

KARAKTERISTIK CAMPURAN AC-WC AKIBAT PENGARUH LIMBAH STYROFOAM SEBAGAI SUBSTITUSI DAN ABU CANGKANG KOPI SEBAGAI FILLER

TUGAS AKHIR

Untuk Memenuhi Sebagian Dari Syarat-Syarat
Yang Diperlukan Untuk Memperoleh
Ijazah Sarjana Teknik

Disusun
Oleh :

TAQIN MAULANA
NIM: 1803120048



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH
BATHOH - BANDA ACEH
2023

LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS

Tugas Akhir dengan “Karakteristik Campuran AC-WC Akibat Pengaruh Limbah *Styrofoam* Sebagai Substitusi dan Abu Cangkang Kopi Sebagai *Filler*”, disusun oleh:

Nama Mahasiswa : Taqin Maulana
NIM : 1803120048
Program Studi : Teknik Sipil

Diajukan untuk memenuhi sebagian dari syarat-syarat yang diperlukan guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh, telah lulus pada tanggal 31 Agustus 2023.

Banda Aceh, 31 Agustus 2023

Disetujui Oleh,

Dosen Pembimbing

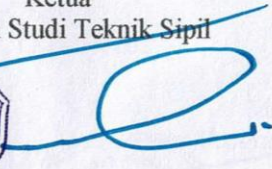

Dr. Agusnar, ST, MT, IPM
NIDN. 0018087003

Co. Pembimbing


Cut Nawalul Azka, S.ST, MT, IPP
NIDN. 1330019301

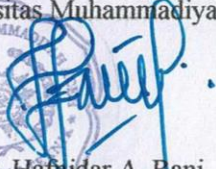
Menyetujui/Mengesahkan

Ketua
Program Studi Teknik Sipil



Dr. H. Samulikhani, ST, M.Eng.Sc,
IPU, ASEAN Eng
NIDN. 1327108201

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Aceh



Prof. Dr. Ir. Hafidur A. Rani, ST, MM,
IPU, ASEAN Eng, ACPE
NIDN. 0104037002

LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI

Karakteristik Campuran AC-WC Akibat Pengaruh
Limbah *Styrofoam* Sebagai Substitusi dan
Abu Cangkang Kopi Sebagai *Filler*
Disusun oleh

Nama Mahasiswa : Taqin Maulana
NIM : 1803120048
Program Studi : Teknik Sipil

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata-I (S-1) di Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh.

Tugas Akhir ini telah diperiksa dan disetujui oleh Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji untuk disahkan.

Banda Aceh, 31 Agustus 2023

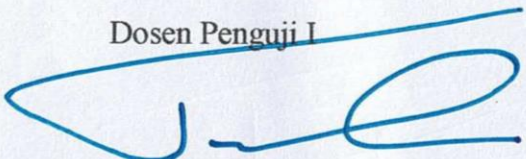
Dosen Pembimbing


Dr. Agustiar, ST, MT, IPM
NIDN. 0018087003

Co. Pembimbing


Cut Nawalul Azka, S.ST, MT, IPP
NIDN. 1330019301

Dosen Penguji I


Dr. Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc,
IPM, ASEAN Eng
NIDN. 1327108201

Dosen Penguji II


Ir. Munawir, ST, MT, IPM,
ASEAN Eng
NIDN : 0129068303

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM, ASEAN Eng
NIDN. 1327108201

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Taqin Maulana

Nim : 1803120048

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

1. Di dalam tugas akhir saya tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari tugas akhir/skripsi, tesis, disertasi, buku atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan.
2. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri.
3. Apabila ternyata terdapat dalam tugas akhir saya bagian-bagian yang memenuhi unsur penjiplakan, maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebagian atau seluruhnya.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Banda Aceh, 31 Agustus 2023

Penulis, 

Taqin Maulana
NIM: 1803120048

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulisan tugas akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya.

Tugas akhir ini berjudul **“Karakteristik Campuran AC-WC Akibat Pengaruh Limbah Styrofoam Sebagai Substitusi Dan Abu Cangkang Kopi Sebagai Filler”** ditulis dalam rangka melengkapi dan memenuhi salah satu syarat yang diperlukan untuk menyelesaikan pendidikan pada Program Studi Sarjana Teknik Sipil pada Universitas Muhammadiyah Aceh.

Dalam pelaksanaan penelitian dan penulisan tugas akhir ini, penulis telah banyak memperoleh bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak terutama pembimbing. Untuk itu penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada Bapak Dr Agustiar ST, MT, IPM. sebagai pembimbing utama dan Ibuk Cut Nawalul Azka, S.ST, MT, IPP sebagai Co. pembimbing.

Selanjutnya, pada kesempatan ini penulis juga menyampaikan terima kasih kepada:

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh Ibu Prof. Dr. Ir. Hafnidar A. Rani, ST., MM., IPU, ASEAN Eng., ACPE.
2. Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Aceh Bapak Ir. Tamalkhani, ST., M.Eng.Sc., IPM, ASEAN Eng. dan Sekretaris Prodi Ibu Cut Nawalul Azka, S.ST., MT, IPP.
3. Bapak Ir, Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM, ASEAN Eng selaku penguji I dan Bapak Ir, Munawir, ST, MT, IPM ASEAN Eng. selaku penguji II yang telah memberi banyak masukan untuk perbaikan tulisan ini.
4. Tenaga Pengajar pada Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammdiyah Aceh.
5. Ibunda/Ayahanda tercinta yang selalu berdoa dan memberikan dorongan untuk keberhasilan penulis.
6. Kepada keluarga besar terima kasih selalu mendukung, mendoakan, membantu disetiap suka maupun duka.

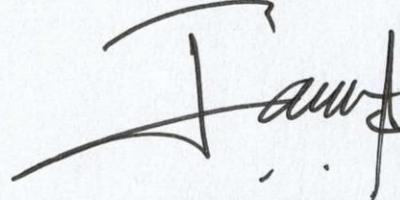
7. Rekan-rekan mahasiswa pada Prodi Teknik Sipil yang telah banyak membantu penulis hingga selesainya penulisan ini.
8. Rekan-rekan dan sahabat yang telah banyak memberikan motivasi dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa hal-hal yang telah penulis tuliskan dalam skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Dengan segala kerendahan hati penulis menerima kritikan dan saran yang bersifat membangun dan bermanfaat untuk kesempurnaan penulis.

Akhirnya kepada ALLAH SWT jugalah kita berserah diri, karena tiada satupun dapat terjadi jika tidak atas kehendak-Nya dan berharap semoga tulisan ini dapat berguna bagi pembaca, Aamiin.

Banda Aceh, 31 Agustus 2023

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Taqin Maulana', with a large, sweeping flourish extending from the left side.

Taqin Maulana

NIM: 1803120048

KARAKTERISTIK CAMPURAN AC-WC AKIBAT PENGARUH LIMBAH STYROFOAM SEBAGAI SUBSTITUSI DAN ABU CANGKANG KOPI SEBAGAI FILLER

Oleh : Taqin Maulana
(NIM : 1803120048)

Pembimbing Utama
Dr.Agustiar ST,MT,IPM
(NIDN. 0018087003)

Co Pembimbing
Cut Nawalul Azka, S.ST, MT, IPM
(NIDN. 1330019301)

ABSTRAK

Pemanfaatan material limbah pada campuran perkerasan jalan raya dapat menjadi solusi tepat dalam mengurangi besarnya limbah yang ada, terutama limbah yang dihasilkan oleh industri, antara lain adalah limbah *Styrofoam* dan limbah cangkang kopi, Tujuan dilakukan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan pemanfaatan limbah *Styrofoam* sebagai substitusi aspal dan cangkang kopi sebagai substitusi *filler*. Metode yang digunakan pada penelitian ini kering (*Dry*) pedoman Spesifikasi Bina Marga 2018. Pada penelitian ini dibuat benda uji dengan kadar aspal yang digunakan 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% dimana setiap variasi terdapat 3 benda uji, jumlah benda uji untuk KAO adalah 15 benda uji, Dari hasil penelitian kadar aspal optimum (KAO) untuk campuran aspal AC-WC adalah 5,75%. Selanjutnya dengan penambahan *Styrofoam* 9%, 11%, 13% dari berat aspal, dan abu cangkang kopi dengan persentase 100% ACK : 0% AB, 75% ACK : 25% AB dan 50% ACK : 50% AB dari berat *filler*. Hasil pengujian *styrofoam* sebagai substitusi aspal dan abu cangkang kopi sebagai *filler* diperoleh nilai dari setiap persentase, Hasilnya adalah sebagai berikut: *Styrofoam 0%* campuran 100% ACK : 0% AB stabilitas, 2614,79, Campuran 75% ACK : 25% AB stabilitas 2378,82, Campuran 50% ACK : 50% AB stabilitas 2614,79, *Styrofoam 9%* campuran 100% ACK : 0% AB stabilitas 1847,64, Campuran 75% ACK : 25% AB stabilitas 2573,28, Campuran 50% ACK : 50% AB stabilitas 2481,81, *Styrofoam 11%* campuran ACK 100% : 0% AB stabilitas 2625,25, campuran 75% ACK : 25% AB stabilitas 1981,79, campuran 50% ACK : 50% AB stabilitas 2073,26, *Styrofoam 13%* campuran 100% ACK : 0% AB stabilitas 2427,66, Campuran 75% ACK : 25% AB stabilitas 3048,58, Campuran 50% ACK : 50% AB Stabilitas 2309,79. Dengan meningkatnya substitusi limbah styrofoam maka diambil nilai terbaik variasi 13% terhadap 100% ACK : 0% AB untuk memaksimalkan pemakaian limbah.

Kata Kunci : AC-WC, cangkang kopi, *Styrofoam*, Substitusi

DAFTAR ISI

<u>PENGESAHAN FAKULTAS</u>	<u>i</u>
<u>PENGESAHANA PROGRAM STUDI.....</u>	<u>ii</u>
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACK	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN	4
2.1 Laston AC-WC	4
2.2 Aspal Modifikasi.....	5
2.3 Bahan Campuran Beraspal Panas	7
2.3.1 Agregat	7
2.3.2 Bahan Pengisi (<i>filler</i>).....	8
2.4 Aspal	9
2.5 Kadar Aspal Rencana (Pb).....	10
2.6 Parameter Marshall	10
2.6.1 Density	10
2.6.2 <i>Void In The Mix</i> (VIM).....	11
2.6.3 <i>Void Mineral Agregat</i> (VMA)	11
2.6.4 <i>Void Filled Asphalt</i> (VFA).....	11
2.6.5 Stabilitas (<i>stability</i>).....	12
2.6.6 kelelahan plastis (Flow)	12
2.6.7 Marshall quoition (MQ).....	12
2.7 penelitian terdahulu.....	13
BAB III METODE PENELITIAN	14
3.1 Lokasi Pengambilan Material	14
3.2 Material dan Alat Yang Digunakan	14

3.3	Prosedur Penelitian	15
3.3.1.	Sifat-sifat Fisis Agregat	15
3.3.2.	Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal	18
3.3.3.	Bahan Pengisi (<i>filler</i>).....	20
3.3.4.	Pemilihan Gradasi Agregat.....	20
3.4	Pembuatan Benda Uji	22
3.5	Teknik Pencampuran	23
3.6	Tahapan Pengujian Marshall.....	23
3.7	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	24
BAB IV	HASIL DAN PEMBAHASAN	25
4.1	Hasil pemeriksaan bahan campuran aspal	25
4.1.1.	Hasil Pemeriksaan Gradasi Agregat.....	25
4.1.2.	Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal	26
4.1.3.	Hasil Perencanaan Gradasi Agregat.....	28
4.1.4.	Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	30
4.2.	Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Styrofoam Dan Abu Cangkang Kopi	32
4.2.1.	Hasil pengujian marshall dengan kadar styrofoam 0%.....	32
4.2.2.	Hasil pengujian marshall dengan kadar styrofoam 9%.....	34
4.2.3.	Hasil pengujian marshall dengan kadar styrofoam 11%.....	37
4.2.4.	Hasil pengujian marshall dengan kadar styrofoam 13%.....	39
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	43
5.1	Kesimpulan	43
5.2	Saran	43
DAFTAR PUSTAKA		45

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Limbah Cangkang Kopi	8
Gambar 2.2 Limbah Styrofoam.....	9
Gambar 2.3 Styrofoam Foodpack	9
Gambar 3.1 Grafik Gradasi Agregat	21
Gambar 4.1 Pengaruh variasi Persentase Substitusi Limbah <i>Styrofoam</i> Terhadap Sifat-Sifat Fisis Aspal	27
Gambar 4.2 Pengaruh variasi Persentase Substitusi Limbah <i>Styrofoam</i> Terhadap Sifat-Sifat Fisis Aspal	27
Gambar 4.3 Grafik Gradasi Agregat	29
Gambar 4.4 Grafik Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum	31
Gambar 4.5 Grafik Stabilitas pada campuran <i>Styrofoam 0%</i> dan Abu Cangkang Kopi.....	33
Gambar 4.6 Grafik Flow pada Campuran <i>Styrofoam 0%</i> dan Abu Cangkang Kopi	33
Gambar 4.7 Grafik VIM, VMA dan VFA pada campuran <i>Styrofoam 0%</i> dan Abu Cangkang Kopi	34
Gambar 4.8 Grafik Stabilitas pada campuran <i>Styrofoam 9%</i> dan Abu Cangkang Kopi.....	35
Gambar 4.9 Grafik Flow pada Campuran <i>Styrofoam 9%</i> dan Abu Cangkang Kopi	36
Gambar 4.10 Grafik VIM, VMA dan VFA pada campuran <i>Styrofoam 9%</i> dan Abu Cangkang Kopi	36
Gambar 4.11 Grafik Stabilitas pada campuran <i>Styrofoam 11%</i> dan Abu Cangkang Kopi.....	38
Gambar 4.12 Grafik Flow pada Campuran <i>Styrofoam 11%</i> dan Abu Cangkang Kopi.....	38
Gambar 4. 13 Grafik VIM, VMA dan VFA pada campuran <i>Styrofoam 11%</i> dan Abu Cangkang Kopi.....	39

Gambar 4.14 Grafik Stabilitas pada campuran <i>Styrofoam 13%</i> dan Abu Cangkang Kopi	40
Gambar 4.15 Grafik Flow pada Campuran <i>Styrofoam 13%</i> dan Abu Cangkang Kopi	41
Gambar 4.16 Grafik VIM, VMA dan VFA campuran <i>Styrofoam 13%</i> dan Abu Cangkang Kopi.....	41

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-Sifat Fisis Campuran Laston (AC)	5
Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi (Ac Mod)	6
Tabel 2.3 Persyaratan Agradasi Agregat Untuk AC-WC	7
Tabel 2.4. Penelitian Terdahulu	13
Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-sifat Fisis Agregat	15
Tabel 3.2 Persyaratan Sifat-sifat Fisis Aspal Pen 60/70	18
Tabel 3.3 Ketentuan filler	20
Tabel 3.4 Gradasi Agregat Rencana.....	21
Tabel 3.5 Pembuatan benda uji untuk menentukan KAO.....	22
Tabel 3.6 Pembuatan Benda Uji Substitusi Aspal Menggunakan Styrofoam Dan Abu Cangkang Kopi Sebagai Filler	22
Tabel 3.7 Rekapitulasi Benda Uji	23
Tabel 4.1 Sifat-sifat fisis agregat kasar	25
Tabel 4.2 Sifat-sifat fisis agregat halus	26
Tabel 4.3 Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70	26
Tabel 4.4 Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 substitusi styrofoam	26
Tabel 4.5 Hasil gabungan gradasi agregat kasar dan halus.....	29
Tabel 4.6 Hasil rekapitulasi pengujian marshall KAO	31
Tabel 4.7 Nilai parameter marshall styrofoam dan abu cangkang kopi.....	32
Tabel 4.8 Nilai parameter marshall styrofoam dan abu cangkang kopi.....	35
Tabel 4.9 Nilai parameter marshall styrofoam dan abu cangkang kopi.....	37
Tabel 4.10 Nilai parameter marshall styrofoam dan abu cangkang kopi.....	39
Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Penelitian	41

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A

Gambar A.1 Bagan Alir Penelitian	46
Gambar A.2 Peta Provinsi Aceh	47
Gambar A.3 lokasi pengambilan material cangkang kopi	48
Gambar A.4 lokasi pengambilan agregat kasar dan halus	48
Gambar A.5 Lokasi Penelitian	49
Gambar A.6 Abu cangkang kopi	49
Gambar A.7 Styrofoam	50
Gambar A.8 proses pencampuran aspal	50
Gambar A.9 Proses pemadatan	51
Gambar A.10 Proses perhitungan dalam air	51
Gambar A.11 Perendaman dalam waterbath.....	52
Gambar A.12 Proses perhitungan marshall.....	52
Gambar A.13 Benda uji.....	53

Lampiran B

Tabel B.1 Angka koreksi benda uji.....	54
Tabel B.2 Komposisi benda uji styrofoam 0% : 100% ACK : 0% AB	55
Tabel B.3 Komposisi benda uji styrofoam 0% : 75% ACK : 25% AB	56
Tabel B.4 Komposisi benda uji styrofoam 0% : 50% ACK : 50% AB	57
Tabel B.5 Komposisi benda uji styrofoam 9% : 100% ACK : 0% AB	58
Tabel B.6 Komposisi benda uji styrofoam 9% : 75% ACK : 25% AB	59
Tabel B.7 Komposisi benda uji styrofoam 9% : 50% ACK : 50% AB	60
Tabel B.8 Komposisi benda uji styrofoam 11% : 100% ACK : 0% AB	61
Tabel B.9 Komposisi benda uji styrofoam 11% : 75% ACK : 25% AB	62
Tabel B.10 Komposisi benda uji styrofoam 11% : 50% ACK : 50% AB	63
Tabel B.11 Komposisi benda uji styrofoam 13% : 100% ACK : 0% AB	64
Tabel B.12 Komposisi benda uji styrofoam 13% : 75% ACK : 25% AB	65
Tabel B.13 Komposisi benda uji styrofoam 13% : 50% ACK : 50% AB	66
Tabel B.14 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat.....	67

Tabel B.15 Hasil pemeriksaan impact agregat.....	67
Tabel B.16 Hasil pemeriksaan keausan agregat.....	67
Tabel B.17 Hasil Pemeriksaan Indek Kepipihan Agregat.....	68
Tabel B.18 Hasil Pemeriksaan Indek Kelonjongan Agregat.....	68
Tabel B.19 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70.....	68
Tabel B.20 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70.....	68
Tabel B.21 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen. 60/70.....	68
Tabel B.22 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi 9%.....	69
Tabel B.23 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi 11%.....	69
Tabel B.24 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi 13%.....	69
Tabel B.25 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi 9%.....	69
Tabel B.26 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi 11%.....	69
Tabel B.27 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi 13%.....	70
Tabel B.28 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi 9%.....	70
Tabel B.29 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi 11%.....	70
Tabel B.30 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi 13%.....	71
Tabel B.31 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi.....	71
Tabel B.32 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi.....	72

Lampiran C

Tabel C.1 Hasil pengujian marshall untuk menentukan KAO	73
Tabel C.2 Hasil pengujian marshall menggunakan styrofoam 0% sebagai substitusi aspal	74
Tabel C.3 Hasil pengujian marshall menggunakan styrofoam 9% sebagai substitusi aspal	75
Tabel C.4 Hasil pengujian marshall menggunakan styrofoam 11% sebagai substitusi aspal.....	76
Tabel C.5 Hasil pengujian marshall menggunakan styrofoam 13% sebagai substitusi aspal.....	77
Tabel C.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Substitusi Aspal Menggunakan <i>Styrofoam 0%</i> dan Abu Cangkang Kopi Sebagai <i>Filler</i>	78

Tabel C.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Substitusi Aspal Menggunakan Styrofoam 9% dan Abu Cangkang Kopi Sebagai <i>Filler</i>	...78
Tabel C.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Substitusi Aspal Menggunakan Styrofoam 11% dan Abu Cangkang Kopi Sebagai <i>Filler</i>	...78
Tabel C.9 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Substitusi Aspal Menggunakan Styrofoam 13% dan Abu Cangkang Kopi Sebagai <i>Filler</i>	...78

BAB I

PENDAHULUAN

Seiring dengan pertumbuhan penduduk disuatu daerah, maka peran jalan sebagai prasarana perhubungan darat sangatlah penting, Jaringan jalan di Indonesia telah dilalui oleh lalu lintas dengan karakteristik beban yang semakin meningkat, volume lalu lintas tinggi dan tidak sebanding dengan kapasitas yang tersedia, serta tekanan gandar yang semakin meningkat berbagai usaha dilakukan untuk mengatasi kerusakan gelombang, alur, retak, dan lain lain hal. Demikian merupakan tantangan yang harus diatasi dengan melakukan pengkajian untuk mengatasi kendala tersebut. Dalam usaha meningkatkan kualitas lapis keras tersebut hendaknya tetap memperhitungkan kondisi pendanaan, sehingga dipilih suatu cara yang *efisien* dan ekonomis untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Laston AC-WC adalah lapisan paling atas yang terdiri dari struktur pekerasan jalan raya yang berhubungan langsung dengan kendaraan dan mempunyai struktur paling halus. Bahan utama penyusun pekerasan jalan adalah agregat kasar, agregat halus, aspal dan *filler*. Pemakaian bahan aspal untuk mendapatkan aspal modifikasi yang bermutu tinggi dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah, penambahan ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis aspal. Pemakaian bahan *filler* dengan berat jenis yang lebih kecil dibandingkan dengan berat jenis agregat kasar dan agregat halus dapat menyebabkan campuran menjadi kurang aspal.

Salah satu cara untuk meningkatkan mutu campuran aspal diperoleh dengan menambahkan bahan tambah (*Additive*) suatu bahan ke dalam aspal. *Additive* adalah suatu komponen tambahan diluar komponen utama dalam aspal beton yang dicampurkan sehingga dapat memberikan pengaruh yang positif didalamnya, berdasarkan itu penyusun mencoba menggunakan limbah *styrofoam* dan abu cangkang kopi sebagai bahan tambah dalam substitusi beton aspal.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan pemanfaatan limbah *styrofoam* dan

abu cangkang kopi. Manfaat dari penelitian yang dilakukan adalah pemanfaatan limbah *styrofoam* dan abu cangkang kopi untuk bahan tambahan pada substitusi aspal dan bahan pengisi alternatif pada campuran aspal Laston AC-WC. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh.

Pengujian untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) menggunakan metode Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan Marshall Test berdasarkan 3 Spesifikasi Bina Marga 2018. Pada tahap awal penelitian dilakukan pembuatan benda uji dengan kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 5,5%, dan 7% dimana setiap variasi dibuat 3 (tiga) benda uji, sehingga jumlah benda uji untuk setiap variasi berjumlah 15 benda uji. Dari nilai KAO selanjutnya dibuat benda uji untuk substitusi aspal menggunakan *styrofoam* dan substitusi *filler* menggunakan abu cangkang kopi dengan masing-masing variasi 3 (tiga) benda uji dengan jumlah total 36 benda uji. Total benda uji adalah 51 benda uji.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) untuk pencampuran aspal adalah 5,75%. Setelah KAO didapat selanjutnya dibuat benda uji pada KAO berdasarkan penggunaan *styrofoam* sebagai substitusi aspal dengan persentase 9%, 11%, 13% dan abu cangkang kopi (ACK) 100%, 75%, 50% sebagai *filler*. Hasil penelitian pada *Styrofoam* 0% dan 100% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (2823,01), *Flow* (3,18), *Density* (2,44), VIM (4,34), VMA (23,64), VFA (81,63), MQ (976,13). Hasil penelitian penggunaan *styrofoam* 9% dan 100% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (1847,64), *Flow* (3,68), *Density* (2,44), VIM (4,07), VMA (23,42), VFA (82,62), MQ (512,54). Hasil penelitian penggunaan *styrofoam* 11% dan 100% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (2625,25), *Flow* (3,13), *Density* (2,43), VIM (4,57), VMA (23,82), VFA (80,84), MQ (844,39). Hasil penelitian penggunaan *styrofoam* 13% dan 100% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (2427,66), *Flow* (3,07), *Density* (2,42), VIM (5,05), VMA (24,20), VFA (79,18), MQ (805,59).

Hasil penelitian styrofoam sebagai substitusi aspal dengan persentase 9%, 11% 13% dan Abu cangkang kopi (ACK) 100%, 75%, 50% Sebagai *filler*. Hasil penelitian pada styrofoam 0% dan 75% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (2378,82), *Flow* (3.53), *Density* (2,44), VIM (4,12), VMA (23,37), VFA (82,35), MQ (678,28). Hasil penelitian penggunaan styrofoam 9% dan 75% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (2573,28), *Flow* (2,88), *Density* (2,43), VIM (4,53), VMA (23,70), VFA (80,87), MQ (931,03). Hasil penelitian penggunaan styrofoam 11% dan 75% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (1981,79), *Flow* (3.32), *Density* (2,44), VIM (4,41), VMA (23,60), VFA (81,33), MQ (604,44).). Hasil penelitian penggunaan styrofoam 13% dan 75% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (3048,58), *Flow* (2,75), *Density* (2,44), VIM (4,18), VMA (23,41), VFA (82,16), MQ (1229,23).

Hasil penelitian styrofoam sebagai substitusi aspal dengan persentase 9%, 11% 13% dan Abu cangkang kopi (ACK) 100%, 75%, 50% Sebagai *filler*. Hasil penelitian pada styrofoam 0% dan 50% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (2614,79), *Flow* (2,69), *Density* (2,45), VIM (3,89), VMA (23,18), VFA (83,23), MQ (1200,69). Hasil penelitian penggunaan styrofoam 9% dan 50% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (2481,81), *Flow* (2,73), *Density* (2,42), VIM (5,13), VMA (24,18), VFA (78,48), MQ (918,87). Hasil penelitian penggunaan styrofoam 11% dan 50% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (2073,26), *Flow* (2,74), *Density* (2,44), VIM (4,24), VMA (23,47), VFA (81,93), MQ (775,34). Hasil penelitian penggunaan styrofoam 13% dan 50% ACK mendapatkan hasil sebagai berikut : Stabilitas (2309,79), *Flow* (2,21), *Density* (2,44), VIM (4,38), VMA (23,58), VFA (81,46), MQ (1050,91).

Dari hasil pengujian menunjukkan nilai terbaik pada styrofoam 9% dan abu cangkang kopi 100% mendapatkan nilai stabilitas optimum sehingga menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban, Perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi mampu menahan beban lalu lintas yang besar, Sebaliknya dengan stabilitas yang rendah maka perkerasan akan mudah mengalami *bleding* oleh beban lalu lintas atau oleh perubahan bentuk *subgrade*.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

Pada bab ini di kemukakan berbagai teori yang di kutip dari beberapa literatur para ahli. Teori tersebut berupa persyaratan-persyaratan mengenai sifat-sifat fisis bahan dan material perkerasan jalan serta berupa keterangan singkat yang di sertai cara perhitungan.

2.1 Laston AC-WC

Lapis aspal beton adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktur yang pertama kali dikembangkan di *Amerika oleh The Asphalt Institute* dengan nama *Asphalt Concrete (AC)*. Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan didapatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan, sedangkan yang dimaksud gradasi menerus adalah komposisi yang menunjukkan pembagian butir yang merata mulai dari ukuran yang terbesar sampai dengan ukuran yang terkecil.

Keputusan Bina Marga (2018), lapisan aspal beton terdiri dari 3 (tiga) jenis campuran yaitu, AC Lapis Aus (AC-WC), AC Lapis Antara (AC-BC) dan AC Lapis Pondasi (AC-Base), dengan ukuran maksimum agregat campuran 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm. Lebih dikenal juga dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*). AC-BC ini merupakan bagian dari lapis permukaan diantara lapis pondasi yang berada diatas AC-Base (*Base course*) dengan lapis aus (*Wearing course*) yang bergradasi agregate gabungan rapat/menerus, umumnya digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat (Sukirman, S., 2008). lapisan pondasi atas (AC- Base) merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Lapisan ini terletak di bawah lapis pengikat

(AC- BC), perkerasan tersebut tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk menahan beban lalu lintas yang disebarkan melalui roda kendaraan (Departemen Pekerjaan Umum 1983).

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-Sifat Fisis Campuran Laston (AC).

Sifat-sifat Campuran		Laston modifikasi		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis pondasi
Jumlah Tumbukan Perbidang		75		112
Rongga dalam Campuran (VIM) (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (VFA) (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (Kg)	Min	800		1800
	Maks	4		6
Pelelehan (Mm)	Min	2		3
	Maks	4		6

Sumber : Bina Marga, (2018)

2.2 Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah. Aspal modifikasi mulai diperkenalkan di luar negeri lebih dari 15 tahun lalu dengan maksud mencegah retak pada waktu musim dingin, mencegah deformasi plastis pada beban berat di musim panas dan diharapkan akan lebih awet terhadap oksidasi terik matahari. Di Indonesia diperkenalkan pada tahun 1995 oleh shell dan produksi lokal digelar tahun 1966 (Saleh, dkk, 2016).

1. Aspal Elastomer

Elastomer terdiri dari aditif fungsional yang merupakan solusi cerdas untuk meningkatkan sifat campuran di seluruh dunia. Ini memberikan daya tahan yang lebih baik, karakteristik anti-ruting yang meyakinkan, ketahanan penuaan yang lebih baik, dan peningkatan kinerja. Selain itu, ini adalah cara alternatif untuk

mencapai proses modifikasi campuran bitumen yang andal yang mendekati tingkat kinerja yang sama dengan aspal yang dimodifikasi.(Anusha TM dkk ,2020)

2. Aspal Plastomer

Plastomer adalah salah satu teknologi dalam aspal dengan penambahan *Polyethylene* (PE), *Polypropylene* (PP), *Polyolefins*, dan lain-lain, baik tunggal maupun hibrid dalam kombinasi dengan polimer lain, polimer yang paling banyak digunakan. Secara teknis, karena beragamnya *aditif plastomerik*, perlu dipertimbangkan bahwa tidak semua plastomer cocok digunakan untuk target aspal atau bahkan memberikan kinerja yang sama,(Loretta Venturin dkk,2020)

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi (Ac Mod)

Sifat-sifat Campuran		Lapis Aus	Laston modifikasi Lapis Antara	Lapis pondasi
Jumlah Tumbukan Perbidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,0075mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1.6		
Rongga dalam Campuran (VIM) (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga Dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (VFA) (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (Kg)	Min	1000		2250
Pelelehan (Mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60° C	Min	250		300
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2		
Stabilitas dinamis, lintasan/mm	Min	2500		

Sumber : Bina Marga, (2018)

2.3 Bahan Campuran Beraspal Panas

Campuran aspal panas adalah suatu campuran perkerasan jalan lentur yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan bahan pengikat aspal dengan perbandingan-perbandingan tertentu dan dicampurkan dalam kondisi panas.

2.3.1 Agregat

Menurut Bina Marga (2018) mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing partikel harus dalam porsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat. Persyaratan teknis gradasi agregat untuk bahan campuran laston AC-WC dapat dilihat pada tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Persyaratan Agradasi Agregat Untuk AC-WC

Ukuran Ayakan			% Berat yang Lolos
Jenis Agregat	ASTM	(mm)	AC-WC
CA	3/4"	19	100
	1/2"	12,5	90 - 100
	3/8"	9,5	77 - 90
	No. 4	4,75	53 - 69
FA	No. 8	2,36	33 - 53
	No. 16	1,18	21 - 40
	No. 30	0,6	14 - 30
	No. 50	0,3	9 - 22
	No. 100	0,15	6 - 15
<i>Filler</i>	No. 200	0,075	4 - 9

Sumber : Bina Marga, (2018)

1. Agregat kasar

Keputusan Bina Marga (2018), agregat kasar adalah agregat yang tertahan pada saringan No. 8 (2,36 mm). Namun ukuran maksimum agregat kasar laston AC-WC adalah 19 mm.

2. Agregat halus

Keputusan Bina Marga (2018), agregat halus adalah agregat yang lolos pada saringan No. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan No. 200 (0,075).

2.3.2 Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan campuran yang mengisi ruang antara agregat halus dan agregat kasar yang akan meningkatkan kepadatan, *filler* adalah agregat yang lolos saringan No. 200. Pada umumnya *filler* berupa abu batu, debu batu, serta semen *portland* dan *filler* juga disyaratkan memiliki berat jenis lebih besar dari aspal.

1. Abu batu

Abu batu adalah material konstruksi dari agregat buatan (mineral *filler*/pengisi dengan ukuran partikel umumnya kurang dari 0,075 mm yang merupakan hasil sampingan/olahan batu pecah menggunakan alat *stone crusher*), Abu batu bertekstur butiran halus, tajam dan berwarna abu-abu. Memiliki sifat awet, keras dan unsur *pozzolan* (memiliki kandungan senyawa silika serta alumina yang tidak bersifat semen, namun bentuk halusanya jika tercampur air dapat berubah menjadi *massa* padat).

2. Abu Cangkang Kopi

Cangkang kopi merupakan bagian dari buah kopi yang disebut *Endocarp*. Kulit buah kopi merupakan serat dari pengolahan buah kopi untuk mendapatkan biji kopi yang selanjutnya digiling menjadi bubuk kopi. Gambar cangkang kopi Bisa dilihat pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.1 Cangkang Kopi
Sumber : kiky Nurfitri Sari (2018)

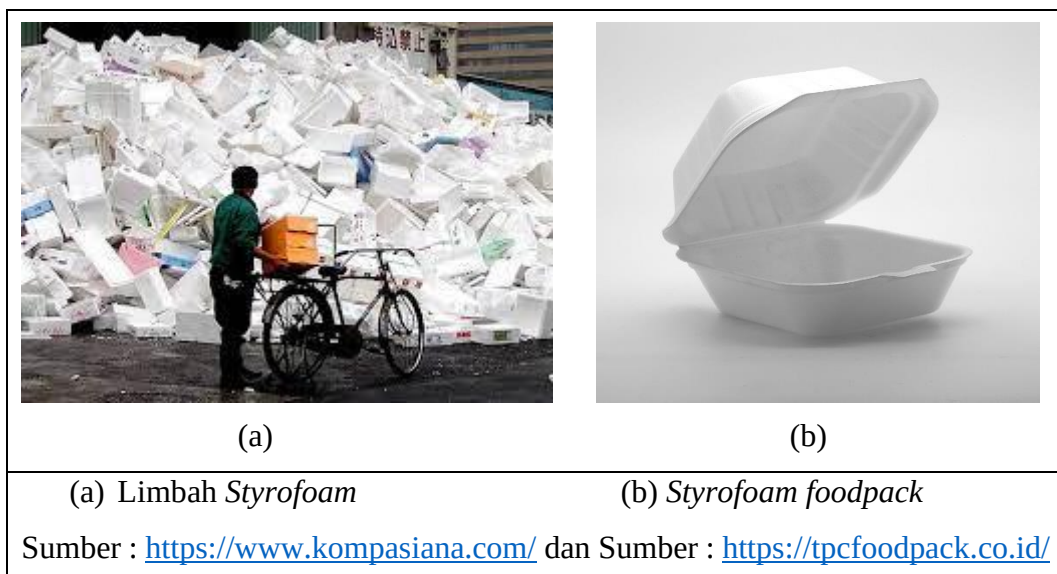
Adapun bahan yang terkandung di dalam cangkang kulit kopi adalah karbon (C), oksigen (O), kalium (K), tembaga (Cu), dan silika (SiO₂). (Meilanda, 2018)

2.4 Aspal

sebagai zat berwarna hitam atau coklat, pada suhu ruangan aspal akan berbenetuk padat, ketika aspal dipanaskan pada suhu tertentu aspal akan meleleh. Sehingga aspal dapat menyelimuti partikel agregat pada saat pembuatan aspal dan dapat masuk kedalam pori-pori agregat (Syammaun, Dkk. 2019).

1. Limbah *Styrofoam*

Limbah *Styrofoam* dikenal sebagai gabus putih yang biasanya digunakan untuk membungkus barang elektronik. *Polystyrene* sendiri dihasilkan dari *styrene* (C₆H₅CH=CH₂), yang mempunyai gugus *phenyl* yang tersusun secara tidak teratur sepanjang garis karbon dari molekul (Nurminah, 2002) *Polystyrene* merupakan bahan yang baik ditinjau dari segi mekanis maupun suhu, namun bersifat agak rapuh dan lunak pada suhu dibawah 100°C, Selain ringan *styrofoam* juga memiliki kemampuan menyerap air yang sangat kecil dan *styrofoam* mempunyai kekuatan Tarik (Sudarsana, 2009). Gambar *Styrofoam* bisa dilihat dibawah ini:



2.5 Kadar Aspal Rencana (Pb)

Kadar aspal rencana merupakan kadar aspal tengah/ideal (a%) yang nantinya divariasikan menjadi 5 (lima) variasi kadar aspal. Setelah diketahui nilai aspal rencana (Pb) maka nilai ideal ditambahkan 3 kali dengan interval 0,5% dan dikurangi 2 kali dengan interval 0,5%. Kadar aspal tengah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dari berikut ini:

$$Pb = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18 (\%Filler) + K \dots\dots\dots (2.1)$$

Dimana :

Pb = Kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran

CA = Persentase agregat kasar tertahan saringan No. 8 (2,36 mm)

FA = Persentase agregat halus yang lolos No. 8 dan tertahan No. 200 (0,075)

Filler = Persentase agregat minimal 75% lolos saringan No. 200

K = Nilai konstanta 0,5 -1 untuk lapis AC

2.6 Parameter Marshall

Parameter marshall adalah *density*, *Void In The Mix* (VIM), *Void In Mineral Agregat* (VMA), *Void Filled Asphalt*, (VFA), Stabilitas, dan kelelahan plastis (*Flow*) dan *marshall quotion* (MQ).

2.6.1 Density

Density merupakan perbandingan antara berat kering benda uji dengan berat pada volume yang sama, *density* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$h = g - f \dots\dots\dots (2.2)$$

$$i = \frac{h}{e} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

e = Berat benda uji sebelum direndam

f = Berat benda uji jenuh air (gr)

g= Berat benda uji dalam air (gr)

h = Isi benda uji (ml)

i = Berat isi benda uji (gr/ml)

2.6.2 *Void In The Mix (VIM)*

Void In the Mix (VIM) merupakan persentase rongga udara yang ada dalam campuran. Perhitungan nilai VIM dapat menggunakan persamaan berikut:

$$VIM = 100 - i \times j \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

i= Bj benda uji

j= Bj campuran maksimal

2.6.3 *Void Mineral Agregat (VMA)*

Void mineral agregat (VMA) adalah rongga udara antara butir agregat dalam campuran agregat aspal padat, termasuk rongga udara kadar aspal efektif yang merupakan persen volume rongga agregat yang terisi oleh aspal. . Perhitungan nilai VMA dapat menggunakan persamaan berikut:

$$VMA = 100 - l \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

l= Persentase volume agregat

2.6.4 *Void Filled Asphalt (VFA)*

Void filled asphalt (VFA) adalah nilai persentase rongga yang terisi aspal efektif. Perhitungan nilai VFA dapat menggunakan persamaan berikut:

$$VFA = 100 \times \frac{k}{n} \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana :

k= Persentase volume aspal

n= Persentase rongga agregat

2.6.5 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antara butir, penguncian antara partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal . Besarnya nilai stabilitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$S = p \times q \times r \dots\dots\dots(2.7)$$

Dimana :

- S= Stabilitas (Kg)
- p= Kalibrasi alat marshall (16,783)
- q= Pembacaan dial stabilitas
- r= Koreksi Benda Uji

2.6.7 Kelelahan plastis (*Flow*)

Kelelahan plastis adalah perubahan bentuk campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh (Siswadi, 2013). Nilai kelelahan plastis langsung dapat dibaca pada dial *flow* dan dinyatakan dalam satuan millimeter atau 0,1 inchi.

2.6.7 Marshall quotient (MQ)

Merupakan hasil bagi antara Stabilitas dan *Flow* yang diperoleh dari uji tekan dengan metode Marshall

Perhitungan nilai marshall quotion didasarkan dengan rumus berikut:

$$MQ = \frac{S}{t} \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

- S= Nilai stabilitas terpadang (kg)
- f= Nilai flow (mm)
- MQ= Nilai marshall quotion (Kg/mm)

2.7 Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian telah dilakukan, yang berhubungan dengan pengaruh pemanfaatan Abu cangkang kopi sebagai *filler* pada campuran aspal antara lain :

Tabel 2.4 Penelitian Terdahulu

no	Nama dan tahun penelitian	Judul penelitian	Hasil penelitian
1.	Sofyan M. Saleh (2014)	Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70	Semakin besar persentase <i>styrofoam</i> nilai stabilitas campuran juga semakin meningkat. Namun demikian nilai stabilitas yang diperoleh masih belum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan AAPA (1997) untuk lalu lintas sedang yaitu minimal sebesar 500 kg. Walaupun nilai stabilitas tertinggi diperoleh sebesar 495,92 kg pada kadar aspal 6,26 dan substitusi <i>Styrofoam</i> 9%.
2.	Sulistianti (2020)	Pemanfaatan Limbah Kopi Dan Agregat Halus Endapan Abu Vulkanik Burni Telong Pada Campuran laston AC-WC	Berdasarkan hasil pengujian Marshall persentase komposisi campuran dengan substitusi limbah kulit kopi terbaik terdapat pada substitusi 25% <i>filler</i> kulit kopi dari total <i>filler</i> Substitusi <i>filler</i> limbah kulit kopi sebanyak 25% dari total <i>filler</i> , didapat nilai stabilitas 2272 kg, flow 3,43 mm, VMA 21,38%, VIM 3,93%, VFB 74,69%, MQ 664,38 kg/mm, Dan <i>density</i> 2,20 kg/cm ³ .
3.	Laurensius M.DaGomez (2021)	Penggunaan Filler Abu Serbuk Kayu Kelapa Pada Aspal Beton AC-WC.	Penggunaan <i>filler</i> dengan komposisi 50% menghasilkan kinerja campuran aspal yang paling baik jika dibandingkan dengan perbandingan campuran <i>filler</i> serbuk kayu kelapa dengan komposisi 8%(abu serbuk kayu kelapa): 20%(semen). Karakteristik Marshall pada campuran tersebut didapatkan hasil nilai VIM sebesar 4,75%, nilai VMA sebesar 52,92%, nilai VFA sebesar 79,13%, nilai <i>flow</i> sebesar 3,5 mm, nilai stabilitas sebesar 1324,31 kg.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bagian ini akan dikemukakan tahapan dari penelitian yang meliputi pemakaian peralatan, bahan, pengujian setiap bahan, metode pengumpulan data dan pengolahan data, untuk lebih jelas tahapan penelitian ini tercantum pada bagan alir penelitian yang dapat dilihat pada lampiran.

3.1 Lokasi Pengambilan Material

Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Jalan Raya Program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Aceh. Pengujian ini menggunakan material agregat kasar dan agregat halus yang berasal dari PT. Ayu Lestari Indah Kecamatan. Indrapuri, Kabupaten. Aceh Besar, Limbah *Styrofoam* yang di ambil dari sampah rumah tangga, dan juga limbah abu cangkang kopi yang digunakan untuk substitusi agregat halus dan *filler* yang diambil dari Pabrik Kopi Agro Business Selling, Kecamatan Pengasing, Aceh Tengah, serta aspal yang digunakan adalah aspal pen 60/70 yang disediakan di Laboratorium Transportasi Program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Batoh-Aceh dengan variasi kadar aspal 5% 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

3.2 Material Dan Peralatan Yang Digunakan

Bahan dan peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bahan:
 - a. Agregat digunakan untuk bahan campuran aspal dengan gradasi menerus;
 - b. *styrofoam* digunakan sebagai substitusi agregat halus aspal pen 60/70 sebesar 9%, 11%, dan 13% terhadap berat total agregat;
 - c. Abu cangkang kopi digunakan sebagai substitusi bahan pengisi (*filler*) aspal pen 60/70 sebesar 100%, 75%, dan 50% terhadap berat total *filler*; dan
 - d. Aspal Pertamina pen 60/70.

2. Peralatan:

- a. Peralatan yang digunakan adalah alat untuk pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat, sifat-sifat fisis aspal, analisa saringan, pengujian parameter marshall, dan penentuan KAO; dan
- b. Peralatan lainnya yang dapat mendukung penelitian ini.

3.3 Prosedur Penelitian

Tapahapan pertama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menyiapkan bahan-bahan dan peralatan yang diperlukan untuk menunjang keberhasilan dalam proses penelitian, serta melakukan pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat, aspal serta analisa saringan. Baik itu dari agregat kasar dan agregat halus yang perlu untuk melalui Analisa saringan terlebih dahulu, serta *Styrofoam* yang harus dipotong-potong dahulu dan abu cangkang kopi yang harus melalui proses pengovenan terlebih dahulu sebelum dihancurkan.

3.3.1 Sifat-Sifat Fisis Agregat

Pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat terdiri dari beberapa pengujian, Standar pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat mengacu pada spesifikasi umum Bina Marga (2018) Revisi I (2019). Adapun syarat pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1 Ketentuan sifat-sifat fisis agregat

Pengujian	Standar	Nilai
Keausan Agregat (<i>Abrasi</i>)	SNI 2417-2008	Maks. 40%
Kelekatan Agregat terhadap Aspal	SNI 2439-2011	Min. 95%
Kepipihan	ASTM D-4791	Maks.10%
Partikel Lonjong	ASTM D-4791	Maks. 10%
Tumbukan (<i>impact</i>)	SNI 4426-1997	Maks. 30%
Berat Jenis dan Penyerapan	SNI 03-1969-1990	Bj Bulk Min. 2,5 dan Penyerapan maks 3

Sumber : Bina Marga, (2018)

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (*bulk specific gravity*), berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry specific*

gravity), berat jenis semu (*apparent specific gravity*), dan penyerapan (*absorpsi*). Pemeriksaan ini berpedoman pada AASHTO T-19-74. Benda uji yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan No. 3/8 (9,5 mm) dan tertahan saringan No. 4 (4,76 mm) sebanyak 5000 gram dan telah dicuci hingga bersih. Selanjutnya benda uji dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C. Lalu agregat dikeluarkan dari oven dan didinginkan pada suhu ruang selama 1-3 jam, lalu ditimbang (BK). Kemudian benda uji yang sudah ditimbang direndam dalam air selama 24 jam, selanjutnya benda uji dikeluarkan dari air dan dilab dengan kain sampai selaput air pada permukaan hilang dan ditimbang berat benda uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (Bj). Selanjutnya agregat dimasukkan kedalam keranjang kawat dan direndam sambil digoncangkan batuanannya dengan tujuan untuk mengeluarkan udara yang tersekap diantara agregat dan setelah itu ditimbang beratnya (Ba)

2. Pemeriksaan Berat Isi Agregat

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan berat agregat didalam wadah dengan volume wadah. Pengujian ini berpedoman pada AASHTO T-19-74. Agregat yang digunakan adalah agregat yang lolos saringan 13,5 mm dan tertahan saringan 1,36 mm sebanyak 5000 gram dan dioven pada suhu 110°C, sehingga mencapai berat tetap. Pemeriksaan ini dilakukan dengan tiga cara pemadatan yang dengan cara lepas, cara penusukan dan cara penggoyangan.

Pemeriksaan secara lepas dilakukan dengan memasukkan agregat ke dalam cetakan hingga penuh secara perlahan-lahan, lalu permukaannya diratakan dengan mistar perata, dan timbang berat wadah isinya (W2). Pemeriksaan cara penusukan dilakukan dengan menusukkan agregat ke dalam cetakan sebanyak 25 kali dengan tongkat pemadat, setelah penuh permukaannya diratakan dan timbang berat cetakan dan isinya (W2). Pemeriksaan cara penggoyangan dilakukan dengan memasukkan agregat ke dalam cetakan sebanyak tiga lapisan dan tiap lapisan dilakukan penggoyangan sebanyak 25 kali, setelah penuh permukaannya diratakan dan ditimbang berat cetakan dan isinya (W2). Untuk mendapatkan berat agregat dalam wadah maka harus ditimbang berat kosong (W1), kemudian berat agregat dapat dihitung yaitu $W = (W2 - W1)$.

3. Pemeriksaan Keausan Agregat

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pemeriksaan ini berpedoman pada AASHTO T-96-74. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat agregat yang aus yaitu lewat saringan No. 12 terhadap berat agregat semula dalam persen. Agregat yang diperlukan sebanyak 5000 gram (a), yaitu lolos Saringan 12.7 mm tertahan saringan 4.76 mm, dibersihkan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 140°C sampai berat tetap dan didinginkan pada suhu Ruang. Kemudian benda uji tersebut dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles* sekalian bola baja sebanyak 11 buah dan mesin dihidupkan dengan 500 kali putaran. Setelah pengujian sampel diayak pada ayakan No.12 (12,7mm).

Agregat yang tertahan ditimbang beratnya (b), bagian lolos saringan ini dibuang. Keausan agregat tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat agregat yang aus yaitu lewat saringan No.12 terhadap berat agregat semula dalam persen.

4. Pemeriksaan Tumbukan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui nilai kekerasan agregat melalui tumbukan dengan menggunakan alat *impact*. Pemeriksaan ini berpedoman pada AASHTO T-27-74. Agregat yang digunakan adalah agregat lolos saringan 12,7 mm dan tertahan saringan 9,25 mm sebanyak 1000 gram untuk satu benda uji. Agregat tersebut dibersihkan dan dikeringkan dalam oven pada suhu 110°C sampai mencapai berat tetap, kemudian didinginkan pada suhu ruang. Setelah itu benda uji dimasukkan kedalam mold tempat penumbukan dan permukaan diratakan kemudian timbang beratnya. Penumbukan dilakukan sebanyak 15 kali dengan tinggi jatuh 15,15 inci (41 mm), kemudian benda uji ditimbang kembali dengan menggunakan Saringan No. 8 (2,36 mm) dan agregat yang lolos ditimbang beratnya.

5. Pemeriksaan Indeks Kepipihan dan Kelonjongan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui persentase jumlah butir pipih dan butir lonjong yang terdapat dalam satu benda uji dibandingkan dengan berat totalnya. Pemeriksaan ini berpedoman pada AASHTO T-27-74. Pemeriksaan

indeks kepipihan dilakukan dengan memasukkan agregat kering oven sebanyak 4000 gram kedalam lubang pada flakness gauge. Agregat yang lolos adalah agregat yang pipih kemudian ditimbang beratnya dan indeks kepipihan yang dipakai adalah 0,6 kali diameter rata-rata. Sedangkan pemeriksaan indeks kelonjongan dimasukan agregat kering oven sebanyak 4000 gram kedalam lubang *Elongation Gauge*. Indeks kelonjongan yang dipakai adalah 1,8 kali diameter rata-rata. Agregat yang tertahan adalah agregat yang lonjong dan kemudian ditimbang beratnya. Apabila hasil pemeriksaan indeks kepipihan dan kelonjongan tidak memenuhi syarat, maka masih dapat ditolerin apabila hasil pengujian sifat fisis lainnya memenuhi syarat.

6. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui persentase luas permukaan batuan yang terselimuti oleh aspal terhadap keseluruhan luas permukaan dengan nilai batas yang disyaratkan minimum 95% berdasarkan AASHTO T-182-82. Diambil 100 gram agregat yang lolos saringan 13,2 mm dan tertahan saringan 9,5 mm. Agregat dan wadah dioven pada 140°C selama 1 jam. Agregat dicampurkan dengan aspal panas sebanyak 6 gram, aduk sampai rata dengan spatula selama 2-3 menit sampai benda uji terselimuti aspal. Pindahkan adukan ke dalam gelas kimia, dan diisikan air sebanyak 400 ml dan diamkan pada suhu ruang selama 16-18 jam.

3.3.2 Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal

Pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal terdiri dari beberapa tahap yaitu tanpa atau dengan menggunakan limbah *Styrofoam*. Pengujian ini dilakukan pada aspal pertamina penetrasi 60/70. Standar pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal mengacu pada spesifikasi umum Bina Marga (2018). Adapun syarat pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3.2 Persyaratan sifat-sifat fisis aspal pen 60/70

No	Sifat-sifat Fisis	Satuan	Standar	Hasil	Spesifikasi Bina Marga 2018
1.	Berat Jenis	gr/cm ³	SNI 2441-2011	1,031	Min. 1
2.	Penetrasi	(0,1 mm)	SNI 2456-2011	64	60-70
3.	Daktalitas	Cm	SNI 2432-2011	140	Min. 100
4.	Titik Lembek	°C	SNI 2434-2011	51	Min. 48

Sumber : Bina Marga, (2018)

1. Penetrasi Aspal

Pemeriksaan ini berpedoman pada AASHTO T-49-68 dan ASTM D-5-71 yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan yang dimiliki aspal. Tahap awal yaitu, aspal dipanaskan tidak lebih dari 60°C di atas titik leleh. Lalu tuangkan kedalam cawan pada suhu 25°C selama 30 menit dan dinginkan pada suhu ruangan, lalu letakkan kedalam bak perendam dengan 25°C selama 30 menit. Lalu cawan diletakkan diatas plat penetrasi dan jarum diturunkan perlahan hingga menyentuh permukaan aspal. Kemudian diatur angka nol pada dial penetrometer sehingga jarum petunjuk berimpit dengan jarum penetrasi. Pemegang jarum dan stopwatch dihidupkan secara bersamaan dan alat penetrasi berhenti setelah 5 detik, kemudian baca angka penetrasinya pada dial penetrometer.

2. Berat Jenis Aspal

Pemeriksaan ini berpedoman pada ketentuan AASHTO T-226-68 yang bertujuan untuk menentukan berat jenis aspal keras dengan piknometer. Tahap awal yaitu, bejana diisi air, diperkirakan bagian atas piknometer yang terdalam 40 mm. Bejana direndam pada bak perendaman sehingga terendam 100 mm, lalu suhu bak perendaman diatur pada suhu 25°C. lalu piknometer ditimbang dalam keadaan kosong, bersih dan kering. Bejana diangkat dari bak perendaman dan piknometer diisi air, lalu piknometer ditutup tanpa ditekan. Piknometer diletakkan diatas bejana dan ditekan penutupnya sampai rapat. Bejana dimasukkan kembali kedalam bak perendam dan didiamkan selama setengah jam. Piknometer diangkat dan dikeringkan dengan kain lap lalu ditimbang. Lalu aspal dituang kedalam piknometer sebanyak $\frac{3}{4}$ bagian. Piknometer didiamkan Sampai dingin selama 40 menit dan ditimbang bersama tutupnya. Piknometer yang berisikan aspal diisi air dan ditutup tanpa ditekan, diamkan agar gelembung udara keluar. Bejana didalam bak diangkat dan diisi piknometer yang berisikan aspal lalu tutupnya ditekan sampai rapat. Bejana dimasukkan kembali kedalam bak perendaman selama 30 menit, Piknometer diangkat dan dikeringkan lalu ditimbang.

3. Daktilitas

Pemeriksaan ini berpedoman pada AASHTO T-51-74 dan ASTM D-113-69, yang bertujuan untuk mengetahui tingkat kohesi yang dimiliki aspal. Tahap

awal yaitu, olesi cetakan daktilitas dengan *glycerin* dan *kaolin*, letakkan diatas plat dasar. Tuangkan aspal panas dengan suhu 80°C-100°C sebanyak 100 gram dan dinginkan pada suhu ruang selama 30-40 menit lalu pindahkan kedalam bak perendaman selama 30 menit. Ratakan aspal yang berlebih dengan spatula panas hingga cetakan penuh dan rata. letakkan benda uji pada mesin uji dan tarik benda uji dengan kecepatan 5 cm/menit sambai benda uji putus dengan suhu 25°C. Selanjutnya dibaca jarak antara pemegang cetakan pada saat benda uji putus.

4. Titik Lembek

Pemeriksaan ini berpedoman pada AASHTO T-53-81 dan ASTM D-36-70, bertujuan untuk mengetahui temperatur pada saat aspal menjadi lembek. Tahap awal yaitu, panaskan aspal dan tuang kedalam cecin kuningan dan dinginkan selama 30 menit. Bejana diisi air dengan tinggi 101,6 mm dan suhu air 5°C. letakkan thermometer diantara dua benda uji dan panaskan. Setiap perubahan suhu dilakukan pencatatan waktu sampai bola baja menyentuh dasar plat.

3.3.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) yang digunakan dalam penelitian ini yaitu Abu cangkang kopi dengan Abu Batu (PC) yang lolos saringan No. 200 (0,074 mm), dengan variasi persentase Abu cangkang kopi 100%-0% Abu batu, Abu cangkang kopi 75%-25 Abu batu dan Abu cangkang kopi 50 %- 50% Abu batu. Syarat-syarat bahan pengisi (*filler*) dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3.3 Ketentuan Filler

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Persyaratan
Lolos saringan No. 200 (0.075 mm)	SNI ASTM C136:2012	Min. 75%
Berat Jenis	SNI 03-2531-1991	3,0 – 3,2

Sumber : Bina Marga, (2018)

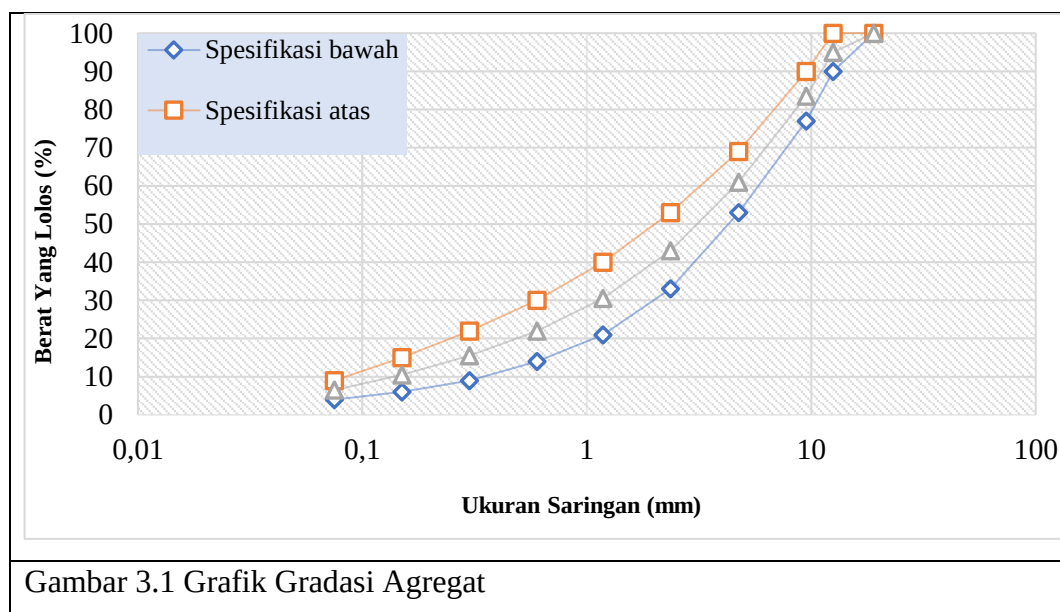
3.3.4 Pemilihan Gradasi Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini tidak dapat langsung digunakan hal itu dikarenakan agregat yang diperoleh dari suatu sumber terkadang sulit untuk memenuhi semua persyaratan gradasi. Maka dari itu untuk merancang proporsi

campuran digunakan gradasi rencana yang diperoleh dari gradasi tengah atau nilai tengah dari rentang gradasi agregat yang sesuai dengan spesifikasi. Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan dengan pengujian analisa saringan, menggunakan satu set saringan sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan. Saringan disusun dari ukuran saringan paling besar sampai terkecil. Adapun gradasi agregat rencana yang digunakan seperti pada Tabel 3.4 dibawah ini

Tabel 3.4 Gradasi Agregat Rencana

Ukuran Saringan			Laston Lapis Aus (AC-WC)				
			% Berat yang lolos			% Berat yang tertahan	
Jenis Agregat	Saringan	Ukuran (mm)	Spesifikasi bawah	Spesifikasi atas	Gradasi Rencana	Tertahan	Kumulatif
CA	3/4"	19	100	100	100		
	1/2"	12,5	90	100	95	5	5
	3/8"	9,5	77	90	83,5	11,5	16,5
	No. 4	4,75	53	69	61	22,5	39
	No. 8	2,36	33	53	43	18	57
FA	No. 16	1,18	21	40	30,5	12,5	69,5
	No. 30	0,6	14	30	22	8,5	78
	No. 50	0,3	9	22	15,5	6,5	84,5
	No. 150	0,15	6	15	10	5	89,5
	No. 200	0,075	4	9	6,5	4	93,5
Filler		0	0		0	6,5	100



3.4 Pembuatan Benda Uji

Penentuan jumlah benda uji berdasarkan kebutuhan dalam pelaksanaan penelitian. Langkah pertama dalam pembuatan benda uji adalah menentukan kadar aspal tengah (Pb). Dalam menentukan hasil dari KAO yang optimum menggunakan metode dari Bina Marga 2018. Jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Pembuatan Benda Uji untuk menentukan KAO

Perencanaan Kadar Aspal Tengah Pb			
No.	Kadar aspal (%)	Kode Benda Uji	Jumlah
1	5	T1, T2, T3	3
2	5,5	T11, T12, T13	3
3	6	T21, T22, T33	3
4	6,5	T31, T32, T33	3
5	7	T41, T42, T43	3
Total			15

Pada perencanaan benda uji pencampuran menggunakan substitusi pada aspal yang memakai *Styrofoam* dan abu cangkang kopi sebagai filler dapat dilihat pada tabel dibawah ini

Tabel 3.6 Pembuatan Benda Uji Subtitusi Aspal menggunakan *Styrofoam* dan abu cangkang kopi sebagai *filler*

Styrofoam %	Filler		Keterangan	Jumlah Benda Uji
	ACK	AB		
0	100	0	0% Styrofoam + 100 ACK : 0% AB + KAO	3
	75	25	0% Styrofoam + 75% ACK : 25% AB + KAO	3
	50	50	0% Styrofoam + 50% ACK : 50% AB + KAO	3
9	100	0	9% Styrofoam + 100% ACK : 0% AB + KAO	3
	75	25	9% Styrofoam + 75% ACK : 25% AB + KAO	3
	50	50	9% Styrofoam + 50% ACK : 50% AB + KAO	3
11	100	0	11% Styrofoam + 100% ACK : 0% AB + KAO	3
	75	25	11% Styrofoam + 75% ACK : 25% AB + KAO	3
	50	50	11% Styrofoam + 50% ACK : 50% AB + KAO	3
13	100	0	13% Styrofoam + 100% ACK : 0% AB + KAO	3
	75	25	13% Styrofoam + 75% ACK : 25% AB + KAO	3
	50	50	13% Styrofoam + 50% ACK : 50% AB + KAO	3
Jumlah Total				36

Tabel 3.7 Rekapitulasi Benda Uji

No	Kelompok Uji	Jumlah
1	Pembuatan Benda Uji untuk menentukan KAO	15
2	Pembuatan Benda Uji Substitusi Aspal menggunakan <i>Styrofoam</i> dan abu cangkang kopi sebagai <i>filler</i>	36
3	Total	51

3.5 Teknik Pencampuran

Pada penelitian ini menggunakan teknik pencampuran secara kering (*Dry Process*) yaitu cara campuran dimana *styrofoam* dimasukkan kedalam agegat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Dimana tahap awal yaitu panaskan agregat yang direncanakan kemudian campurkan limbah *styrofoam* yang telah dipotong-potong kedalam campuran agregat yang telah dipanaskan dan diaduk hingga merata. Selanjutnya campurkan aspal kedalam campuran agregat dengan *styrofoam* lalu diaduk merata hingga semua agregat terselimuti aspal dengan merata.

3.6 Tahapan Pengujian Marshall

Pada pengujian marshal dilakukan beberapa tahap, diantaranya ialah sebagai berikut :

1. Timbang agregat sesuai dengan rancangan campuran dan oven pada temperatur $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.
2. Panaskan aspal sampai mencapai tingkat kekentalan tertentu.
3. Campurkan agregat dan aspal sampai agregat terselimuti merata
4. Siapkan cetakan (mold) benda uji Marshall dalam kondisi panas ($160 ^\circ\text{C}$).
5. Masukkan campuran beraspal kedalam mould benda uji, lalu tusuk pada bagian sisi contoh dengan spatula yang sudah dipanaskan sebanyak 15 kali dan 10 kali pada bagian tengah benda uji.
6. Padatkan benda uji sebanyak 2 x 75 tumbukan.
7. Beri label pada setiap benda uji.

8. Keluarkan benda uji dari cetakan dan biarkan pada temperatur ruang selama 24 jam.
9. Bersihkan benda uji dari kotoran.
10. Tentukan kepadatan benda uji dengan menimbang benda uji di udara, di dalam air dan dalam kondisi (*Specific Gravity*) SSD.
11. Rendam benda uji dalam *waterbatch* berisi air dengan suhu 60 °C selama 30 - 40 menit.
12. Test menggunakan alat uji Marshall.
13. Masukkan semua data kedalam formulir Marshall, kemudian hitung untuk mendapatkan kadar aspal optimum.

3.7 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setelah pemeriksaan dan pengujian sifat-sifat fisis agregat dan aspal. Kadar aspal awal atau kadar aspal perkiraan ini merupakan kadar aspal tengah/ideal (a%) yang nantinya divariasikan menjadi 5 variasi, yang memiliki perbedaan masing-masing 0,5%. Variasi kadar aspal yang dipilih sedemikian rupa, sehingga dua kadar aspal kurang dari nilai kadar aspal tengah, dan dua kadar aspal lainnya lebih besar dari nilai kadar aspal tengah. . Jika kadar aspal tengah/ideal adalah a%, maka variasi kadar aspal adalah (a-1)%, (a - 0,5)%, a%, (a + 0,5)%, dan (a + 1)%.

Pada penelitian ini, berdasarkan gradasi perencanaan yang menghasilkan nilai kandungan untuk masing-masing fraksi sebesar: Ca = 57%, Fa = 43%, filler = 6,5% dan konstanta yang diambil adalah 0,75 (antara 0,5 -1,0 untuk AC). Maka kadar aspal tengah/ideal sebesar:

$$\begin{aligned}
 Pb &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta} \\
 &= 0,035 (57) + 0,045(43) + 0,18 (6,5) + 0,75 \\
 &= 6
 \end{aligned}$$

Maka diperoleh kadar aspal optimum yaitu dengan variasi 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini diuraikan hasil pengujian dan pengolahan data berdasarkan hasil penelitian di laboratorium serta dilanjutkan pembahasan hasil menggunakan metode-metode yang telah diuraikan pada BAB II dan BAB III.

4.1 Pemeriksaan Bahan Campuran Aspal

Hasil penelitian yang akan disajikan adalah hasil pemanfaatan limbah *Styrofoam* sebagai substitusi aspal dan Abu cangkang kopi dan Abu batu sebagai substitusi *filler* pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) yang meliputi hasil pengujian pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% untuk memperoleh nilai KAO. Namun di samping itu akan disajikan pula data hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat dan sifat-sifat fisis aspal berupa data primer dan data sekunder.

4.1.1 Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Data hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat diperoleh setelah dilakukan pengujian batu pecah milik PT. Ayu Lestari, Kecamatan Indrapuri, Kabupaten. Aceh Besar yang akan dijadikan sebagai material pada penelitian ini. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis yaitu : Pengujian berat jenis dan penyerapan, keausan agregat, kelengketan terhadap aspal, *impact*, dan pertikel kepipihan dan kelongjongan. Sifat-sifat fisis agregat disajikan pada Tabel 4.1 - Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.1 Sifat-Sifat Fisis Agregat Kasar

No	Sifat Fisis	Satuan	Standar	Hasil	Persyaratan
1	Berat Jenis	gr/cm ³	SNI 03-1969-2008	2,800	Min. 2,5
2	Penyerapan	%	SNI 03-1969-2008	1,739	Mak. 2
3	Berat Isi	kg/dm ³	SNI 03-1969-2008	1,610	Min. 1
4	Tumbukan	%	SNI 03-1969-2008	8,9	Mak. 30
5	Keausan	%	SNI 2471-2008	15,00	Mak. 40
6	Indeks Kepipihan	%	ASTM D-4791	17,18	Mak. 10
7	Indeks Kelongjongan	%	ASTM D-4791	15,47	Mak. 10

Tabel 4.2 Sifat-Sifat Fisis Agregat Halus

No	Sifat Fisis	Satuan	Standar	Hasil	Persyaratan
1	Berat Jenis	gr/cm ³	SNI 03-1970-2008	2,775	Min. 2,5
2	Penyerapan	%	SNI 03-1969-2008	1,119	Mak. 2
3	Berat Isi	kg/dm ³	SNI 03-1969-2008	1,656	Min. 1

Dari tabel hasil pemeriksaan sifat fisis agregat pada berat jenis, penyerapan, berat isi, tumbukan dan keausan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018, dan pada indeks kepipihan dan indeks kelongongan tidak memenuhi persyaratan spesifikasi tetapi masih bisa digunakan pada penelitian selanjutnya.

4.1.2 Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal diperoleh setelah dilakukan pemeriksaan terhadap aspal penetrasi 60/70. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal meliputi: pemeriksaan berat jenis, penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. Dari hasil pemeriksaan memperlihatkan bahwa aspal tersebut dapat digunakan karena memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 1 tahun 2019 (divisi 6). Adapun hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 dengan dan tanpa penggunaan substitusi Limbah *Styrofoam* dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 berikut ini :

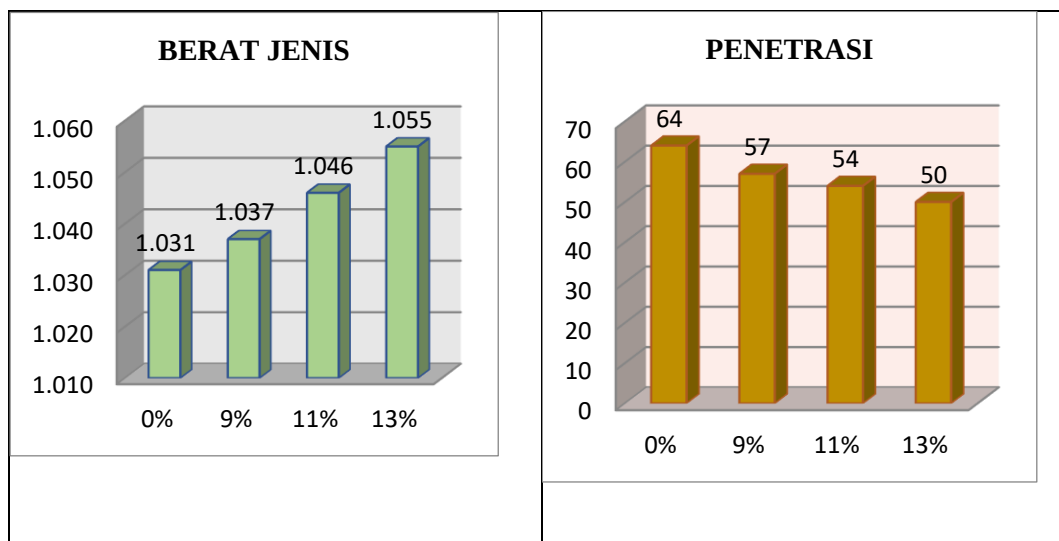
Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Penetrasi 60/70

No	Sifat-sifat Fisis	Satuan	Standar	Hasil	Spesifikasi Bina Marga 2018
1.	Berat Jenis	gr/cm ³	SNI 2441-2011	1,031	Min. 1
2.	Penetrasi	(0,1 mm)	SNI 2456-2011	64	60-70
3.	Daktalitas	Cm	SNI 2432-2011	140	Min. 100
4.	Titik Lembek	°C	SNI 2434-2011	51	Min. 48

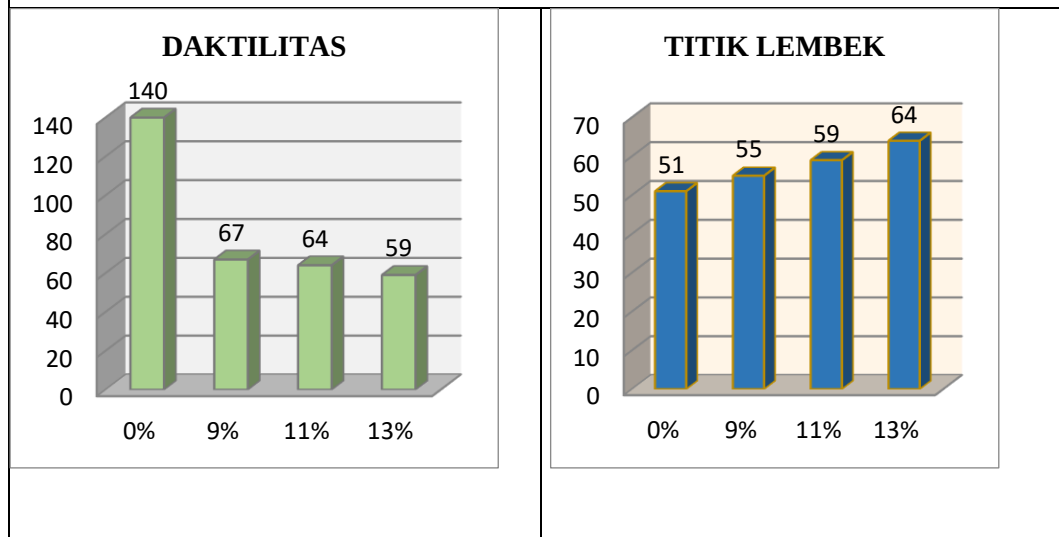
Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Pen 60/70 Substitusi Styrofoam

No	sifat-sifat fisis aspal	Satuan	Standar	Styroafoam			Spesifikasi Bina Marga 2018
				9%	11%	13%	
1	Berat Jenis	gr/cm ³	SNI 2441-2011	1,037	1,046	1,055	Min. 1
2	Penetrasi	(0,1 mm)	SNI 2456-2011	57	54	50	Min. 40
3	Daktilitas	cm	SNI 2432-2011	67	64	59	Min. 50
4	Titik Lembek	°C	SNI 2434-2011	55	59	64	Min. 54

Dari Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal dengan dan tanpa substitusi Limbah *Styrofoam* terlihat aspal tersebut dapat digunakan karena telah memenuhi persyaratan. Selanjutnya nilai pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal di plot kedalam grafik pengaruh variasi persentase substitusi Limbah *Styrofoam* terhadap sifat-sifat fisis aspal yang dapat dilihat pada Gambar 4.2. Hasil pengujian terhadap sifat-sifat fisis aspal selengkapnya disajikan pada Lampiran.



Gambar 4.1 Pengaruh variasi Persentase Substitusi Limbah *Styrofoam* Terhadap Sifat-Sifat Fisis Aspal



Gambar 4.2 Pengaruh variasi Persentase Substitusi Limbah *Styrofoam* Terhadap Sifat-Sifat Fisis Aspal

Pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal dengan menggunakan substitusi Limbah *Styrofoam* kedalam aspal sebesar 9% 11% dan 13% serta tanpa substitusi limbah sebagai pembanding (0%). Penambahan Limbah *Styrofoam* kedalam aspal akan mengakibatkan bertambahnya berat jenis aspal. Pengujian berat jenis dilakukan untuk mengetahui kuantitas penggunaan aspal dalam pelaksanaan atau jumlah banyaknya aspal yang digunakan dalam campuran. Nilai penetrasi terus menurun seiring dengan bertambahnya kadar substitusi Limbah *Styrofoam* ke dalam aspal tetapi masih dalam batas spesifikasi yang disyaratkan. Nilai penetrasi menggambarkan tingkat kekerasan aspal pada suhu 25°C dengan beban standar 50 ± 0.05 gr. Penurunan nilai penetrasi menunjukkan bahwa aspal semakin keras setelah adanya penambahan substitusi Limbah *Styrofoam*.

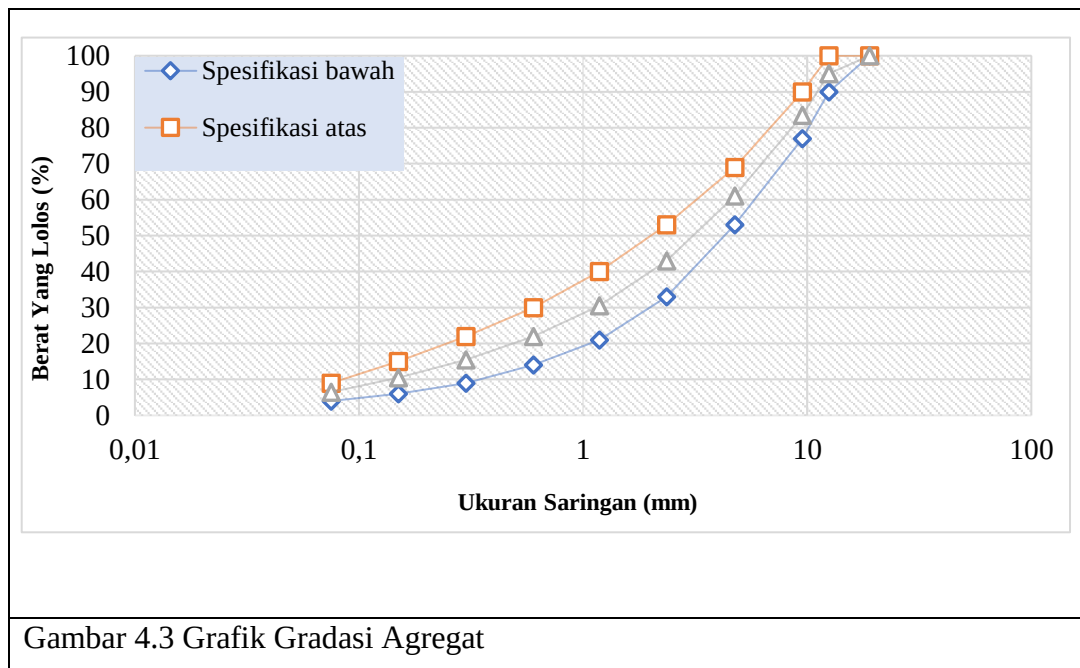
Nilai titik lembek semakin meningkat seiring dengan adanya substitusi Limbah *Styrofoam* ke dalam aspal, peningkatan ini dikarenakan semakin besar kadar substitusi Limbah *Styrofoam* ke dalam aspal maka aspal akan semakin tahan terhadap perubahan suhu dan cuaca. Pengujian daktilitas dilakukan untuk mengetahui sifat kohesi dan plastisitas aspal. Nilai daktilitas semakin menurun seiring semakin besarnya persentase substitusi Limbah *Styrofoam* ke dalam aspal, hal ini disebabkan karena aspal semakin keras sehingga aspal cenderung bersifat getas. Keseluruhan nilai daktilitas masih memenuhi spesifikasi minimal yaitu 50 cm.

4.1.3 Perencanaan Gradasi Agregat

Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan pada agregat kasar dan agregat halus dengan menggunakan analisa saringan. Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut tidak dapat digunakan langsung dalam campuran karena tidak memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Oleh karena itu, harus dilakukan penyesuaian gradasi terlebih dahulu sehingga agregat tersebut memenuhi syarat spesifikasi. Gradasi yang digunakan adalah gradasi campuran aspal beton (AC-WC). Hasil gradasi rencana dapat dilihat pada Tabel 4.3 dibawah ini.

Tabel 4.5 Hasil Gabungan Gradasi Agregat Kasar Dan Agregat Halus

Ukuran Saringan			Laston Lapis Aus (AC-WC)				
			% Berat yang lolos			% Berat yang tertahan	
Jenis Agregat	Saringan	Ukuran (mm)	Spesifikasi bawah	Spesifikasi atas	Gradasi Rencana	Tertahan	Kumulatif
CA	3/4"	19	100	100	100		
	1/2"	12,5	90	100	95	5	5
	3/8"	9,5	77	90	83,5	11,5	16,5
	No. 4	4,75	53	69	61	22,5	39
	No. 8	2,36	33	53	43	18	57
FA	No. 16	1,18	21	40	30,5	12,5	69,5
	No. 30	0,6	14	30	22	8,5	78
	No. 50	0,3	9	22	15,5	6,5	84,5
	No. 150	0,15	6	15	10,5	5	89,5
	No. 200	0,075	4	9	6,5	4	93,5
Filler		0	0		0	6,5	100



Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran karena memenuhi spesifikasi gradasi yang disyaratkan. Selanjutnya gradasi rencana tersebut digunakan untuk menghitung komposisi campuran agregat dari masing-masing ukuran saringan

dengan variasi kadar aspal pen 60/70 maupun dengan substitusi agregat halus dengan persentase 100-0%, 75-25%, dan 50-50% terhadap berat agregat dan substitusi *filler*

4.1.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

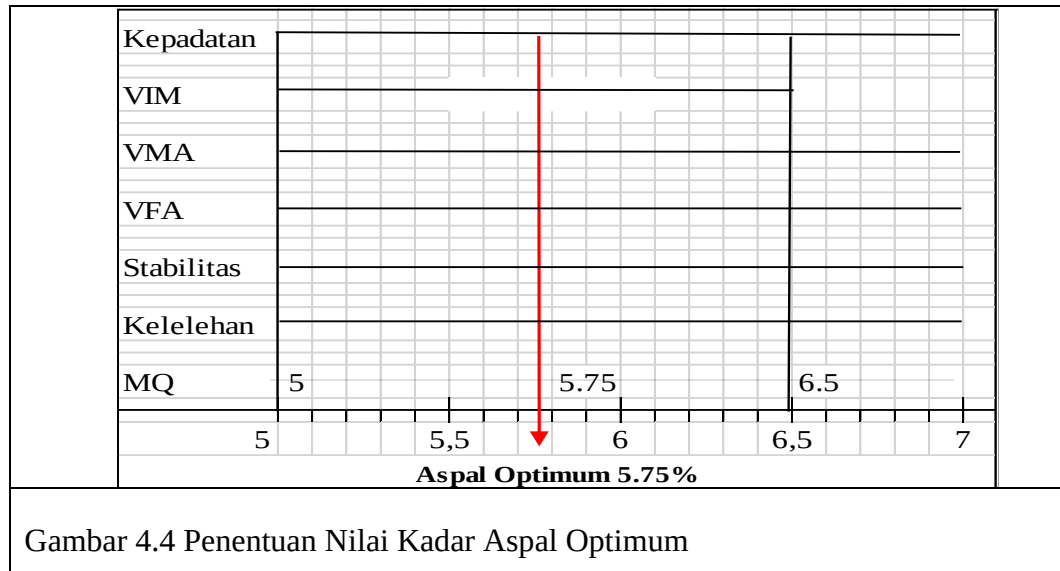
Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai parameter marshall yang terdiri dari *Density*, VIM, VMA, VFA, stabilitas, *Flow*, dan MQ. Selanjutnya nilai parameter marshall dianalisis untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO). Hasil analisis menunjukkan nilai batas bawah yaitu 5%, nilai batas atas 6,5% sehingga diperoleh KAO sebesar 5,75% yang memenuhi semua persyaratan parameter marshall untuk campuran lapis aus (AC-WC). Rekapitulasi hasil pengujian marshall dari berbagai variasi kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum disajikan pada Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.6 Hasil Rekapitulasi Pengujian Marshall KAO

No	Pengujian	Kadar Aspal %					Syarat
		5	5,5	6	6,5	7	
1	Density	2,43	2,43	2,39	2,37	2,33	Min 2gr/cm ³
2	VIM	5,85	5,14	5,68	5,82	6,60	3% - 5%
3	VMA	23,30	23,76	25,21	26,32	27,91	< 15 %
4	VFA	75,02	78,42	77,60	78,04	76,67	< 65 %
5	Stabilitas	2920,91	3046,34	3234,8	3240,01	3463,06	Min. 1000
6	Flow	2,46	2,11	2,16	2,08	2,00	2-4 mm
7	MQ	1022,31	1326,96	1521,6	1440,98	1731,1	Min.250 kg/mm

Hubungan antara kadar aspal dengan parameter marshall dianalisis dengan analisa regresi untuk menentukan KAO campuran aspal. Analisa regresi yang digunakan yaitu analisa regresi yang sesuai dengan bentuk penyebaran data atau diagram pancar yang membentuk suatu garis lengkung atau lurus (linear). Dalam hal ini regresi non linear diagram paling sesuai. Hasil pengujian marshall dengan variasi kadar aspal tersebut diplot pada sumbu salib dengan kadar aspal (sumbu x) dan parameter marshall (sumbu y). Untuk mempermudah hitungan analisa regresi tersebut, maka dilakukan dengan menggunakan software microsoft excel. Grafik

nilai KAO campuran AC-WC dari evaluasi parameter marshall diperlihatkan pada Gambar 4.3 berikut:



Setelah didapatkannya kadar aspal optimum (KAO) selanjutnya dilakukan pencampuran Limbah *Styrofoam* sebagai substitusi aspal dan Abu Cangkang Kopi sebagai *Filler* dengan variasi persentase yang sama yaitu 100% ACK-0 AB%, 75% ACK-25% AB, dan 50% ACK-50% AB. Hasil pengujian keseluruhan parameter marshall untuk variasi kadar aspal disajikan pada Lampiran C.

4.2 Pengujian Marshall Menggunakan Styrofoam dan Abu Cangkang Kopi

Hal-hal yang dibahas pada sub bab ini sesuai dengan hasil yang diperoleh dari penelitian dan hasil pengolahan data berupa tinjauan karakteristik limbah *Styrofoam* sebagai substitusi aspal dan Abu Cangkang Kopi sebagai *Filler* pada laston (AC-WC). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh kadar aspal optimum (KAO) terbaik adalah 5,75%, dengan variasi *styrofoam* sebesar 9%, 11% dan 13% dan abu cangkang kopi sebagai *filler* 100% ACK : 0% AB, 75% ACK : 25% AB, 50% ACK : 50 AB%.

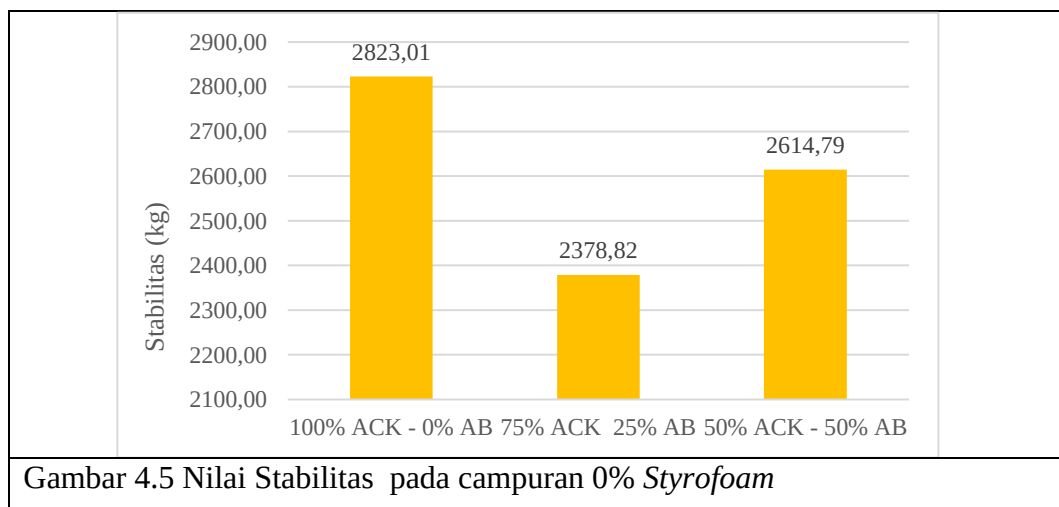
4.2.1 Pengujian Marshall dengan kadar Styrofoam 0%

Dari hasil pengujian Marshall yang dilakukan pada variasi kadar *Styrofoam* 0% dan Abu Cangkang Kopi sebagai *filler* untuk benda uji dengan tumbukan 2 x 75, diperoleh parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 4.7 dibawah ini.

Tabel 4.7 Nilai Parameter Marshall *Styrofoam* dan Abu Cangkang Kopi

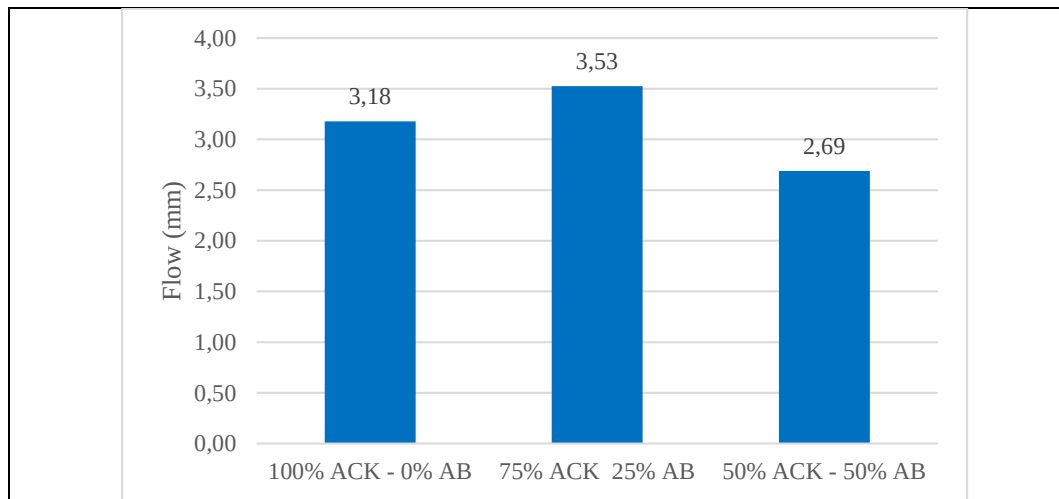
No	Parameter Marshall	Kadar Styrofoam 0%			Spesifikasi Bina Marga 2018
		100% ACK : 0% AB	75% ACK : 25% AB	50% ACK : 50% AB	
1	Stabilitas	2823,01	2378,82	2614,79	Min. 1000
2	Flow	3,18	3,52	2,69	2-4 mm
3	Density	2,44	2,45	2,45	Min. 2 gr/cm ³
4	VIM	4,34	4,12	3,89	3-5%
5	VMA	23,64	23,37	23,18	Min.15%
6	VFA	81,63	82,35	83,23	Min. 65%
7	MQ	976,13	678,28	1200,69	Min.250 kg/mm

Tabel 4.7 Memperlihatkan nilai Stabilitas, *Flow*, *Density*, VIM, VMA, VFA dan MQ pada semua persentase *Filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 1 Tahun 2019 (divisi 6). Hubungan nilai parameter Marshall dengan persentase *filler* Abu Cangkang Kopi dapat dilihat pada Gambar 4,5 s/d 4.7 dibawah ini:



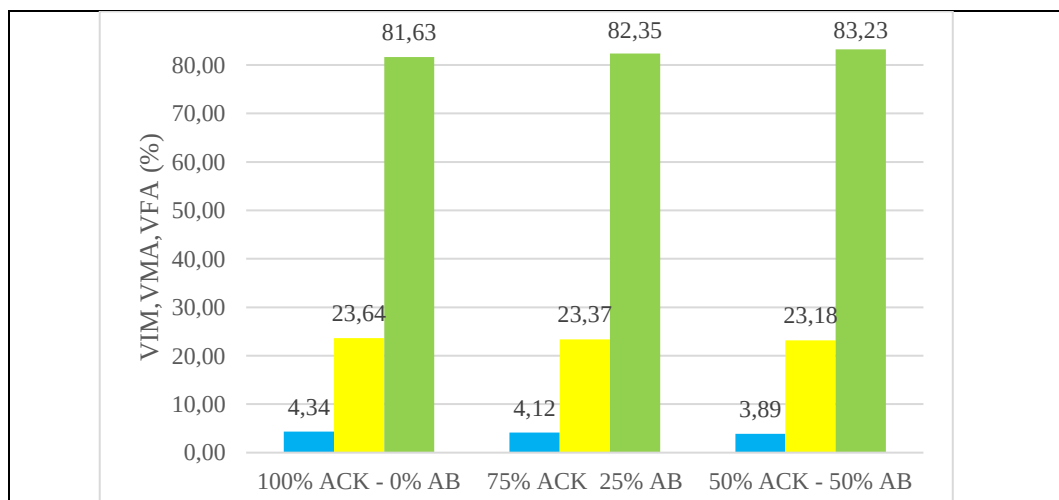
Gambar 4.5 Nilai Stabilitas pada campuran 0% *Styrofoam*

Dari Gambar 4.5 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 0% Stabilitas mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB. meskipun mengalami peningkatan pada nilai Stabilitas pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu Stabilitas (Min.1000).



Gambar 4.6 Nilai Flow Pada Campuran 0% Styrofoam

Dari gambar 4.6 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 0% *Flow* mengalami peningkatan pada variasi 75% ACK : 25% AB. meskipun mengalami peningkatan pada hasil dari nilai *Flow* pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu *Flow* (2-4 mm).



Gambar 4.7 Nilai VIM,VMA dan VFA Pada Campuran 0% Styrofoam

Dari gambar 4.7 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 0% VIM mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB. dan nilai VMA mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB, dan juga pada nilai VFA mengalami peningkatan pada variasi 50% ACK : 50% AB, meskipun mengalami peningkatan pada hasil dari nilai VIM, VMA dan VFA pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu VIM (3-5%), VMA (Min.15%) dan VFA (Min.65%)

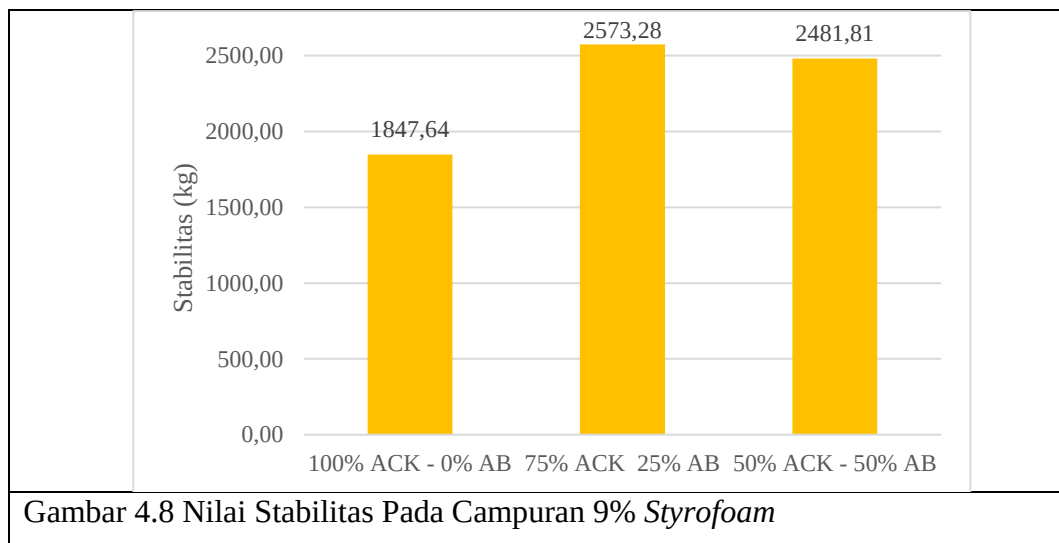
4.2.2 Pengujian Marshall dengan kadar Styrofoam 9%

Dari hasil pengujian Marshall yang dilakukan pada variasi kadar *Styrofoam* 9% dan Abu Cangkang Kopi sebagai *filler* untuk benda uji dengan tumbukan 2 x 75, diperoleh parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 4.8 dibawah ini.

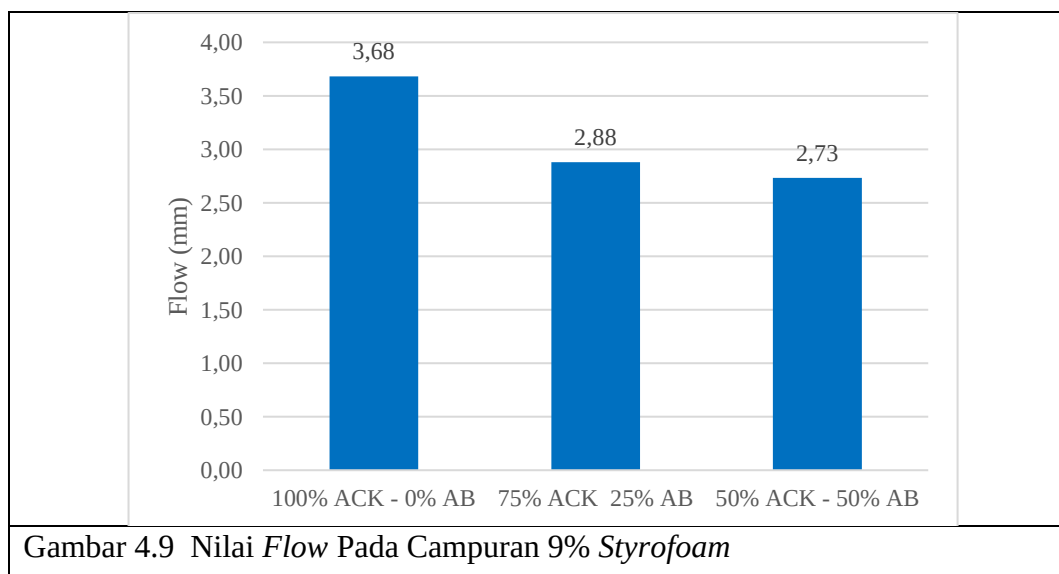
Tabel 4.8 Nilai Parameter Marshall *Styrofoam* dan Abu Cangkang Kopi.

No	Parameter Marshall	Kadar Styrofoam 9%			Spesifikasi Bina Marga 2018
		100% ACK : 0% AB	75% ACK : 25% AB	50% ACK : 50% AB	
1	Stabilitas	1847,64	2573,28	2481,81	Min. 1000
2	Flow	3,68	2,88	2,73	2-4 mm
3	Density	2,44	2,43	2,42	Min. 2 gr/cm ³
4	VIM	4,07	4,53	5,13	3-5%
5	VMA	23,42	23,70	24,18	Min.15%
6	VFA	82,62	80,87	78,84	Min. 65%
7	MQ	512,54	931,03	918,87	Min.250 kg/mm

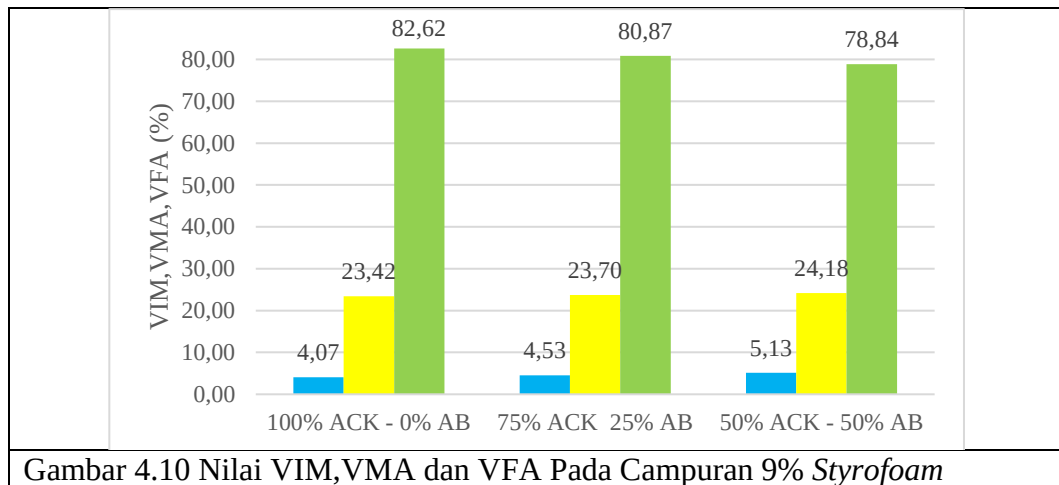
Tabel 4.8 Memperlihatkan nilai Stabilitas, *Flow*, *Density*, VIM, VMA, VFA dan MQ pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 1 Tahun 2019 (divisi 6). Hubungan nilai parameter Marshall dengan persentase *Filler* Abu Cangkang Kopi dapat dilihat pada Gambar 4.8 s/d 4.10 dibawah ini:



Dari gambar 4.8 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 9% Stabilitas mengalami peningkatan pada variasi 75% ACK : 25% AB. meskipun mengalami peningkatan nilai dari Stabilitas pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu Stabilitas (Min.1000).



Dari gambar 4.9 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 9% *Flow* mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB. meskipun mengalami peningkatan pada hasil dari nilai *Flow* pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu *Flow* (2-4 mm).



Dari gambar 4.10 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 9% VIM mengalami peningkatan pada variasi 50% ACK : 50% AB. dan nilai VMA mengalami peningkatan pada variasi 50% ACK : 50% AB, dan juga pada nilai VFA mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB, spesifikasi yaitu VIM (3-5%), VMA (Min.15%) dan VFA (Min.65%)

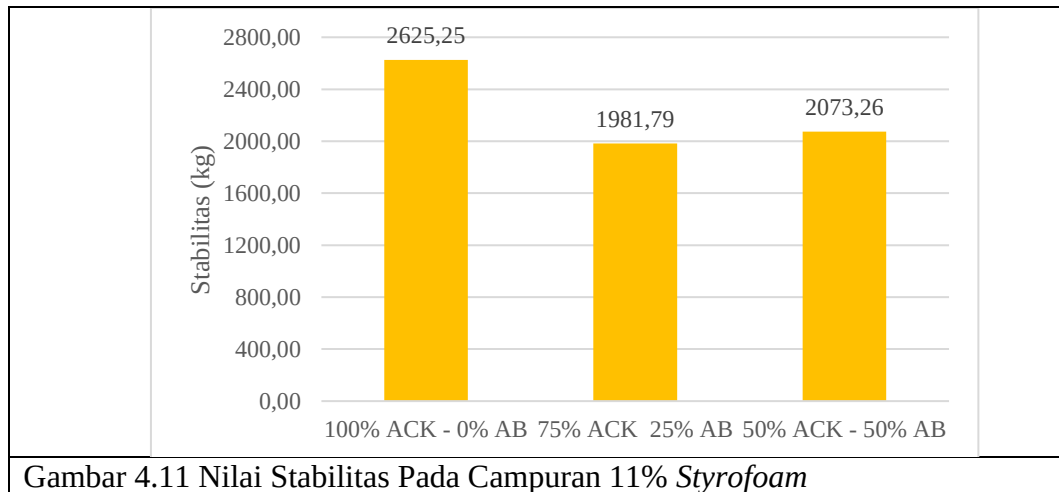
4.2.3 Pengujian Marshall dengan kadar Styrofoam 11%

Dari hasil pengujian Marshall yang dilakukan pada variasi kadar *Styrofoam* 11% dan Abu Cangkang Kopi sebagai *filler* untuk benda uji dengan tumbukan 2 x 75, diperoleh parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 4.9 dibawah ini.

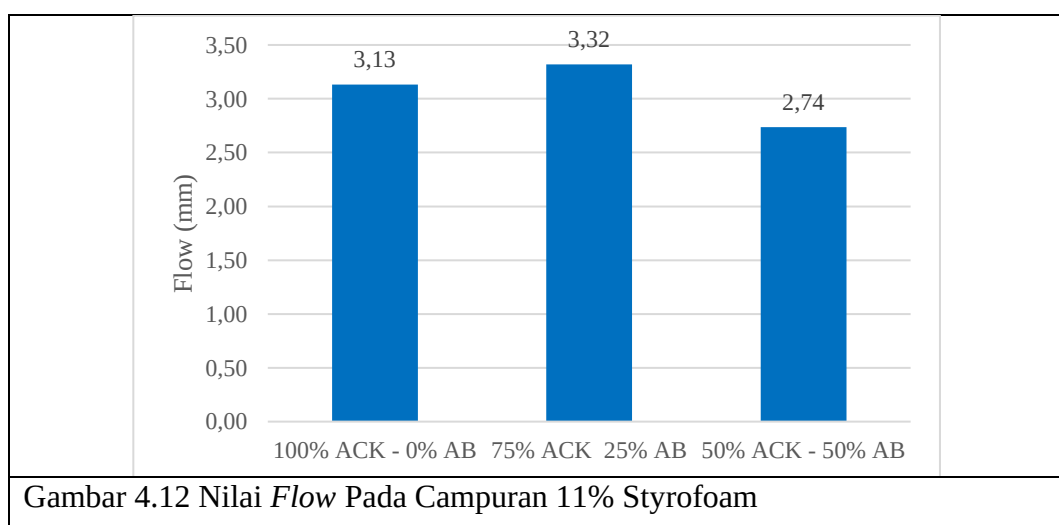
Tabel 4.9 Nilai Parameter Marshall *Styrofoam* dan Abu Cangkang Kopi.

No	Parameter Marshall	Kadar Styrofoam 11%			Spesifikasi Bina Marga 2018
		100% ACK : 0% AB	75% ACK : 25% AB	50% ACK : 50% AB	
1	Stabilitas	2625,25	1981,79	2073,26	Min. 1000
2	Flow	3,13	3,32	2,74	2-4 mm
3	Density	2,43	2,44	2,44	Min. 2 gr/cm ³
4	VIM	4,57	4,41	4,24	3-5%
5	VMA	23,82	23,60	23,47	Min.15%
6	VFA	80,84	81,33	81,93	Min. 65%
7	MQ	844,39	604,42	775,34	Min.250 kg/mm

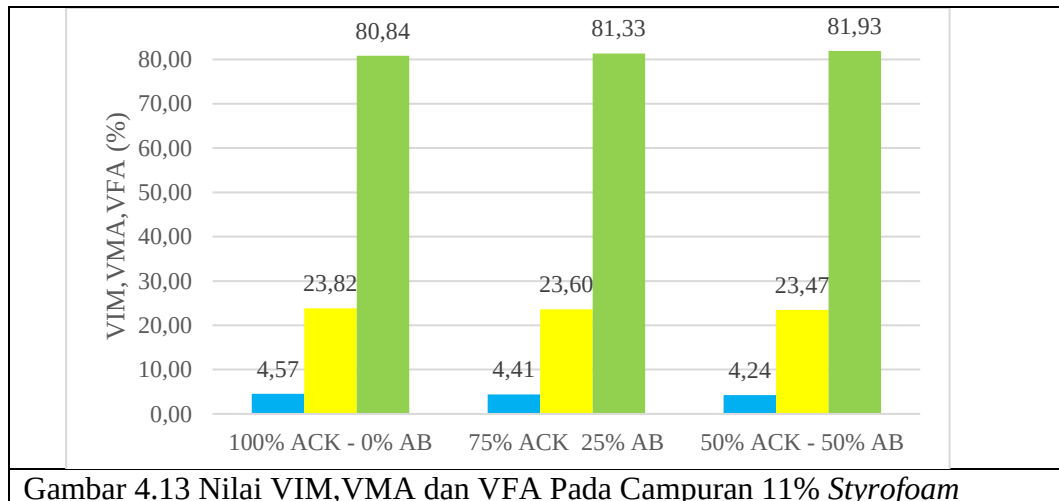
Tabel 4.9 Memperlihatkan nilai Stabilitas, *Flow*, *Density*, VIM, VMA, VFA dan MQ pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 1 Tahun 2019 (divisi 6). Hubungan nilai parameter Marshall dengan persentase *filler* Abu Cangkang Kopi dapat dilihat pada Gambar 4.11 s/d 4.13.



Dari gambar 4.11 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 11% Stabilitas mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB. meskipun mengalami peningkatan pada nilai dari Stabilitas pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu Stabilitas (Min.1000).



Dari gambar 4.12 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 11% *Flow* mengalami peningkatan pada variasi 75% ACK : 25% AB. meskipun mengalami peningkatan pada nilai *Flow*, pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu *Flow* (2-4 mm).



Gambar 4.13 Nilai VIM,VMA dan VFA Pada Campuran 11% *Styrofoam*

Dari gambar 4.13 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 11% VIM mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB. dan nilai VMA mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB, dan juga pada nilai VFA mengalami peningkatan pada variasi 50% ACK : 50% AB, meskipun mengalami peningkatan pada hasil dari nilai VIM, VMA dan VFA pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu VIM (3-5%), VMA (Min.15%) dan VFA (Min.65%)

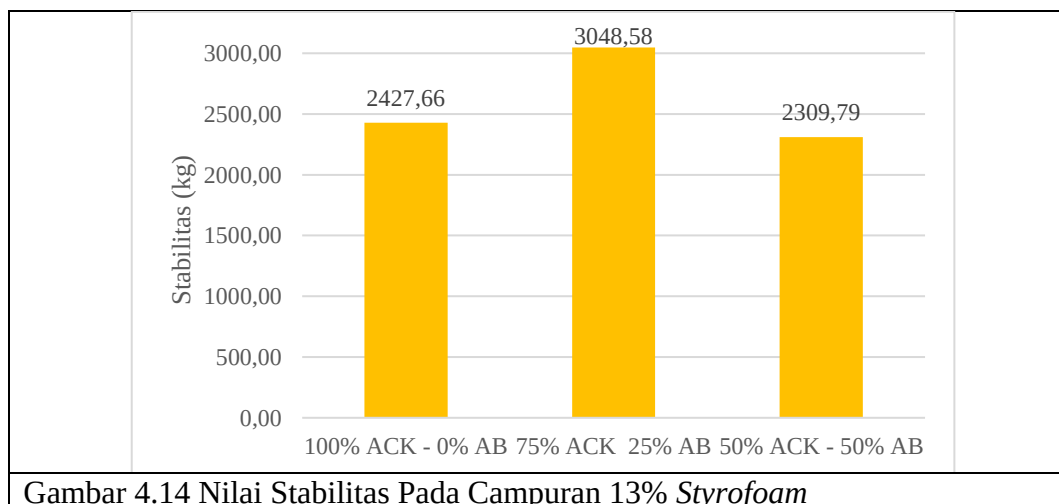
4.2.4 Pengujian Marshall dengan kadar Styrofoam 13%

Dari hasil pengujian Marshall yang dilakukan pada kadar *Styrofoam* sebagai substitusi dengan variasi 13% dan Abu Cangkang Kopi sebagai *filler* untuk benda uji dengan tumbukan 2 x 75, diperoleh parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 4.10 dibawah ini.

Tabel 4.10 Nilai Parameter Marshall *Styrofoam* dan Abu Cangkang Kopi

No	Parameter Marshall	Kadar Styrofoam 13%			Spesifikasi Bina Marga 2018
		100% ACK : 0% AB	75% ACK : 25% AB	50% ACK : 50% AB	
1	Stabilitas	2427,66	3048,58	2309,79	Min. 1000
2	Flow	3,07	2,75	2,21	2-4 mm
3	Density	2,42	2,44	2,44	Min. 2 gr/cm ³
4	VIM	5,05	4,48	4,38	3-5%
5	VMA	24,20	23,41	23,58	Min.15%
6	VFA	79,18	82,16	81,46	Min. 65%
7	MQ	805,59	1229,23	1050,91	Min.250 kg/mm

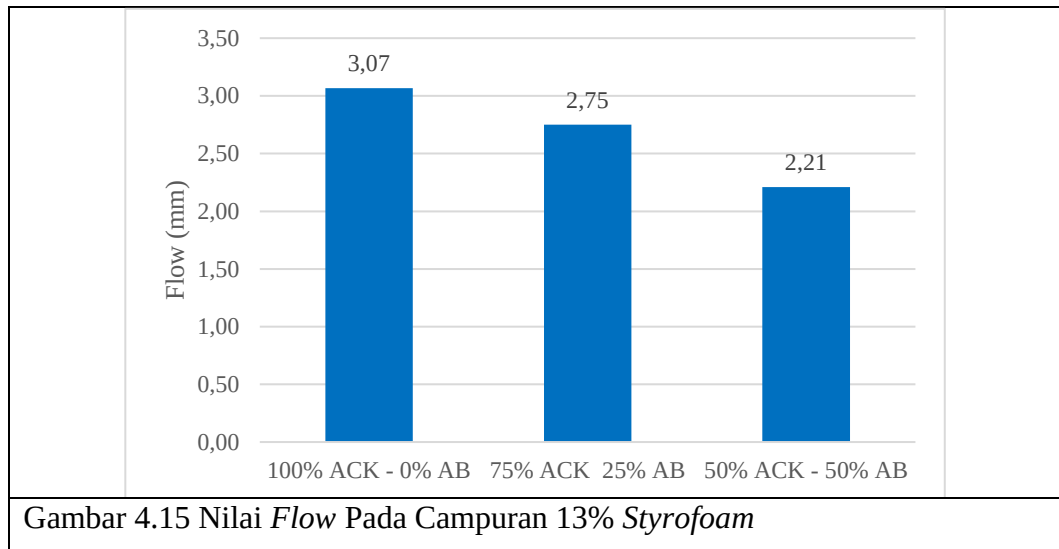
Tabel 4.10 memperlihatkan nilai Stabilitas, *Flow*, *Density*, VIM, VMA, VFA dan MQ pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 1 Tahun 2019 (divisi 6). Hubungan nilai parameter Marshall dengan persentase *filler* Abu Cangkang Kopi dapat dilihat pada Gambar 4.14 s/d 4.16.



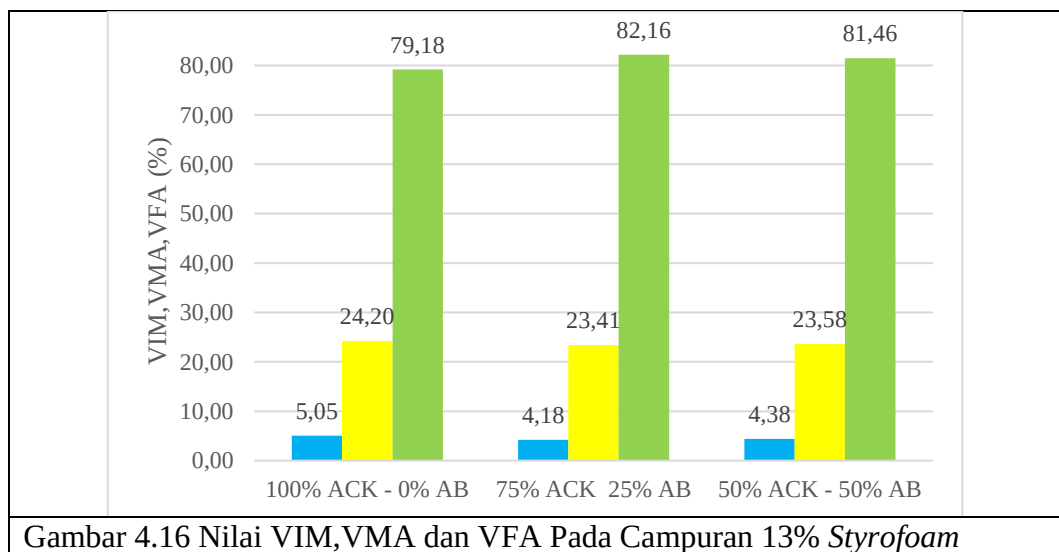
Gambar 4.14 Nilai Stabilitas Pada Campuran 13% *Styrofoam*

Dari gambar 4.14 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 13% Stabilitas mengalami peningkatan pada variasi 75% ACK : 25% AB. meskipun mengalami

peningkatan pada nilai dari Stabilitas pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu Stabilitas (Min.1000).



Dari gambar 4.15 Menunjukkan bahwa nilai dari *Styrofoam* 13% *Flow* mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB. meskipun mengalami peningkatan pada hasil dari nilai *Flow* pada semua persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu *Flow* (2-4 mm).



Dari gambar 4.16 Menunjukkan bahwa nilai dari Styrofoam 13% VIM dan VMA mengalami peningkatan pada variasi 100% ACK : 0% AB dan VFA mengalami peningkatan pada variasi 75% ACK : 25% AB, persentase *filler* Abu Cangkang Kopi memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu VIM (3-5%), VMA (Min.15%) dan VFA (Min.65%)

4.2.5 Pengujian Marshall Styrofoam Terbaik

Dari hasil pengujian Marshall Maka didapatkan kadar terbaik sebagai substitusi dengan variasi Styrofoam 13% dan 100% ACK : 0% AB sebagai *filler*, diperoleh parameter Marshall seperti diperlihatkan pada Tabel 4.11 dibawah ini.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Hasil Penelitian

No	Rekapitulasi Hasil Penelitian						MQ
	Stabilitas	Flow	Density	VIM	VMA	VFA	
Sty 0% 100% ACK : 0% AB	2823,01	3,18	2,44	4,34	23,64	81,63	976,13
Sty 0% 75% ACK : 25% AB	2378,82	3,53	2,45	4,12	23,37	82,35	678,28
Sty 0% 50% ACK : 50% AB	2614,79	2,69	2,45	3,89	23,18	83,23	1200,69
Sty 9% 100% ACK : 0% AB	1847,64	3,68	2,44	4,07	23,42	82,62	512,54
Sty 9% 75% ACK : 25% AB	2573,28	2,88	2,43	4,53	23,70	80,87	931,03
Sty 9% 50% ACK : 50% AB	2481,81	2,73	2,42	5,13	24,18	78,84	918,87
Sty 11% 100% ACK : 0% AB	2625,25	3,13	2,43	4,57	23,82	80,84	844,39
Sty 11% 75% ACK : 25% AB	1981,79	3,32	2,44	4,41	23,60	81,33	604,42
Sty 11% 50% ACK : 50% AB	2073,26	2,74	2,44	4,24	23,47	81,93	775,34
Sty 13% 100% ACK : 0% AB	2427,66	3,07	2,42	5,05	24,20	79,18	805,59
Sty 13% 75% ACK : 25% AB	3048,58	2,75	2,44	4,18	23,41	82,16	1229,23
Sty 13% 50% ACK : 50% AB	2309,79	2,21	2,44	4,38	23,58	81,46	1050,91

Tabel 4.17 memperlihatkan nilai parameter marshall memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 1 Tahun 20 19 (divisi 6). Hubungan nilai parameter Marshall dapat dilihat pada Gambar 4.17 Dengan semua persentase memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 dan juga meningkatnya substitusi limbah *styrofoam* maka diambil nilai terbaik variasi 13% terhadap campuran 100% ACK : 0% AB untuk memaksimalkan pemakaian limbah pada penelitian ini.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran terhadap karakteristik Campuran AC-WC Akibat Pengaruh Limbah *Styrofoam* Sebagai Substitusi dan Abu Cangkang Kopi Sebagai *Filler*.

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang dilaksanakan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pengujian diperoleh penggunaan Limbah *Styrofoam* sebagai Substitusi aspal dan Abu Cangkang Kopi pada campuran aspal beton AC-WC menghasilkan nilai VIM, VMA, VFA, Stabilitas, *Flow*, dan MQ yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018.
2. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh batas bawah untuk nilai kadar aspal optimum (KAO) yaitu 5% dan batas atas 7% sehingga diperoleh KAO sebesar 5,75%.
3. Persentase terbaik campuran Styrofoam sebagai substitusi aspal dan abu cangkang kopi sebagai filler yang terbaik adalah : Styrofoam 13% dengan abu cangkang kopi 100% : 0% abu batu.

5.2 Saran

Untuk menindaklanjuti penelitian ini, diperlukan beberapa masukan yang perlu diperhatikan agar dapat dijadikan sebagai pedoman dan acuan bagi penelitian selanjutnya. Adapun saran-saran untuk penelitian selanjutnya antara lain sebagai berikut:

1. Pada pengujian selanjutnya agar dapat melakukan variasi campuran Abu Cangkang Kopi dengan material lainnya sebagai *Filler* untuk mendapatkan hasil perbandingan kinerja campuran.
2. Pada pengujian selanjutnya dapat dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai kadar unsur kimia yang terkandung dalam Abu Cangkang Kopi.

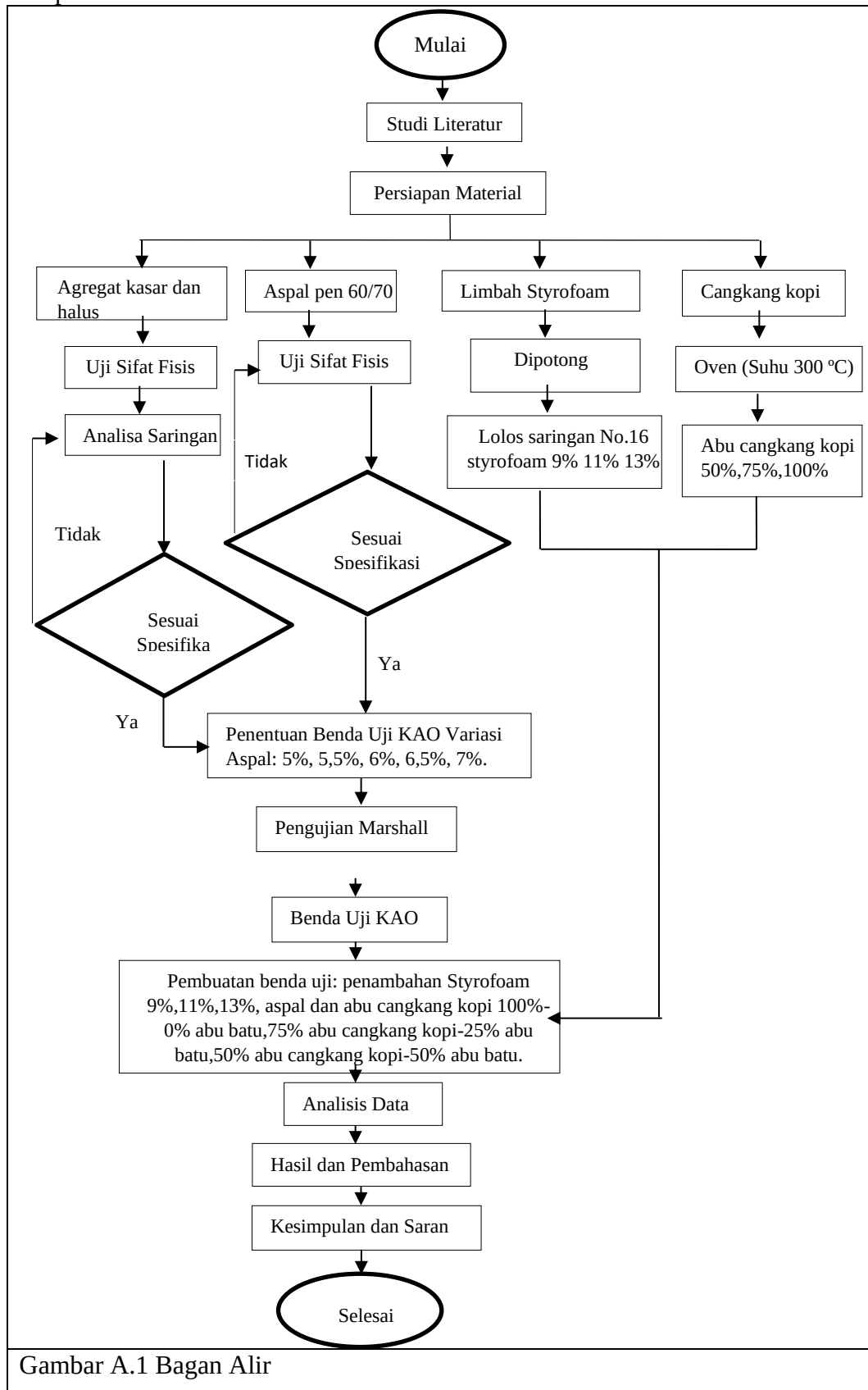
DAFTAR PUSTAKA

- Anusha, T. M., dan Jagadeesh, H. S. Performance Studies of Gap-Graded Mixes using Elastomer Modifier for Wearing Course.
- Eskandarsefat, S., Venturini, L., Ciarlitti, A., Sogno, E., dan Ottonelli, I. (2022). Asphalt Concrete Modification with Plastomers: A Case Study Conducted 7 Years after Construction. *Infrastructures*, 7(3), 29.
- Lebang, J. R., dan Rachman, R. (2022). Pengaruh Penambahan Limbah Styrofoam Terhadap Karakteristik Campuran AC-WC. *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(2), 289-297.
- Kiky nurfitri sari (2018) Pemanfaatan Kulit Kopi Sebagai Kompos Unggulan Untuk Budidaya Tanaman Hortikultura
- Kompasiana (2015) 8 Fakta Tentang Plastic dan Styrofoam
- Maulana, R. G., Arrofif, Z., Warsiti, W., Kusdiyono, K., dan Risman, R. (2018). Meningkatkan Karakteristik Marshall Dengan Menambah Serbuk Ban Bekas Ke Dalam Campuran Laston AC-WC. *Bangun Rekaprima: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa, Sosial dan Humaniora*, 4(2, Oktober), 11-24.
- Meilanda, H. (2018). *Pemanfaatan Serat Cangkang Kulit Kopi dalam Pembuatan Beton Polimer dengan Resin Polyester sebagai Perekat* (Doctoral dissertation, Universitas Sumatera Utara).
- Psfoamaman (2016) fakta menarik tentang styrofoam
- Putri, S. D. Y., dan Putra, K. H. (2019, August). Modifikasi Campuran Perkerasan Laston Ac-Wc Dengan Penambahan Kadar 8% Gilsonite Resin. In *Prosiding Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan dan Infrastruktur* (Vol. 1, No. 1, pp. 22-29).
- Rachman, F., Syammaun, T. dan Heikal, F. (2019) 'Pengaruh Limbah Batu Bara Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall Dan Indek Kekuatan Sisa Pada Campuran Aspal Beton Ac-Wc', *Tameh: Journal of Civil Engineering*, 8(1), pp. 23-33.
- Saleh, S. M., Anggraini, R., Agustian, K., dan Agusmaniza, R. (2016). Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Substitusi Aspal Serta Abu Sekam Padi Dan Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Filler Pada Campuran Laston Ac-Wc. In *Prosiding Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi*.

Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) ‘Spesifikasi Umum 2018’, *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, (September).

Sulaiman, A. R., dan Miswar, K. (2020). Pemanfaatan Limbah Kulit Kopi Dan Agregat Halus Endapan Abu Vulkanik Burni Telongpada Campuran Laston Ac-Wc. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 3(02).

Lampiran A



Gambar A.1 Bagan Alir

Lampiran A

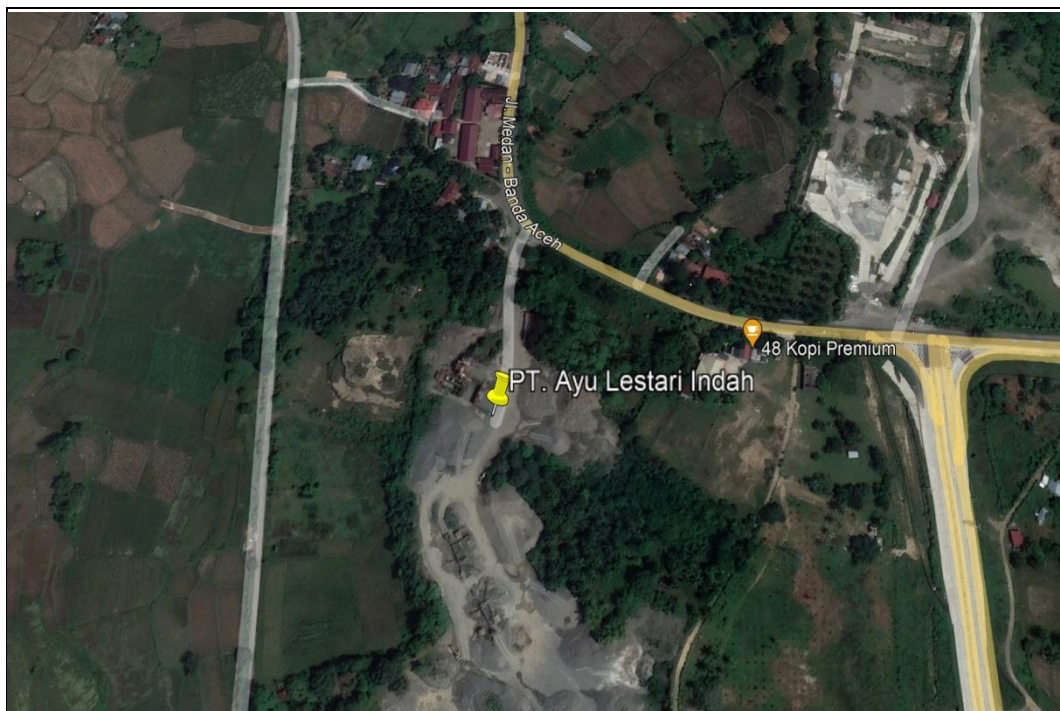


Gambar A.2 : Peta Provinsi Aceh
Sumber : <https://www.google.com>

Lampiran A



Gambar A.3 : Lokasi Pengambilan Material Cangkang Kopi
Sumber : <https://earth.google.com/>



Gambar A.4 : Lokasi Pengambilan Agregat Kasar dan Halus
Sumber : <https://earth.google.com/>

Lampiran A

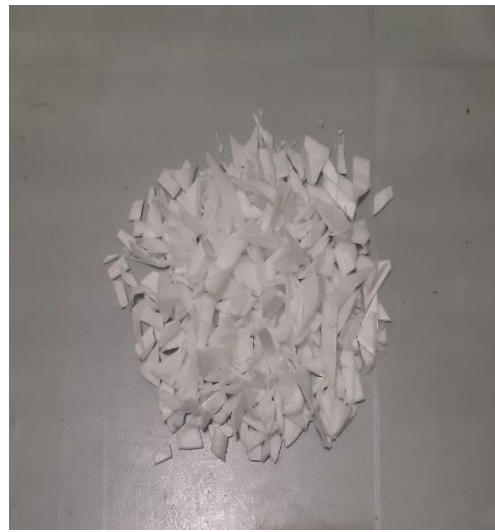


Gambar A.5 : Lokasi Penelitian
Sumber : <https://earth.google.com/>



Gambar A.6 : Abu Cangkang Kopi

Lampiran A



Gambar A.7 : Styrofoam



Gambar A.8 Proses pencampuran aspal

Lampiran A

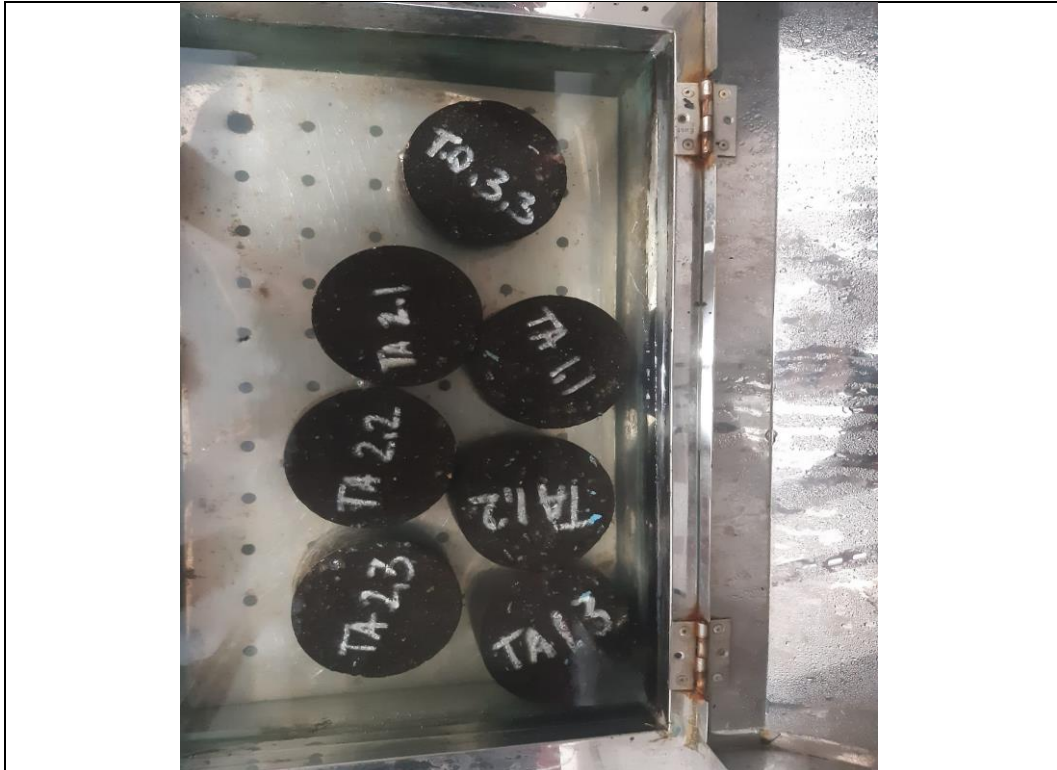


Gambar A.9 Proses pemadatan



Gambar A.10 Proses perhitungan dalam air

Lampiran A



Gambar A.11 Perendaman dalam waterbath



Gambar A.12 Proses perhitungan marshall

Lampiran A



Gambar A.13 Benda uji

Lampiran B

Tabel B.1 Angka Koreksi Stabilitas

Isi Benda Uji(cm)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200-213	25,4	5,56
214-225	27,0	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	3,33
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46,0	1,79
380-392	47,6	1,67
393-403	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	64,0	0,96
536-546	65,1	0,93
547-559	66,7	0,89
560-573	68,3	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-601	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

Lampiran B

Tabel B.2 Komposisi Benda Uji Styrofoam 0% : 100% ACK : 0% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 100%)			6.5	73.51
Filler (AB 0%)			0	0
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				69.00
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 0%

Lampiran B

Tabel B.3 Komposisi Benda Uji Styrofoam 0% : 75% ACK : 25% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 75%)			4.9	55.13
Filler (AB 25%)			1.6	18.37
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				69.00
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 0%

Lampiran B

Tabel B.4 Komposisi Benda Uji Styrofoam 0% : 50% ACK : 50% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 50%)			3,25	36.75
Filler (AB 50%)			3,25	36.75
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				69.00
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 0%

Lampiran B

Tabel B.5 Komposisi Benda Uji Styrofoam 9% 100% ACK : 0% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 100%)			6.5	73.51
Filler (AB 0%)			0	0
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				62.79
Berat limbah Styrofoam (gr)				6.21
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 9%

Lampiran B

Tabel B.6 Komposisi Benda Uji Styrofoam 9% : 75% ACK : 25% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 75%)			4.9	55.13
Filler (AB 25%)			1.6	18.37
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				62.79
Berat limbah styrofoam				6.21
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 9%

Lampiran B

Tabel B.7 Komposisi Benda Uji Styrofoam 9% : 50% ACK : 50 AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 50%)			3,25	36.75
Filler (AB 50%)			3,25	36.75
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				62.79
Berat limbah Styrofoam (gr)				6.21
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 9%

Lampiran B

Tabel B.8 Komposisi Benda Uji Styrofoam 11% 100% ACK : 0% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 100%)			6.5	73.51
Filler (AB 0%)			0	0
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				61.41
Berat limbah Styrofoam (gr)				7.59
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 11%

Lampiran B

Tabel B.9 Komposisi Benda Uji Styrofoam 11% : 75% ACK : 25% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 75%)			4.9	55.13
Filler (AB 25%)			1.6	18.37
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				61.41
Berat limbah styrofoam				7.59
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 11%

Lampiran B

Tabel B.10 Komposisi Benda Uji Styrofoam 11% : 50 ACK : 50% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 50%)			3,25	36.75
Filler (AB 50%)			3,25	36.75
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				61.41
Berat limbah Styrofoam (gr)				7.59
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 9%

Lampiran B

Tabel B.11 Komposisi Benda Uji Styrofoam 13% : 100% ACK : 0% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 100%)			6.5	73.51
Filler (AB 0%)			0	0
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				60.03
Berat limbah Styrofoam (gr)				8.97
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 13%

Lampiran B

Tabel B.12 Komposisi Benda Uji Styrofoam 13% : 75% ACK : 25% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 75%)			4.9	55.13
Filler (AB 25%)			1.6	18.37
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				60.03
Berat limbah styrofoam				8.97
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 13%

Lampiran B

Tabel B.13 Komposisi Benda Uji Styrofoam 13% : 50% ACK : 50% AB

Ukuran Saringan		Gradasi Agregat		Berat Agregat Tertahan Pada Kadar Aspal Optimum 5.75 %
		% Lolos	% Tertahan	(gr)
CA	3/4' (19,0 mm)	100.0	0.0	0.0
	1/2 '(12.5 mm)	95.0	5.0	56.55
	3/8' (9.5 mm)	83.5	11.5	130.06
	No.4 (4,75 mm)	61.0	22.5	254.47
	No.8 (2,36 mm)	43.0	18.0	203.58
FA	No.16 (1,18 mm)	30.5	12.5	141.37
	No.30 (0.6 mm)	22.0	8.5	96.13
	No.50 (0.3 mm)	15.5	6.5	73.51
	No.100 (0.15 mm)	10.5	5.0	56.55
	No.200 (0,075 mm)	6.5	4.0	45.36
Total Persen Agregat Tertahan			93.5	1057.58
Filler (ACK 50%)			3,25	36.75
Filler (AB 50%)			3,25	36.75
Berat Agregat/Mineral (gr)			100.0	1131.00
Berat Aspal / Bitumen (gr)				60.03
Berat limbah Styrofoam (gr)				8.97
Berat Keseluruhan Campuran (gr)				1200

Keterangan :

Berat Benda Uji : 1200 gr

Jenis Limbah : *Styrofoam*

Substitusi *Styrofoam* Terhadap Aspal: 13%

Lampiran B

Tabel B.14 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Uraian		Agregat
Berat benda uji kering oven (Bk)	(gr)	2978,5
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	(gr)	3030,3
Berat benda uji dalam air (Ba)	(gr)	1942,4
Berat jenis (<i>bulk</i>)	$\frac{BK}{BJ - BA}$	2,800
Berat jenis kering perm. jenuh	$\frac{BJ}{BJ - BA}$	2,848
Berat jenis semu (<i>apparent</i>)	$\frac{BK}{BK - BA}$	2,943
Penyerapan (<i>absorbtion</i>)	$\frac{BJ - BK}{BK} \times 100\%$	1,739

Tabel B.15 Hasil Pemeriksaan Impact Agregat

No	Uraian	Percobaan ke		
		I	II	III
1.	Berat benda uji + takaran (A), gram	2674,6	2693,3	2648,7
2.	Berat mold, (B) gram	2054,4	2054,4	2055,4
3.	Berat contoh sebelum diuji (A – B), gram	620,2	638,9	593,3
4.	Berat lolos #2,36 mm (no.8), (C) gram	43,2	33,3	43,3
5.	Nilai Impact = $\frac{C}{A - B} \times 100 \quad \%$	6,97	5,20	7,30
Rata- rata		6,49 %		

Tabel B.16 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat

Gradasi Pemeriksaan		Berat Sampel (gr)
Lolos (mm)	Tertahan (mm)	
19,1 mm	12,5 mm	2524,5
12,5 mm	4,75 mm	2520,9
Jumlah Berat	(a)	5045,4
Berat Tertahan no. 12	(b)	4215,7
Berat yang Aus (a-b)		829,7
Nilai Keausan		16,44 %

Lampiran B

Tabel B.17 Hasil Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat

Analisa Saringan		Berat yang Lolos (W2) (gr)	Indeks Kepipihan (W2/W1)x100% (%)
Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)		
12,5	797,60	76,96	9,65
9.5	271,80	26,82	9,87
6.7	534,70	53,30	9,97
Rata-rata			9,83

Tabel B.18 Hasil Pemeriksaan Indeks Kelonjongan Agregat

Analisa Saringan		Berat yang Lolos (W2) (gr)	Indeks Kepipihan (W2/W1)x100% (%)
Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)		
12,5	797,60	73,32	9,19
9.5	271,80	26,70	9,82
6.7	534,70	52,87	9,89
Rata-rata			9,63

Tabel B.19 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen. 60/70

Benda Uji	Hasil Penetrasi (0.1 mm)			Penetrasi (0.1 mm)
	I	II	III	
1	69	66	63	66
2	64	60	62	62
Rata-rata				64

Tabel B.20 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen. 60/70

Daktilitas Pada 25 °C ,5cm per menit	
Benda Uji	Hasil (cm)
1	135
2	145
Rata- rata	140

Tabel B.21 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen. 60/70

Berkas Data Hasil Pengambilan Data Lembak Sampel Paving 60/70					
No	Suhu yang diamati °C	Waktu (menit)		Titik Lembek (°C)	
		I	II	I	II
1	5	0	0	50 °C	52 °C
2	10	2.10	2.10		
3	15	6.38	6.38		
4	20	8.14	8.14		
5	25	9.56	9.56		
6	30	11.25	11.25		
7	35	12.54	12.54		
8	40	14.21	14.21		
9	45	15.48	15.48		
10	50	17.19	17.19		
11	55	17.31	17.46		
Rata-rata					51 °C

Lampiran B

Tabel B.22 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi 9%

9 % Styrofoam				
Benda Uji	Hasil Penetrasi (0.1 mm)			Penetrasi (0.1 mm)
	I	II	III	
1	50	57	59	56
2	57	60	56	58
Rata-rata				57

Tabel B.23 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi 11%

11 % Styrofoam				
Benda Uji	Hasil Penetrasi (0.1 mm)			Penetrasi (0.1 mm)
	I	II	III	
1	50	55	50	50
2	48	53	55	55
Rata-rata				54

Tabel B.24 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi 13%

13 % Styrofoam				
Benda Uji	Hasil Penetrasi (0.1 mm)			Penetrasi (0.1 mm)
	I	II	III	
1	48	50	48	48
2	51	49	50	51
Rata-rata				50

Tabel B.25 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi 9%

9 % Styrofoam	
Daktilitas Pada 25 °C ,5cm per menit	
Benda Uji	Hasil (cm)
1	69
2	65
Rata- rata	67

Tabel B.26 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi 11%

11 % Styrofoam	
Daktilitas Pada 25 °C ,5cm per menit	
Benda Uji	Hasil (cm)
1	66
2	61
Rata- rata	64

Lampiran B

Tabel B.27 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi 13%

13 % Styrofoam	
Daktilitas Pada 25 °C ,5cm per menit	
Benda Uji	Hasil (cm)
1	57
2	60
Rata- rata	59

Tabel B.28 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi 9%

9 % Styrofoam					
No	Suhu yang diamati °C	Waktu (menit)		Titik Lembek (°C)	
		I	II	I	II
1	5	0	0	54 °C	56 °C
2	10	6.58	6.58		
3	15	10.34	10.34		
4	20	13.04	13.04		
5	25	15.58	15.58		
6	30	17.35	17.35		
7	35	19.29	19.29		
8	40	21.14	21.14		
9	45	23.01	23.01		
10	50	24.45	24.45		
11	55	26.47	26.47		
Rata-rata					55 °C

Tabel B.29 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi 11%

11 % Styrofoam					
No	Suhu yang diamati °C	Waktu (menit)		Titik Lembek (°C)	
		I	II	I	II
1	5	0	0	58 °C	60 °C
2	10	8.03	8.03		
3	15	11.25	11.25		
4	20	14.05	14.05		
5	25	16.08	16.08		
6	30	17.55	17.55		
7	35	19.46	19.46		
8	40	21.39	21.39		
9	45	23.34	23.34		
10	50	25.47	25.47		
11	55	27.58	27.58		
12	60	29.34	29.34		
13	65	31.01	31.01		
Rata-rata					59 °C

Lampiran B

Tabel B.30 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi 13%

13 % Styrofoam					
No	Suhu yang diamati °C	Waktu (menit)		Titik Lembek (°C)	
		I	II	I	II
1	5	0	0	63 °C	65 °C
2	10	8.02	8.02		
3	15	12.47	12.47		
4	20	15.10	15.10		
5	25	17.14	17.14		
6	30	19.01	19.01		
7	35	20.45	20.45		
8	40	22.33	22.33		
9	45	24.27	24.27		
10	50	26.18	26.18		
11	55	28.18	28.18		
12	60	30.16	30.16		
13	65	32.18	32.18		
Rata-rata					64 °C

Tabel B.31 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi

9% Styrofoam		
No	Uraian	Berat (gr)
1	Berat piknometer + aspal	66.20
	Berat piknometer kosong	33.15
	Berat aspal (a)	33.05
2	Berat piknometer + air	82.25
	Berat piknometer kosong	33.15
	Berat air (b)	49.10
3	Berat piknometer + aspal + air	83.55
	Berat piknometer + aspal	66.50
	Berat air (c)	19.60
Volume aspal (b – c) (cm3)		29.50
Berat Jenis I = berat aspal/volume aspal (a/d) (gr/cm3)		1.120
11% Styrofoam		
No	Uraian	Berat (gr)
1	Berat piknometer + aspal	68.40
	Berat piknometer kosong	33.15
	Berat aspal (a)	35.25
2	Berat piknometer + air	82.25
	Berat piknometer kosong	33.15
	Berat air (b)	49.10
3	Berat piknometer + aspal + air	83.80
	Berat piknometer + aspal	68.40
	Berat air (c)	18.20
Volume aspal (b – c) (cm3)		30.90
Berat Jenis I = berat aspal/volume aspal (a/d) (gr/cm3)		1.140

Lampiran B

Tabel B.32 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi

13% Styrofoam		
No	Uraian	Berat (gr)
1	Berat piknometer + aspal	71.10
	Berat piknometer kosong	33.15
	Berat aspal (a)	37.95
2	Berat piknometer + air	82.25
	Berat piknometer kosong	33.15
	Berat air (b)	49.10
3	Berat piknometer + aspal + air	83.80
	Berat piknometer + aspal	71.10
	Berat air (c)	16.30
Volume aspal (b – c) (cm ³)		32.80
Berat Jenis I = berat aspal/volume aspal (a/d) (gr/cm ³)		1.157

LAMPIRAN C

FORMULIR PERHITUNGAN HASIL PENGUJIAN MARSHALL

Tabel C.1 Hasil Pengujian Campuran Beton Aspal Dengan Filler Abu Batu Untuk Penentuan KAO

Spesifikasi	=	AC-WC	Berat jenis bulk agregat (Gsb)	=	2,800	Faktor koreksi stabilitas	=	16,783
Agregat	=	AMP Ayu Lestari	Berat jenis efektif agregat (Gse)	=	2,808	Faktor koreksi benda uji	=	Dari Tabel
Aspal	=	Aspal Pen. 60/70	Berat jenis aspal (Gb)	=	1,031			

Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	Kepadatan (Berat Isi) (Gmb)	BJ Campuran Maksimum (Gmm) (teoritis)	VIM 3 - 5	VMA ≥ 15	VFA ≥ 65	Stabilitas ≥ 800		Kelelehan 2 - 4	MQ ≥ 250
	Terhadap Campuran	Terhadap Agregat	Kering	SSD	Dalam Air							Bacaan Alat	Setelah Koreksi		
	%	%	gram	gram	gram							kg	kg	mm	kg/mm
<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h = (f - g)</i>	<i>i = (e / h)</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>q</i>
T,0,1	5,00	5,26	1175,8	1178,6	698,4	480,20	2,45	2,58	5,00	22,61	77,89	120	2295,91	2,35	976,98
T,0,2	5,00	4,71	1199,5	1202,4	700,2	502,20	2,39	2,58	7,33	24,51	70,10	160	2792,69	2,45	1139,87
T,0,3	5,00	4,71	1163,2	1167,4	691,2	476,20	2,44	2,58	5,23	22,79	77,07	145	2774,23	2,58	1075,28
Rata-rata	5,00	4,90	1179,50	1182,80	696,60	486,20	2,43	2,58	5,85	23,30	75,02	141,67	2620,95	2,46	1064,05
T,1,1	5,50	5,26	1144,4	1147,5	679,5	468,00	2,45	2,56	4,38	23,15	81,10	140	2796,05	1,98	1412,15
T,1,2	5,50	5,26	1135,2	1140,3	672,8	467,50	2,43	2,56	5,04	23,68	78,71	135	2696,19	2,20	1225,54
T,1,3	5,50	5,26	1200,4	1204,6	705,2	499,40	2,40	2,56	6,00	24,46	75,46	190	3316,32	2,14	1549,68
Rata-rata	5,50	5,26	1160,00	1164,13	685,83	478,30	2,43	2,56	5,14	23,76	78,42	155,00	2936,19	2,11	1395,79
T,2,1	6,00	5,82	1152,9	1157,4	672,1	485,30	2,38	2,54	6,37	25,76	75,27	178	3256,24	2,10	1550,59
T,2,2	6,00	5,82	1124,9	1128,5	665,7	462,80	2,43	2,54	4,20	24,04	82,52	182	3634,86	2,15	1690,63
T,2,3	6,00	5,82	1199,1	1205,0	699,8	505,20	2,37	2,54	6,46	25,83	75,01	196	3421,05	2,23	1534,10
Rata-rata	6,00	5,82	1158,97	1163,63	679,20	484,43	2,39	2,54	5,68	25,21	77,60	185,33	3437,38	2,16	1591,77
T,3,1	6,50	6,38	1243,9	1246,5	717,8	528,70	2,35	2,52	6,55	26,90	75,64	195	3141,78	2,25	1396,35
T,3,2	6,50	6,38	1178,7	1180,8	693,0	487,80	2,42	2,52	4,03	24,92	83,84	140	2561,09	1,80	1422,83
T,3,3	6,50	6,38	1227,3	1230,0	706,5	523,50	2,34	2,52	6,88	27,16	74,65	190	3061,22	2,20	1391,46
Rata-rata	6,50	6,38	1216,63	1219,10	705,77	513,33	2,37	2,52	5,82	26,32	78,04	175,00	2921,36	2,08	1403,54
T,4,1	7,00	6,95	1211,4	1215,2	703,2	512,00	2,37	2,50	5,30	26,91	80,30	201	3373,38	2,05	1645,55
T,4,2	7,00	6,95	1200,1	1205,4	699,5	505,90	2,37	2,50	5,05	26,72	81,09	198	3455,96	2,05	1685,83
T,4,3	7,00	6,95	1198,7	1202,8	673,0	529,80	2,26	2,50	9,44	30,10	68,63	178	2867,88	1,90	1509,41
Rata-rata	7,00	6,95	1203,40	1207,80	691,90	515,90	2,33	2,50	6,60	27,91	76,67	192,33	3232,41	2,00	1613,60

Keterangan:

$$j = (100) / \{(c / Gsb) + (b / Gb)\}$$
$$k = \{(j - i) / (j)\} * (100)$$

$$l = (100) - \{(i * c) / (Gsb)\}$$
$$m = \{(l - k) / (l)\} * (100)$$

$$o = (n) * (fs) * (fb)$$
$$q = (o) / (p)$$

LAMPIRAN C

Tabel C.2 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Styrofoam 0%
Sebagai Substitusi Aspal

Spesifikasi	=	AC-WC	Berat jenis bulk agregat (Gsb)	=	2,800	Kalibrasi Alat	=	16,783
Agregat	=	AMP Ayu Lestari	Berat jenis efektif agregat (Gse)	=	2,808	Faktor koreksi benda uji	=	Dari Tabel
Aspal	=	Aspal Pen. 60/70	Berat jenis aspal (Gb)	=	1,031			

No	Nomor	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi	Kepadatan	BJ Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	≥ 1000	Kelelehan	MQ
	Benda Uji	Terhadap	Terhadap	Kering	SSD	Dalam Air	Benda	(Berat Isi)	Maksimum				Bacaan	Setelah		
		Campuran	Agregat				Uji	(Gmb)	(Gmm)				Alat	Koreksi		
		%	%				gram	gram	gram				cm ³	t/m ³		
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h = (f - g)</i>	<i>i = (e / h)</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>q</i>
1	Styrofoam 0% (Filler 100% ACK:0 AB)															
	TK 11	5,75	6,10	1167,0	1168,4	689,2	479,20	2,44	2,55	4,39	23,68	81,45	163	3118,62	2,56	1218,21
	TK 12	5,75	4,71	1170,8	1172,6	692,3	480,30	2,44	2,55	4,30	23,61	81,78	163	3118,62	2,60	1199,47
	TK 13	5,75	4,71	1178,9	1181,9	698,1	483,80	2,44	2,55	4,34	23,63	81,65	122	2231,80	4,37	510,71
	Rata-rata	5,75	5,17	1172,23	1174,30	693,20	481,10	2,44	2,55	4,34	23,64	81,63	149,33	2823,01	3,18	976,13
2	Styrofoam 0% (Filler 75% ACK:25 AB)															
	TK 21	5,75	5,26	1175,9	1177,8	697,4	480,40	2,45	2,55	4,02	23,29	82,73	128	2448,98	3,56	687,91
	TK 22	5,75	5,26	1179,4	1181,4	698,5	482,90	2,44	2,55	4,24	23,46	81,95	125	2391,58	3,22	742,73
	TK 23	5,75	5,26	1176,0	1178,1	697,2	480,90	2,45	2,55	4,11	23,36	82,39	120	2295,91	3,80	604,19
	Rata-rata	5,75	5,26	1177,10	1179,10	697,70	481,40	2,45	2,55	4,12	23,37	82,35	124,33	2378,82	3,53	678,28
3	Styrofoam 0% (Filler 50% ACK:50 AB)															
	TK 31	5,75	5,82	1181,8	1183,6	701,4	482,20	2,45	2,55	3,90	23,19	83,18	150	2869,89	4,60	623,89
	TK 32	5,75	5,82	1197,1	1200,3	711,4	488,90	2,45	2,55	3,99	23,26	82,85	130	2487,24	1,40	1776,60
	TK 33	5,75	5,82	1187,8	1188,6	704,6	484,00	2,45	2,55	3,77	23,09	83,66	130	2487,24	2,07	1201,57
	Rata-rata	5,75	5,82	1188,90	1190,83	705,80	485,03	2,45	2,55	3,89	23,18	83,23	136,67	2614,79	2,69	1200,69

LAMPIRAN C

Tabel C.3 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Styrofoam 9%
Sebagai Substitusi Aspal

Spesifikasi	=	AC-WC	Berat jenis bulk agregat (Gsb)	=	2,800	Kalibrasi Alat	=	16,783
Agregat	=	AMP Ayu Lestari	Berat jenis efektif agregat (Gse)	=	2,808	Faktor koreksi benda uji	=	Dari Tabel
Aspal	=	Aspal Pen. 60/70	Berat jenis aspal (Gb)	=	1,031			

No	Nomor Benda Uji	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi	Kepadatan	BJ Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	≥ 1000	Kelelehan	MQ
		Terhadap Campuran	Terhadap Agregat	Kering	SSD	Dalam Air	Benda Uji	(Berat Isi)	Maksimum				Bacaan	Setelah		
								(Gmb)	(Gmm)				Alat	Koreksi		
		%	%	gram	gram	gram	cm ³	t/m ³	(teoritis)				kg	kg	mm	kg/mm
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h = (f - g)</i>	<i>i = (e / h)</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>q</i>
1	Styrofoam 9% (Filler 100% ACK:0 AB)															
	TA 11	5,75	6,10	1192,1	1194,9	707,4	487,50	2,45	2,55	4,00	23,37	82,88	102	1865,93	3,20	583,10
	TA 12	5,75	4,71	1176,8	1179,1	697,3	481,80	2,44	2,55	4,11	23,45	82,47	101	1847,64	3,40	543,42
	TA 13	5,75	4,71	1176,9	1179,9	698,1	481,80	2,44	2,55	4,10	23,45	82,50	100	1829,35	4,45	411,09
	Rata-rata	5,75	5,17	1181,93	1184,63	700,93	483,70	2,44	2,55	4,07	23,42	82,62	101,00	1847,64	3,68	512,54
2	Styrofoam 9% (Filler 75% ACK:25 AB)															
	TA 21	5,75	5,26	1178,6	1181,5	697,5	484,00	2,44	2,55	4,52	23,68	80,93	134	2451,32	2,94	833,78
	TA 22	5,75	5,26	1169,2	1172,4	691,9	480,50	2,43	2,55	4,59	23,74	80,67	147	2689,14	2,20	1222,34
	TA 23	5,75	5,26	1177,2	1180,7	697,4	483,30	2,44	2,55	4,49	23,67	81,01	141	2579,38	3,50	736,97
	Rata-rata	5,75	5,26	1175,00	1178,20	695,60	482,60	2,43	2,55	4,53	23,70	80,87	140,67	2573,28	2,88	931,03
3	Styrofoam 9% (Filler 50% ACK:50 AB)															
	TA 31	5,75	5,82	1193,7	1197,4	701,2	496,20	2,41	2,55	5,67	24,61	76,95	130	2378,15	2,30	1033,98
	TA 32	5,75	5,82	1210,1	1214,3	711,4	502,90	2,41	2,55	5,65	24,59	77,02	95	1737,88	2,00	868,94
	TA 33	5,75	5,82	1173,8	1175,4	695,6	479,80	2,45	2,55	4,07	23,33	82,54	182	3329,41	3,90	853,70
	Rata-rata	5,75	5,82	1192,53	1195,70	702,73	492,97	2,42	2,55	5,13	24,18	78,84	135,67	2481,81	2,73	918,87

LAMPIRAN C

Tabel C.4 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Styrofoam 11%
Sebagai Substitusi Aspal

Spesifikasi	=	AC-WC	Berat jenis bulk agregat (Gsb)	=	2,800	Kalibrasi Alat	=	16,783
Agregat	=	AMP Ayu Lestari	Berat jenis efektif agregat (Gse)	=	2,808	Faktor koreksi benda uji	=	Dari Tabel
Aspal	=	Aspal Pen. 60/70	Berat jenis aspal (Gb)	=	1,031			

No	Nomor	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi	Kepadatan	BJ Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	≥ 1000	Kelelehan	MQ
	Benda Uji	Terhadap	Terhadap	Kering	SSD	Dalam Air	Benda	(Berat Isi)	Maksimum				Bacaan	Setelah		
		Campuran	Agregat				Uji	(Gmb)	(Gmm)	Alat	Koreksi					
		%	%				gram	gram	gram	cm³	t/m³	(teoritis)	%	%	%	kg
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h = (f - g)</i>	<i>i = (e / h)</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>q</i>
1	Styrofoam 11% (Filler 100% ACK:0 AB)															
	TQ 11	5,75	6,10	1187,8	1190,8	702,5	488,30	2,43	2,55	4,50	23,77	81,06	135	2469,62	3,20	771,76
	TQ 12	5,75	4,71	1205,9	1208,1	709,8	498,30	2,42	2,55	4,99	24,16	79,33	163	2845,05	3,50	812,87
	TQ 13	5,75	4,71	1182,7	1185,3	700,6	484,70	2,44	2,55	4,21	23,53	82,12	140	2561,09	2,70	948,55
	Rata-rata	5,75	5,17	1192,13	1194,73	704,30	490,43	2,43	2,55	4,57	23,82	80,84	146,00	2625,25	3,13	844,39
2	Styrofoam 11% (Filler 75% ACK:25 AB)															
	TQ 21	5,75	5,26	1185,0	1187,8	701,8	486,00	2,44	2,55	4,39	23,59	81,37	110	2012,28	3,90	515,97
	TQ 22	5,75	5,26	1193,1	1195,9	705,6	490,30	2,43	2,55	4,58	23,74	80,69	100	1829,35	3,00	609,78
	TQ 23	5,75	5,26	1178,6	1180,0	697,4	482,60	2,44	2,55	4,24	23,46	81,93	115	2103,75	3,06	687,50
	Rata-rata	5,75	5,26	1185,57	1187,90	701,60	486,30	2,44	2,55	4,41	23,60	81,33	108,33	1981,79	3,32	604,42
3	Styrofoam 11% (Filler 50% ACK:50 AB)															
	TQ 31	5,75	5,82	1187,9	1189,9	701,8	488,10	2,43	2,55	4,57	23,73	80,73	126	2304,98	2,80	823,21
	TQ 32	5,75	5,82	1177,0	1179,2	698,4	480,80	2,45	2,55	4,01	23,28	82,76	109	1993,99	3,25	613,53
	TQ 33	5,75	5,82	1173,7	1177,8	697,7	480,10	2,44	2,55	4,14	23,38	82,29	105	1920,81	2,16	889,27
	Rata-rata	5,75	5,82	1179,53	1182,30	699,30	483,00	2,44	2,55	4,24	23,47	81,93	113,33	2073,26	2,74	775,34

LAMPIRAN C

Tabel C.5 Hasil Pengujian Marshall Menggunakan Styrofoam 13%
Sebagai Substitusi Aspal

Spesifikasi	=	AC-WC	Berat jenis bulk agregat (Gsb)	=	2,800	Kalibrasi Alat	=	16,783
Agregat	=	AMP Ayu Lestari	Berat jenis efektif agregat (Gse)	=	2,808	Faktor koreksi benda uji	=	Dari Tabel
Aspal	=	Aspal Pen. 60/70	Berat jenis aspal (Gb)	=	1,031			

No	Nomor	Kadar Aspal		Berat Benda Uji			Isi	Kepadatan	BJ Campuran	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	≥ 1000	Kelelehan	MQ
	Benda Uji	Terhadap	Terhadap	Kering	SSD	Dalam Air	Benda	(Berat Isi)	Maksimum				Bacaan	Setelah		
		Campuran	Agregat				Uji	(Gmb)	(Gmm)	Alat	Koreksi					
		%	%				gram	gram	gram	cm³	t/m³	(teoritis)	%	%	%	kg
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>e</i>	<i>f</i>	<i>g</i>	<i>h = (f - g)</i>	<i>i = (e / h)</i>	<i>j</i>	<i>k</i>	<i>l</i>	<i>m</i>	<i>n</i>	<i>o</i>	<i>p</i>	<i>q</i>
1	Styrofoam 13% (Filler 100% ACK:0 AB)															
	TR 11	5,75	6,10	1184,6	1186,3	700,5	485,80	2,44	2,55	4,27	23,58	81,89	99	1811,05	2,80	646,80
	TR 12	5,75	4,71	1159,3	1161,3	680,4	480,90	2,41	2,55	5,36	24,45	78,08	144	2755,10	3,80	725,03
	TR 13	5,75	4,71	1160,8	1162,9	680,6	482,30	2,41	2,55	5,51	24,57	77,57	142	2716,83	2,60	1044,94
	Rata-rata	5,75	5,17	1168,23	1170,17	687,17	483,00	2,42	2,55	5,05	24,20	79,18	128,33	2427,66	3,07	805,59
2	Styrofoam 13% (Filler 75% ACK:25 AB)															
	TR 21	5,75	5,26	1184,2	1186,1	701,8	484,30	2,45	2,55	4,12	23,37	82,36	182	3329,41	3,95	842,89
	TR 22	5,75	5,26	1173,3	1175,4	696,2	479,20	2,45	2,55	3,99	23,27	82,83	156	2984,69	1,70	1755,70
	TR 23	5,75	5,26	1175,2	1177,5	695,4	482,10	2,44	2,55	4,42	23,61	81,28	148	2831,63	2,60	1089,09
	Rata-rata	5,75	5,26	1177,57	1179,67	697,80	481,87	2,44	2,55	4,18	23,41	82,16	162,00	3048,58	2,75	1229,23
3	Styrofoam 13% (Filler 50% ACK:50 AB)															
	TR 31	5,75	5,82	1169,2	1171,3	690,8	480,50	2,43	2,55	4,59	23,74	80,67	110	2012,28	2,08	967,44
	TR 32	5,75	5,82	1189,5	1193,8	703,1	490,70	2,42	2,55	4,95	24,03	79,40	137	2621,17	2,10	1248,18
	TR 33	5,75	5,82	1158,4	1160,6	689,4	471,20	2,46	2,55	3,60	22,96	84,30	120	2295,91	2,45	937,11
	Rata-rata	5,75	5,82	1172,37	1175,23	694,43	480,80	2,44	2,55	4,38	23,58	81,46	122,33	2309,79	2,21	1050,91

Tabel C.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Substitusi Aspal Menggunakan *Styrofoam 0%* dan Abu Cangkang Kopi Sebagai *Filler*

No	Kadar Aspal (%)	Jenis Pengujian													
		Stabilitas		Flow		Density		VIM		VMA		VFA		MQ	
		Hasil	Spesifikasi Min. 1000 Kg	Hasil	Spesifikasi 2-4 mm	Hasil	Spesifikasi Min. 2 gr/cm3	Hasil	Spesifikasi 3-5 %	Hasil	Spesifikasi Min. 15%	Hasil	Spesifikasi Min. 65%	Hasil	Spesifikasi Min. 250 Kg/mm
100	5,75	2823,01	Sesuai	3,18	Sesuai	2,44	Sesuai	4,34	Sesuai	23,64	Sesuai	81,63	Sesuai	976,13	Sesuai
75	5,75	2378,82	Sesuai	3,53	Sesuai	2,45	Sesuai	4,12	Sesuai	23,37	Sesuai	82,35	Sesuai	678,28	Sesuai
50	5,75	2614,79	Sesuai	2,69	Sesuai	2,45	Sesuai	3,89	Sesuai	23,18	Sesuai	83,23	Sesuai	1200,69	Sesuai

Tabel C.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Substitusi Aspal Menggunakan *Styrofoam 9%* dan Abu Cangkang Kopi Sebagai *Filler*

No	Kadar Aspal (%)	Jenis Pengujian													
		Stabilitas		Flow		Density		VIM		VMA		VFA		MQ	
		Hasil	Spesifikasi Min. 1000 Kg	Hasil	Spesifikasi 2-4 mm	Hasil	Spesifikasi Min. 2 gr/cm3	Hasil	Spesifikasi 3-5 %	Hasil	Spesifikasi Min. 15%	Hasil	Spesifikasi Min. 65%	Hasil	Spesifikasi Min. 250 Kg/mm
100	5,75	1847,64	Sesuai	3,68	Sesuai	2,44	Sesuai	4,07	Sesuai	23,42	Sesuai	82,62	Sesuai	512,54	Sesuai
75	5,75	2573,28	Sesuai	2,88	Sesuai	2,43	Sesuai	4,53	Sesuai	23,70	Sesuai	80,87	Sesuai	931,03	Sesuai
50	5,75	2481,81	Sesuai	2,73	Sesuai	2,42	Sesuai	5,13	Sesuai	24,18	Sesuai	78,84	Sesuai	918,87	Sesuai

Tabel C.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Substitusi Aspal Menggunakan *Styrofoam 11%* dan Abu Cangkang Kopi Sebagai *Filler*

No	Kadar Aspal (%)	Jenis Pengujian													
		Stabilitas		Flow		Density		VIM		VMA		VFA		MQ	
		Hasil	Spesifikasi Min. 1000 Kg	Hasil	Spesifikasi 2-4 mm	Hasil	Spesifikasi Min. 2 gr/cm3	Hasil	Spesifikasi 3-5 %	Hasil	Spesifikasi Min. 15%	Hasil	Spesifikasi Min. 65%	Hasil	Spesifikasi Min. 250 Kg/mm
100	5,75	2625,25	Sesuai	3,13	Sesuai	2,43	Sesuai	4,57	Sesuai	23,82	Sesuai	80,84	Sesuai	844,39	Sesuai
75	5,75	1981,79	Sesuai	3,32	Sesuai	2,44	Sesuai	4,41	Sesuai	23,60	Sesuai	81,33	Sesuai	604,42	Sesuai
50	5,75	2073,26	Sesuai	2,74	Sesuai	2,44	Sesuai	4,24	Sesuai	23,47	Sesuai	81,93	Sesuai	775,34	Sesuai

Tabel C.9 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Substitusi Aspal Menggunakan *Styrofoam 13%* dan Abu Cangkang Kopi Sebagai *Filler*

No	Kadar Aspal (%)	Jenis Pengujian													
		Stabilitas		Flow		Density		VIM		VMA		VFA		MQ	
		Hasil	Spesifikasi Min. 1000 Kg	Hasil	Spesifikasi 2-4 mm	Hasil	Spesifikasi Min. 2 gr/cm3	Hasil	Spesifikasi 3-5 %	Hasil	Spesifikasi Min. 15%	Hasil	Spesifikasi Min. 65%	Hasil	Spesifikasi Min. 250 Kg/mm
100	5,75	2427,66	Sesuai	3,07	Sesuai	2,42	Sesuai	5,05	Sesuai	24,20	Sesuai	79,18	Sesuai	805,59	Sesuai
75	5,75	3048,58	Sesuai	2,75	Sesuai	2,44	Sesuai	4,18	Sesuai	23,41	Sesuai	82,16	Sesuai	1229,23	Sesuai
50	5,75	2309,79	Sesuai	2,21	Sesuai	2,44	Sesuai	4,38	Sesuai	23,58	Sesuai	81,46	Sesuai	1050,91	Sesuai

BERITA ACARA SIDANG TUGAS AKHIR

Telah dilaksanakan Sidang Tugas Akhir Tahun Ajaran 2023/2024

Hari/Tanggal : Kamis/31 Agustus 2023
Tempat : Gedung FT Universitas Muhammadiyah Aceh
Nama Mahasiswa : Taqin Maulana
NIM : 1803120048
Program Studi : Teknik Sipil
Judul : Karakteristik Campuran AC-WC Akibat Pengaruh Limbah Styrofoam Sebagai Substitusi dan Abu Cangkang Kopi Sebagai Filler.

Dengan hasil Sidang Tugas Akhir :

1. Sidang cukup sekali
2. Sidang cukup sekali dengan perbaikan

Mengetahui dan menilai :

1. Dosen Pembimbing Utama
Nama : Dr. Agustiar, ST, MT, IPM TTD :
2. Dosen Co. Pembimbing
Nama : Cut Nawalul Azka, S,ST, MT, IPP TTD :
3. Dosen Penguji I
Nama : Dr. Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, IPM, ASEAN Eng TTD :
4. Dosen Penguji II
Nama : Ir. Munawir, ST, MT, IPM, ASEAN Eng TTD :

Mengetahui
Ketua Seminar

Dr. Agustiar, ST, MT, IPM
NIDN : 1327108201

RESUME SIDANG TUGAS AKHIR

Penguji I: Dr. Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng.Sc, ASEAN, Eng

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Apa itu karakteristik?	Karakteristik aspal adalah stabilitas, keawetan, kelenturan, ketahanan, fleksibilitas, kekesatan permukaan geser, kedap air dan kemudahan pelaksanaan
2.	Apa yang membedakan dengan penelitian terdahulu ?	Perbedaan dengan penelitian terdahulu yaitu pada variasi substitusi yang berbeda.
3.	Apa perbedaan substitusi dengan campuran?	Substitusi adalah bahan pengganti, dan campuran adalah agregat kasar dan agregat halus dan juga bahan pengisi filler
4.	perbedaan campuran kering dan campuran basah ?	Campuran kering adalah dimana styrofoam dan agregat dicampur terlebih dahulu, baru kemudian ditambahkan aspal. Temperatur pencampuran agregat dan limbah plastik antara 160 °C sampai dengan 170 °C. Dan campuran basah adalah proses pembuatan campuran beraspal, dengan aspal dan agregat dicampur terlebih dahulu, kemudian ditambahkan limbah plastik.
5.	Styrofoam apa yang digunakan pada pengujian ini?	Styrofoam yang digunakan adalah Styrofoam foodpack (bungkusan makanan)

6	Bab 4 di buat hasil dan pembahasan yang sinkron	Sudah diperbaiki sesuai arahan
7.	Tujuan penelitian ?	1. Mengetahui sifat-sifat agregat dan aspal pada campuran laston AC-WC menggunakan metode Bina Marga 2018. 2. Mengetahui kadar aspal optimum (KAO) terbaik. 3. Mengetahui persentase kadar terbaik dalam pencampuran limbah <i>Styrofoam</i> sebagai substitusi aspal dan abu cangkang sebagai substitusi <i>filler</i> terhadap parameter marshall.
8.	Hasil dan kesimpulan harus sinkron di bab 5	Sudah diperbaiki sesuai arahan pada halaman 42-43
9.	Perbaiki abstrak	Sudah diperbaiki sesuai arahan pada halaman v
10.	Latar belakang sebaiknya tidak menggunakan referensi	Sudah diperbaiki sesuai arahan pada halaman 2.

Mengetahui,
Pembimbing Utama

Mengetahui,
Co. Pembimbing

Dr. Agustiar, ST, MT, IPM
NIDN : 0018087003

Cut Nawalul Azka, S.ST, MT, IPP
NIDN : 1330019301

Mengetahui,
Penguji I

Dr. Ir. Tamalkhani, ST, M.Eng, Sc, IPM, ASEAN Eng
NIDN : 1327108201

RESUME SIDANG TUGAS AKHIR

Penguji II: Ir, Munawir, ST, MT, IPM, ASEAN Eng

No.	Pertanyaan	Jawaban
1.	Lembar pengesahan diperbaiki untuk tanda tangan	Sudah di perbaiki sesuai arahan pada halaman i.
2.	Setiap daftar isi dibuat halaman	Sudah di perbaiki sesuai arahan pada halaman vi.
3.	Lampiran tabel disesuaikan	Sudah di perbaiki sesuai arahan pada halaman 73.
4.	Daftar Pustaka disesuaikan dengan jarak	Sudah di perbaiki sesuai arahan pada halaman 44-45
5.	Sumber dari diri sendiri tidak perlu ditulis sumber	Sudah di perbaiki sesuai arahan pada lampiran A
6.	Lampiran C ditulis lampiran C	Sudah di perbaiki sesuai arahan pada halaman 73
7.	Kata kunci di urutkan di abstrak	Sudah di perbaiki sesuai arahan pada halaman v

Mengetahui,
Pembimbing Utama

Mengetahui,
Co. Pembimbing

Dr. Agustiar, ST, MT, IPM
NIDN : 0018087003

Cut Nawalul Azka, S.ST, MT, IPP
NIDN : 1330019301

Mengetahui,
Penguji II

Ir. Munawir, ST, MT, IPM, ASEAN Eng
NIDN. 0129068303