

TUGAS AKHIR

**PENGARUH SUBSTITUSI *STYROFOAM* PADA CAMPURAN ASPAL
PENETRASI 60/70 TERHADAP ASPHALT CONCRETE – WEARING
COURSE (AC-WC) DENGAN PENGUJIAN MARSHALL
(Studi Penelitian)**

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

DISUSUN OLEH:

RIZKI IRWANSYAH
1607210189



UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya

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

Bila menjawab surat ini agar disebutkan
Nomor dan tanggalnya

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING

Tugas Akhir ini diajukan oleh :

Nama : Rizki Irwansyah
NPM : 1607210189
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi *Styrofoam* Pada Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* Dengan Pengujian Marshall
Bidang Ilmu : Transportasi

DISETUJUI UNTUK DISAMPAIKAN KEPADA
PANITIA UJIAN SKRIPSI

Medan, 17 Januari 2021

Dosen Pembimbing

UMSU
Unggul | Cerdas | Terpercaya
Muhammad Husin Gultom, S.T, M.T.

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Rizki Irwansyah
NPM : 1607210189
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi *Styrofoam* Pada Campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* 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, 17 Januari 2021

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing



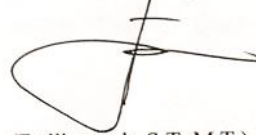
(Muhammad Husin Gultom, S.T, M.T.)

Dosen Pembimbing I



(Dr. Ade Faisal)

Dosen Pembimbing II



(Fadliansyah, S.T, M.T.)

Ketua Prodi Teknik Sipil



(Dr. Fahrizal Zulkarnain)

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Rizki Irwansyah
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 18 Februari 1998
NPM : 1607210189
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 – Wearing Course* (AC-WC) Dengan Pengujian Marshall”

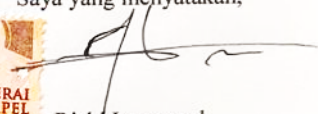
Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena/hubungan material dan non-material serta segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

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, 17 Januari 2021
Saya yang menyatakan,




Rizki Irwansyah

ABSTRAK

PENGARUH SUBSTITUSI *STYROFOAM* PADA CAMPURAN ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP *ASPHALT CONCRETE – WEARING COURSE (AC-WC)* DENGAN PENGUJIAN MARSHALL

Rizki Irwansyah

1607210189

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

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Penggunaan limbah *Styrofoam* sebagai bahan alternatif untuk perkuatan perkerasan aspal dapat menjadi salah satu solusi, karena bisa mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang ke lingkungan, mengingat jumlah limbah *styrofoam* selalu meningkat dari tahun ke tahun. Dengan pemanfaatan limbah industri seperti *styrofoam* dapat diolah menjadi bahan substitusi aspal dalam membuat campuran perkerasan jalan yang diharapkan mampu menghasilkan suatu perkerasan dengan kekuatan yang baik, ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari nilai *bulk density*, *stability*, VIM, VFA, VMA, dan *flow*. Dari hasil pengujian didapat kadar aspal optimum sebesar 6,24% dengan campuran kadar *styrofoam* yang diuji adalah dari 2%, 2,5%, dan 3%. Sampel pengujian sebanyak 24 benda uji. Dari parameter nilai Marshall kadar *Styrofoam* terbaik didapat pada kadar aspal dengan *Styrofoam* 2,5% . Dari campuran dengan *Styrofoam* didapat nilai *bulk density* sebesar 2,289%, nilai *stability* sebesar 791 kg, nilai VIM sebesar 5,28%, nilai VFA sebesar 68,56, nilai VMA sebesar 16,70%, nilai *flow* sebesar 3,97 mm.

Kata Kunci: Aspal, Pengujian *Marshall*, *Styrofoam*

ABSTRACT

THE EFFECT OF STYROFOAM SUBSTITUTION ON 60/70 PENETRATION ASPHALT MIXING ON ASPHALT CONCRETE - WEARING COURSE (AC-WC) WITH MARSHALL TESTING

Rizki Irwansyah
1607210189
Muhammad Husin Gultom, S.T, M.T.

Asphalt or bitumen is a black-brown material that is viscoelastic, so it will soften and melt if it gets sufficient heating and otherwise. The use of Styrofoam waste as an alternative material for the flexible pavement can be one solution, because it can reduce the amount of waste that must be disposed of into the environment, considering that the amount of Styrofoam waste always increases from year to year. By utilizing industrial waste such as Styrofoam, it can be processed into asphalt substitution material in making a flexible pavement mixture which is expected to produce a pavement with good strength, environmentally friendly. This study aims to study the values of bulk density, stability, VIM, VFA, VMA, and flow. From the test results, it was found that the optimum asphalt content was 6.24% with a mixture of styrofoam levels tested from 2%, 2.5%, and 3%. The test samples were 24 specimens. From the Marshall value parameter, the best Styrofoam content was obtained in the 2.5% Styrofoam asphalt content. From the mixture with Styrofoam, it was obtained that the bulk density value was 2.289%, the stability value was 791 kg, the VIM value was 5.28%, the VFA value was 68.56, the VMA value was 16.70%, the flow value was 3.97 mm.

Keywords: Asphalt, Marshall Testing, Styrofoam

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 Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) 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. Ade Faisal, selaku Dosen Pembimbing I sekaligus Wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan masukan.
3. Bapak Fadliansyah, S.T, M.T., selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan masukan.
4. Bapak Dr. Fahrizal Zulkarnain, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
5. Ibu Irma Dewi, S.T, M.T, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Bapak Munawar Alfansuri S.T, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

7. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu materi pembelajaran Teknik Sipil kepada penulis.
8. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
9. Kedua orang tua, Ayahanda Amir Mahmud Sagita Pohan dan Ibunda Dahlia Ritonga 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..
10. 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 laporan magang ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak yang membutuhkan.

Medan, 17 Januari 2021

Penulis



Rizki Irwansyah
160721089

DAFTAR ISI

LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	
HALAMAN PENGESAHAN	
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	v
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
BAB 1	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Ruang Lingkup	2
1.4. Tujuan	2
1.5. Manfaat Penelitian	3
1.6. Sistematika Penelitian	3
BAB II	4
2.1. Aspal	4
2.1.1. Karakteristik Aspal	5
2.1.2. Sifat-Sifat Fisik Aspal	6
2.1.3. Klasifikasi Campuran Aspal	8
2.2. Agregat	8
2.2.1. Agregat Umum	9
2.2.2 Agregat Kasar	9
2.2.3. Agregat Halus	10
2.3. Gradasi Agregat Gabungan	12
2.4. Bahan Aspal Untuk Campuran Beraspal	13

2.5. Perkerasan Jalan	16
2.6. <i>Styrofoam</i>	16
2.7. Pengujian Marshall	17
BAB III	25
3.1. Metode Penelitian	25
3.1.1. Data Primer	27
3.1.2. Data Sekunder	27
3.2. Tempat dan Waktu Penelitian	27
3.3. Bahan dan Peralatan	27
3.3.1. Bahan	27
3.3.2. Peralatan	27
3.4. Persiapan Material	28
3.5. Pemeriksaan Agregat	28
BAB IV	29
4.1. Hasil Penelitian	29
4.1.1. Pemeriksaan Gradasi Agregat	29
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat	32
4.1.3. Hasil Pemeriksaan Aspal	34
4.1.4. Pemeriksaan Terhadap Parameter Benda Uji	35
4.2. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum	37
4.2.1. Kepadatan (<i>Bulk Density</i>)	37
4.2.2. Stabilitas (<i>Stability</i>)	38
4.2.3. Rongga Udara Dalam Campuran (<i>Air Voids/Voids in Mix Marshall, VIM</i>)	38
4.2.4. Rongga Terisi Aspal (<i>Voids Filled with Asphalt, VFA</i>)	39
4.2.5. Rongga Antara Mineral Agregat (<i>Void In Mineral Aggregate, VMA</i>)	40
4.2.6. Kelelehan (<i>Flow</i>)	40
4.2.7. Kadar Aspal Optimum (KAO)	41
4.3. Pembahasan Pengujian Marshall	41

4.3.2.	Stabilitas (<i>Stability</i>)	42
4.3.2.	Rongga Udara Dalam Campuran (<i>Air Voids/Voids in Mix Marshall, VIM</i>)	43
4.3.3.	Rongga Terisi Aspal (<i>Voids Filleds with Asphalt, VFA</i>)	44
4.3.4.	Rongga Antara Mineral Agregat (<i>Void In Mineral Agreggate, VMA</i>)	44
4.3.5.	Kelelehan (<i>Flow</i>)	45
BAB V		47
5.1.	Kesimpulan	47
5.2.	Saran	47
DAFTAR PUSTAKA		49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Alat pengujian Marshall (Maulana, 2019)	17
Gambar 2.2 Grafik angka koreksi stabilitas akhir	23
Gambar 3.1 Bagan alir penelitian yang dilaksanakan	25
Gambar 4.1 Grafik hasil kombinasi gradasi agregat.	30
Gambar 4.2 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density</i> (gr/cc) campuran normal.	38
Gambar 4.3 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Stability</i> (Kg) campuran normal.	38
Gambar 4.4 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) campuran normal.	39
Gambar 4.5 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>VFA</i> (%) campuran normal.	40
Gambar 4.6 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>VMA</i> (%) campuran normal.	40
Gambar 4.7 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Flow</i> (mm) Campuran normal.	41
Gambar 4.8 Gambar 4.8: Grafik KAO	41
Gambar 4.9 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Bulk Density</i> (gr/cc) <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%.	42
Gambar 4.10 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Stability</i> (Kg) <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%.	43
Gambar 4.11 Gambar 4.11: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%	44
Gambar 4.12 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Air Voids</i> (VIM) (%) <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%.	44
Gambar 4.13 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>VMA</i> (%) <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%.	45
Gambar 4.14 Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan <i>Flow</i> (mm) <i>Styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3%.	46

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar (Spesifikasi Umum Bina Marga).	10
Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)	11
Tabel 2.3 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga)	12
Tabel 2.4 Contoh Batas-Batas “Bahan Bergradasi Senjang” (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)	13
Tabel 2.5 Ketentuan Untuk Aspal Keras (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)	14
Tabel 2.6 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC) (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)	15
Tabel 2.7 Angka koreksi stabilitas akhir (SNI 06-2489-1991).	22
Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (Ma) ½ inch.	28
Tabel 4.2 Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus pasir (<i>Sand</i>).	29
Tabel 4.3 Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr).	29
Tabel 4.4 Hasil pemeriksaan analisa saringan.	30
Tabel 4.5 Persentase campuran agregat pada normal.	31
Tabel 4.6 Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji standar.	31
Tabel 4.7 Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji penggunaan <i>styrofoam</i> 2%, 2,5%, 3% pada KAO.	32
Tabel 4.8 Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar MA ½ inch.	33
Tabel 4.9 Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir (<i>sand</i>).	33
Tabel 4.10 Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu batu (Cr).	34
Tabel 4.11 Hasil pemeriksaan karakteristik aspal Pertamina Pen 60/70 (PT. Tri Murti Patumbak).	35
Tabel 4.12 Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran normal.	37
Tabel 4.13 Rekapitulasi hasil uji <i>Marshall</i> campuran substitusi <i>styrofoam</i> 2%,2,5%, 3% pada keadaan KAO.	42

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Penggunaan limbah *Styrofoam* sebagai bahan alternatif untuk perkuatan perkerasan aspal dapat menjadi salah satu solusi, karena bisa mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang ke lingkungan, mengingat jumlah limbah styrofoam selalu meningkat dari tahun ke tahun.

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 (Mashuri, 2010).

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. Berapakah kadar aspal optimum yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji yang menggunakan substitusi *Styrofoam*?
2. Apakah ada perbandingan karakteristik aspal yang menggunakan substitusi *Styrofoam* dengan aspal yang tidak menggunakan *Styrofoam*?

1.3. Ruang Lingkup

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) berasal dari Binjai.
 - c. Agregat Halus (Pasir) berasal dari Binjai.
 - d. *Styrofoam* berasal dari limbah dekorasi *wedding organizer*.
 - e. Persentase campuran *styrofoam* yang digunakan adalah 2%, 2,5%, dan 3% dari total berat aspal.
3. Pada setiap variasi campuran terdapat 3 benda uji.
4. Tidak melakukan pengujian daktilitas.
5. Tidak melakukan pengujian penetrasi.

1.4. Tujuan

1. Untuk mengetahui jumlah kadar aspal optimum (KAO) yang akan digunakan pada campuran *styrofoam*.
2. Untuk mengetahui karakteristik Marshall dari hasil substitusi *Styrofoam* pada kadar aspal optimum (KAO).

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam perencanaan pada perkerasan lentur Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC) dengan tambahan *styrofoam* .

1.6. Sistematika Penelitian

BAB I PENDAHULUAN:

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

BAB II KAJIAN PUSTAKA:

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

BAB III METODE PENELITIAN:

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

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN:

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

BAB V 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

KAJIAN PUSTAKA

2.1. Aspal

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat *viskoelastis* sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya. Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen, oleh sebab itu aspal sering disebut material berbituminous. Fungsi aspal adalah sebagai bahan pengikat aspal dan agregat atau antara aspal itu sendiri, juga sebagai pengisi rongga pada agregat. Daya tahannya (*durability*) berupa kemampuan aspal mempertahankan sifat aspal akibat pengaruh cuaca dan tergantung pada sifat campuran aspal dan agregat. Sedangkan sifat adhesi dan kohesi yaitu kemampuan aspal mempertahankan ikatan yang baik. Sifat kepekaan terhadap temperaturnya aspal adalah material termoplastik yang bersifat lunak / cair apabila temperaturnya bertambah. Berdasarkan bentuknya, aspal dapat dibedakan dalam 3 jenis yaitu :

1. Aspal keras (*Asphalt Cement*)

Aspal keras pada suhu ruang (250°C-300°C) berbentuk padat. AC dibedakan berdasarkan nilai penetrasi (tingkat kekerasannya). Untuk Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas, volume lalu lintas tinggi sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin, lalu lintas rendah. Aspal keras yang biasa digunakan yaitu:

- a. AC Pen 40/50
- b. AC Pen 60/70
- c. AC Pen 80/100
- d. AC Pen 120/150
- e. AC pen 200/300

2. Aspal cair (*Cut Back Asphalt*)

Aspal cair adalah campuran antara aspal keras dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Maka cut back asphalt berbentuk cair dalam temperatur ruang. Aspal cair digunakan untuk keperluan lapis resap pengikat (*prime coat*).

3. Aspal emulsi

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Pada proses ini partikel-partikel aspal padat dipisahkan dan didispersikan dalam air. (Supriadi dkk., 2010)

2.1.1. Karakteristik Aspal

Karakteristik aspal menurut Sukirman (2003), adalah sebagai berikut:

1. Daya tahan (*Durability*)

Daya tahan aspal adalah sifat yang menunjukkan kemampuan aspal untuk mempertahankan sifat asalnya yang diakibatkan pengaruh cuaca atau iklim selama masa pelalanan jalan. Sifat ini juga dipengaruhi oleh sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain-lain.

2. Kekerasan aspal

Sifat ini menunjukkan tingkat kekerasan aspal. Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampurkan dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal. Pada proses pelaksanaan selanjutnya, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan ini terus terjadi sampai masa pelayanan selesai. Jadi selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat

3. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal merupakan material yang bersifat termoplastis, artinya aspal akan menjadi keras atau kental pada suhu rendah dan akan menjadi lunak atau cair pada suhu tinggi. Kepekaan terhadap temperatur dari masing-masing aspal berbeda-beda tergantung dari asalnya walaupun aspal tersebut dari jenis yang sama.

4. Adhesi dan kohesi

Adhesi adalah sifat yang menunjukkan kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga menghasilkan ikatan yang baik antara aspal dengan agregat. Kohesi adalah sifat yang menunjukkan kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap ditempatnya setelah terjadi pengikatan. Karakteristik-karakteristik tersebut perlu diuji dan diperhatikan sehingga dapat digunakan sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan yang baik.

2.1.2. Sifat-Sifat Fisik Aspal

Sifat-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. 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:

1. Proses oksidasi yaitu adanya reaksi antara aspal dengan oksigen di udara. Penguapan, yaitu penguapan bahanbahan pembentuk aspal yang terjadi selama proses produksi campuran aspal panas.
2. Karakteristik aspal sebagai bahan pengikat yang ditambahkan styrofoam.
3. Polimerisasi, yaitu proses pembentukan molekul yang lebih besar dimana molekul-molekul ini akan menyebabkan pengerasan pada aspal yang bersifat progresif.

4. 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.
5. Proses syneresis, yaitu proses pemisahan bahan yang kurang viskos dari dalam aspal yang lebih viskos yang diakibatkan oleh penyusutan atau pengaturan ulang struktur-struktur bahan pengikat dalam aspal akibat proses fisik dan kimia.
6. Proses pemisahan yaitu, hilangnya material-material yang turut membentuk aspal akibat proses pemisahan resins, aspaltenes dan oil oleh penyerapan selektif dari beberapa jenis agregat.

Sampai saat ini tidak ada pengukuran langsung mengenai proses penuaan aspal sebagai bahan pengikat. Yang ada sekarang ini adalah pengukuran penuaan aspal dengan melakukan proses simulasi di laboratorium seperti pengujian nilai penetrasinya, pengujian geser dinamis (*Direct Shear Reometer*), uji tarik tidak langsung, Uji bending rheometer serta pengujian viskositasnya.

Mensimulasikan efek dari penuaan aspal adalah penting dilakukan karena kualitas aspal yang tersedia di setiap negara adalah berbeda sehingga sifat-sifat fisik dalam hal proses penuaan juga akan berbeda. Penuaan aspal sebagai bahan pengikat dapat dikategorikan sebagai berikut:

1. Proses penuaan jangka pendek, terjadi pada saat aspal dipanaskan dan dicampur dengan agregat panas dalam alat pencampur di AMP.
2. Proses penuaan jangka panjang, yaitu terjadi pada saat jalan telah dibangun dan biasanya diakibatkan oleh pengaruh lingkungan dan beban lalu-lintas yang lewat di atasnya.

Tipikal pengujian penuaan aspal sebagai bahan pengikat yang umum dikenal adalah:

1. Pengujian *Thin Film Oven Test* (TFOT).
2. Pengujian *Rolling Film Oven Test* (RTFO).
3. Pengujian *Pressure Aging Vessel* (PAV).

Pengujian PAV ini telah diadopsi pada superpave untuk mensimulasikan efek penuaan jangka panjang yang terjadi sebagai akibat pelayanan jalan dalam kurun waktu 5 tahun sampai 10 tahun (Mashuri, 2010).

2.1.3. Klasifikasi Campuran Aspal

Secara umum menurut spesifikasi Bina Marga 2005, campuran aspal panas dapat diklasifikasikan dalam :

1. Latasir (*sand sheet*) kelas A dan B.

Campuran ini ditujukan untuk jalan dengan lalu-lintas rencana kurang dari 0,5 juta ESA dan khususnya pada daerah dimana agregat kasar sulit diperoleh. Pemilihan kelas A atau B terutama tergantung pada gradasi pasir yang digunakan.

2. Lataston (HRS).

Lataston terdiri dari dua macam campuran, yaitu lataston lapis pondasi (HRS-Base) dan lataston lapis permukaan (HRS-Wearing Course). Ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. Lataston lapis pondasi (HRS-Base) mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada lataston lapis permukaan (HRS-Wearing Course). Campuran ini ditujukan untuk jalan dengan lalu-lintas rencana kurang dari 1 juta ESA.

3. Laston (AC).

Laston (AC) terdiri dari tiga macam campuran, yaitu laston lapis aus (AC-WC), laston lapis antara (AC-BC), dan laston lapis pondasi (AC-Base). Ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal polimer atau aspal dimodifikasi dengan asbuton atau aspal multigrade disebut masing-masing sebagai AC-WC Modified, AC-BC Modified, dan AC-Base Modified. Laston ditujukan untuk jalan dengan lalu lintas rencana berkisar antara 1 - 10 juta ESA, sedangkan laston dimodifikasi (AC modified) ditujukan untuk jalan dengan lalu lintas rencana lebih besar dari 10 juta ESA (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

2.2. Agregat

Menurut SNI 03-2847-2002, agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku pijar, yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton atau adukan semen hidraulik. Berdasarkan ukuran besar butirnya, agregat yang dipakai dalam adukan beton dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat halus dan agregat kasar. (Saifuddin dkk., 2013)

2.2.1. Agregat Umum

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 2.6.
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.

2.2.2 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 Umum Bina Marga).

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai	
Kekakuan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium Sulfat	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	100/90 *)	
		Lainnya	95/90 **)	
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 %

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.

2.2.3. 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 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 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2.

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

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428 -1997	Min 50 %
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	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 %
-----------------------------	--------------------	-----------

2.3. 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 2.4 di bawah ini, Pengawas Pekerjaan dapat menerima gradasi tersebut asalkan sifat-sifat campurannya memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3: Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga)

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 Umum Bina Marga 2018).

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

2.4. Bahan Aspal Untuk Campuran Beraspal

1. Bahan aspal berikut yang sesuai dengan Tabel 2.5 dapat digunakan. Bahan pengikat ini dicampur dengan agregat sehingga menghasilkan campuran beraspal sebagaimana mestinya sesuai dengan yang disyaratkan yang disebutkan dalam table 2.6 mana yang relevan, sebagaimana yang disebutkan dalam gambar atau yang di perintahkan oleh pengawas pekerjaan. Pengambilan contoh bahan aspal harus dilaksanakan sesuai dengan SNI 06-6399-2000 dan pengujian sesuai sifat-sifat (properties) yang disyaratkan dalam table 2.5 harus dilakukan. Bilamana jenis aspal modifikasi tidak disebutkan dalam gambar maka penyedia jasa dapat memilih aspal Tipe II jenis PG 70 dalam tabel 2.5 dibawah ini.
2. Contoh bahan aspal harus diekstraksi dari benda uji sesuai dengan cara SNI 03-3640-1994 (metoda soklet) atau SNI 03-6894-2002 (metoda sentrifus) atau AASHTO T164-14 (metoda tungku pengapian). Jika metoda sentrifitus digunakan, setelah konsentrasi larutan aspal yang terekstraksi mencapai 200 mm, partiker mineral yang terkandung harus di pindahkan kedalam suatu alat sentrifugal. Pemindahan ini dianggap memenuhi bila mana kadar abu dalam bahan aspal yang diperoleh kembali tidak melebihi 1% (dengan pengapian). Jika bahan aspal diperlukan untuk pengujian lebih lanjut maka bahan aspal itu harus diperoleh kembali dalam larutan sesuai dengan prosedur SNI 03-6894-2002.
3. Aspal tipe I harus diuji pada setiap kedatangan dan sebelum dituangkan ke tangki penyimpanan AMP untuk penetrasi pada 25°C (SNI 2456:2011). Tipe II harus diuji untuk stabilitas penyimpanan sesuai dengan ASTM D5976-00 Part

6.1. Semua tipe aspal yang baru datang harus ditempatkan dalam tangki sementara sampai hasil pengujian tersebut diketahui. Tidak ada aspal yang boleh digunakan sampai aspal tersebut telah diuji dan disetujui.

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

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG70	PG76
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan ⁽¹⁾	
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 red/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan ⁽²⁾	
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASTHO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-	
9.	Stabilitas penyimpanan perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10.	Kadar paraffin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002)					
11.	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	
12.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 red/detik 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13.	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456-2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa					
15.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Catatan:

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

- dengan penetrasi < 50 adalah ± 2 (0,1 mm), masing-masing dari nilai penetrasi yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.
- Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang disyaratkan. Sedangkan untuk pengendalian mutu di lapangan, ketentuan titik lembek diterima adalah $\pm 1^\circ\text{C}$ dari nilai titik lembek yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.
 - Viskositas diuji juga pada temperatur 100°C dan 160°C untuk tipe I, untuk tipe II pada temperatur 100°C dan 170°C untuk menetapkan temperatur yang akan diterapkan.
 - Jika untuk pengujian viskositas tidak dilakukan sesuai dengan AASHTO T201-15 maka hasil pengujian harus dikonversikan ke satuan SI.

Tabel 2.6: Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC) (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

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

Catatan:

Penentuan VCAmix dan VCAdre sesuai AASHTO R46-08 (2012).

VCAmix : *Voids in coarse aggregate within compacted mixture.*

VCAdre : *Voids in coarse aggregate fraction in dry-rodded condition.*

- Pengujian draindown sesuai AASHTO T305-14
- Modifikasi Marshall lihat Lampiran 6.3.B.
- Rongga dalam campuran dihitung berdasarkan pengujian berat jenis Maksimum Agregat (Gmm test, SNI 03-6893-2002).

4. Pengawas pekerjaan dapat atau menyetujui AASHTO T283-14 sebagai alternatif pengujian kepekaan terhadap kadar air. Pengkondisian beku cair (*freeze thaw conditioning*) tidak diperlukan. Nilai Indirect Tensile Strength Retained (ITSR) minimum 80% pada VIM (Rongga dalam Campuran) $7\% \pm 0,5\%$. Untuk mendapatkan VIM $7\% \pm 0,5\%$, buatlah benda uji Marshall dengan variasi tumbukan pada kadar aspal optimum, misal 2x40, 2x50, 2x60 dan 2x75 tumbukan. Kemudian dari setiap benda uji tersebut, hitung nilai VIM dan buat hubungan antara jumlah tumbukan dan VIM. Dari grafik tersebut dapat diketahui jumlah tumbukan yang memiliki nilai VIM $7\% \pm 0,5\%$, kemudian lakukan pengujian ITSR untuk mendapatkan *Indirect Tensile Strength Ratio* (ITSR) sesuai SNI 6753 : 2008 atau AASTHO T283-14 tanpa pengondisian $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$.
5. Untuk menentukan kepadatan membal (*refusal*), disarankan menggunakan penumbuk bergetar (*vibratory hammer*) agar pecahnya butiran agregat dalam campuran dapat dihindari. Jika digunakan penumbukan manual jumlah tumbukan perbidang harus 600 untuk cetakan berdiameter 6 inch dan 400 untuk Jatakan berdiameter 4 inch.

Pengujian Wheel Tracking Machine (WTM) harus dilakukan pada temperatur 60°C . Prosedur pengujian harus mengikuti serti pada *Technical Guidline for Pavement Design and Construction*, Japan Road Association (JRA 2005).

2.5. Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi untuk memberikan pelayanan kepada sarana transportasi. Fungsi perkerasan adalah memikul beban lalu lintas secara cukup aman dan nyaman, serta sebelum umur rencananya tidak terjadi kerusakan yang berarti. Supaya perkerasan mempunyai daya dukung keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis (Adly, 2016).

2.6. Styrofoam

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 (Mashuri, 2010).

2.7. 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.

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 (Maulana, 2019).



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 (*washboarding*) dan alur (*rutting*). 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.

2. *Flow* (Kelelahan)

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.

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 kotak 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

$$VIM = (100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm})\% \quad (2.3)$$

Dimana:

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

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

5. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Hasil Bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan keelehan. 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

$$MarshallQuotient = \frac{Stabilitas}{Flow} \quad (2.4)$$

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

$$VMA = (100 - \frac{Gmb - Ps}{Gsb})\% \quad (2.5)$$

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 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 kedap air 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 (Maulana, 2019).

Kemudian ditentukan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Marshallnya dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Maulana, 2019) dapat digunakan kedalam Pers.2.7

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

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

Berdasarkan SNI 06-2489-199 angka koreksi stabilitas akhir dapat dilihat pada table 2.7.

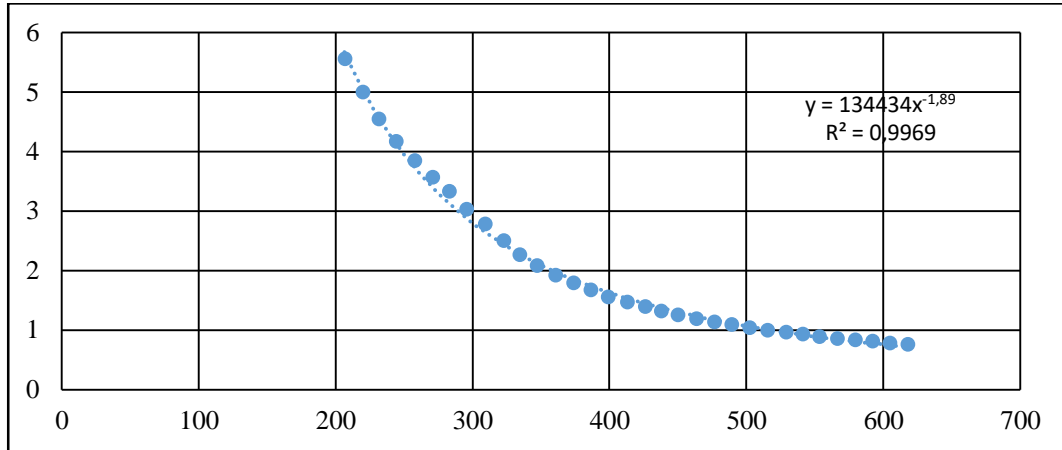
Tabel 2.7: Angka koreksi stabilitas akhir (SNI 06-2489-1991).

Isi Benda Uji (Cm3)		Angka Koreksi
200	213	5,56
214	225	5
226	237	4,55
238	250	4,17
251	264	3,85
265	276	3,57
277	289	3,33
290	301	3,03

Tabel 2.7: Lanjutan.

302	316	2,78
317	328	2,5
329	340	2,27
341	353	2,08
354	367	1,92
368	379	1,79
380	392	1,67
393	405	1,56
406	420	1,47
421	431	1,39
432	443	1,32
444	456	1,25
457	470	1,19
471	482	1,14
483	495	1,09
496	508	1,04
509	522	1
523	535	0,96
536	546	0,93
547	559	0,89
560	573	0,86
574	585	0,83

586	598	0,81
599	610	0,78
611	625	0,76



Gambar 2.2. Grafik angka koreksi stabilitas akhir.

BAB 3

METODE PENELITIAN

3.1. Metode Penelitian

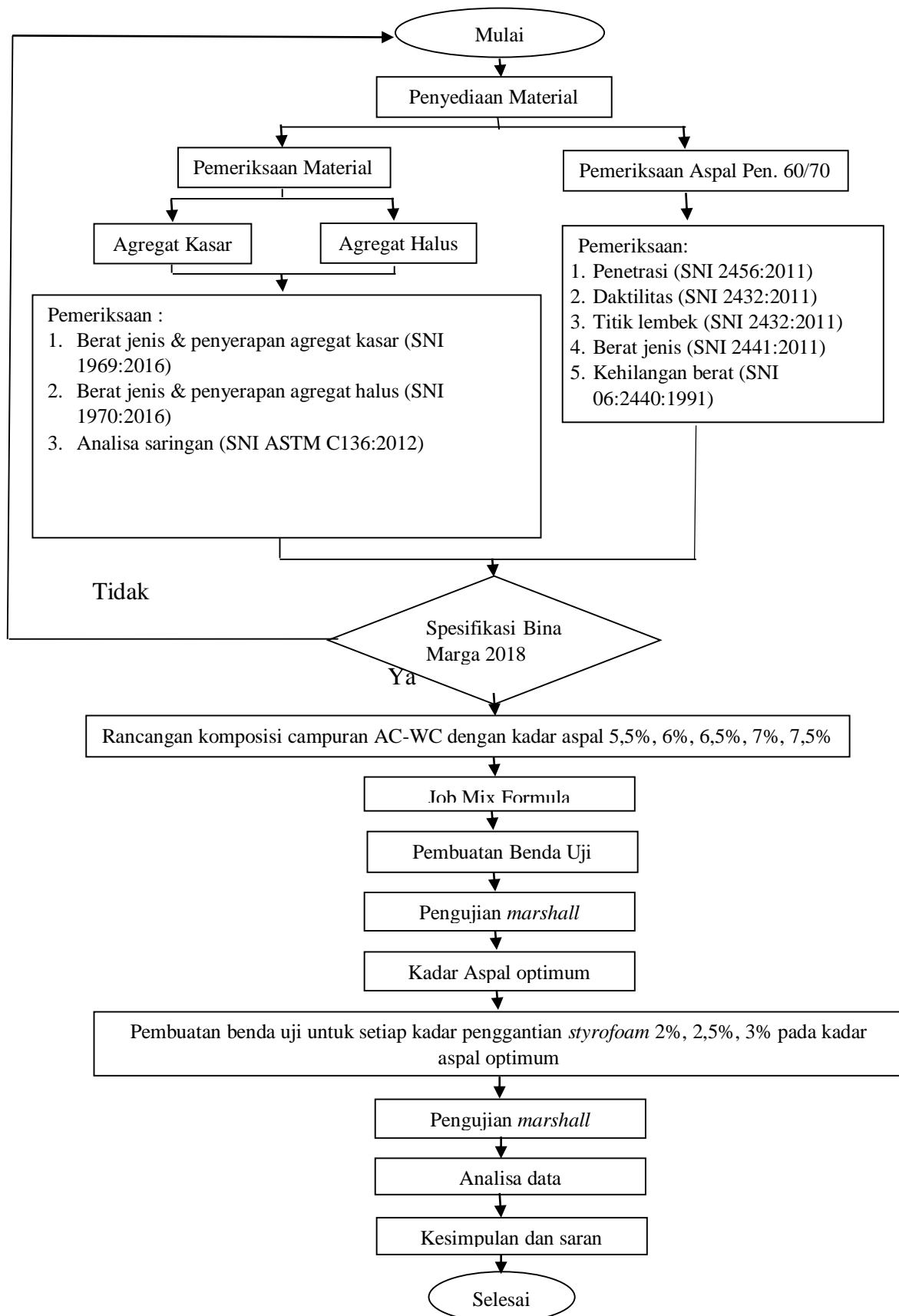
Penelitian dimulai setelah mendapatkan izin dari Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara dan kemudian melakukan studi literatur, seperti mencari jurnal referensi, kandungan dalam bahan tambah yang digunakan, dan metode yang digunakan dalam melakukan penelitian.

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 menyiapkan bahan tambah (*filler*) aspal berupa *styrofoam*. 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.

Tahapan pelaksanaan dari penelitian ini secara garis besar dapat dilihat pada gambar 3.1 :



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian yang dilaksanakan

3.1.1. Data Primer

Data yang diperoleh dari hasil penelitian di Laboratorium, yaitu:

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

3.1.2. Data Sekunder

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

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

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Alat pendukung pengujian dan pembuatan aspal.
2. Alat pengujian *marshall*.

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.

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

4.1.1. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Pada pembuatan aspal beton maka komponen utama pembentuknya adalah aspal dan agregat. Untuk menentukan suatu gradasi agregat pada lapisan Campuran AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) maka agregat kasar yang digunakan adalah batu pecah dengan ukuran maksimal $\frac{3}{4}$ "", agregat halus adalah campuran batu pecah dengan pasir, sedangkan untuk bahan pengisi adalah abu batu dan getah karet sebagai bahan penambah. Untuk memperoleh aspal beton yang baik maka gradasi dari agregat harus memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018 yang telah ditetapkan dengan acuan (SNI-ASTM-C136-2012). Dari percobaan pencampuran agregat diperoleh hasil perbandingan campuran agregat hasil analisis saringan seperti yang tertera pada Tabel 4.1. – 4.3.

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1"	25.40	100,00
$\frac{3}{4}$ "	19.00	100,00
$\frac{1}{2}$ "	12.50	46,08
$\frac{3}{8}$ "	9.50	0,60
NO. 4	4.75	0,24
NO. 8	2.36	0,24
NO.16	1.18	0,24
NO.30	0.600	0,24
NO.200	0.075	0,24

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

No. Saringan	Ukuran (mm)	% Lolos Saringan
1"	25	100,00
$\frac{3}{4}$ "	19	100,00
$\frac{1}{2}$ "	12,5	100,00
$\frac{3}{8}$ "	9,5	100,00

NO. 4	4,75	67,60
NO. 8	2,36	41,80
NO.16	1,18	24,80
NO. 30	0,600	16,20
NO. 50	0,300	11,80
NO. 100	0,150	6,80
NO. 200	0,075	2,40
PAN		0,00

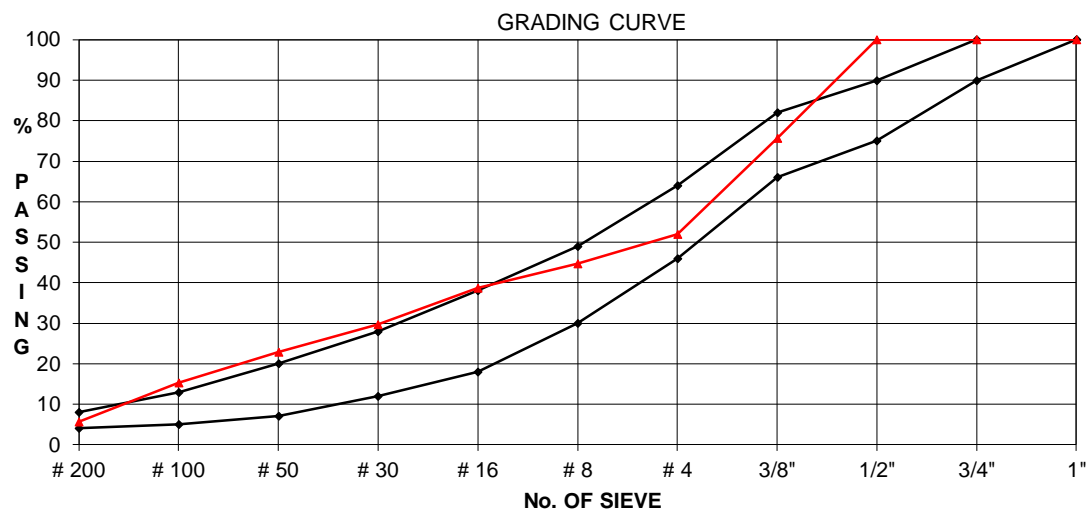
Tabel 4.3: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr).

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

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran AC-WC harus berada di antara batas atas dan batas bawah yang sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga 2018. Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4: Hasil pemeriksaan analisa saringan.

No. Saringan	Batas spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			1	2	3	4	5	
				0%	45%	45%	10%	100
1/2"	90	100	0,00	0,00	45,00	45,00	10,00	100,00
3/8"	77	90	0,00	0,00	20,74	45,00	10,00	75,74
No.4	53	69	0,00	0,00	0,27	45,00	8,38	53,65
No.8	33	53	0,00	0,00	0,11	40,41	7,09	47,61
No.16	21	40	0,00	0,00	0,11	36,09	6,24	42,44
No.30	14	30	0,00	0,00	0,11	27,99	5,81	33,91
No.50	9	22	0,00	0,00	0,11	21,60	5,59	27,30
No.100	6	15	0,00	0,00	0,11	14,49	5,34	19,94
No 200	4	9	0,00	0,00	0,11	5,31	5,12	10,54



Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat.

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

Data persen agregat campuran yang di peroleh pada normal dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5: Persentase campuran agregat pada normal.

Aspal (%)	MA ½" (%)	Abu Batu (%)	Pasir (%)
5,5	42,5	42,5	9,5
6	42,3	42,3	9,4
6,5	42,1	42,1	9,4
7	41,9	41,9	9,3
7,5	41,6	41,6	9,3

Data persen agregat campuran yang di peroleh pada campuran *styrofoam* 2%, 2,5%, dan 3% :

1. Aspal = 6,2%
2. Agregat kasar MA ½ inch = 42,2%
3. Agregat halus abu batu (Cr) = 42,2%
4. Agregat halus pasir (*Sand*) = 9,4%
5. *Styrofoam* pada aspal = 2%, 2,5%, 3%

Setiap benda uji diperlukan agregat dan aspal sebanyak ± 1200 gram sehingga

menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$. Dari hasil analisa saringan agregat didapat perhitungan berat agregat yang diperlukan seperti pada Tabel 4.6. dan Tabel 4.7.

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

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	MA½ inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)
5,5	66	510,3	510,3	113,4
6	72	507,6	507,6	112,8
6,5	78	504,9	504,9	112,2
7	84	502,2	502,2	111,6
7,5	90	499,5	499,5	111,0

Tabel 4.7: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji penggunaan *styrofoam* 2%, 2,5%, 3% pada KAO.

Kadar Aspal (%)	Aspal (gr)	MA ½ inch (gram)	Abu Batu (gram)	Pasir (gram)	<i>Styrofoam</i> (gr)
6,24	73,4	506,3	506,3	112,5	1,5
	73,0	506,3	506,3	112,5	1,9
	72,7	506,3	506,3	112,5	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.

1. Berat jenis agregat kasar MA ½ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

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

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

Tabel 4.8: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat kasar MA ½ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,659	2,663	2,661
Berat jenis kering permukaan jenuh (Ss)	2,689	2,692	2,690
Berat jenis semu (Ss)	2,740	2,743	2,742
Penyerapan (Sw)	1,107	1,107	1,107

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

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1 :

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

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat halus pasir dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus pasir (*sand*).

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,528	2,497	2,513
Berat jenis kering permukaan jenuh (Ss)	2,564	2,538	2,551
Berat jenis semu (Ss)	2,622	2,603	2,613
Penyerapan (Sw)	1,419	1,626	1,522

3. Berat jenis agregat halus Abu Batu (Cr)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel 1:

- Berat Jenis Curah $= \frac{479}{690 + 500 - 1002} = 2,521 \text{ gr}$
- Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $= \frac{500}{690 + 500 - 1002} = 2,538 \text{ gr}$
- Berat Jenis Semu $= \frac{479}{690 + 479 - 1002} = 2,834 \text{ gr}$
- Penyerapan $= \frac{500 - 479}{479} \times 100\% = 1,419\%$

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

Tabel 4.10: Rekapitulasi pemeriksaan berat jenis agregat halus abu batu (Cr).

Perhitungan	I	II	Rata-rata
Berat jenis curah kering (Sd)	2,521	2,526	2,523
Berat jenis kering permukaan jenuh (Ss)	2,538	2,631	2,584
Berat jenis semu (Ss)	2,834	2,823	2,828
Penyerapan (Sw)	4,384	4,166	4,275

4.1.3. Hasil Pemeriksaan Aspal

Dalam penelitian ini, pemeriksaan aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji campuran aspal beton dalam penelitian ini adalah aspal keras Pertamina Pen 60/70. Data hasil pemeriksaan uji aspal diperoleh dari data

sekunder dari PT. Tri Murti Patumbak yang dilakukan UPT Laboratorium Bahan Konstruksi Dinas Marga Dan Bina Konstruksi Provinsi Sumatera Utara, tidak ada aspal yang boleh digunakan sampai aspal ini telah di uji dan disetujui. Dari pemeriksaan karakteristik aspal keras yang telah dilakukan perusahaan dan diuji di balai pengujian material diperoleh hasilnya seperti pada Tabel 4.11.

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

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

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

4.1.4. Pemeriksaan Terhadap Parameter Benda Uji

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

- a. Persentase terhadap batuan = 5,8%
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 5,5%
- c. Berat sampel kering = 1145 gr
- d. Berat sampel jenuh = 1150 gr
- e. Berat sampel dalam air = 651 gr

- f. Volume sampel = Berat SSD – Berat Dalam Air
= 1150-651 = 499 cc
- g. Berat isi sampel = Berat Awal / Volume Sampel
= 1145-499 = 2,295 gr/cc
- h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\frac{\%agregat}{bj.agregat} + \frac{\%aspal}{bj.aspal}}$
= $\frac{100}{\frac{100}{2,664} + \frac{5,5}{1,035}} = 2,452\%$
- i. Persentase volume aspal = (b x g) / bj. aspal
= $\frac{5,5\% \times 2,295}{1,035} = 12,193\%$
- j. Persentase volume agregat = ((100-b) x g) / bj.agregat
= $\frac{(100 - 5,5) \times 2,295}{2,587} = 83,832\%$
- k. Persentase rongga terhadap campuran = 100 – ((100 x g) / h)
= $100 - \frac{(100 \times 2,295)}{2,452} = 6,424\%$
- l. Persentase rongga terhadap agregat = 100 – ((g x b) / bj.agregat)
= $100 - \left(\frac{2,295 \times 5,5}{2,587}\right) = 16,168\%$
- m. Persentase rongga terisi aspal = 1000 x (i – k) / i
= $1000 \times \frac{(1,168 - 6,424)}{16,168} = 60,265\%$
- n. Kadar aspal efektif = 4,395
- o. Pembacaan arloji stabilitas = 108
- p. Kalibrasi proving ring = (7,693 x 108) + 0,316 = 831
- q. Stabilitas akhir = (134434 x 516,1^{-1,8897}) x 108
= 890
- r. Kelelehan = 3,83 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 Terisi Aspal (*Voids Filleds*), 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 4.12 dan 4.13.

4.2. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

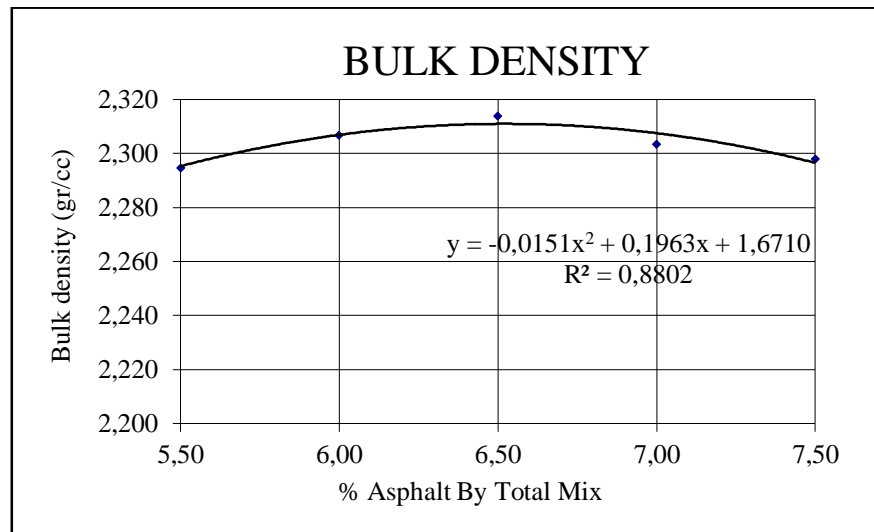
Berikut rekapitulasi perhitungan untuk campuran aspal normal pada kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5%. Dapat dilihat pada tabel 4.12.

Tabel 4.12: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran normal.

Karakteristik	Spesifikasi		Kadar aspal %				
	Min	Max	5,5%	6%	6,5%	7%	7,5%
Bulk Density (gr/cc)	-	-	2,295	2,307	2,314	2,304	2,298
Stabilty (kg)	800	-	860	873	892	858	816
Air Voids (%)	3	5	6,415	5,244	4,267	4,017	3,570
Voids Filleds (%)	65	-	60,30	67,58	75,03	77,57	80,77
VMA (%)	15	-	16,160	16,167	17,171	17,983	18,620
Flow (mm)	2	4	3,61	3,85	4,13	4,32	4,83

4.2.1. Kepadatan (*Bulk Density*)

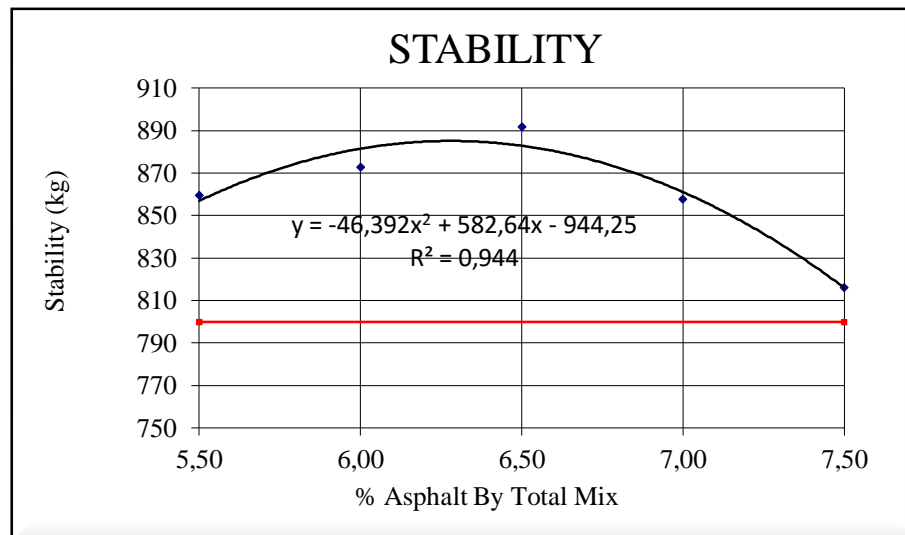
Hasil nilai *bulk density* pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 2,295 gr/cc, kadar 6% sebesar 2,307 gr/cc, kadar 6,5% sebesar 2,314 gr/cc, kadar 7% sebesar 2,304 gr/cc, dan kadar 7,5% sebesar 2,298 gr/cc. Grafik dilihat pada Gambar 4.2.



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

4.2.2. Stabilitas (*Stability*)

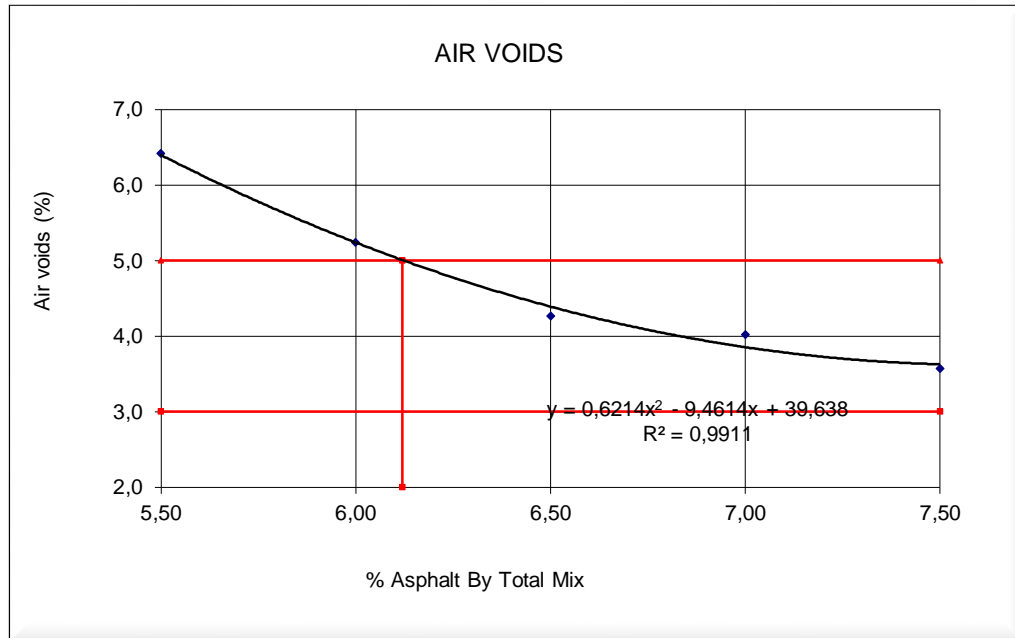
Hasil nilai *stability* pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 800 kg, kadar 6% sebesar 873 kg, kadar 6,5% sebesar 892 kg, kadar 7% sebesar 858 kg, dan kadar 7,5% sebesar 816 kg. Pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 757 kg. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.3.



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

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

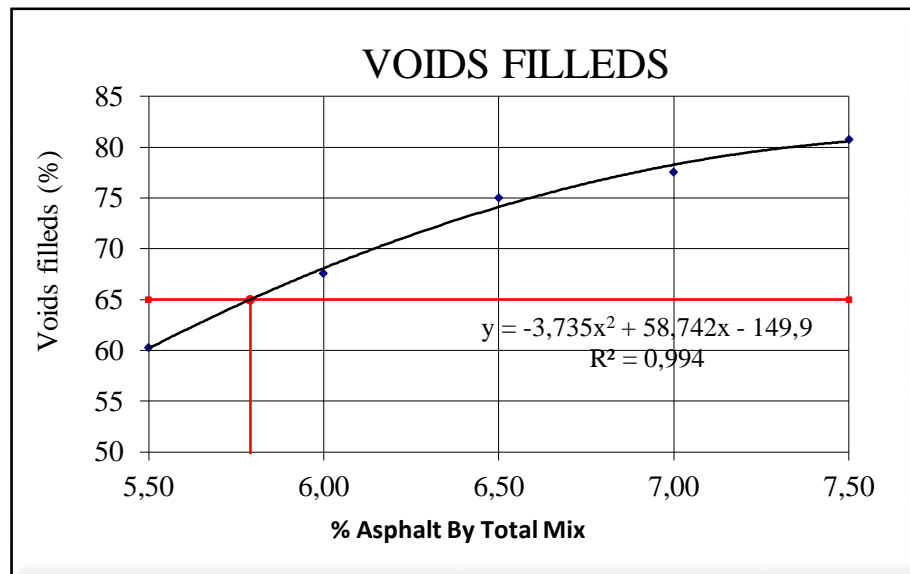
Hasil nilai VIM pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 6,415%, kadar 6% sebesar 5,244%, kadar 6,5% sebesar 4,267%, kadar 7% sebesar 4,017%, dan kadar 7,5% sebesar 3,750%. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.4.



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

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

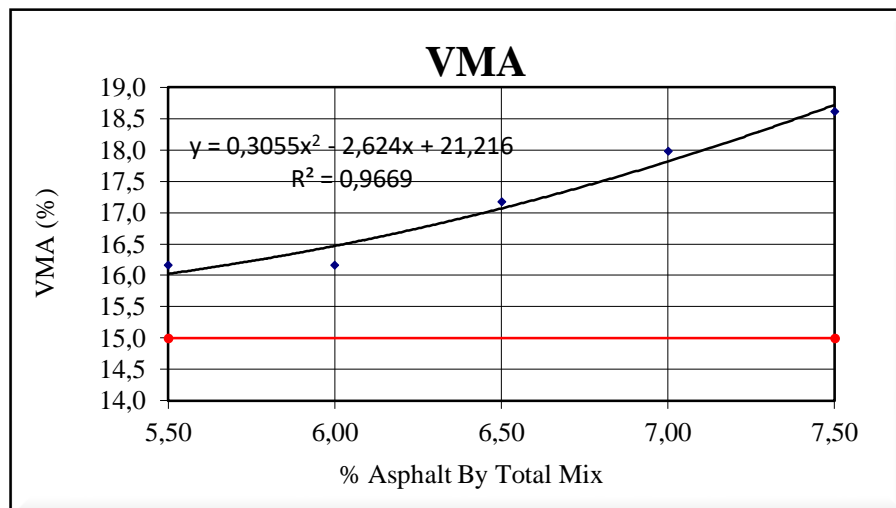
Hasil nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA) pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 60,30%, kadar 6% sebesar 67,58%, kadar 6,5% sebesar 75,03%, kadar 7% sebesar 77,57%, dan kadar 7,5% sebesar 80,77%. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.5.



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

4.2.5. Rongga Antara Mineral Agregat (*Void In Mineral Agregate, VMA*)

Hasil nilai *Void In Mineral Agregate* (VMA) pada aspal normal kadar 5,5% sebesar 16,160%, kadar 6% sebesar 16,167%, kadar 6,5% sebesar 17,171%, kadar 7% sebesar 17,983%, dan kadar 7,5% sebesar 18,620%. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.6.

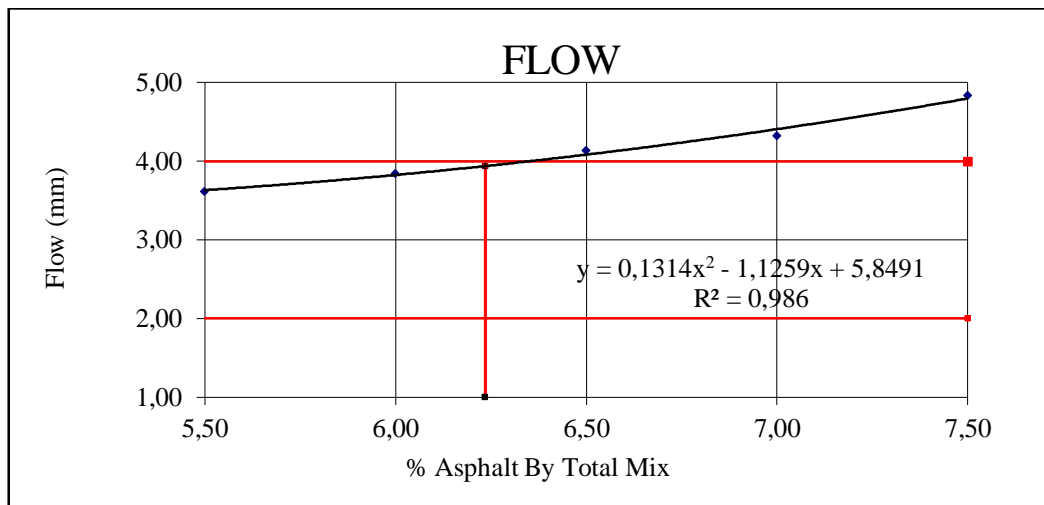


Gambar 4.6: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) campuran normal.

4.2.6. Kelelehan (*Flow*)

Hasil nilai kelelehan (*flow*) ada aspal normal kadar 5,5% sebesar 3,61 mm,

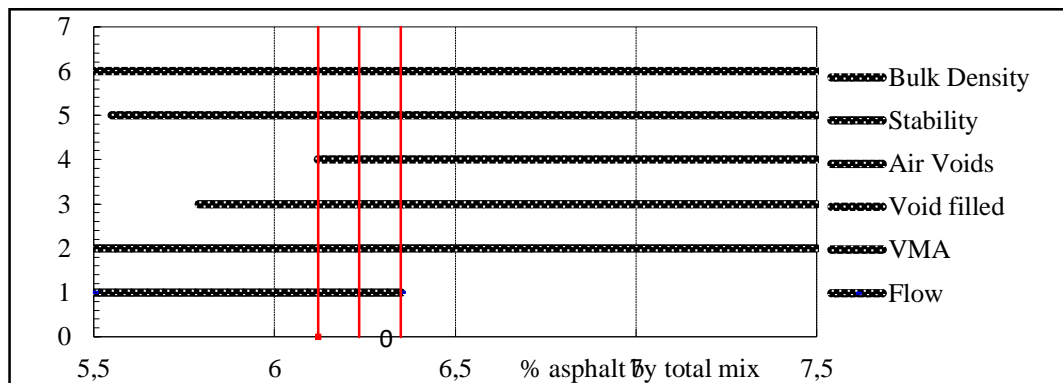
kadar 6% sebesar 3,85 mm, kadar 6,5% sebesar 4,13 mm, kadar 7% sebesar 4,32 mm, kadar 7,5% sebesar 4,83 mm. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Flow* (mm) Campuran normal.

4.2.7. Kadar Aspal Optimum (KAO)

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



Gambar 4.8: Grafik KAO

4.3. Pembahasan Pengujian Marshall

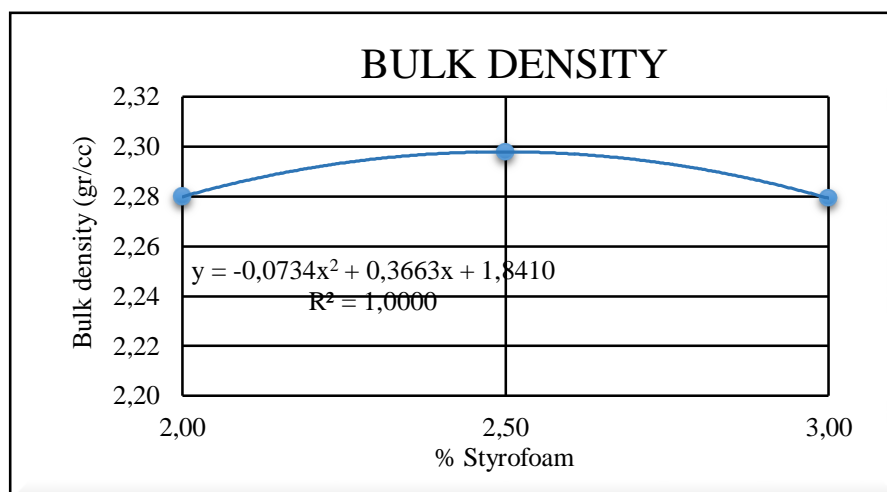
Berikut rekapitulasi perhitungan untuk campuran aspal substitusi *styrofoam* pada kadar 2%, 2,5%, dan 3%. Dapat dilihat pada tabel 4.13.

Tabel 4.13: Rekapitulasi hasil uji *Marshall* campuran substitusi *styrofoam* 2%, 2,5%, dan 3% pada keadaan KAO.

Karakteristik	Spesifikasi		Styrofoam %		
	Min	Max	2%	2,5%	3%
Bulk Density (gr/cc)	-	-	2,280	2,298	2,279
Stabilty (kg)	800	-	757	791	712
Air Voids (%)	3	5	6,02	5,28	6,05
Voids Filleds (%)	65	-	65,41	68,56	66,70
VMA (%)	15	-	17,35	16,70	18,18
Flow (mm)	2	4	3,30	3,97	4,07

4.3.1. Kepadatan (*Bulk Density*)

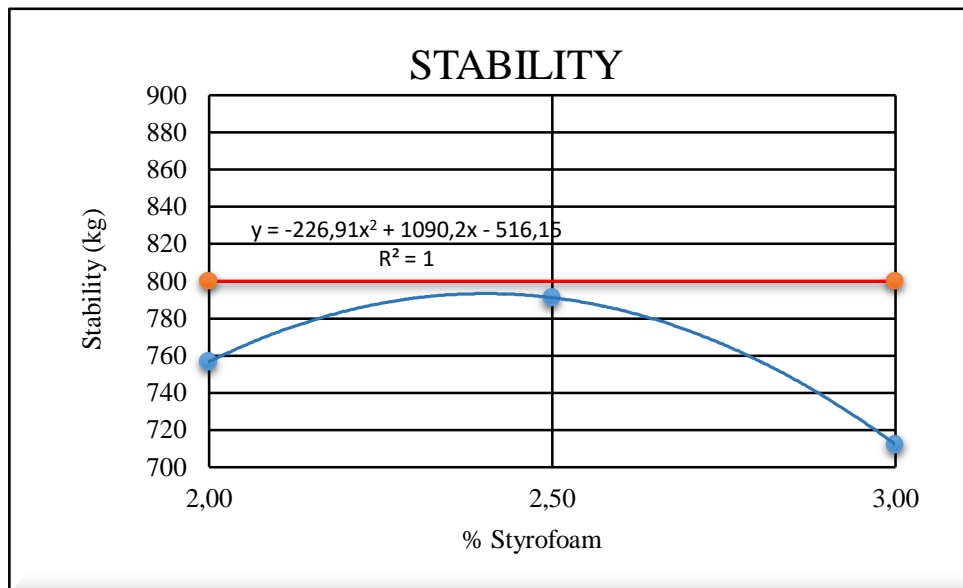
Hasil nilai *bulk density* pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 2,280 gr/cc, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 2,298 gr/cc, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 2,279 gr/cc. Grafik dilihat pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Bulk Density* (gr/cc) *Styrofoam* 2%, 2,5%, 3%.

4.3.2. Stabilitas (*Stability*)

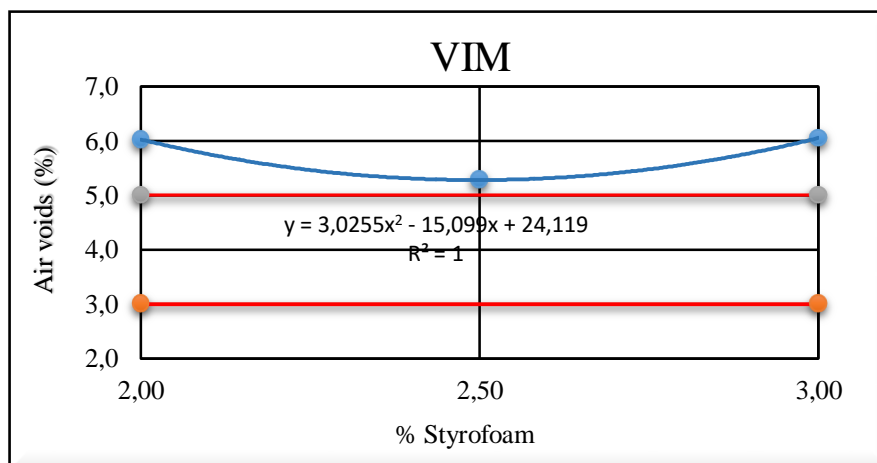
Nilai Stabilitas (*stability*) pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 757 kg, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 791 kg, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 712 kg, sehingga tidak memenuhi spesifikasi minimal 800 kg. Didapat nilai yang mendekati spesifikasi adalah kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 791 kg. Grafik dapat dilihat pada gambar 4.10.



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

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

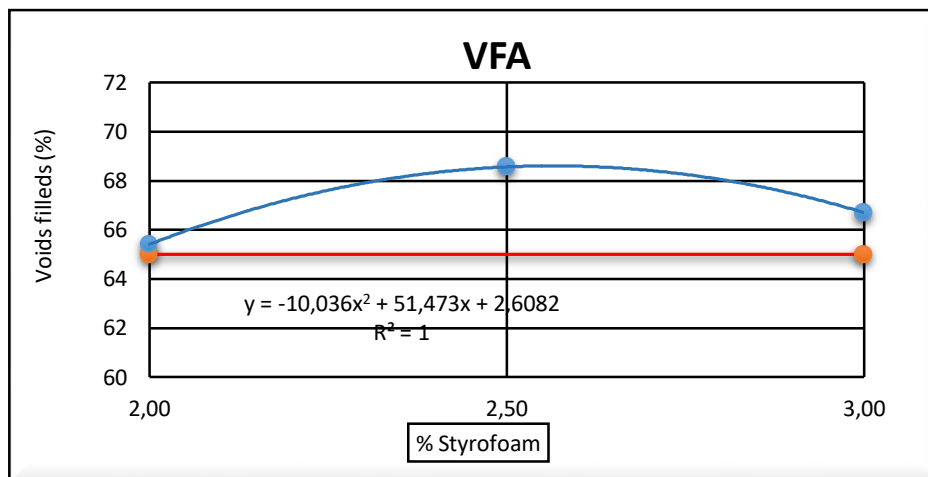
Nilai *Voids in Mix* (VIM) pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 6,02%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 5,28%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 6,05%, sehingga tidak memenuhi spesifikasi antara 3% - 5%. *Styrofoam* mengakibatkan rongga udara dalam campuran semakin besar sehingga tidak memenuhi spesifikasi. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) *Styrofoam* 2%, 2,5%, 3%

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

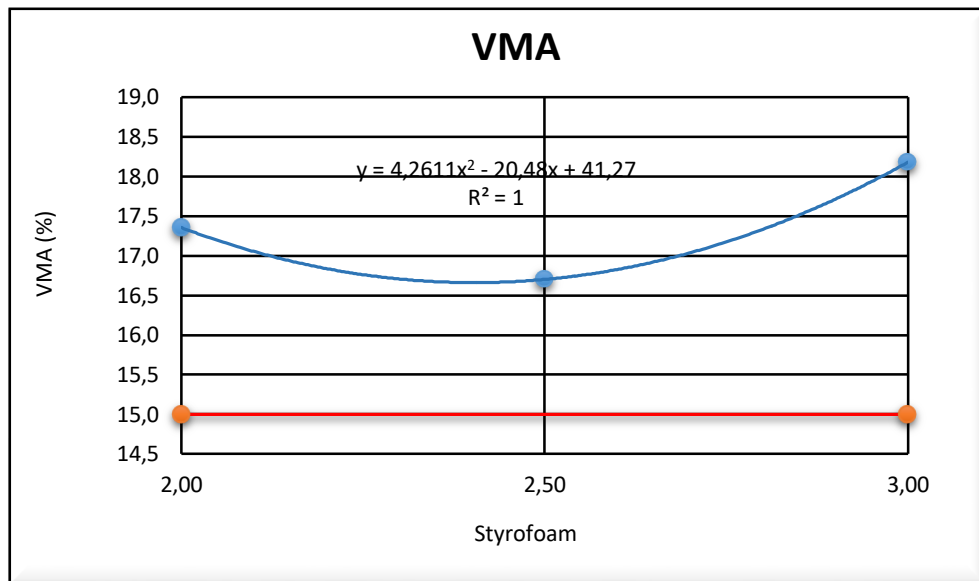
Nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA) pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 65,41%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 68,56%, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 66,70%, sehingga memenuhi spesifikasi minimal sebesar 65%. Penurunan nilai VFA diakibatkan oleh meningkatnya nilai VMA. Semakin besar VMA maka rongga terisi aspal (aspal yang menyelimuti agregat semakin kecil. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.12.



Gambar 4.12: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan *Air Voids* (VIM) (%) *Styrofoam* 2%, 2,5%, 3%.

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

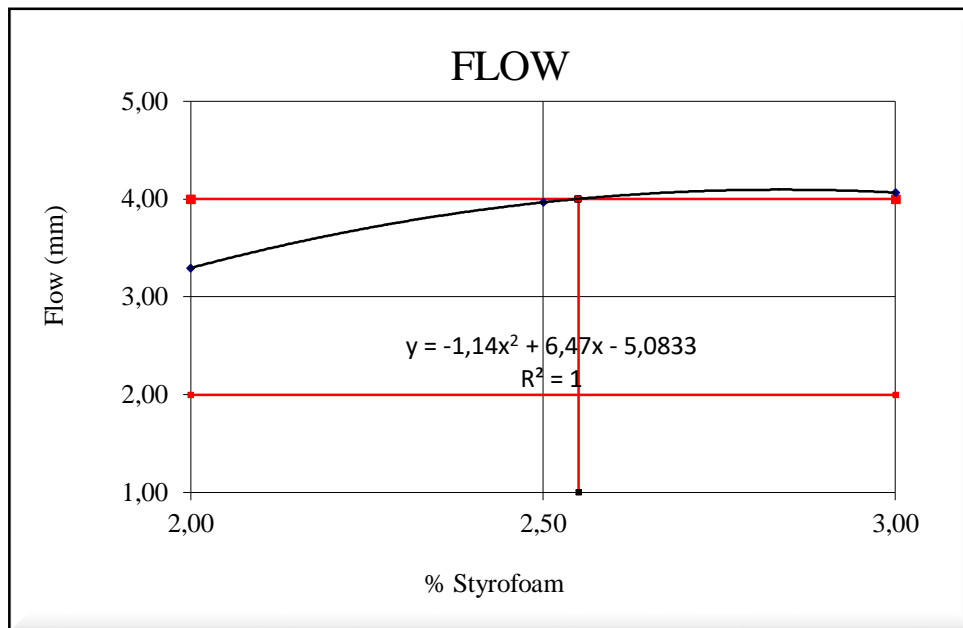
Nilai *Void In Mineral Agreggate* (VMA) pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 17,35%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 16,70%, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 18,18%, sehingga memenuhi spesifikasi minimal sebesar 15%. VMA cenderung meningkat akibat pemanasan aspal yang terlalu lama sehingga dapat mengakibatkan sifat aspal menjadi rusak, sehingga sulit untuk aspal merekat dengan butir agregat. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.13: Grafik hubungan antara kadar aspal (%) dengan VMA (%) Styrofoam 2%, 2,5%, 3%.

4.3.5. Kelelehan (*Flow*)

Nilai Kelelehan (*flow*) pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 3,30 mm, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 9,97 mm, kadar *styrofoam* 3% sebesar 4,07 mm, sehingga kadar *styrofoam* yang memenuhi spesifikasi adalah kadar 2% dan 2,5%. Semakin banyak *styrofoam* yang digunakan maka semakin besar kelelehan. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.19.



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

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Dari pengujian nilai kadar aspal optimum yang didapatkan sebesar 6,24%.
2. Perubahan nilai karakteristik Marshall pada substitusi aspal dengan *styrofoam*, berikut adalah hasil pengujian dibawah ini :
 - a. Nilai bulk density pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 2,280 gr/cc , kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 2,298 gr/cc, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 2,279 gr/cc.
 - b. Stabilitas pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 757 kg, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 791 kg, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 712 kg. Sehingga tidak memenuhi spesifikasi minimum sebesar 800 kg.
 - c. Nilai VIM pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 6,02%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 5,28%, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 6,05%. Sehingga tidak memenuhi spesifikasi antara 3% - 5%.
 - d. Nilai VFA pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 65,41%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 68,56%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 66,70%. Sehingga memenuhi spesifikasi minimum 65%.
 - e. Nilai VMA pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 17,35%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 16,70%, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 18,18%. Sehingga memenuhi spesifikasi minimum sebesar 15%.
 - f. Nilai flow pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 3,30 mm, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 3,97 mm, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 4,07 mm. Spesifikasi minimum antara 2 mm – 4 mm, sehingga kadar *styrofoam* yang memenuhi spesifikasi adalah kadar *styrofoam* 2% dan 2,5%.

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. Perlu dikembangkan jenis-jenis penelitian campuran *Asphalt Concrete* – *Wearing Course* (AC-WC) dengan campuran yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Adly, E. (2016). *Styrofoam sebagai Pengganti Aspal Penetrasi 60 / 70 dengan Kadar 0 %*. 11(1), 41–49.
- L, J. F. S. (2011). *Pengaruh Styrofoam Terhadap Stabilitas Dan Nilai*. 2003.
- L, J. F. S., Arlia, L., Saleh, S. M., Anggraini, R., & Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 657–666. <https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.10011>
- 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*.
- Saifuddin, M. I., Edison, B., & Fahmi, K. (2013). *Pengaruh Penambahan Campuran Serbuk Kayu Terhadap Kuat Tekan Beton*. 1.
- Sukirman, S. (n.d.). *Beton Aspal Campuran Panas*.
- Supriadi, T., Syafrudin, A., & Heri, A. (2010). *PERKERASAN CAMPURAN ASPAL AC-WC TERHADAP SIFAT PENUAAN ASPAL* Supriadi.T 1) ., Syafaruddin AS 2) , Heri Azwansyah 2). 2–15.
- Taufan Gerri Noris. (n.d.). *Ketua Penyunting: Penyunting: Penyunting Pelaksana: Redaksi: Jurusan Teknik Sipil (A4) FT UNESA Ketintang - Surabaya Email : REKATS*.
- Surat Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018. Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta Selatan

LAMPIRAN



TUGAS AKHIR
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
Jl. Kapten Muchtar Basri No. 3 Medan 20238

LEMBAR ASISTENSI

Nama : RIZKI IRWANSYAH
NPM : 1607210189
Jurusan : TEKNIK SIPIL
Judul TA : PENGARUH SUBSTITUSI *STYROFOAM* PADA CAMPURAN
ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP ASPHALT CONCRETE -
WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENGUJIAN MARSHALL

NO.	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1	17 1 2020	Penulisan sesuai dengan punduk yang berlaku	CF
2	30 1 2020	Atc 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 : RIZKI IRWANSYAH
NPM : 1607210189
JUDUL : PENGARUH SUBSTITUSI STYROFOAM PADA CAMPURAN ASPAL
PENETRASI 60/70 TERHADAP ASPHALT CONCRETE - WEARING
COURSE (AC-WC) DENGAN PENGUJIAN MARSHALL

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	17 / 7 20	Robitki: hitungan analisis saringan dan komposisi campuran	cf
2.	3 / 8 20	Robitki: ruang lingkup penelitian	cf
3.	12 / 10 20	Robitki: perhitungan data Marshall untuk 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 : RIZKI IRWANSYAH

NPM : 1607210189

JUDUL : PENGARUH SUBSTITUSI *STYROFOAM* PADA CAMPURAN ASPAL PENETRASI 60/70 TERHADAP *ASPHALT CONCRETE - WEARING COURSE (AC-WC)* DENGAN PENGUJIAN *MARSHALL*

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	16 / 11 20	Revisi: kesimpulan	<i>cf</i>
2.	19 / 11 20	Acc	<i>cf</i>

Mengetahui,

Pembimbing Tugas Akhir

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


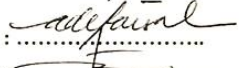
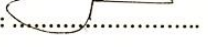
**DAFTAR HADIR SEMINAR
TUGAS AKHIR TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK – UMSU
TAHUN AKADEMIK 2020 – 2021**

Peserta seminar

Nama : Rizki Irwansyah

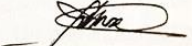
NPM : 1607210189

Judul Tugas Akhir : Pengaruh Substitusi Pada Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Asphalt Concrete –Wearing Course (Ac- Wc) Dengan Pengujian Marshall.

DAFTAR HADIR		TANDA TANGAN																																												
Pembimbing – I	: M.Husin Gultom.S.T.M.t	: 																																												
Pemanding – I	: DR.Ade Faisal.S.T.M.Sc	: 																																												
Pemanding – II	: Fadliansyah.S.T.M.T	: 																																												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 5%;">No</th> <th style="width: 20%;">NPM</th> <th style="width: 35%;">Nama Mahasiswa</th> <th style="width: 40%;">Tanda Tangan</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>2</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>3</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>4</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>5</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>6</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>7</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>8</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>9</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>10</td><td></td><td></td><td></td></tr> </tbody> </table>			No	NPM	Nama Mahasiswa	Tanda Tangan	1				2				3				4				5				6				7				8				9				10			
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 : Rizki Irwansyah
NPM : 1607210189
Judul T.Akhir : Pengaruh Substitusi Styrofoam Pada Campuran Aspal penetrasi 60/70 Terhadap Asphalt Concrete- Wearing Course (Ac- Wc) dengan Pengu-
Jian Marshall.

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

KEPUTUSAN

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

Cek Skripsi untuk perbaikan!

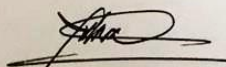
3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

ada telah ditorek!

ade faisal 21/20

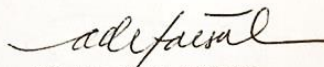
Medan 03 Rab.Akhir 1442H
18 Desember 2020M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Sipil



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

Dosen Pembanding- I



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

DAFTAR EVALUASI SEMINAR FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA

NAMA : Rizki Irwansyah
NPM : 1607210189
Judul T.Akhir : Pengaruh Substitusi Styrofoam Pada Campuran Aspal penetrasi 60/70 Terhadap Asphalt Concrete- Wearing Course (Ac- Wc) dengan Pengu-
Jian Marshall.

Dosen Pembimbing - I : M.Husin Gultom.S.T.M.T
Dosen Pembimbing - I : DR.Ade Faisal.S.T.M.Sc
Dosen Pembimbing - II : Fadliansyah.S.T.M.T

KEPUTUSAN

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

- Tambahkan Foto dokumentasi material dan proses
Pencampuran
- lebih di perseles pada kesimpulan

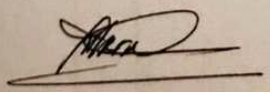
3 y f. 15-1-2021 Acc tela b.

3. Harus mengikuti seminar kembali
Perbaikan :

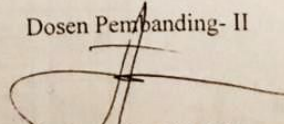
.....
.....
.....
.....

Medan 03 Rab.Akhir 1442H
18 Desember 2020M

Diketahui :
Ketua Prodi. T.Sipil


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

Dosen Pembimbing- II


Fadliansyah.S.T.M.T

PROPERTIES OF HIGH DURABILITY ASPHALT MIXES BY THE MARSHALL METHOD SNI 06 - 2489 -1991															Normal											
Comth Aspal	A.C - WC	b	c	d	e	f	g	Material					Persen	Bulk	SSD	Apparent	Efektif	Bj Aspal	Bj Gabung	p	q	r	s	t		
								No	Coarse Aggregate 1"	Coarse Aggregate 3/4"	Medium Aggregate 1/2"	Crusher Dust													Natural Sand	h
1	5,8	5,5	1.145,0	1.150,0	651,0	499,0	2.295	2.452	12.193	83.832	6.424	16.168	60.265	4.395	108	831	890	3.83	232	1.11						
2	5,5	5,5	1.182,0	1.187,0	672,0	515,0	2.295	2.452	12.196	83.852	6.402	16.148	60.355	4.395	107	823	831	3,50	237	1,11						
3	5,5	5,5	1.188,0	1.184,0	675,0	509,0	2.295	2.452	12.194	81.386	6.420	16.164	60.282	4.395	108	831	858	3,51	244	1,11						
1	6,4	6,0	1.192,0	1.196,0	680,0	516,0	2.310	2.434	13.392	83.951	5.110	16.049	68.158	4.901	111	854	859	3,89	221	1,10						
2	6,0	6,0	1.177,0	1.181,0	672,0	509,0	2.312	2.434	13.405	84.035	5.016	15.965	68.583	4.901	110	847	874	3,75	233	1,10						
3	6,0	6,0	1.172,0	1.181,0	671,0	510,0	2.298	2.434	13.322	81.073	5.605	16.486	66.003	4.901	112	862	886	3,90	227	1,10						
1	6,9	6,5	1.177,0	1.182,0	672,0	510,0	2.307	2.434	13.373	83.020	5.244	16.167	67.581	4.901	114	877	902	3,85	227	1,10						
2	6,5	6,5	1.184,0	1.190,0	679,0	511,0	2.317	2.417	14.494	83.424	4.520	16.576	72.730	5.407	114	877	902	3,81	237	1,09						
3	6,5	6,5	1.184,0	1.190,0	679,0	511,0	2.317	2.417	14.551	83.756	4.140	16.244	74.512	5.407	111	854	875	4,84	181	1,09						
1	7,5	7,0	1.170,0	1.173,0	665,0	508,0	2.303	2.400	15.577	82.809	4.034	17.191	76.534	5.913	106	816	845	4,21	201	1,09						
2	7,0	7,0	1.168,0	1.170,0	663,0	507,0	2.304	2.400	15.581	82.831	4.009	17.169	76.550	5.913	109	839	872	4,71	185	1,09						
3	7,0	7,0	1.168,0	1.170,0	663,0	507,0	2.304	2.400	15.581	80.410	4.009	19.590	79.535	5.913	107	823	856	4,04	212	1,09						
1	8,1	7,5	1.189,0	1.191,0	673,0	518,0	2.295	2.383	16.633	82.086	3.680	17.914	79.457	6.418	105	808	807	5,20	155	1,08						
2	7,5	7,5	1.183,0	1.184,0	670,0	514,0	2.302	2.383	16.678	82.307	3.420	17.693	80.668	6.418	105	808	819	4,90	167	1,08						
3	7,5	7,5	1.183,0	1.184,0	669,0	515,0	2.297	2.383	16.646	79.746	3.608	20.254	82.186	6.418	106	816	823	4,40	187	1,08						
		7,5					2.298	2.383	16.652	81.380	3.570	18.620	80.770	6.418			816	4,83	170	1,08						

Keterangan

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

$$h = \text{berat jenis maksimum} = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{b_j \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{b_j \text{ aspal}}}$$

$$i = \frac{\% \text{ volume aspal}}{b_j \text{ agregat}} = \frac{(b \times g)}{b_j \text{ agregat}}$$

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

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

$$l = \frac{\% \text{ rongga terhadap agregat}}{b_j \text{ agregat}} = \frac{100 - ((g \times b) / b_j \text{ agregat})}{b_j \text{ agregat}}$$

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

Gambar L.1: Tabel data Marshall normal.

PROPERTIES OF HIGH DURABILITY ASPHALT MIXES BY THE MARSHALL METHOD SNI 06 - 2489 -1991															Styrofoam				
Contoh Aspal Agregat Kalibrasi Prov Tanggal	AC-WC 60/70		7,693 x + 0,316		Material					Persentase	Bulk	SSD	Apparent	Effektif	Bj Aspal	Bj Gabung			
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t
1	6,6	6,24	1.194,0	1.195,0	674,0	2,274	2,426	13,712	82,440	6,258	17,560	64,363	5,144	98	754	734	3,49	210	1,10
2	6,24	6,24	1.187,0	1.195,0	670,0	2,261	2,426	13,631	81,956	6,808	18,044	62,272	5,144	96	739	719	3,60	200	1,10
3	6,24	6,24	1.180,0	1.188,0	676,0	2,305	2,426	13,895	81,100	5,005	16,458	69,591	5,144	104	800	817	2,80	292	1,10
	6,24	6,24	1.194,0	1.200,0	675,0	2,274	2,426	13,746	81,832	6,023	17,354	65,409	5,144	103	783	771	4,30	179	1,10
2	6,24	6,24	1.182,0	1.187,0	679,0	2,327	2,426	14,028	84,342	4,095	15,658	73,850	5,144	104	800	829	4,10	202	1,10
3	6,24	6,24	1.190,0	1.198,0	679,0	2,293	2,426	13,824	80,684	5,492	16,887	67,478	5,144	101	777	773	3,50	221	1,10
	6,24	6,24	1.179,0	1.188,0	675,0	2,298	2,426	13,854	82,489	5,282	16,702	68,564	5,144	101	777	791	3,97	201	1,10
1	6,6	6,24	1.189,0	1.200,0	677,0	2,273	2,426	13,706	83,308	5,270	16,692	68,425	5,144	89	685	696	3,70	188	1,10
3	6,24	6,24	1.192,0	1.201,0	675,0	2,266	2,426	13,663	79,744	6,593	20,256	67,451	5,144	100	770	746	4,20	178	1,10
	6,24	6,24	1.194,0	1.200,0	675,0	2,279	2,426	13,742	81,820	6,052	18,180	66,700	5,144	100	770	746	4,20	178	1,10

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

Gambar L.2: Tabel data Marshall campuran Styrofoam.



Gambar L.3: Proses analisa saringan.



Gambar L.4: Proses menimbang agregat untuk proporsi campuran.



Gambar L.5: Syrofoam sebagai bahan substitusi aspal.



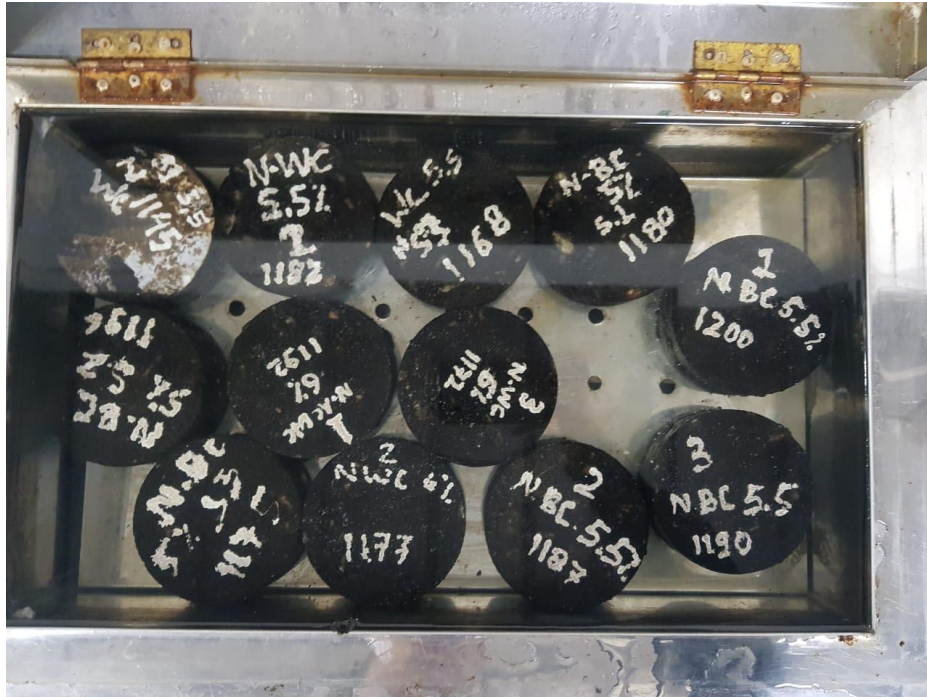
Gambar L.6: Syrofoam sebagai bahan substitusi aspal.



Gambar L.7: Proses memasukkan campuran kedalam cetakan.



Gambar L.8: Proses pemadatan campuran.



Gambar L.9: Proses perendaman benda uji.



Gambar L.10: Proses penimbangan benda uji.

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama : Rizki Irwansyah
Panggilan : Kiki
Tempat, Tanggal Lahir : Medan, 18 Februari 1998
Jenis Kelamin : Laki-Laki
Alamat Sekarang : Jl. Datuk Kabu Gg. Sahabat No. 6
HP/Tlpn Seluler : 0812-6954-9636

RIWAYAT PENDIDIKAN

Nomor Induk Mahasiswa : 1607210189
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 064023	2004 - 2010
Sekolah Menengah Pertama	Mts Amal Shaleh	2010 - 2013
Sekolah Menengah Kejuruan	SMKN 7 Medan	2013 - 2016

ORGANISASI

Informasi	Tahun
Anggota Osis SMKN 7 Medan	2013
Ketua Osis SMKN 7 Medan	2014
Pradana Putra Gugus Depan 18-081 SMKN 7 Medan	2014
