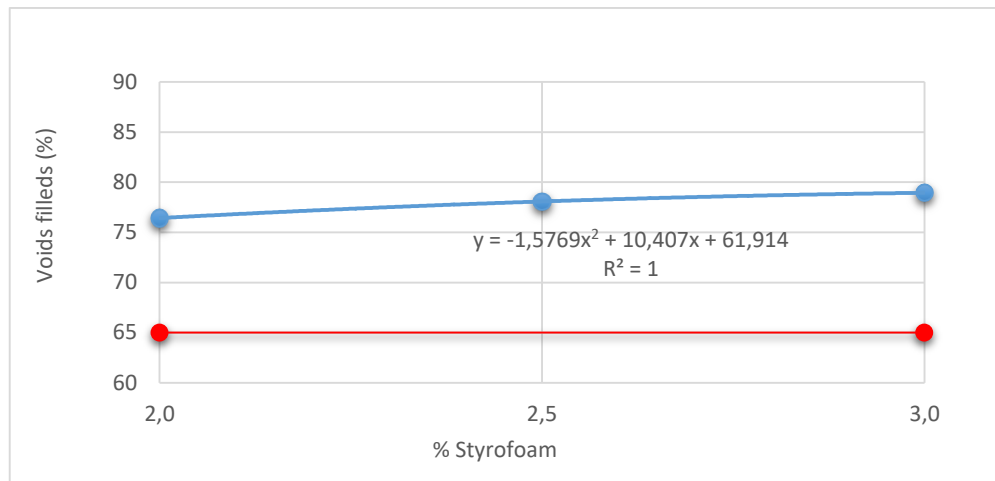
Pengujian air voids (VIM) memiliki batas spesifikasi bina marga 2018 dengan nilai batas 3-5%. Dari hasil pengujian untuk nilai VIM pada aspal normal hanya 5,75% sampai dengan 7% yang memenuhi spesifikasi bina marga dan pada KAO didapatkan nilai sebesar 4,68%. Sedangkan pada aspal substitusi styrofoam, didapat nilai kadar styrofoam 2% sebesar 3,66%, kadar styrofoam 2,5% sebesar 3,20%, kadar styrofoam 3% sebesar 3,25%. Sehingga kadar *styrofoam* 2%, 2,5%, dan 3% memenuhi spesifikasi bina marga.

4.3.4. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Nilai *Voids Filled*(VFA) yang didapat pada aspal normal serta penggunaan bahan styrofoam 2%, 2,5%, 3% dapat dilihat pada Gambar 4.9 – 4.10.



Gambar 4.9: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Voids Filleds* (%) Campuran Normal.

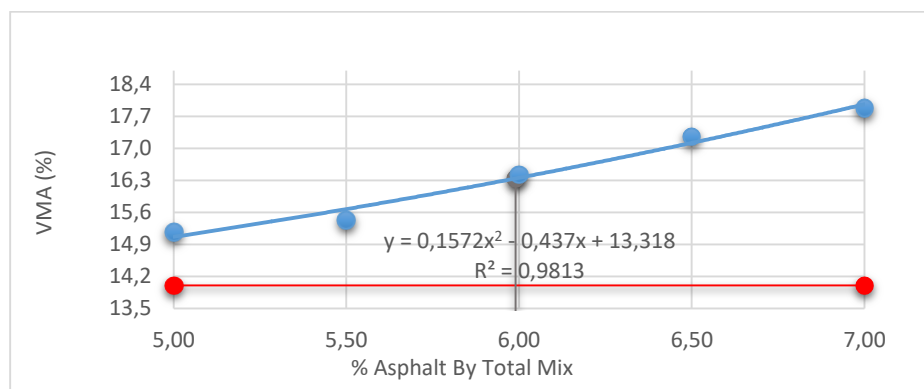


Gambar 4.10: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Voids Filleds (%) Styrofoam 2%, 2,5%, 3%*.

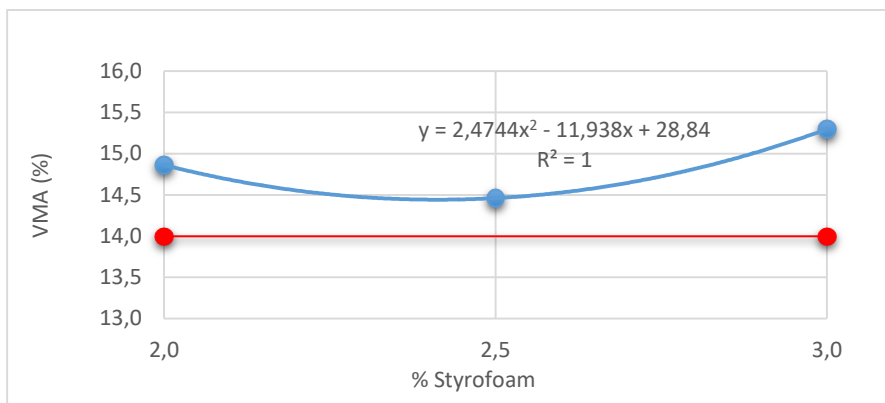
Pada grafik VFA dapat dilihat bahwa batas minimum sebesar 65%, Dari hasil pengujian pada aspal normal hanya aspal persenan 5,48% sampai dengan 7% yang melewati batas minimum dari nilai VFA. Sedangkan pada KAO nilai yang didapat sebesar 71,22%, untuk nilai pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 76,42%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 78,08%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 78,94% sehingga melebihi batas minimal VFA yang telah di tentukan oleh bina marga dengan begitu memenuhi spesifikasi.

4.3.5. Rongga Antara Mineral Agregat (VMA)

Nilai *VMA* yang didapat pada aspal normal serta penggunaan bahan *styrofoam* 2%, 2,5%, 3% dapat dilihat pada Gambar 4.11 – 4.12.



Gambar 4.11: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) Campuran normal.

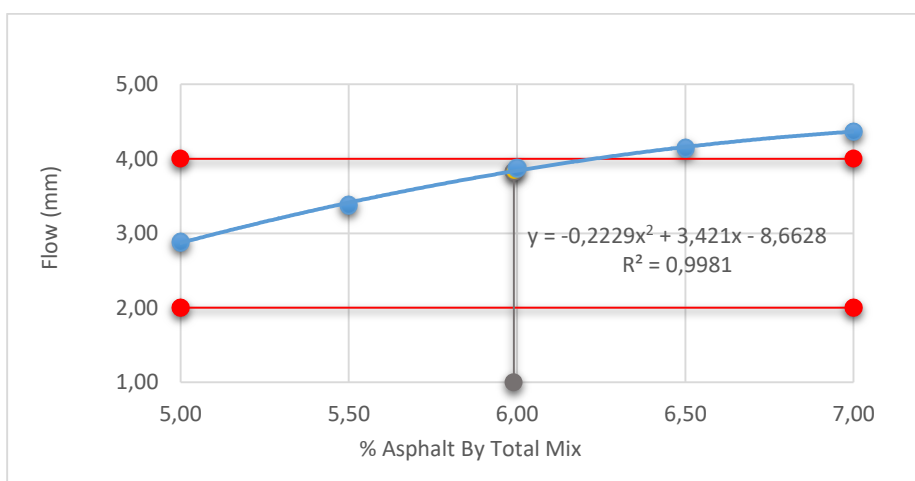


Gambar 4.12: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) Styrofoam 2%, 2,5%, 3%.

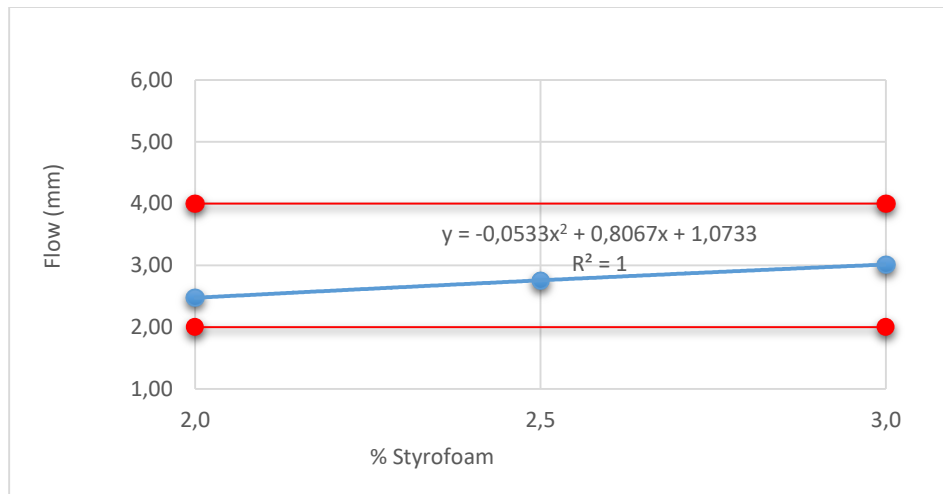
Dari hasil pengujian untuk nilai VMA pada campuran normal disetiap persenan terus mengalami peningkatan hingga mencapai nilai sebesar 17,9% dan pada nilai KAO yang didapatkan sebesar 16,34%. Sedangkan pada campuran kadar styrofoam 2% sebesar 14,9%, kadar styrofoam 2,5% sebesar 14,5%, dan kadar styrofoam 3% sebesar 15,3%. Untuk spesifikasi minimum VMA sebesar 14%, grafik VMA menurun pada penggunaan kadar styrofoam 2,5% kemudian mengalami peningkatan kembali pada penggunaan kadar styrofoam 3%.

4.3.6. Kelelehan (*Flow*)

Nilai *flow* yang didapat pada aspal normal serta penggunaan bahan styrofoam 2%, 2,5%, 3% dapat dilihat pada Gambar 4.13 – 4.14.



Gambar 4.13: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) Campuran normal.



Gambar 4.14: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) *Styrofoam* 2%, 2,5%, 3%.

Berdasarkan spesifikasi bina marga, ditetapkan nilai flow 2 mm – 4 mm. Pada pengujian nilai flow aspal normal hanya aspal 5%, dan 6,23% yang memenuhi spesifikasi bina marga. Sedangkan pada KAO didapatkan nilai sebesar 3,83%, dan dari hasil pengujian untuk nilai flow pada kadar 2% sebesar 2,47 mm, pada kadar 2,5% sebesar 2,76 mm, kadar 3% sebesar 3,01 mm. Sehingga kadar styrofoam pada setiap persenan styrofoam memenuhi spesifikasi dari bina marga.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) dengan menggunakan *styrofoam*, maka kesimpulan yang didapat dari penelitian ini:

1. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 5,99%.
2. Perubahan pada nilai karakteristik Marshall substitusi aspal dengan *styrofoam*, berikut adalah hasil pengujian :
 - a. Nilai *bulk density* pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 2,346 gr/cc, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 2,357 gr/cc, kadar *styrofoam* 3% sebesar 2,356 gr/cc.
 - b. Nilai *stability* pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 828 kg, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 853 kg, kadar *styrofoam* 3% sebesar 878 kg. Berdasarkan spesifikasi bina marga nilai stabilitas minimum adalah 800 kg. Saat menggunakan kadar *styrofoam* 2%, 2,5%, 3% nilai *stability* terus mengalami peningkatan melebihi batas minimal sehingga memenuhi spesifikasi. Demikian pula dengan aspal normal, pada aspal normal semua persenan yang ada memenuhi spesifikasi bina marga 2018.
 - c. Nilai VIM pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 3,66%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 3,20%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 3,25%. Untuk spesifikasi VIM sebesar 3%-5% sehingga kadar *styrofoam* 2%, 2,5%, dan 3% memenuhi spesifikasi. Sedangkan pada aspal normal, hanya 5,75% sampai dengan 7% aspal yang memenuhi spesifikasi bina marga 2018.
 - d. Nilai VFA pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 76,42%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 78,08%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 78,94%. Pada spesifikasi VFA memiliki nilai minimum sebesar 65%, sedangkan hasil yang didapat saat menggunakan kadar *styrofoam* 2%, 2,5%, 3% melebihi batas minimal sehingga memenuhi spesifikasi. Pada campuran aspal

normal hanya aspal 5,48% sampai dengan 7% yang memenuhi syarat VFA pada spesifikasi bina marga 2018.

- e. Nilai VMA pada kadar styrofoam 2% sebesar 14,9%, kadar styrofoam 2,5% sebesar 14,5%, dan kadar styrofoam 3% sebesar 15,3%. Untuk spesifikasi minimum VMA sebesar 14%. VMA pada kadar styrofoam 2,5% mengalami penurunan kemudian mengalami peningkatan kembali pada penggunaan kadar styrofoam 3%. Tetapi semua persenan campuran memenuhi spesifikasi. Nilai VMA pada semua persenan aspal normal memenuhi spesifikasi dari bina marga 2018.
 - f. Nilai flow pada kadar 2% sebesar 2,47 mm, pada kadar 2,5% sebesar 2,76 mm, kadar 3% sebesar 3,01 mm. Berdasarkan spesifikasi bina marga untuk nilai flow 2 mm – 4 mm sehingga kadar styrofoam pada setiap persenan memenuhi spesifikasi dari bina marga. Pada persenan campuran aspal normal hanya aspal 5% sampai dengan 6,23% yang memenuhi spesifikasi bina marga.
3. Dari hasil penelitian aspal substitusi dengan styrofoam dapat disimpulkan bahwa penggunaan styrofoam sebagai campuran aspal memiliki nilai yang bagus, tetapi harus dilakukan penelitian lebih lanjut lagi agar lebih dapat dipastikan karena kurangnya referensi tentang penelitian aspal AC-BC yang menggunakan campuran styrofoam.

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.
3. Diharapkan memperbarui atau memperbaiki alat laboratorium Teknik Sipil UMSU agar penelitian dapat dilakukan dengan maksimal.

4. Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut mengenai aspal substitusi styrofoam pada AC-BC agar lebih banyak referensi yang didapat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adly, E. (2016). *Styrofoam sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60 / 70 dengan Kadar 0 %*. 11(1), 41–49.
- Agustian, K., & Ridha, M. (2018). Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Dengan Menggunakan 6% Getah Damar Sebagai Bahan Substitusi Aspal. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 4(1), <https://doi.org/10.30601/unayaded.v4i1.193>
- Mashuri. (2010). Karakteristik aspal sebagai bahan pengikat yang ditambahkan styrofoam. *SMARTek*, 8(1), 1–12.
- Maulana, K. (2019). *Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC*.
- Putri, E. E. (2016). Tinjauan Substitusi Styrofoam Pada Aspal Pen. 60/70 Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Concrete - Wearing Course (Ac-Wc). *Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 105–114.
- Raharjo, B., Pratomo, P., & Ali, H. (2016). *Pengaruh Suhu Pematatan Campuran Untuk Perkerasan Lapis Antara (AC-BC)*. 4(1), 43–50.
- Refi, A. (2017). Efek Pemakaian Pasir Laut Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall. *Jurnal Teknik Sipil Itp Issn 2354-8452 E-Issn 2614-414x*, 2(1).
- SNI 06-2489-1991 Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall.
- SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar
- Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. 2018. Surat Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018
- Supriadi, T., Syafaruddin As, H. A. (2010). *Perkerasan Campuran Aspal Ac-Wc Terhadap Sifat Penuaan Aspal* Supriadi. T 1) ., Syafaruddin As 2) , Heri Azwansyah 2). 2–15.
- Tarmizi, T., Saleh, S. M., & Isya, M. (2018). Pengaruh Substitusi Semen Portland Dan Fly Ash Batubara Pada Filler Abu Batu Terhadap Asphalt Concrete-Binder Course (Ac-Bc). *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 749–760. <https://doi.org/10.24815/Jts.V1i3.10036>
- Waani, J. E. (2013). Evaluasi Volumetrik Marshall Campuran AC-BC. *Jurnal Teoretis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 20(1), 67–78.
- Winayati, W., & Lubis, F. (2018). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Ac-Bc Menggunakan Filler Abu Tandan Sawit Dan Abu Batu. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 51-58

- Yacob, M., & Wesli, W. (2018). Pengaruh Kadar Filler Abu Batu Kapur Dan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton Ac-Bc. *Teras Jurnal-Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 213-222.
- Yuniarti, S., & Rachman, R. (2020). Studi Karakteristik Campuran AC-BC Berdasarkan Limbah Kantong Plastik Sebagai Bahan Tambah. *Paulus Civil Engineering Journal*, 2(2), 70-76.

LAMPIRAN



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20230

LEMBAR ASISTENSI

Nama : NAUVAL RIZKY
NPM : 1607210160
Jurusan : TEKNIK SIPIL
Judul TA : PENGARUH SUBSTITUSI *STYROFOAM* PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE (AC-BC) DENGAN PENGUJIAN MARSHALL

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	14 1 2020	Pendataan sesuai dengan penduan yang berlaku	cf
2	30 1 2020	Acc seminar	cf

DOSEN PEMBIMBING

(M.HUSIN GULTOM, S.T, M.T)



FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
JL. KAPTEN MUKHTAR BASRI NO.3 MEDAN 20238

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : NAUVAL RIZKY
NPM : 1607210160
JUDUL : PENGARUH SUBSTITUSI STYROFOAM PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE (AC-BC) DENGAN PENGUJIAN MARSHALL

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	17/7 20	Perbaiki perhitungan komposisi campuran tencana	CF
2.	3/8 20	Perbaiki tujuan penelitian dan ring lingkup permasalahan	CF
3.	12/10 20	Perbaiki perhitungan penentuan kadar aspal optimum	CF

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir

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



FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
JL. KAPTEN MUKHTAR BASRI NO.3 MEDAN 20238

LEMBAR ASISTENSI

NAMA : NAUVAL RIZKY
NPM : 1607210160
JUDUL : PENGARUH SUBSTITUSI *STYROFOAM* PADA CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE (AC-BC)* DENGAN PENGUJIAN *MARSHALL*

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
4.	16/11 20	Perbaiki penulisan dan uraian pembahasan.	<i>cf</i>
5.	19/11 20	Acc	<i>cf</i>

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir

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


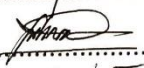

**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021**

Peserta seminar

Nama : Nauval Rizky

NPM : 1607210160

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Substitusi Styfoam Pada Campuran Aspal Concrete-Binder Course (Ac- Bc) dengan Pengujian Marshall.

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN	
Pembimbing – I	: M.Husin Gultom.S.T.M.t	:	
Pembanding – I	: DR.Fahrizal.Z.S.T.M.Sc	:	
Pembanding – II	: DR.Adc Faisal.S.T.M.Sc	:	
No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Medan, 03 Rab. Akhir 1442 H
18 Desember 2020 M

Ketua Prodi. T. Sipil



DR.Fahrizal Z.S.T.M.Sc

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Nauval Rizky
NPM : 1607210160
Judul T.Akhir : Pengaruh Substitusi Styfoam Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (Ac- Bc) Dengan Pengujian Marshall.

Dosen Pembimbing – I : M.Husin Gultom.S.T.M.T
Dosen Pemanding - I : DR.Fahrizal Z.S.T.M.Sc
Dosen Pemanding - II : DR.Ade Faisal.S.T.M.Sc

KEPUTUSAN

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

- *Kembali dapat Proklamasi*
.....
- *Campur dan Perbaikan*
.....
.....

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

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

Ade Faisal Faisal
Faisal $\frac{14}{01}$ 2021.

Medan 03 Rab.Akhir 1442H
18 Desember 2020M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Sipil



DR.Fahrizal Z.S.T.M.Sc

Dosen Pemanding- I



DR.Fahrizal.Z.S.T.M.Sc

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

NAMA : Nauval Rizky
NPM : 1607210160
Judul T.Akhir : Pengaruh Substitusi Stypoam Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (Ac- Bc) Dengan Pengujian Marshall.

Dosen Pembimbing – I : M.Husin Gultom.S.T.M.T
Dosen Pembanding - I : DR.Fahrizal Z.S.T.M.Sc
Dosen Pembanding - II : DR.Ade Faisal.S.T.M.Sc

KEPUTUSAN

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

... Celi ...

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

... ace telah dihardes 07/12/20
ade faisal

Medan 03 Rab.Akhir 1442H
18 Desember 2020M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Sipil

Fahrizal
DR.Fahrizal Z.S.T.M.Sc

Dosen Pembanding- II

ade faisal
DR.Ade Faisal.S.T.M.Sc

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

Condn	AC - BC 60/70	7.693 x	+	0.376	No	Material	Fagen		Bulk		SSD		Apparent		Emulsi		Ej Aspal 1,025	Ej Gajung Bulk 2,293					
							0%	#(V _o /V)	#(V _o /V)	#(V _o /V)	#(V _o /V)	#(V _o /V)	#(V _o /V)	#(V _o /V)									
Aspal Kerolan P/ov Tempal					1	Course Aggregate 1"	20%	2.817	2.660	2.708	2.682												
					2	Course Aggregate 3/4"	30%	2.620	2.655	2.714	2.697												
					3	Medium Aggregate 1/2"	40%	2.526	2.604	2.704	2.633												
					4	Coarser Dust	10%	2.724	2.779	2.881	2.802												
					5	Natural Sand																	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t				
5.3	5.0	1.180.0	1.192.0	682.0	510.0	2.314	2.471	11.177	64.640	4.242	12.180	34.124	3.942	1.70	8.47	870	2.97	205	1.06				
2	5.0	1.175.0	1.184.0	677.0	507.0	2.314	2.471	11.177	64.626	4.242	12.184	34.128	3.942	1.05	8.08	840	2.97	205	1.06				
3	5.0	1.175.0	1.191.0	683.0	508.0	2.313	2.471	11.174	64.645	4.242	12.187	34.028	3.942	1.12	8.52	893	2.70	211	1.06				
1	5.8	1.200.0	1.205.0	687.0	518.0	2.317	2.485	12.210	64.625	4.247	12.202	34.214	4.447	1.15	8.85	883	3.51	212	1.06				
2	5.5	1.187.0	1.189.0	680.0	509.0	2.320	2.485	12.200	64.621	4.249	12.209	34.209	4.447	1.08	8.37	855	3.34	217	1.05				
3	5.5	1.178.0	1.192.0	684.0	508.0	2.319	2.485	12.212	64.624	4.244	12.212	34.212	4.447	1.10	8.47	877	3.29	216	1.05				
1	6.4	1.185.0	1.192.0	683.0	509.0	2.328	2.485	12.495	64.625	4.251	12.222	34.222	4.252	1.19	9.15	945	3.98	217	1.05				
2	6.0	1.189.0	1.195.0	683.0	512.0	2.322	2.485	12.482	64.297	4.250	12.742	34.289	4.252	1.15	8.85	903	3.87	215	1.05				
3	6.0	1.183.0	1.187.0	678.0	509.0	2.324	2.485	12.472	61.274	4.252	12.028	34.242	4.252	1.13	8.70	897	3.78	217	1.05				
1	6.9	1.184.0	1.187.0	675.0	512.0	2.325	2.485	12.477	63.688	4.255	12.404	34.254	4.253	1.22	9.47	955	4.14	215	1.05				
2	6.5	1.190.0	1.200.0	685.0	514.0	2.315	2.485	12.540	62.292	4.257	12.447	34.249	4.252	1.04	8.00	811	4.10	216	1.04				
3	6.5	1.190.0	1.197.0	683.0	514.0	2.315	2.485	12.540	62.222	4.257	12.777	34.232	4.252	1.05	8.08	819	4.18	216	1.04				
1	7.5	1.185.0	1.187.0	674.0	513.0	2.310	2.470	12.622	62.212	4.271	17.052	34.222	5.294	1.05	8.15	829	4.38	218	1.04				
2	7.0	1.189.0	1.200.0	685.0	515.0	2.309	2.470	12.612	62.272	4.221	17.122	34.242	5.294	1.12	8.52	870	4.25	219	1.04				
3	7.0	1.189.0	1.200.0	685.0	515.0	2.309	2.470	12.612	62.294	4.221	17.128	34.242	5.294	1.05	8.08	815	4.25	217	1.04				
	7.0				2.309	2.470	15.817	62.119	5.205	17.281	34.242	5.294			833	4.37	192	1.04					

Keterangan
a = % aspal termasap batuan
b = % aspal termasap campuran
c = beratsampelkering (gr)
d = beratsampeljenih (gr)
e = beratsampel dalam air (gr)
f = volume sampel (cc) = d - e
g = beratsampel (gr/cc) = c/f

h = berat jenis maksimum
i = $\frac{\% \text{ aspal}}{\text{berat jenis maksimum}} \times 100$
j = $\frac{\% \text{ aspal}}{\text{berat jenis maksimum}} \times \frac{\% \text{ aspal}}{\text{berat jenis maksimum}}$
k = $\frac{\% \text{ volume aspal}}{\% \text{ volume agregat}} = \frac{(b \times g) / (d \times f)}{(e - (b \times g)) / (d \times f)}$
l = $\frac{\% \text{ volume agregat}}{\% \text{ volume agregat}} = \frac{(100 - b) \times g / (d \times f)}{(e - (b \times g)) / (d \times f)}$
m = $\frac{\% \text{ rongga termasap agregat}}{\% \text{ rongga termasap agregat}} = \frac{100 - ((e \times b) / (d \times f))}{100 - ((e \times b) / (d \times f))}$
n = $\frac{\% \text{ rongga termasap agregat}}{\% \text{ rongga termasap agregat}} = \frac{100 - ((e \times b) / (d \times f))}{100 - ((e \times b) / (d \times f))}$
o = $\frac{\% \text{ rongga termasap agregat}}{\% \text{ rongga termasap agregat}} = \frac{100 - ((e \times b) / (d \times f))}{100 - ((e \times b) / (d \times f))}$
p = $\frac{\% \text{ rongga termasap agregat}}{\% \text{ rongga termasap agregat}} = \frac{100 - ((e \times b) / (d \times f))}{100 - ((e \times b) / (d \times f))}$
q = $\frac{\% \text{ rongga termasap agregat}}{\% \text{ rongga termasap agregat}} = \frac{100 - ((e \times b) / (d \times f))}{100 - ((e \times b) / (d \times f))}$
r = $\frac{\% \text{ rongga termasap agregat}}{\% \text{ rongga termasap agregat}} = \frac{100 - ((e \times b) / (d \times f))}{100 - ((e \times b) / (d \times f))}$
s = $\frac{\% \text{ rongga termasap agregat}}{\% \text{ rongga termasap agregat}} = \frac{100 - ((e \times b) / (d \times f))}{100 - ((e \times b) / (d \times f))}$
t = $\frac{\% \text{ rongga termasap agregat}}{\% \text{ rongga termasap agregat}} = \frac{100 - ((e \times b) / (d \times f))}{100 - ((e \times b) / (d \times f))}$
u = $\frac{\% \text{ rongga termasap agregat}}{\% \text{ rongga termasap agregat}} = \frac{100 - ((e \times b) / (d \times f))}{100 - ((e \times b) / (d \times f))}$

Gambar L.1: Tabel marshall aspal normal

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

Ciri	AC-BC 60/70	7,893 x	+	0,318	No		Persen		Bulk		SBD		Aparent		Ewert		B/Aparent	B/Gauging	
					1	2	0%	40%	#QMV/	#SD	#QMV/	#QV/	#QV/	#QV/	#QV/	#QV/			
Aspal					1	2	20%	2,817	2,660	2,705	2,662	2,662	2,662	2,662	2,662	2,662	1,035	Bulk	2,991
Agregat					3	4	30%	2,620	2,655	2,714	2,667	2,667	2,667	2,667	2,667	2,667	1,035	ER	2,991
Kalorisi Pori					4	5	40%	2,525	2,604	2,740	2,633	2,633	2,633	2,633	2,633	2,633	1,035		
Tinggi					5		10%	2,724	2,779	2,881	2,802	2,802	2,802	2,802	2,802	2,802	1,035		
1	539	1.187,0	1.194,0	682,0	512,0	2378	2425	12.417	64.214	4.004	12.276	607,35	4.942	17,0	8,47	864	2,39	261	1,05
2	539	1.186,0	1.194,0	682,0	512,0	2314	2425	12.893	62.262	4.265	12.672	602,34	4.942	107	8,23	840	2,48	259	1,05
3	539	1.191,0	1.194,0	699,0	495,0	2405	2425	12.613	64.572	4.202	12.894	603,21	4.942	93	7,15	779	2,55	258	1,05
	688					2468	2425	12.678	64.628	3.853	14.883	78.421	4.942			828	2,47	255	1,05
1	539	1.183,0	1.183,0	677,0	505,0	2338	2425	12.511	64.225	4.000	12.149	729,22	4.942	115	8,85	923	2,53	255	1,05
2	539	1.186,0	1.192,0	695,0	497,0	2384	2425	12.799	66.217	4.087	12.622	844,50	4.942	100	7,99	856	2,67	250	1,05
3	539	1.189,0	1.199,0	693,0	505,0	2390	2425	12.999	62.267	4.212	14.722	743,27	4.942	97	7,47	779	3,02	252	1,05
	688					2467	2425	12.842	64.748	3.203	14.461	78.077	4.942			863	2,78	252	1,05
1	539	1.190,0	1.196,0	699,0	499,0	2395	2425	12.802	66.224	4.202	12.698	842,72	4.942	119	9,15	961	2,67	242	1,05
2	539	1.188,0	1.196,0	687,0	509,0	2334	2425	12.903	64.261	4.225	12.508	722,09	4.942	109	8,39	866	3,05	252	1,05
3	539	1.196,0	1.203,0	694,0	509,0	2390	2425	12.999	62.264	4.217	17.124	794,50	4.942	99	7,92	786	3,11	252	1,05
	688					2468	2425	12.838	64.703	3.263	16.267	78.644	4.942			878	3,01	252	1,05

Keterangan
a = % aspal term. adp batuan
b = % aspal term. adp campuran
c = berestsampekering (g/l)
d = berestsampekajau (g/l)
e = berestsampekalam air (g/l)
f = volume sample (cc) = d - e
g = berestsampek (g/cc) = c/f

h = berests jenis maksimum

$$\frac{\% \text{ agregat } i + \% \text{ aspal}}{\% \text{ agregat } i + \% \text{ aspal}}$$
i = % volume aspal = (b x g) / (b x g) + (d x g)
j = % volume agregat = ((100 - b) x g) / ((100 x g) / h)
k = % rongga term. adp campuran = 100 - ((100 x g) / h)
l = % rongga term. adp agregat = 100 - ((g x b) / (b x g))

m = % rongga term. adp srt = 1000 x (l - k) / l
n = kadar aspal efektif
o = pembatasan srt / stabilitas
p = kalibrasi p. rongga rongga
q = stabilitas srt / r
r = ketahanan (mm)
s = marsh quotient = q/r

Gambar L.2: Tabel marshall KAO campuran styrofoam



Gambar L.3: Proses penyaringan agregat



Gambar L.4: Proses pencampuran agregat.



Gambar L.5: Proses penimbangan agregat.



Gambar L.6: Proses penimbangan dan percampuran agregat.



Gambar L.7: Pembuatan benda uji.



Gambar L.8: proses pemadatan benda uji.



Gambar L.9: Proses pemadatan benda uji.



Gambar L.10: Test marshall.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama : Nauval Rizky
Panggilan : Gopal, Nobi
Tempat, Tanggal Lahir : Sigli, 20 Desember 1998
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat Sekarang : JL. KL. YOS SUDARSO LK.II BINJAI
UTARA
HP/Tlpn Seluler : 0823-6015-6305

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1607210160
Fakultas : Teknik
Program Studi : Teknik Sipil
Jenis Kelamin : Laki-laki
Peguruan Tinggi : Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara
Alamat Peguruan Tinggi : Jl. Kapten Muchtar Basri, No. 3 Medan 20238

PENDIDIKAN FORMAL

Tingkat Pendidikan	Nama dan Tempat	Tahun
Kelulusan		
Sekolah Dasar	SDN 025282 Binjai Utara	2004 - 2010
Sekolah Menengah Pertama	SMPN 11 Binjai	2010 - 2013
Sekolah Menengah Atas	SMAN 5 Binjai	2013 - 2016

ORGANISASI

Informasi	Tahun
-----------	-------