

**PENGARUH VARIASI PERENDAMAN AIR TERHADAP
KARAKTERISTIK ASPAL BETON DENGAN MENGGUNAKAN
SUBSTITUSI LIMBAH *HIGH DENSITY POLYETHYLENE*
(HDPE) DAN *FLY ASH* SEBAGAI *FILLER***

TUGAS AKHIR

**Untuk Memenuhi Sebagian dari Syarat-syarat
yang Diperlukan untuk Memperoleh
Ijazah Sarjana Teknik**

Oleh

PUTRI INAS HAURA HEGA
NIM: 2003120095



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH
BATHOH – BANDA ACEH
2023**

LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS

Tugas Akhir dengan judul “Pengaruh Variasi Perendaman Air Terhadap Karakteristik Aspal Beton Dengan Menggunakan Substitusi Limbah *High Density Polyethylene* (HDPE) Dan *Fly ash* sebagai *Filler*”, disusun oleh:

Nama Mahasiswa : Putri Inas Haura Hega
NIM : 2003120095
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 16 Februari 2023.

Banda Aceh, 16 Februari 2023

Disetujui Oleh,

Dosen Pembimbing



Fitrika Mita Suryani, ST., MT.,
NIP : 196812211998022001

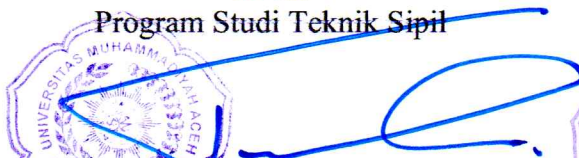
Dosen Co Pembimbing



Rifki Hidayat, ST., MT., IPM.
NIDN : 13011118604

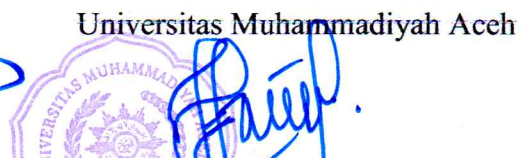
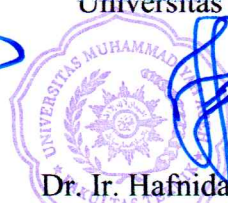
Menyetujui/Mengesahkan

Ketua
Program Studi Teknik Sipil




Ir. Tamaikhani, ST., M.Eng.Sc.,
IPM, ASEAN Eng
NIDN. 1327108201

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Aceh

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

LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI

Pengaruh Variasi Perendaman Air Terhadap Karakteristik Aspal Beton Dengan Menggunakan Substitusi Limbah *High Density Polyethylene* (HDPE) Dan *Fly ash* sebagai *Filler*

Disusun oleh

Nama Mahasiswa : Putri Inas Haura Hega
NIM : 2003120095
Program Studi : Teknik Sipil

Tugas Akhir ini merupakan salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Strata-1 (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.

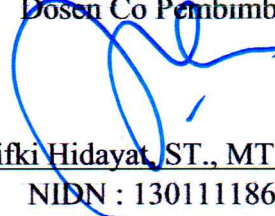
Banda Aceh, 16 Februari 2021

Dosen Pembimbing



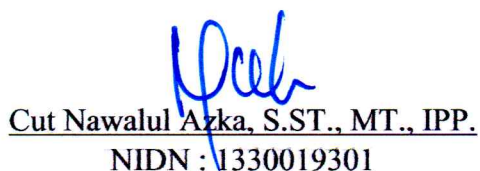
Fitrika Mita Suryani, ST., MT.,
NIP : 196812211998022001

Dosen Co Pembimbing



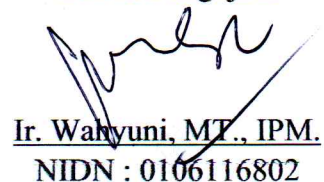
Rifki Hidayat, ST., MT., IPM.
NIDN : 13011118604

Dosen Penguji I



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

Dosen Penguji II



Ir. Wahyuni, MT., IPM.
NIDN : 0106116802

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Ir. Tamalikhani, ST., M.Eng.Sc., IPM, ASEAN Eng
NIDN. 1327108201

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Putri Inas Haura Hega

NIM : 2003120095

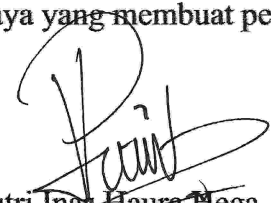
Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa :

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 sepengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah saya tulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri.
3. Apabila ternyata terdapat bagian-bagian dalam tugas akhir saya yang memenuhi unsur penjiplakan, maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan atau seluruhnya.

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

Bathoh, 16 Februari 2023

Saya yang membuat pernyataan,



Putri Inas Haura Hega
NIM : 2003120095

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan karunia-Nya sehingga penulisan Tugas Akhir ini dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Shalawat dan salam penulis juga sampaikan kepada Nabi Besar Muhammad SAW beserta sahabatnya.

Tugas akhir ini berjudul “Pengaruh Variasi Perendaman Air Terhadap Karakteristik Aspal Beton Dengan Menggunakan Substitusi Limbah *High Density Polyethylene* (HDPE) Dan *Fly ash* 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.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terimakasih kepada Ibu Fitrika Mita Suryani, ST., MT. selaku dosen pembimbing dan Bapak Rifki Hidayat, ST., MT., IPM. Selaku Co pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan petunjuk, saran dan bimbingan kepada penulis, semoga amal baiknya mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT.

Penulis menyadari bahwa penulisan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, hal ini dikarenakan masih terbatasnya pengetahuan dan pengalaman yang dimiliki penulis, oleh karena itu dengan segala kerendahan hati penulis sangat menghargai dan mengharapkan adanya saran-saran dan masukan demi kesempurnaan untuk penulisan yang akan datang.

Selanjutnya pada kesempatan ini, penulis juga mengucapkan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Hafnidar A. Rani, ST., MM., IPU, ASEAN Eng, ACPE selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Aceh.
2. Bapak Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Aceh Ir. Tamalkhani, ST., M.Eng.Sc., IPM, ASEAN Eng.

3. Dosen Penguji I Ibu Cut Nawalul Azka, S.ST., MT., IPP. dan Dosen Penguji II Ibu Ir. Wahyuni, MT., IPM. yang telah memberikan banyak masukan untuk perbaikan tulisan ini.
4. Tenaga pengajar pada Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Aceh.
5. Ayahanda dan Ibunda tercinta serta seluruh anggota keluarga yang telah memberi do'a restu serta dorongan untuk keberhasilan penulis.
6. Sahabat dan rekan-rekan yang telah banyak membantu semasa pengujian selama di Laboratorium.

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

Semoga Allah SWT, senantiasa memberikan rahmat serta karunia-Nya kepada kita semua.

Bathoh, 16 Februari 2023

Penulis,



Putri Inas Haura Hega
NIM : 2003120095

**PENGARUH VARIASI PERENDAMAN AIR TERHADAP
KARAKTERISTIK ASPAL BETON DENGAN MENGGUNAKAN
SUBSTITUSI LIMBAH *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* DAN
FLY ASH SEBAGAI *FILLER***

Oleh :
Putri Inas Haura Hega
NIM : 2003120095

Pembimbing,
Fitrika Mita Suryani, ST., MT.

Co Pembimbing
Rifki Hidayat, ST., MT., IPM.

ABSTRAK

Genangan air merupakan salah satu penyebab kerusakan atau mengurangi keawetan bagi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal, genangan air dapat berasal dari kenaikan air laut (*rob*) dan luapan air sungai. Berdasarkan permasalahan diatas peneliti mencoba meneliti perlakuan upaya adaptasi berupa penggunaan material jalan yang mengandung limbah *polimer* untuk menurunkan resiko kerusakan jalan akibat dampak genangan air laut dan air sungai, yang ditinjau berdasarkan indeks durabilitas dan stabilitas campuran aspal beton. Limbah *polimer* yang digunakan untuk penelitian ini berupa limbah *high density polyethylene* (HDPE). Disisi lain bahan *filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* batubara. *Fly ash* merupakan abu batubara yang terdiri dari partikel-partikel halus, gradasi dan kehalusan abu batubara dapat memenuhi persyaratan gradasi untuk mineral *filler*. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan bahan HDPE dan *fly ash* batubara terhadap karakteristik campuran AC-WC, untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan tersebut dapat memenuhi syarat spesifikasi campuran aspal dan untuk mengetahui pengaruh perendaman air biasa, air laut, dan air sungai terhadap mutu aspal optimum dengan penambahan limbah plastik HDPE dan *filler fly ash* batubara. Metode penelitian ini menggunakan metode *Marshall* untuk mendapatkan indeks durabilitas dan stabilitas pada campuran aspal beton dengan KAO 5,46%. Karakteristik aspal beton dengan variasi HDPE 8% dengan *filler fly ash* batubara 100% menghasilkan karakteristik yang baik dimana nilai *Marshall* yang menunjukkan karakteristik campuran aspal beton sebagai berikut, nilai stabilitas pada 100% adalah 1680,93 kg, nilai *density* 2,610 gr/cm³, nilai *flow* 2,47 mm, nilai VIM 3,23%, nilai VFA 80,70%, nilai VMA 16,75%, dan nilai MQ 684,05 kg/mm. Nilai durabilitas yang dihasilkan air biasa 97,66%, air laut 94,33% dan air sungai 96,50%. Dari hasil durabilitas tersebut dapat dilihat substitusi HDPE pada aspal dengan menggunakan *filler fly ash* batubara bekerja dengan sangat baik sehingga membuat nilai durabilitas yang tinggi.

Kata Kunci: HDPE, *Fly ash* Batubara, Rendaman Air

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN FAKULTAS	i
LEMBAR PENGESAHAN PROGRAM STUDI.....	ii
PERNYATAAN.....	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Lapisan Beton Aspal	4
2.2 Bahan Campuran Beraspal Panas	5
2.2.1 Bahan Agregat.....	5
2.2.2 Bahan Pengisi (Filler)	6
2.2.3 Aspal	8
2.2.4 Aspal Modifikasi.....	8
2.3 High Density Polyethylene (HDPE)	8
2.4 Air Laut.....	9
2.5 Air sungai.....	10
2.6 Perencanaan Campuran Aspal Beton.....	10
2.6.1 Gradasi Agregat	10
2.6.2 Kadar Aspal.....	11
2.7 Percobaan Marshall.....	12
2.7.1 Stabilitas (Stability).....	12
2.7.2 Kelelehan Plastis (Flow)	12
2.7.3 Berat Volume (density).....	13
2.7.4 Void In Mix (VIM)	13

2.7.5	Void Filled by Bitument (VFB)	13
2.7.6	Void In Mineral Aggregate (VMA)	14
2.7.7	Marshall Quotient (MQ)	14
2.7.8	Durabilitas	14
2.8	Teknik Pencampuran Plastik Dalam Kinerja Campuran Aspal	15
2.8.1	Cara Basah (Wet Process)	15
2.8.2	Cara Kering (Dry Process)	15
2.9	Analisa Regresi	16
2.10	Penelitian Terdahulu	16
BAB III METODE PENELITIAN.....		18
3.1	Metode Pengumpulan Data.....	18
3.2	Material yang Digunakan.....	18
3.3	Peralatan yang Digunakan	19
3.4	Air Perendaman yang Digunakan	19
3.5	Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Agregat.....	19
3.6	Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal	20
3.7	Bahan Pengisi (Filler)	20
3.8	Pemilihan High Density Polyethylene (HDPE).....	21
3.9	Perencanaan Campuran Aspal (AC-WC)	22
3.9.1	Pemilihan Gradasi Agregat	22
3.9.2	Penentuan Kadar Aspal untuk Mencari KAO.....	23
3.9.3	Pembuatan Benda Uji.....	23
3.10	Pengujian Marshall	25
3.11	Stabilitas Rendaman (Durabilitas)	26
3.12	Analisa Data.....	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		27
4.1.	Hasil	27
4.1.1	Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Agregat	27
4.1.2	Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Dengan dan Tanpa Penggunaan HDPE	28
4.1.3	Hasil Pemeriksaan Gradasi	29

4.1.4	Hasil Pengujian Marshall Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	30
4.1.5	Pengujian Marshall dengan Variasi Substitusi HDPE Pada Aspal dan Fly ash Batubara Pada Filler	32
4.1.6	Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Rendaman untuk Mendapatkan Nilai Durabilitas	33
4.1.7	Nilai Durabilitas	35
4.1.8	Analisa Regresi	35
4.2	Pembahasan.....	36
4.2.1	Tinjauan Terhadap Nilai Stabilitas.....	36
4.2.2	Tinjauan Terhadap Nilai Kelelehan Plastis (Flow).....	37
4.2.3	Tinjauan Terhadap Nilai Void In Mix (VIM)	38
4.2.4	Tinjauan Terhadap Nilai Density	39
4.2.5	Tinjauan Terhadap Nilai Marshall Quotient (MQ)	40
4.2.6	Tinjauan Terhadap Nilai Void in Mineral Agregat (VMA).....	41
4.2.7	Tinjauan Terhadap Nilai Void Filled Asphalt (VFA).....	42
4.2.8	Tinjauan Terhadap Nilai Durabilitas.....	43
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		45
5.1	Kesimpulan	45
5.2	Saran	45
DAFTAR PUSTAKA		46
LAMPIRAN A		48
LAMPIRAN B		62
LAMPIRAN C		77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	<i>Fly ash</i> Batubara.....	7
Gambar 3.1a	Air Laut	19
Gambar 3.1b	Air Sungai	19
Gambar 3.2a	<i>High Density Polyethylene</i>	21
Gambar 3.2b	HDPE yang telah dipotong.....	21
Gambar 4.1	Grafik Gradasi Agregat	30
Gambar 4.2	Grafik Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum	31
Gambar 4.3	Pengaruh Variasi Rendaman Terhadap Nilai Stabilitas	37
Gambar 4.4	Pengaruh Variasi Rendaman Terhadap Nilai <i>Flow</i>	38
Gambar 4.5	Pengaruh Variasi Rendaman Terhadap Nilai VIM	39
Gambar 4.6	Pengaruh Variasi Rendaman Terhadap Nilai Density.....	40
Gambar 4.7	Pengaruh Variasi Rendaman Terhadap Nilai <i>Marshall Quotient</i> ...	41
Gambar 4.8	Pengaruh Variasi Rendaman Terhadap Nilai <i>VMA</i>	42
Gambar 4.9	Pengaruh Variasi Rendaman Terhadap Nilai <i>VFA</i>	43
Gambar 4.10	Pengaruh Variasi Rendaman Terhadap Durabilitas	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)	4
Tabel 2.2	Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi (AC Mod)	5
Tabel 2.3	Sifat-sifat Fisik Abu Terbang (<i>Fly ash</i>)	7
Tabel 2.4	Sifat-sifat Fisik Pada PE dan HDPE	8
Tabel 2.5	Spesifikasi Gradasi Agregat Laston Lapis Aus (AC-WC)	11
Tabel 3.1	Ketentuan Sifat-sifat Fisis Agregat Kasar.....	20
Tabel 3.2	Persyaratan Sifat Fisis Aspal Penetrasi 60/70.....	20
Tabel 3.3	Perbedaan Kandungan Mineral <i>Fly ash</i>	21
Tabel 3.4	Gradasi Agregat Rencana.....	22
Tabel 3.5	Perencanaan Benda Uji Kadar Aspal Optimum.....	23
Tabel 3.6	Perencanaan Benda Uji Kadar Aspal Optimum + HDPE.....	24
Tabel 3.7	Perencanaan Benda Uji Kadar Aspal Optimum + HDPE terbaik + <i>Fly ash</i> Batubara	24
Tabel 3.8	Perencanaan Benda Uji Perendaman	25
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Agregat	28
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal Penetrasi 60/70 dengan dan tanpa HDPE	28
Tabel 4.3	Tipikal Nilai Tengah Gradasi Setelah Penyesuaian.....	29
Tabel 4.4	Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall</i>	30
Tabel 4.5	Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Dengan Variasi Substitusi HDPE	32
Tabel 4.6	Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Dengan Substitusi HDPE dengan Variasi <i>Fly ash</i>	33
Tabel 4.7	Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Terhadap Rendaman Air Biasa, Air Laut dan Air sungai (24 Jam)	34
Tabel 4.8	Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Terhadap Rendaman Air Biasa, Air Laut dan Air sungai (30 Menit)	35
Tabel 4.9	Nilai Durabilitas untuk Rendaman Air Biasa, Air Laut dan Air sungai	35

Tabel 4.4 Rekapitulasi Analisis Regresi	36
---	----

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A

Gambar A.3.1	Bagan Alir Penelitian	48
Gambar A.3.2	Peta Provinsi Aceh	51
Gambar A.3.3	Peta Lokasi Penelitian	52
Gambar A.3.4	Peta Lokasi Pengambilan Agregat	52
Gambar A.3.5	Peta Lokasi Pengambilan Air Sungai (Krueng Aceh)	53
Gambar A.3.6	Peta Lokasi Pengambilan Air Laut (Pantai Ulee Lheue)	53
Gambar A.3.7	Peta Lokasi Pengambilan <i>Fly ash</i> Batubara.....	54
Gambar A.3.8	Peta Lokasi Pengambilan HDPE.....	54
Gambar A.4.1	Proses Penyaringan Agregat	55
Gambar A.4.2	Proses Penyaringan <i>Filler Fly ash</i> Batubara.....	55
Gambar A.4.3	Proses Pengambilan Air Sungai	56
Gambar A.4.4	Proses Pengambilan Air Laut.....	56
Gambar A.4.5	Benda Uji Pengujian Sifat-sifat Fisis Aspal.....	57
Gambar A.4.6	Proses Pembuatan Benda Uji	57
Gambar A.4.7	Proses Pelarutan HDPE.....	58
Gambar A.4.8	Proses Pembukaan Benda Uji Dari Mold	58
Gambar A.4.9	Proses Perendaman Benda Uji <i>Marshall</i>	59
Gambar A.4.10	Pengujian <i>Marshall</i>	59
Gambar A.4.11	Variasi Perendaman Durabilitas.....	60
Gambar A.4.12	Grafik Penentuan KAO	61

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN B

Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan	62
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat.....	62
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan Impact Agregat	63
Tabel 4.4	Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat	64
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat.....	64
Tabel 4.6	Hasil Pemeriksaan Indeks Kelonjongan Agregat.....	64
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal.....	65
Tabel 4.8	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70 (0% HDPE)....	65
Tabel 4.9	Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 (0% HDPE).....	65
Tabel 4.10	Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Penetrasi 60/70 (0% HDPE)	66
Tabel 4.11	Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Penetrasi 60/70 (0% HDPE)	66
Tabel 4.12	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70 (6% HDPE) ...	67
Tabel 4.13	Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 (6% HDPE)	67
Tabel 4.14	Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Penetrasi 60/70 (6% HDPE)	68
Tabel 4.15	Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Penetrasi 60/70 (6% HDPE)	68
Tabel 4.16	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70 (8% HDPE) ...	69
Tabel 4.17	Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 (8% HDPE)	69
Tabel 4.18	Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Penetrasi 60/70 (8% HDPE)	70
Tabel 4.19	Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Penetrasi 60/70 (8% HDPE)	70
Tabel 4.20	Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70 (10% HDPE) .	71
Tabel 4.21	Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 (10% HDPE)	71
Tabel 4.22	Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Penetrasi 60/70 (10% HDPE) ...	72
Tabel 4.23	Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Penetrasi 60/70 (10% HDPE)	72
Tabel 4.24	Hasil Gradasi Agregat untuk Mendapatkan KAO	73

Tabel 4.25 Hasil Gradasi Agregat untuk Menentukan Persentase HDPE	74
Tabel 4.26 Hasil Gradasi Agregat untuk Menentukan Persentase <i>Fly ash</i> Batubara	75
Tabel 4.27 Hasil Gradasi Agregat untuk Durabilitas	76

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN C

Tabel 4.28 Hasil Pemeriksaan Parameter <i>Marshall</i> dengan Variasi Kadar Aspal Penetrasi 60/70	77
Tabel 4.29 Hasil Pemeriksaan Parameter <i>Marshall</i> dengan Variasi HDPE.....	78
Tabel 4.30 Hasil Pemeriksaan Parameter <i>Marshall</i> dengan Variasi <i>Fly ash</i>	79
Tabel 4.31 Hasil Pemeriksaan Parameter <i>Marshall</i> Durabilitas 30 Menit.....	80
Tabel 4.32 Hasil Pemeriksaan Parameter <i>Marshall</i> Durabilitas 24 Jam	81

BAB I

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara tropis yang memiliki dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau, jika hujan terjadi sebagian besar kota di Indonesia dilanda banjir. Aceh merupakan daerah yang rawan akan banjir yang mengakibatkan genangan air sungai pada beberapa ruas jalan. Beberapa ruas jalan di Aceh terletak di daerah yang berhubungan dengan pantai dan sungai mengalami permasalahan dengan genangan air laut dan air sungai.

Genangan air merupakan salah satu penyebab kerusakan atau mengurangi keawetan bagi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal, genangan air dapat berasal dari kenaikan air laut (*rob*) dan luapan air sungai. Menurut Badan Penanggulangan Bencana Aceh, Aceh merupakan provinsi dengan curah hujan yang tinggi sehingga hampir setiap tahunnya mengalami bencana banjir dan mengakibatkan genangan air pada beberapa ruas jalan berasal dari genangan air sungai. Fenomena kenaikan gelombang pantai dan abrasi disebabkan oleh perubahan iklim secara global, sehingga dapat menyebabkan terjadi banjir *rob* yang menggenangi ruas jalan raya pada daerah pesisir.

Berdasarkan permasalahan diatas peneliti mencoba meneliti perlakuan upaya adaptasi berupa penggunaan material jalan yang mengandung limbah *polimer* untuk menurunkan resiko kerusakan jalan akibat dampak genangan air laut dan air sungai, yang ditinjau berdasarkan indeks durabilitas dan stabilitas campuran aspal beton dengan dan tanpa substitusi terhadap pengaruh variasi perendaman air laut dan air sungai. Pemberian bahan tambah limbah *polimer* diharapkan dapat memberikan peningkatan pada sifat – sifat fisik aspal. Selain dapat dilaksanakan dengan biaya yang murah, penggunaan limbah plastik ini diharapkan dapat mengurangi masalah lingkungan yang disebabkan oleh meningkatnya limbah *polimer* tiap tahunnya. Limbah *polimer* yang digunakan untuk penelitian ini berupa limbah *high density polyethylene* (HDPE), limbah HDPE ini didapatkan dari tempat pembuangan akhir.

Disisi lain bahan *filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah *fly ash* batubara. Menurut Suryani dkk., (2023) *fly ash* batubara termasuk dalam limbah industri yang mempunyai potensi sangat tinggi untuk digunakan dalam konstruksi jalan raya. *Fly ash* batubara dapat dijadikan sebagai mineral *filler* karena ukurannya yang sangat halus, dan dari beberapa literatur penelitian sebelumnya, *fly ash* batubara mengandung unsur pozzolan, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat aspal beton. *Fly ash* merupakan abu batubara yang terdiri dari partikel-partikel halus, gradasi dan kehalusan abu batubara dapat memenuhi persyaratan gradasi untuk mineral *filler*. Penggunaan *filler* pada campuran aspal beton adalah untuk mengisi rongga dalam campuran, untuk mengikatkan daya ikat aspal beton. Penggunaan limbah *fly ash* juga diharapkan dapat meningkatkan ketahanan konstruksi jalan dengan menggunakan biaya yang ekonomis dengan memanfaatkan bahan sisa. *Filler fly ash* batubara ini didapatkan dari PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Nagan Raya. Agregat kasar dan agregat halus pada penelitian ini didapatkan dari *stone crusher* milik PT. Ayu Indah Lestari.

Berdasarkan latar belakang, maka rumusan masalah yang dapat diambil adalah bagaimana pengaruh penambahan bahan HDPE dan *fly ash* batubara terhadap karakteristik campuran AC-WC, dan apakah penggunaan bahan tersebut dapat memenuhi syarat spesifikasi campuran aspal terhadap rendaman air biasa, air sungai dan air laut. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh penambahan bahan HDPE dan *fly ash* batubara terhadap karakteristik campuran AC-WC, untuk mengetahui pengaruh penggunaan bahan tersebut dapat memenuhi syarat spesifikasi campuran aspal dan untuk mengetahui pengaruh perendaman air biasa, air laut, dan air sungai terhadap mutu aspal optimum dengan penambahan limbah plastik HDPE dan *filler fly ash* batubara. Manfaat yang didapatkan yaitu untuk pemanfaatan limbah yaitu HDPE dan *fly ash* batubara, dan menjadi acuan untuk pembaca jika nanti ada yang ingin melakukan penelitian dengan metode yang sama. Pada penelitian ini dilakukan pengujian di Laboratorium Transportasi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode campuran aspal AC-WC dengan *Marshall Test* berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I (2019) untuk kelas lalu-lintas berat. Pada penelitian ini dibuat beberapa variasi kadar aspal untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dimana setiap variasi dibuat 3 total jumlah benda uji keseluruhan untuk mencari nilai KAO berjumlah 15 benda uji. Dari nilai KAO selanjutnya dibuat benda uji per variasi 0%, 6%, 8%, dan 10% dengan total 12 benda uji untuk mendapatkan KAO dengan variasi kadar HDPE terbaik. selanjutnya KAO dengan variasi HDPE terbaik di variasikan dengan substitusi *fly ash* batubara 50%, 75% dan 100% total sebanyak 9 benda uji. Setelah mendapatkan KAO dengan Kadar HDPE dan *fly ash* batubara terbaik selanjutnya dilakukan test durabilitas pada variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai dengan total 9 benda uji. Total benda uji keseluruhan berjumlah 54 benda uji.

Adapun hasil penelitian ini diperoleh perbandingan hasil stabilitas dengan dan tanpa substitusi HDPE dan *fly ash* batubara dengan KAO 5,46%. Dimana nilai-nilai besaran *Marshall* yang menjadi rujukan karakteristik adalah nilai stabilitas pada 0% adalah 1297,66 kg, nilai *density* 2,594 gr/cm³, nilai *flow* 3,67 mm, nilai VIM 3,38%, nilai VFA 80,44%, nilai VMA 17,26%, dan nilai MQ 370,90 kg/mm.

Karakteristik aspal beton dengan variasi HDPE 8% dengan *filler fly ash* batubara 100% menghasilkan karakteristik yang baik dimana nilai *Marshall* yang menunjukkan karakteristik campuran aspal beton nilai stabilitas pada adalah 1680,93 kg, nilai *density* 2,610 gr/cm³, nilai *flow* 2,47 mm, nilai VIM 3,23%, nilai VFA 80,70%, nilai VMA 16,75%, dan nilai MQ 684,05 kg/mm. Selain pada karakteristik *Marshall* pada penelitian ini juga menggunakan karakteristik durabilitas pada variasi perendaman air biasa, air laut, dan air sungai dengan perendaman 30 menit, dan 24 jam. Pada durabilitas menghasilkan nilai yang sangat baik sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I (2019) yaitu sebesar $\geq 90\%$. Nilai durabilitas yang dihasilkan air biasa 97,66%, air laut 94,33% dan air sungai 96,50%. Dari hasil durabilitas tersebut dapat dilihat substitusi HDPE pada aspal dengan menggunakan *filler fly ash* batubara bekerja dengan sangat baik sehingga membuat nilai durabilitas yang tinggi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Tinjauan struktur merupakan hal yang sangat mendukung dalam penyelesaian permasalahan yang bertujuan untuk membentuk kerangka teori dan sebagai dasar dalam menentukan metode penyelesaian yang berisi tentang teori-teori dan rumus-rumus yang berhubungan dengan permasalahan yang akan ditinjau.

2.1 Lapisan Beton Aspal

Lapisan aspal beton adalah lapisan penutup pada konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural. Siswadi (2013) berpendapat lapisan aspal beton adalah lapisan permukaan yang terdiri dari campuran agregat, *filler* dan aspal yang bergradasi menerus, dicampur, diamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas dengan suhu tertentu. Laston dikenal juga dengan nama *Asphalt Concrete* (AC) dimana memiliki karakteristik terpenting pada campuran aspal beton adalah stabilitas.

Keputusan(Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018) Revisi I (2019), 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. Untuk ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC) dapat dilihat pada tabel 2.1 di bawah ini.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Laston (AC)					
		WC		BC		BASE	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar Aspal Efektif (%)	Min	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Maks	1,2					
Jumlah tumbukan per bidang		75				112	
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0					
	Maks	5,0					
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15		14		13	
Rongga terisi aspal (%)	Min	65					
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	800				1800	

Sifat-Sifat Campuran		Laston (AC)					
		WC		BC		BASE	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Pelelehan (mm)	Min	2,0				3,0	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min	250					

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) Revisi I (2019)

Laston modifikasi adalah lapisan aspal yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal keras dengan suatu bahan tambah. Untuk ketentuan sifat-sifat campuran laston modifikasi (AC Mod) dapat dilihat pada tabel 2.2 di bawah ini.

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

Sifat-Sifat Campuran		Laston (AC)		
		WC	BC	BASE
Penyerapan Aspal (%)	Maks	1,2		
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65		
Stabilitas sisa (%)	Min	90		
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	1000		2250
Pelelehan (mm)	Min	2,0		3,0
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min	250		

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) Revisi I (2019)

2.2 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.

2.2.1 Bahan Agregat

Agregat merupakan komponen utama dan struktur perkerasan jalan, yaitu sekitar 90-95% agregat persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan volume.

Fungsi agregat dalam campuran panas aspal adalah selain memberikan stabilitas dalam campuran juga sebagai pengisi mortar sehingga campuran menjadi ekonomis.

Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi I (2019) memberikan persyaratan untuk agregat sebagai berikut :

1. Agregat Kasar

Berdasarkan persyaratan agregat menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi I (2019), fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah agregat yang tertahan pada saringan No.4 (4,75 mm) agregat haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari kandungan tanah lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang berlaku.

2. Agregat Halus

Berdasarkan persyaratan agregat menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi I (2019), yaitu batuan yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dan tertahan saringan No. 200 (0,075 mm) terdiri atas hasil pemecahan batu atau pasir alam.

2.2.2 Bahan Pengisi (*Filler*)

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018 Revisi I (2019) bahan pengisi (*filler*) yang ditambahkan dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M303-89, atau semen atau abu terbang tipe C dan F yang sumbernya disetujui.

1. Portland Cement (PC)

Semen adalah bahan perekat kimia yang memberikan perkerasan terhadap material campuran lainnya menjadi suatu bentuk yang kaku dan tahan lama. Secara umum, semen adalah bubuk abu-abu gelap yang terbuat dari kapur (CaO :60-65%), Silika (SiO_2 :17-25%), Alumina (Al_2O_3 :8-3%), Iron Oxide (Fe_2O_3 :0,5-6%), Magnesium Oksida (MgO :0,5-4%), Sulfur Trioxide (SO_3 :1-2%), dan soda/potash ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$:0,5-1%).

2. Abu Batubara

Secara fisik tampilan abu terbang (*fly ash*) berwarna hitam atau abu gelap yang terbentuk granular dengan butiran halus yang umumnya seperti bola padat atau berongga. Sifat-sifat fisik dari *fly ash* sebagaimana dikemukakan oleh Indriati, et.al (2004) yang di kutip dari Tarmizi dkk., (2018) disajikan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Sifat-sifat Fisik Abu Terbang (*Fly ash*)

Sifat-sifat fisik abu terbang (<i>fly ash</i>)	
Bentuk	Granular, Partikel berbutir halus
Warna	Hitam, Abu-abu gelap
Tampilan	Hitam mengkilat
Ukuran butir Lolos Ayakan (%)	No.4 (90-100%)
	No.8 (40-60%)
	No.50 (10%)
	No.200 (5%)
Berat Jenis	2.1-2.9
Berat Kering	720-1600 kg/cm ³
Penyerapan`	0.3-2%

Sumber : Tarmizi dkk., 2018

Menurut Indriati,et.al (2004) sebagaimana dikutip dari Tarmizi dkk., (2018) salah satu upaya pemanfaatan abu terbang hasil pembakaran batubara ini diperkirakan menghasilkan sekitar 5-10% limbah padat. Jika abu batubara ini tidak ditangani menimbulkan masalah pencemaran lingkungan. Salah satu kemungkinan penanganannya adalah penggunaan batubara sebagai pengganti agregat halus dan *filler* dalam campuran beton aspal,. *Fly ash* batubara dapat dilihat pada gambar 2.1 dibawah ini.



Gambar 2.1 *Fly ash* Batubara

2.2.3 Aspal

Aspal diartikan sebagai zat berwarna hitam atau coklat, pada suhu ruangan aspal berbentuk padat, ketika aspal dipanaskan pada suhu tertentu aspal meleleh. Sehingga aspal dapat menyelimuti partikel agregat pada saat pembuatan aspal dan dapat masuk ke dalam pori-pori agregat (Rachman dkk., 2019).

2.2.4 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 lebih awet terhadap oksidasi terik matahari. Di Indonesia diperkenalkan pada tahun 1995 oleh shell dan produksi lokal digelar tahun 1966 di jalan Tol Simatupang berupa lapis tipis di atas perkerasan beton semen dengan hasil mencapai umur lebih dari 12 tahun (Saleh et al., 2016).

2.3 *High Density Polyethylene (HDPE)*

PE (*polietilen*) adalah jenis plastik yang sering digunakan untuk kepentingan komersial dan plastik ini sudah ada sejak tahun 1930. Umumnya pengklasifikasikan PE didasarkan pada densitas dan viskositas kelelehan atau indeks kelelehan. Ini menghasilkan *high density polyethylene (HDPE)*, *low density polyethylene (LDPE)*, *linear low density polyethylene (LLDPE)*, dan *cross-linked polyethylene (XLPE)*. Perbandingan hasil dari pengujian sifat fisik dari HDPE dan polietilena (PE) dapat dilihat dari Tabel 2.4 di bawah ini.

Tabel 2.4 Sifat Fisik Pada PE dan HDPE

No.	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Satuan
1	Titik Leleh PE	130-137	130	⁰ C
	Titik Leleh HDPE	130-137	134	⁰ C

No.	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Satuan
2	Berat Jenis PE	0,941 - 0,965	0,942	gr/cm
	Berat Jenis HDPE	0,941 - 0,966	0,965	gr/cm

Sumber: Rahmawati, (2015)

High-density polyethylene (HDPE) atau *polyethylene high-density* (PEHD) adalah polietilena termoplastik yang terbuat dari minyak bumi. Kadang-kadang disebut *alkathene* atau *polythene* bila digunakan untuk pipa. Dengan rasio kekuatan dan kerapatan tinggi, HDPE digunakan dalam produksi botol plastik, pipa tahan korosi, geomembrane, dan kayu plastik. HDPE biasanya didaur ulang dan memiliki nomor “2” sebagai kode indentifikasi resinnya.

2.4 Air Laut

Muaya dkk., (2015) menyatakan bahwa laut adalah wilayah terluas di permukaan bumi, meliputi area seluas 70% dari seluruh permukaan bumi. Secara umum air laut mempunyai berat jenis $1,025 \text{ kg/m}^3$ dan derajat keasaman berkisar antara 8,2 – 8,4 yang mengandung 96,5% air dan 3,5% zat terlarut dalam bentuk molekul dan ion. Zat terlarut tersebut terdiri dari 89% gram klor serta 11% lagi terdiri dari unsur-unsur lainnya.

Kandungan garam utama dalam air laut antara lain, klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromide, asam borak, strontium, dan florida. Laut juga diketahui bersifat sangat agresif dan merusak, beberapa hal yang menyebabkan yaitu:

1. Laut adalah elektrolit yang berkonduktivitas tinggi;
2. Kandungan oksigen terlarut tinggi;
3. Suhu permukaan laut umumnya tinggi;
4. Ion klorida dalam air laut adalah ion agresif.

Sifat agresif lingkungan laut tentunya berdampak buruk pada konstruksi perkerasan jalan. Penyebab kerusakan jalan terutama jalan di kawasan pantai tentunya

dipengaruhi oleh genangan air laut, disamping makalah teknis dalam perencanaan dan pelaksanaan. Luapan air laut biasanya disebabkan oleh banjir maupun gelombang tinggi yang disebabkan oleh angin kencang pada siang atau malam hari sehingga menyebabkan air laut membanjiri jalan dalam waktu yang singkat atau lama (Rahim, dkk.,2012).

2.5 Air sungai

Menurut Tohir & Findia, (2020) dari pengujian dengan perendaman aspal akibat banjir air sungai yang mengandung lumpur sangat berpengaruh terhadap durabilitas dan stabilitas. Nilai durabilitas dan stabilitas mengalami penurunan sesuai dengan bertambahnya lama perendaman.

2.6 Perencanaan Campuran Aspal Beton

Dalam penelitian Esentia (2014) menyebutkan menurut Bukhari (2007) salah satu faktor yang menentukan mutu campuran aspal beton adalah perencanaan campuran. Perencanaan campuran terdiri dari pemilihan tipe gradasi agregat dan jenis atau kadar aspal. Perencanaan campuran beraspal bertujuan untuk mendapatkan campuran efektif gradasi agregat dan aspal. Campuran antara agregat dan aspal yang optimal dapat menghasilkan lapisan perkerasan yang optimal pula.

2.6.1 Gradasi Agregat

Gradasi agregat diperoleh dari analisa saringan dengan menggunakan satu set saringan yang paling kasar diletakkan di atas dan saringan yang paling halus di bagian bawah. Berdasarkan spesifikasi umum yang dikeluarkan oleh Dinas Bina Marga mengenai spesifikasi gradasi agregat untuk perkerasan laston lapis aus (AC-WC) adalah seperti pada Tabel 2.5.

Table 2.5 Spesifikasi Gradasi Agregat Laston Lapis Aus (AC-WC)

Ukuran Ayakan			% Berat yang Lolos
Jenis Agregat	ASTM	(mm)	AC-WC
CA	1"	25	
	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
Filler	No. 200	0,075	4 - 9

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi I (2019)

2.6.2 Kadar Aspal

Dalam perencanaan campuran beraspal, dibutuhkan nilai kadar aspal untuk awal perencanaan sebelum didapatkan nilai kadar aspal optimum. Kadar aspal awal atau kadar aspal perkiraan ini merupakan kadar aspal tengah atau ideal (a%) yang nantinya divariasikan menjadi 5 variasi kadar aspal awal perencanaan, yaitu (a-1)%, (a-0,5)%, a%, (a+0,5)%, dan (a+1)%. Kadar aspal tengah dapat ditentukan dengan menggunakan rumus persamaan dari berikut ini:

$$P_b = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%Filler) + \text{Konstanta} \dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

P_b = kadar aspal perkiraan, persen terhadap berat campuran;

CA = persen agregat kasar terhadap saringan No. 8;

FA = persen agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200;

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

K = konstanta antara 0,5 – 1,0 untuk AC

2.7 Percobaan *Marshall*

Uji *Marshall* merupakan tahapan penting dalam penentuan karakteristik campuran beraspal. Uji *Marshall* dimaksudkan untuk menentukan: stabilitas, keelehan plastis (*flow*), berat volume (*density*), persen rongga dalam campuran (VIM), persen rongga terisi aspal (VFB), persen rongga antar butir agregat (VMA), *Marshall* Quotient (MQ).

2.7.1 Stabilitas (*Stability*)

Pengujian nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi keelehan plastis. Nilai ini stabilitas dipengaruhi oleh bentuk butir, kualitas, tekstur permukaan, gradasi agregat yaitu pada gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar butir agregat (*interlocking*), daya lekat dan kadar aspal dalam campuran.

Menurut Bukhari, (2007) menyatakan bahwa hasil pembacaan dial alat *Marshall*, nilai stabilitas harus dikalikan dengan kalibrasi alat dan faktor koreksi benda uji sehingga besar stabilitas dapat dihitung dengan persamaan berikut ini:

$$S = p \times q \times r \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

S = Nilai stabilitas

p = Kalibrasi alat = 12,139

q = Pembacaan dial *Marshall*

r = Koreksi benda uji

2.7.2 Kelelehan Plastis (*Flow*)

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

2.7.3 Berat Volume (*density*)

Density merupakan perbandingan antara berat kering benda uji dengan berat pada volume yang sama, density menurut Bukhari, (2007) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$h = g - f \dots\dots\dots(2.3)$$

$$i = \frac{h}{e} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

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)

2.7.4 Void In Mix (VIM)

Void In the Mix (VIM) merupakan persentase rongga udara yang ada dalam campuran. Menurut Bukhari, (2007) perhitungan nilai VIM dapat menggunakan persamaan berikut:

$$VIM = 100 - i \times j \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

i = Bj benda uji

j = Bj campuran maksimal

2.7.5 Void Filled by Bitument (VFB)

Menurut Bukhari, (2007) besarnya rongga terisi aspal didapat persamaan:

$$m = 100 \times \frac{i}{l} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

m = Persen rongga terisi aspal;

i = (b x g) / Bj aspal;

- b = Persen aspal terhadap campuran;
 g = Berat benda uji (gram);
 l = $100 - j$
 j = $(100 - b) \times g / B_j \text{ aspal}$

2.7.6 *Void In Mineral Aggregate (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. Menurut Bukhari, (2007) perhitungan nilai VMA dapat menggunakan persamaan berikut:

$$I = 100 - l \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

- l = Persentase volume agregat

2.7.7 *Marshall Quotient (MQ)*

Menurut Bukhari, (2007) *Marshall Quotient* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

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

Keterangan:

- MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)
 $Flow$ = Pembacaan nilai *flow* (mm)
 S = Nilai stabilitas setelah dikali dengan faktor kalibrasi alat dan koreksi benda uji (kg)

2.7.8 *Durabilitas*

Nilai durabilitas adalah perbandingan antara stabilitas rendaman dan stabilitas normal (dalam persen). Rasio antara stabilitas benda uji yang direndam selama 24 jam pada suhu ruangan, dengan stabilitas benda uji yang direndam selama 30 menit pada suhu yang sama disebut stabilitas sisa (*Retained Stability*), benda uji campuran beraspal dikategorikan awet (*Durable*), bila nilai stabilitas sisa > 90%. Durabilitas dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Hunter, 1994):

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

S_1 = Nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T_1 menit (kg)

S_2 = Nilai rata-rata stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama T_1 menit (kg)

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

2.8 Teknik Pencampuran Plastik Dalam Kinerja Campuran Aspal

Terdapat dua cara pencampuran plastik untuk menaikkan kinerja campuran beraspal yaitu cara basah dan cara kering.

2.8.1 Cara Basah (*Wet Process*)

Cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, mixer kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.

2.8.2 Cara Kering (*Dry Process*)

Cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang di panaskan pada temperature campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini lebih murah, dikatakan lebih murah karena tidak perlu ada aspal yang harus dikeluarkan dan tangki aspal di AMP apabila tangki aspal digunakan untuk keperluan pencampuran aspal dengan aspal konvensional. Selain lebih murah, cara kering ini juga lebih mudah karena hanya dengan memasukkan plastik dalam agregat panas, tanpa memerlukan peralatan lain untuk mencampur (mixer). Kekurangan cara ini adalah harus benar-benar dapat dipertanggungjawabkan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan/dicampurkan

2.9 Analisa Regresi

Untuk menganalisa bentuk hubungan dua variabel dipakai analisis regresi. Menurut Triatmodjo, (2002), variabel-variabel terdiri atas variabel bebas dan variabel terikat. Data yang diperoleh dari pengujian masing-masing diplot pada suatu sumbu salib dan membentuk titik pencar yang disebut diagram pencar (*Scatter Plot*). Data tersebut merupakan variabel-variabel terikat (sumbu y) dan kadar aspal sebagai variabel bebas (sumbu x).

Garis atau kurva pendekatan yang mewakili titik-titik dalam diagram pencar dapat berupa garis lurus (linier) maupun garis lengkung (non linier). Beberapa bentuk regresi yang ada di antaranya adalah:

Regresi linier; $y = a + bx$ (2.10)

Regresi non linier berganda orde 2; $y = a_0 + a_1x + a_2x^2$ (2.11)

Untuk persamaan nilai koefisien dari persamaan di atas dapat dihitung berdasarkan persamaan aljabar matrik, misalkan untuk a_0 , a_1 , a_2 yaitu:

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 y_i \end{bmatrix} \dots\dots\dots(2.12)$$

Dengan menyelesaikan persamaan aljabar matrik di atas nilai masing-masing koefisien a_0 , a_1 , a_2 didapat, sehingga diperoleh persamaan kurva hubungan antara variabel (y) dengan variabel bebas (x).

Untuk mendapatkan persamaan yang sesuai dari model-model regresi untuk analisis data penelitian adalah yang menghasilkan koefisien determinasi (*R-square*) yang paling besar (mendekati 1).

2.10 Penelitian Terdahulu

Adapun beberapa penelitian yang sudah dilakukan, yang berhubungan dengan variasi perendaman, HDPE, dan *fly ash* batubara, antara lain:

- a. Abdullah dkk.,(2017) melakukan penelitian dengan judul “Penggunaan Abu Batubara Sebagai *Filler* Pada Campuran Aspal Beton AC-BC” dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin menurun nilai stabilitas namun

meningkat flow hal ini disebabkan nilai VIM dapat menerima peningkatan abu batubara dan rongga dalam campuran bertambah licin.

- b. Mahazza Rizka Ubay, (2018) melakukan penelitian dengan judul “Pengaruh Variasi Perendaman dengan Menggunakan Air Lumpur dan Air Laut Terhadap Karakteristik Beton Aspal dengan Substitusi Gondorukem” penelitian ini dilakukan dengan melihat efek penambahan gondorukem terhadap perendaman air lumpur dan air laut. Hasil pada penelitian ini secara keseluruhan menunjukkan bahwa dengan aspal penetrasi 60/70 dan substitusi gondorukem pada masing-masing rendaman memberikan pengaruh perubahan peningkatan pada nilai stabilitas dan persen durabilitas dari campuran beton aspal.
- c. Suprayitno dkk., (2019) melakukan penelitian dengan judul “Studi Penggunaan Variasi Campuran Material Plastik Jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) Pada Campuran Beraspal Untuk Lapis Aus AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*)” penelitian ini dilakukan dengan melihat mutu aspal dengan substitusi HDPE pada campuran AC-WC dan kadar optimum pada variasi persentase HDPE. Hasil dari penelitian ini substitusi HDPE memberikan pengaruh terhadap KAO.

BAB III

METODE PENELITIAN

Pada bab ini dikemukakan tahapan dari penelitian yang meliputi pemakaian peralatan, bahan, pengujian setiap bahan yang digunakan, metode pengumpulan data dan pengolahan data, untuk lebih jelasnya tahapan penelitian ini tercantum dalam bagan alir penelitian yang dapat dilihat pada Lampiran A.3.1 halaman 48.

3.1 Metode Pengumpulan Data

Pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data yang mendukung proses penelitian ini, antara lain adalah data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperlukan sebagai data pendukung utama dalam suatu penulisan laporan. Data primer merupakan data yang diperoleh dari hasil pengujian sifat-sifat fisis material dan hasil pengujian *marshall* benda uji campuran aspal beton. Sedangkan data sekunder merupakan data pendukung data primer yang diperlukan dalam penelitian. Data sekunder berupa data spesifikasi campuran dan sebagainya. Data sekunder dapat diperoleh dari studi literatur dan instansi terkait.

3.2 Material yang Digunakan

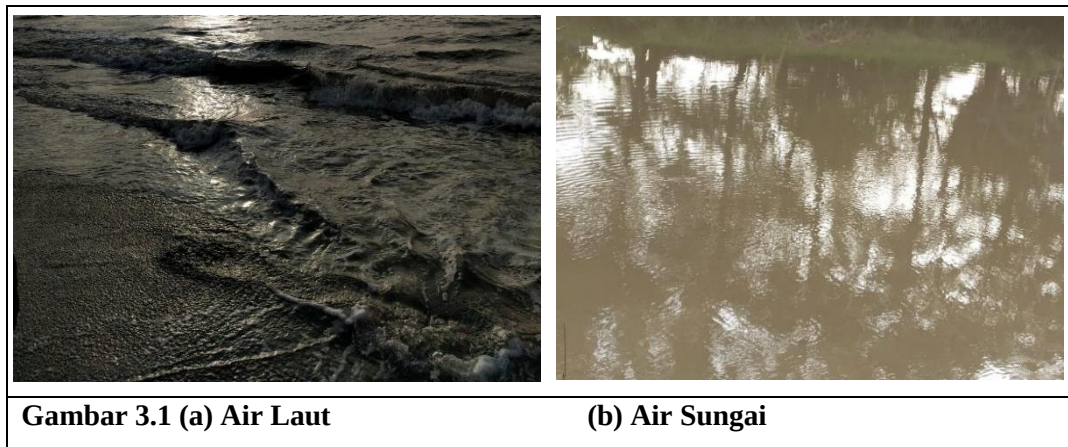
Pada penelitian ini menggunakan material aspal, agregat, semen, *fly ash* batubara, dan HDPE. Aspal yang digunakan merupakan aspal keras penetrasi 60/70 produksi pertamina yang tersedia di Laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala. Agregat yang digunakan adalah kerikil pecah yang diperoleh dari PT. Ayu Indah Lestari, sedangkan bahan pengisi (*filler*) menggunakan Portland Cement (PC) yang diproduksi PT. Semen Padang dan *Fly ash* Batubara yang didapatkan dari PT. PLN (Persero) Sektor Pembangkitan Nagan Raya. HDPE diperoleh dari tempat pembuangan akhir (TPA) Kota Banda Aceh.

3.3 Peralatan yang Digunakan

Pada penelitian ini menggunakan peralatan yang digunakan adalah peralatan untuk pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat, sifat-sifat fisis aspal dan pembuatan serta pengujian *Marshall*. Peralatan yang digunakan pada pengujian marshall terdiri dari mold pemadat beserta plat dasarnya, *hammer* pemadat, *flow* meter, bak pemanas yang dilengkapi pengatur suhu serta *marshall test apparatus*.

3.4 Air Perendaman yang Digunakan

Pada penelitian ini menggunakan air rendaman berupa air laut dan air sungai sebagai rendaman. Air laut yang digunakan didapat dari laut Ulee Lheue Kecamatan Meuraxa Kota Banda Aceh. Sedangkan air sungai yang digunakan diambil dari Krueng Aceh Desa Pango Kecamatan Ulee Kareng Kota Banda Aceh. Air laut dan air sungai dapat dilihat pada Gambar 3.1 di bawah ini:



3.5 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Agregat

Standar pemeriksaan agregat kasar yang dilakukan berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga (2018) Revisi I (2019). Syarat pengujian agregat kasar dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-sifat Fisis Agregat Kasar

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-4792	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) Revisi I (2019)

3.6 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal

Pengujian yang dilakukan pada aspal pertamina penetrasi 60/70. Standar pengujian dilakukan berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga (2018) Revisi I (2019). Syarat pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.2 Persyaratan Sifat-sifat Fisis Aspal Penetrasi 60/70

No.	Sifat-sifat Fisis Aspal	Standar	Syarat
1.	Berat Jenis (25°C)	SNI 2441-12011	$\geq 1,0$
2.	Penetrasi (25°C; 5 detik; 0,1 mm; 100gr)	SNI 2456:2011	60-70
3.	Daktilitas (25°C; 5 cm/detik)	SNI 2432-2011	≥ 100
4.	Titik Lembek; °C	SNI 2434-2011	≥ 48

Sumber: Bina Marga (2018) Revisi I (2019)

3.7 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi yang digunakan pada penelitian ini adalah semen dan *fly ash* batubara. Portland Cement (PC) yang digunakan merupakan produksi dari PT. Semen Padang. *Fly ash* batubara yang digunakan didapatkan dari PT. PLN

(Persero) Sektor Pembangkit Nagan Raya dengan variasi 50%, 75% dan 100%. *Fly ash* batubara yang digunakan berasal boiler. Pada tabel 3.4 di bawah ini merupakan perbedaan kandungan mineral *fly ash* kelas C dan kelas F.

Tabel 3.3 Perbedaan Kandungan Mineral *Fly ash*

Kandungan Mineral <i>Fly ash</i>	Kelas C	Kelas F
Silikon Dioksida (SiO_2) + Aluminium Oksida (Al_2O_3) + Besi Oksida (Fe_2O_3),	50%	70%
Sulfur Trioksida (SO_3)	5%	5%
Kalsium Oksida (CaO)	30% - 40%	1% - 12%

Sumber: Santoso dkk., (2011)

3.8 Pemilihan *High Density Polyethylene* (HDPE)

Pada campuran antara aspal dengan agregat menggunakan penambahan HDPE yaitu dengan variasi 0%, 6%, 8% dan 10%. Pemilihan HDPE yang didapatkan dari limbah (barang bekas) atau sejenisnya yang dipilih secara acak berdasarkan kondisi barang dan kebersihannya. Pencampuran HDPE dipotong-potong berukuran 2 mm sehingga lolos saringan No. 8 dicampurkan ke dalam aspal panas pada suhu 140°C dan diaduk sampai seluruh bahan tersebut larut dalam aspal. Gambar HDPE dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 3.2 (a) *High Density polyethylene* (b) HDPE yang telah dipotong

3.9 Perencanaan Campuran Aspal (AC-WC)

Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Walaupun bersifat non structural, AC-WC dapat menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan mutu sehingga secara keseluruhan menambah masa pelayanan dari konstruksi perkerasan. AC-WC mempunyai tekstur paling halus dibandingkan dengan laston lainnya.

3.9.1 Pemilihan Gradasi Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini tidak dapat langsung digunakan dikarenakan gradasi alam belum tentu sesuai dengan gradasi yang digunakan. Rancangan gradasi agregat campuran beton aspal AC-WC adalah gradasi menerus. Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan dengan pengujian analisa saringan, menggunakan satu set saringan sesuai dengan ukuran saringan yang dibutuhkan. Saringan disusun dengan ukuran saringan paling besar sampai terkecil. Adapun gradasi agregat rencana yang digunakan seperti pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Gradasi Agregat Rencana

Ukuran Saringan		Laston Lapis Aus (AC-WC)				
		% Berat yang lolos			% Berat yang tertahan	
Saringan	Ukuran (mm)	Spesifikasi bawah	Spesifikasi atas	Gradasi Uji Rencana	Tertahan	Kumulatif
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
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

3.9.2 Penentuan Kadar Aspal untuk Mencari KAO

Setelah pemeriksaan dan pengujian sifat-sifat fisis agregat dan aspal, maka dilakukan perencanaan campuran. 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: $Ca = 39\%$, $Fa = 54,5\%$, *filler* = 6% dan konstanta yang diambil adalah $0,75$ (antara $0,5 - 1,0$ untuk AC)

Maka kadar aspal tengah/ideal sebesar:

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta}$$

$$Pb = 0,035 (39) + 0,045(54,5) + 0,18 (6,5) + 0,75$$

$$Pb = 5,7$$

$$Pb \approx 6$$

3.9.3 Pembuatan Benda Uji

Penentuan jumlah benda uji berdasarkan kebutuhan dalam pelaksanaan penelitian. Langkah pertama dalam pembuatan benda uji adalah menentukan kadar aspal tengah (Pb). Total benda uji pada penelitian ini sebanyak 54 buah benda uji. Jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel 3.5 di bawah ini.

Tabel 3.5 Perencanaan Benda Uji Kadar Aspal Optimum

No.	Kadar aspal (%)	Kode Benda Uji	Jumlah
1.	Pb-1	A11, A12, A13	3
2.	Pb-0,5	A21, A22, A23	3

No.	Kadar aspal (%)	Kode Benda Uji	Jumlah
3.	Pb	A31, A32, A33	3
4.	Pb+0,5	A41, A42, A43	3
5.	Pb+1	A51, A52, A53	3
Total			15

Setelah dilakukan pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum maka dilakukan pengujian benda uji dengan kadar aspal optimum disubstitusikan dengan HDPE. Jumlah benda uji kadar aspal optimum dengan substitusi HDPE dapat dilihat pada tabel 3.6 di bawah ini.

Tabel 3.6 Perencanaan Benda Uji Kadar Aspal Optimum + HDPE

No.	Kadar Aspal	Kadar HDPE				Total
		0%	6%	8%	10%	
1	KAO	B11, B12, B13	B21, B22, B23	B31, B32, B33	B41, B42, B43	12

Selanjutnya ketika sudah mendapatkan kadar aspal optimum dengan substitusi HDPE terbaik dilanjutkan dengan melakukan substitusi pada *filler*. Substitusi yang digunakan untuk *filler* adalah *fly ash* batubara. Jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel 3.7 di bawah ini.

Tabel 3.7 Perencanaan Benda Uji Kadar Aspal Optimum + HDPE terbaik + *Fly ash* Batubara.

No.	Kadar Aspal + HDPE	Kadar <i>Fly ash</i>			Total
		50%	75%	100%	
1	KAO + HDPE Terbaik	C11, C12, C13	C21, C22, C23	C31, C32, C33	9

Setelah mendapatkan benda uji terbaik maka selanjutnya dilakukan pengujian perendaman air biasa, air laut dan air sungai. Jumlah benda uji dapat dilihat pada tabel 3.8 di bawah ini.

Tabel 3.8 Perencanaan Benda Uji Perendaman

No.	Lama Perendaman	Jenis Air dan Lama Perendaman			Jumlah
		Air Biasa	Air sungai	Air Laut	
1	1/2 jam	AB11, AB12, AB13	AS11, AS12, AS13	AL11, AL12, AL13	9 Buah
2	24 jam	AB21, AB22, AB23	AS21, AS22, AS23	AL21, AL22, AL23	9 Buah
Total					18 Buah

3.10 Pengujian Marshall

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow plastic*) dari campuran aspal. Pengujian ini berpedoman pada AASHTO-245-74. Alat yang digunakan adalah alat uji *Marshall* lengkap dengan dial stabilitas dan *flow*, bak perendaman (*water bath*), thermometer, jangka sorong, dan timbangan terbuka.

Pembuatan benda uji dilakukan dengan mencampurkan aspal dengan agregat pada suhu pencampuran sesuai persyaratan yaitu 160°C. Benda uji dimasukkan ke dalam mold berukuran diameter 10,2 cm dan tinggi 7,62 cm. Lalu dipadatkan dengan penumbukan sebanyak 75 kali per bidang dengan menggunakan penumbuk *Marshall* pada suhu pemadatan 150°C.

Setelah benda uji dipadatkan, kemudian disimpan pada suhu ruang selama 24 jam, selanjutnya benda uji ditimbang di udara, di dalam air dan dalam kondisi kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)* untuk mendapatkan berat volume (*density*) benda uji. Selanjutnya benda uji direndam pada temperatur 60°C selama 30 menit dan siap untuk pengujian stabilitas dan *flow* dengan menggunakan alat uji *Marshall*. Pengujian *Marshall* meliputi uji stabilitas, *Flow*, *density*, VIM dan *Marshall Quotient*.

3.11 Stabilitas Rendaman (Durabilitas)

Penelitian durabilitas ini dilakukan variasi air perendaman pada suhu ruang. Air perendaman yang digunakan berupa air biasa, air laut dan air sungai. Pada percobaan *Marshall* benda uji direndam selama 30 menit sedangkan untuk stabilitas sisa, perendaman dilakukan selama 24 jam. Hasil Stabilitas harus memenuhi syarat apabila lebih besar dari 90%. Perbandingan stabilitas rendaman dan stabilitas normal disebut Durabilitas.

3.12 Analisa Data

Pada penelitian ini, analisa regresi digunakan untuk menganalisis hubungan antara variasi kadar aspal penetrasi 60/70 dengan parameter- parameter *Marshall*, yaitu *stabilitas*, *flow*, *density*, *Marshall Quotient*, VIM, VMA, VFA untuk mendapatkan persamaan garis atau kurva yang mewakili dua variabel yang dicari hubungannya, terlebih dahulu dilakukan pengumpulan data dari hasil pengujian.

Hubungan antara variasi HDPE dan *fly ash* batubara dengan parameter-parameter *Marshall*, yaitu *stabilitas*, *flow*, *density*, *Marshall Quotient*, VIM, VMA, VFA serta hasil pengujian durabilitas digambarkan dengan membuat grafik balok berdasarkan hasil penelitian yang diperoleh. Dari grafik tersebut dapat dilihat perbedaan nilai parameter *Marshall* yang diperoleh pada variasi HDPE dan *fly ash* batubara. Namun untuk memudahkan pembuatan grafik, perhitungan dan analisis regresi dibantu dengan menggunakan *Software Microsoft Excel*.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan diuraikan hasil pengujian, pengolahan data dan dilanjutkan dengan pembahasan yang didasarkan pada hasil penelitian di laboratorium dengan menggunakan metode-metode yang telah diuraikan pada Bab II dan Bab III.

4.1. Hasil

Hasil penelitian yang disajikan meliputi hasil evaluasi penggunaan HDPE sebagai bahan substitusi aspal penetrasi 60/70 terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC. Namun di samping itu disajikan pula data-data hasil pemeriksaan terhadap bahan yang digunakan dalam campuran sebagai data pendukung dalam mengevaluasi pengaruh penggunaan HDPE terhadap karakteristik campuran aspal yang meliputi hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat, hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal dengan dan tanpa penggunaan HDPE, hasil evaluasi parameter *Marshall* serta nilai stabilitas sisa (durabilitas) pada campuran aspal beton AC-WC.

4.1.1 Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Agregat

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat diperoleh setelah dilakukan pemeriksaan dari agregat batu pecah dari mesin *stone crusher* milik PT. Ayu Indah Lestari berlokasi di Gampong Lampanah Kecamatan Indrapuri, Kabupaten Aceh Besar, Provinsi Aceh yang dijadikan sebagai material pada penelitian ini. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat yang disajikan dalam bentuk tabel meliputi: hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, keausan agregat (abrasi), tumbukan (*impact*), berat isi agregat (*density*), indeks kepipihan dan kelonjongan dan kelekatan aspal terhadap agregat. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat disajikan pada Tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Agregat

No.	Sifat-sifat Fisis yang Diperiksa	Satuan	Hasil	Spesifikasi Bina Marga 2018
1.	Berat Jenis	-	2,964	Min. 2,5
2.	Berat Isi	Kg/cm ³	1,828	Min. 1
3.	Tumbukan (<i>Impact</i>)	%	8,33	Mak. 30
4.	Keausan	%	16,59	Mak. 40
5.	Indeks Kepipihan	%	7,50	Mak. 10
6.	Indeks Kelonjongan	%	8,28	Mak. 10
7.	Kelekatan agregat terhadap Aspal	%	99	Min. 95
8.	Penyerapan	%	1,78	Maks. 3

Dari Tabel 4.1 hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat terlihat agregat tersebut dapat digunakan karena telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Hasil pengujian terhadap sifat-sifat fisis agregat selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B Tabel 4.1 sampai dengan Tabel 4.7 halaman 66 sampai halaman 69.

4.1.2 Hasil Pemeriksaan Sifat-Sifat Fisis Aspal Dengan dan Tanpa Penggunaan HDPE

Data hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal diperoleh setelah dilakukan pemeriksaan terhadap aspal penetrasi 60/70 yang dijadikan sebagai material pada penelitian ini. 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 yang ditetapkan. Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 dengan dan tanpa penggunaan HDPE disajikan pada Tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal Penetrasi 60/70 dengan dan tanpa HDPE

No	Sifat-sifat Fisis yang Diperiksa	Satuan	Kadar HDPE				Spesifikasi Bina Marga 2018	Spesifikasi Aspal Modifikasi
			0%	6%	8%	10%		
1.	Berat Jenis	-	1,020	1,081	1,176	1,248	≥ 1,0	≥1,0
2.	Penetrasi	(0,1 mm)	64	63	61	61	60-70	≥40
3.	Daktilitas	Cm	141	131,33	128	112,67	≥ 100	≥54
4.	Titik Lembek	°C	48,25	49,5	51	57	≥ 48	≥50

Dari Tabel 4.2 hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal dengan dan tanpa substitusi HDPE terlihat aspal tersebut dapat digunakan karena telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan. Hasil pengujian terhadap sifat-sifat fisis aspal selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran B Tabel 4.8 sampai Tabel 4.23 halaman 69 sampai halaman 76.

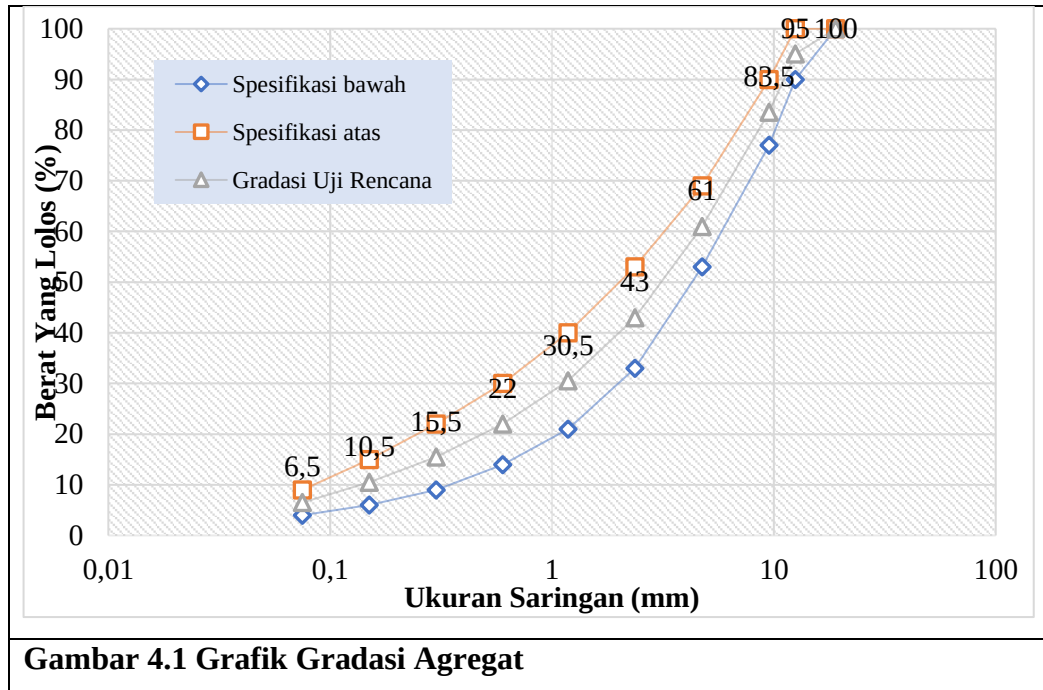
4.1.3 Hasil Pemeriksaan Gradasi

Pemeriksaan gradasi agregat dilakukan dengan menggunakan analisa saringan. Dari hasil pemeriksaan yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa agregat yang tersedia di lapangan tidak dapat digunakan langsung dalam campuran karena belum memenuhi spesifikasi gradasi yang disyaratkan. Oleh karena itu, harus dilakukan penyesuaian gradasi terlebih dahulu sehingga agregat tersebut memenuhi syarat spesifikasi yang telah ditetapkan. Hasil penyesuaian gradasi untuk komposisi campuran untuk pembuatan benda uji selengkapnya disajikan pada lampiran B tabel 4.24 sampai tabel 4.27 halaman 77 sampai halaman 80. Contoh hasil pemeriksaan dan penyesuaian gradasi untuk 1200 gram agregat disajikan pada Tabel 4.3 berikut ini:

Tabel 4.3 Tipikal Nilai Tengah Gradasi Setelah Penyesuaian

Ukuran Saringan		Laston Lapis Aus (AC-WC)				
		% Berat yang lolos			% Berat yang tertahan	
Saringan	Ukuran (mm)	Spesifikasi bawah	Spesifikasi atas	Gradasi Uji Rencana	Tertahan	Kumulatif
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
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 penyesuaian gradasi tersebut dibuatkan grafik. Grafik penyesuaian gradasi dapat dilihat dari gambar 4.1 berikut ini:



4.1.4 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

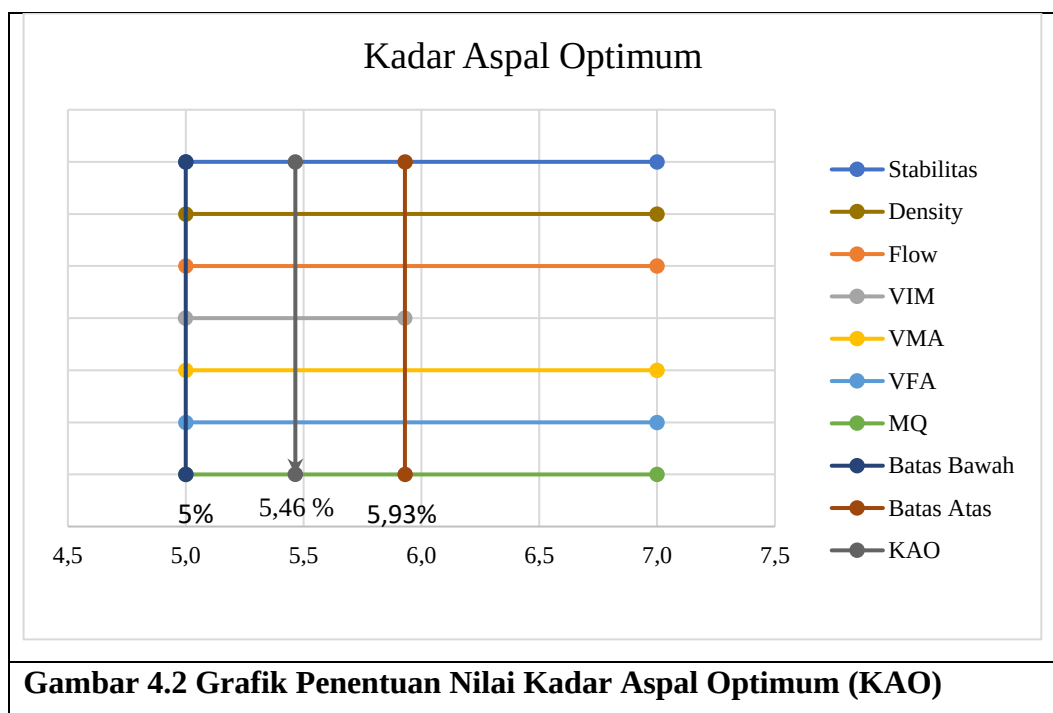
Hasil pengujian *Marshall* menghasilkan parameter-parameter *Marshall* yaitu: Density, VIM, stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Dari analisis hasil pengujian *Marshall*, dengan variasi kadar aspal sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dengan variasi kadar aspal disajikan pada Tabel 4.4 di bawah ini :

Tabel 4.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall*

No.	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Bina Marga 2018
		5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	
1	Stabilitas (kg)	1204,47	1142,60	1101,41	1128,20	1375,43	800
2	Flow (mm)	2,67	3,37	3,23	3,37	3,40	2-4
3	MQ (kg/m ³)	420,61	337,98	341,73	339,69	417,81	250
4	Density	2,61	2,60	2,58	2,58	2,60	-

No.	Karakteristik Campuran	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi Bina Marga 2018
		5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	
5	VIM (%)	3,70	3,26	3,08	1,88	0,54	3-5
6	VMA (%)	16,47	17,26	18,24	18,37	18,39	15
7	VFA (%)	77,59	81,15	83,13	89,83	97,07	65

Untuk melihat lebih jelas hasil pengujian parameter *Marshall* dapat dilihat pada Lampiran C Tabel 28 Halaman 72. Hasil pengujian *Marshall* dengan variasi kadar aspal selanjutnya digambarkan pada suatu grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall*. Grafik hubungan antara kadar aspal dengan parameter *Marshall* untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Lampiran A Gambar 4.12 halaman 65. Gambar 4.2 dibawah ini menunjukkan hasil kadar aspal optimum.



Selanjutnya dianalisa untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO), KAO yang diperoleh adalah sebesar 5,46% yang memenuhi persyaratan parameter *Marshall* untuk campuran aspal beton (AC-WC). Dari hasil pengujian *Marshall* tersebut maka diperoleh nilai KAO yang akan dijadikan sebagai acuan pada pembuatan benda uji dengan menggunakan variasi substitusi HDPE pada

aspal dan *fly ash* batubara pada *filler* sesuai dengan persentase yang telah direncanakan sebelumnya.

4.1.5 Pengujian *Marshall* dengan Variasi Substitusi HDPE Pada Aspal dan *Fly ash* Batubara Pada *Filler*

Hasil pengujian *Marshall* menghasilkan parameter-parameter *Marshall* yaitu: Density, VIM, stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Dari analisis hasil pengujian *Marshall*, KAO yang diperoleh adalah sebesar 5,46%. Selanjutnya KAO yang diperoleh digunakan untuk membuat benda uji terhadap variasi persentase substitusi HDPE pada aspal sebesar 0%, 6%, 8% dan 10%. Hasil pengujian parameter *Marshall* untuk variasi persentase kadar HDPE dapat dilihat pada Lampiran C Tabel 4.29 halaman 83.

Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dengan variasi persentase kadar HDPE disajikan pada Tabel 4.5 di bawah ini :

Tabel 4.5 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* Dengan Variasi Substitusi HDPE

No.	Kadar aspal (%)	Karakteristik Campuran	Kadar HDPE				Spesifikasi Bina Marga 2018
			0%	6%	8%	10%	
1	5,46	Stabilitas (kg)	1297,66	1345,00	1426,33	972,97	1000
2		Flow (mm)	3,67	2,83	2,73	2,33	2-3
3		MQ (kg/m ³)	370,90	511,42	537,99	420,50	250
4		Density	2,594	2,594	2,593	2,569	-
5		VIM (%)	3,38	3,38	3,43	4,32	3-5
6		VMA (%)	17,26	17,26	17,30	18,06	15
7		VFA (%)	80,44	80,44	80,30	76,28	65

Dari hasil nilai parameter *Marshall* tersebut dapat dilihat bahwa benda uji terbaik ada pada 8% substitusi HDPE pada aspal, pada kadar tersebut semua parameter pada pengujian *Marshall* terpenuhi dan memiliki nilai stabilitas terbaik sebelum terjadinya penurunan stabilitas pada kadar substitusi 10%, hal ini dapat disebabkan oleh benda uji pada 10% lebih kaku ditunjukkan oleh parameter flow yang lebih rendah. Setelah mendapatkan hasil pengujian substitusi HDPE pada aspal terbaik selanjutnya persentase HDPE terbaik yaitu 8% dari KAO 5,56%

digunakan untuk membuat benda uji terhadap variasi persentase substitusi *fly ash* batubara pada *filler* sebesar 50%, 75% dan 100%. Hasil pengujian parameter *Marshall* untuk variasi persentase kadar *fly ash* batubara dapat dilihat pada Lampiran C Tabel 4.30 halaman 85.

Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dengan variasi persentase substitusi *fly ash* batubara pada *filler* disajikan pada Tabel 4.6 di bawah ini :

Tabel 4.6 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* Substitusi HDPE dengan Variasi *fly ash*

No.	Kadar aspal (%)	Kadar HDPE	Karakteristik Campuran	Kadar <i>Fly ash</i> Batubara				Spesifikasi Bina Marga 2018
				0%	50%	75%	100%	
1	5,46%	8%	Stabilitas (kg)	1297,66	1439,04	1516,97	1680,93	1000
2			Flow (mm)	3,67	2,87	2,77	2,47	2-3
3			MQ (kg/m ³)	370,90	510,14	549,30	684,05	250
4			Density	2,594	2,608	2,610	2,610	-
5			VIM (%)	3,38	3,31	3,25	3,23	3-5
6			VMA (%)	17,26	16,81	16,77	16,75	15
7			VFA (%)	80,44	80,35	80,60	80,70	65

Dari hasil nilai parameter *Marshall* tersebut dapat dilihat bahwa benda uji terbaik ada pada 8% substitusi HDPE pada aspal dengan menggunakan *filler* 100% *fly ash* batubara sebagai *filler* pada kadar tersebut semua parameter pada pengujian *Marshall* terpenuhi dan memiliki nilai stabilitas terbaik. Hal ini dapat diakibatkan oleh substitusi *filler* sehingga membuat nilai VIM pada 100% menjadi kecil.

4.1.6 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Variasi Rendaman untuk Mendapatkan Nilai Durabilitas

Hasil pengujian parameter *Marshall* untuk campuran AC-WC dengan variasi lama perendaman dengan rendaman air bersih, air laut, dan air sungai pada kadar aspal optimum (KAO) 5,46% dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara sebanyak 100% disajikan pada sub bab ini.

- a. Perendaman 24 jam untuk campuran AC-WC pada kadar aspal optimum (KAO) 5,46% (dengan menggunakan substitusi HDPE 8% dan substitusi *filler fly ash* batubara) dengan rendaman air biasa, air laut, dan air sungai pada suhu ruangan.

Hasil pengujian dan perhitungan parameter *Marshall* campuran AC-WC dengan penggunaan substitusi HDPE dan *filler fly ash* batubara untuk variasi perendaman 24 jam dengan suhu ruangan pada rendaman air biasa, air laut, dan air sungai lebih lengkapnya disajikan pada Lampiran C Tabel 4.40. Untuk rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* disajikan pada Tabel 4.32 halaman 89.

Tabel 4.7 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* terhadap Rendaman Air Biasa, Air Laut dan Air sungai (24 Jam)

No.	Kadar aspal	Kadar HDPE	Kadar FA batubara	Karakteristik Campuran	Jenis Air Perendaman			Spesifikasi Bina Marga 2018
					Air Biasa	Air Laut	Air Sungai	
1	5,46%	8%	100%	Stabilitas (kg)	1659,77	1304,09	1429,00	1000
2				Flow (mm)	2,77	2,10	2,33	2-3
3				MQ (kg/m ³)	601,59	624,26	614,56	250
4				Density	2,610	2,610	2,609	-
5				VIM (%)	3,24	3,25	3,26	3-5
6				VMA (%)	16,76	16,76	16,77	15
7				VFA (%)	80,65	80,62	80,56	65

- b. Perendaman 30 menit untuk campuran AC-WC pada kadar aspal optimum (KAO) 5,46% (dengan menggunakan substitusi HDPE 8% dan substitusi *filler fly ash* batubara) dengan rendaman air biasa, air laut, dan air sungai pada suhu ruangan.

Hasil pengujian dan perhitungan parameter *Marshall* campuran AC-WC dengan penggunaan substitusi HDPE dan *filler fly ash* batubara untuk variasi perendaman 30 menit dengan suhu ruangan pada rendaman air biasa, air laut, dan air sungai lebih lengkapnya disajikan pada Lampiran C Tabel 4.31 halaman 87. Untuk rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* disajikan pada Tabel 4.8

Tabel 4.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* terhadap Rendaman Air Biasa, Air Laut dan Air sungai (30 menit)

No.	Kadar aspal	Kadar HDPE	Kadar FA batubara	Karakteristik Campuran	Jenis Air Perendaman			Spesifikasi Bina Marga 2018
					Air Biasa	Air Laut	Air Sungai	
1	5,46%	8%	100%	Stabilitas (kg)	1699,58	1382,51	1480,80	1000
2				Flow (mm)	2,70	2,13	2,30	2-3
3				MQ (kg/m ³)	634,08	649,59	644,67	250
4				Density	2,610	2,610	2,610	-
5				VIM (%)	3,25	3,23	3,24	3-5
6				VMA (%)	16,77	16,74	16,75	15
7				VFA (%)	80,60	80,71	80,68	65

4.1.7 Nilai Durabilitas

Hasil perhitungan durabilitas berdasarkan variasi waktu perendaman dengan penggunaan substitusi HDPE pada aspal dan *filler fly ash* batubara rendaman air biasa, air laut dan air sungai seperti diperlihatkan pada Tabel 4.9 berikut ini :

Tabel 4.9 Nilai Durabilitas untuk Rendaman Air Biasa, Air Laut dan Air sungai

Kadar Aspal Optimum	Kadar HDPE	Kadar FA Batubara	Variasi Rendaman	Stabilitas Rendaman 30 Menit (Kg)	Stabilitas Rendaman 24 Jam (Kg)	Nilai Durabilitas (%)	Spesifikasi Bina Marga 2018
b	b1	b2	c	d	e	f = e/d	
5,46%	8,00%	100%	Air Biasa	1699,58	1659,77	97,66%	>90%
			Air Laut	1382,51	1304,09	94,33%	
			Air Sungai	1480,80	1429,00	96,50%	

4.1.8 Analisa Regresi

Dari hasil pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal tersebut kemudian diplot pada sumbu salib dengan koordinat kadar aspal (sumbu x) dan salah satu parameter Marshall (sumbu y). Rekapitulasi nilai regresi pada masing-masing parameter Marshall dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut ini.

Tabel 4.10 Rekapitulasi Analisis Regresi

No.	Karakteristik Campuran	Persamaan Regresi	Koefisien Determinasi
1	Stabilitas (kg)	$y = 196,05x^2 - 2287,1x + 7757,2$	$R^2 = 0,9145$
2	Flow (mm)	$y = -0,3046x^2 + 3,9505x - 9,3724$	$R^2 = 0,7781$
3	MQ (kg/m ³)	$y = 90,203x^2 - 1083,2x - 3578,4$	$R^2 = 0,9397$
4	Desnity	$y = 0,0242x^2 - 0,2963x + 3,4849$	$R^2 = 0,8655$
5	VIM (%)	$y = -0,8046x^2 + 8,1137x - 16,825$	$R^2 = 0,9878$
6	VMA (%)	$y = -0,6803x^2 + 9,1518x - 12,335$	$R^2 = 0,9805$
7	VFA (%)	$y = 3,4516x^2 - 31,889x + 151,11$	$R^2 = 0,9916$

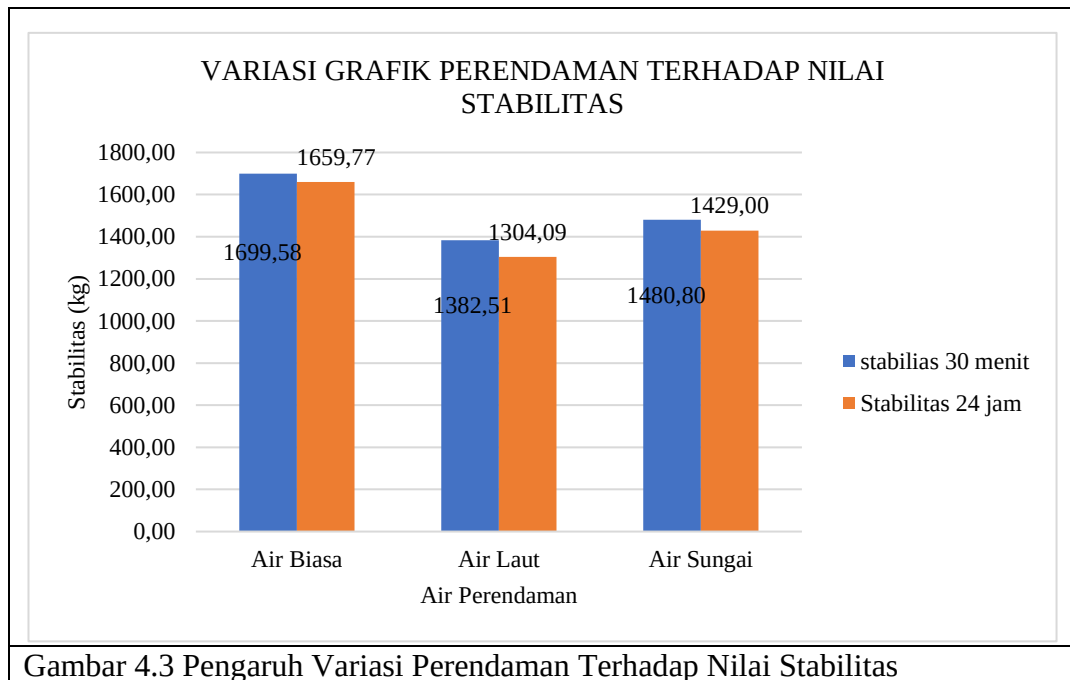
Untuk mempermudah perhitungan analisa regresi tersebut, maka dilakukan dengan menggunakan software Microsoft Excel. Gambar analisa regresi dapat dilihat pada Lampiran A Gambar 3.9. Halaman 63.

4.2 Pembahasan

Hal-hal yang dibahas pada sub bab ini sesuai dengan hasil yang diperoleh dari penelitian dan hasil pengolahan data berupa tinjauan pengaruh substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC pada kadar aspal optimum.

4.2.1 Tinjauan Terhadap Nilai Stabilitas

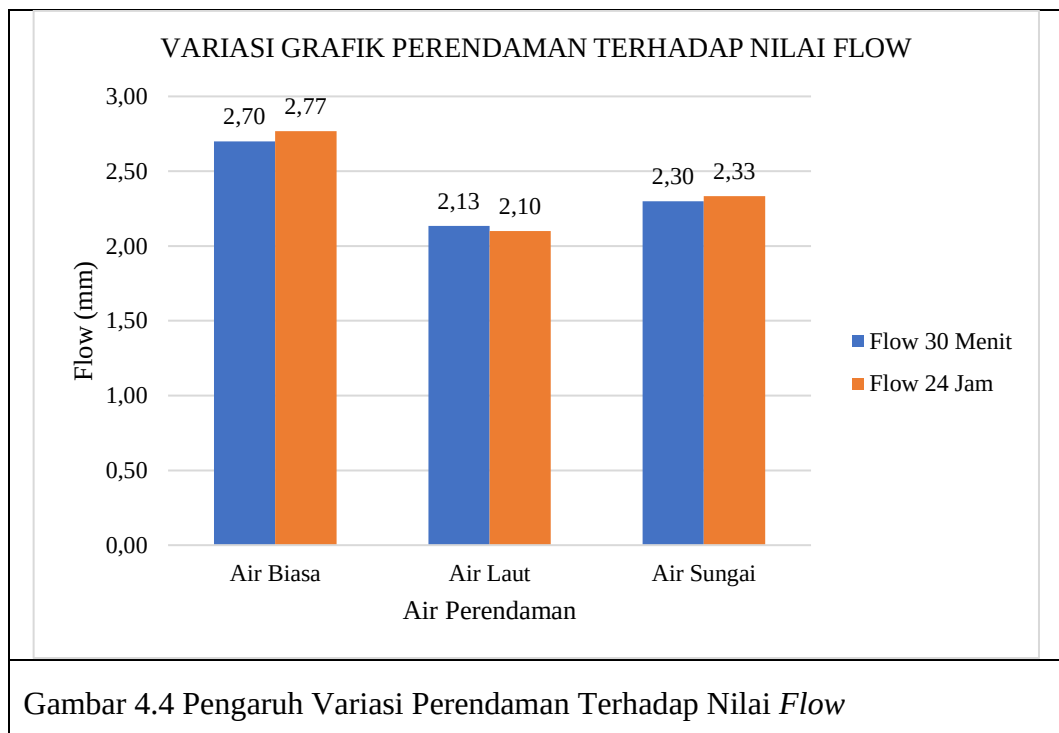
Nilai stabilitas campuran menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai diperlihatkan pada Gambar 4.3. Variasi perendaman mengidentifikasi bahwa terjadi peningkatan dan penurunan pada nilai stabilitas campuran dengan substitusi HDPE dan *filler fly ash* batubara yang dipengaruhi oleh lama waktu perendaman.



Gambar 4.3 menunjukkan pengaruh lama perendaman dan variasi air perendaman. Pada perendaman air laut menjadi stabilitas paling rendah dikarenakan sifat air laut yang agresif dan sangat merusak sehingga semakin lama terjadi rendaman maka semakin lemah nilai stabilitas campuran aspal. Dari hasil yang didapat terlihat substitusi HDPE 8% dan *fly ash* Batubara 100% sangat berpengaruh terhadap stabilitas sehingga nilai stabilitas dari campuran AC-WC tersebut masih memenuhi standar Bina Marga 2018 Revisi I (2019) yaitu untuk aspal modifikasi sebesar 1000 kg.

4.2.2 Tinjauan Terhadap Nilai Kelelehan Plastis (*Flow*)

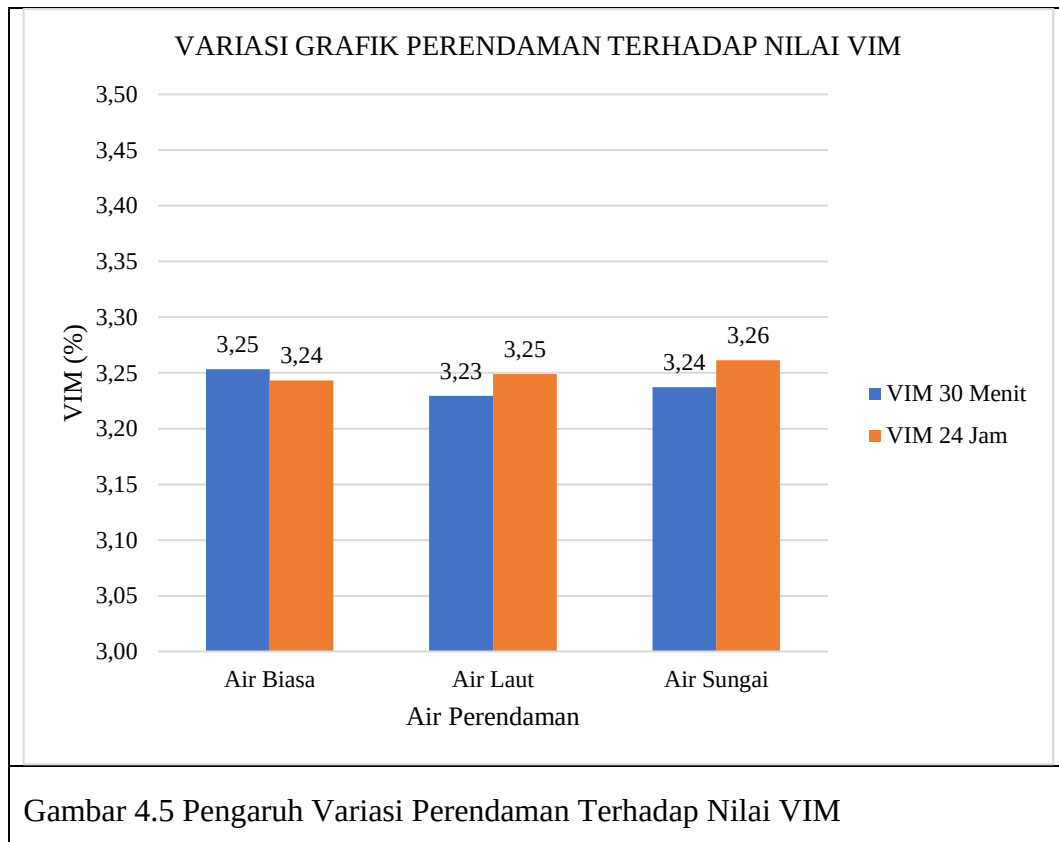
Nilai *flow* merupakan indikator kelenturan campuran dalam menahan beban lalu lintas. Nilai *flow* campuran aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai diperlihatkan pada Gambar 4.4 berikut:



Gambar 4.4 menunjukkan hasil dari pengujian *flow* pada variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai menunjukkan nilai *flow* terendah terjadi pada perendaman air laut selama 24 jam. Hal ini menunjukkan semakin lama campuran aspal direndam air laut maka semakin rendah nilai *flow* mengakibatkan semakin kaku campuran aspal tersebut, sedangkan semakin tinggi nilai *flow* maka akan menghasilkan perkerasan yang plastis sehingga perkerasan tersebut semakin mudah mengalami perubahan bentuk. Nilai *flow* pada setiap variasi memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I (2019) sebesar 2-3 mm

4.2.3 Tinjauan Terhadap Nilai *Void In Mix* (VIM)

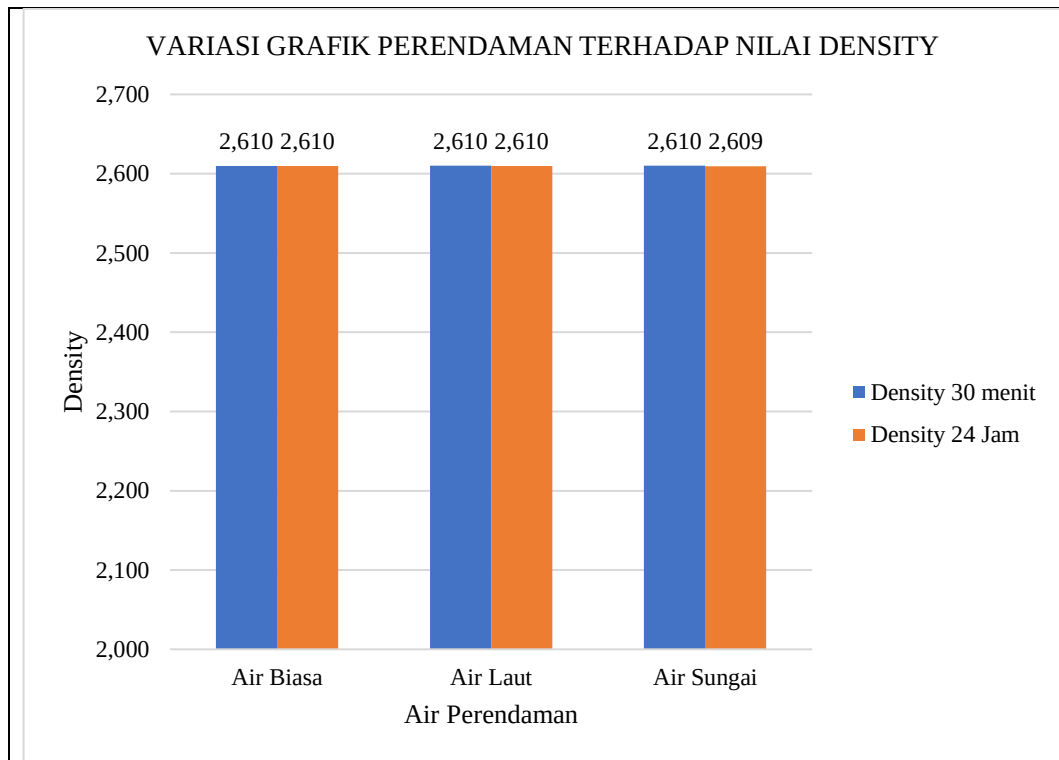
Nilai *Void in Mix* (VIM) menunjukkan banyak persentase rongga dalam campuran, yang dinyatakan dalam persen. Nilai VIM semakin kecil tergantung kemampuan aspal dalam mengisi rongga dalam campuran. Nilai VIM campuran aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai diperlihatkan pada gambar 4.5 sebagai berikut:



Berdasarkan gambar 4.5 menunjukkan bahwa nilai VIM pada setiap variasi perendaman memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I (2019) yakni sebesar 3-5%. Dapat dilihat jika VIM campuran aspal dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% memiliki VIM yang bagus.

4.2.4 Tinjauan Terhadap Nilai *Density*

Nilai *density* merupakan perbandingan antara berat kering dengan volume benda uji campuran. Nilai *density* menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Nilai *density* campuran aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai diperlihatkan pada gambar 4.6 sebagai berikut:

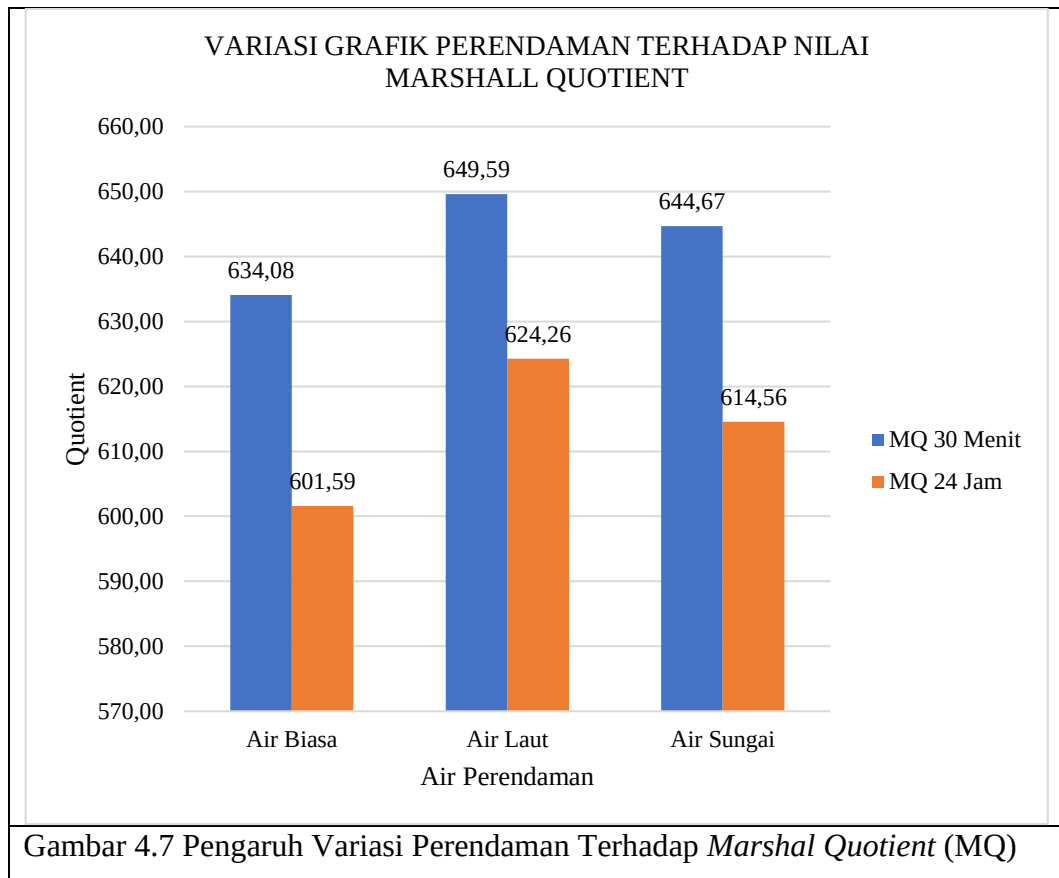


Gambar 4.6 Pengaruh Variasi Perendaman Terhadap Nilai Density

Berdasarkan gambar 4.6 nilai *density* terlihat stabil menunjukkan terjadinya pemadatan yang baik sehingga tercipta ikatan yang baik yang menyebabkan peningkatan pada ketahanan terhadap beban yang bekerja. Dari hasil perhitungan nilai *density* yang di dapat telah memenuhi syarat yaitu $\geq 2t/m^3$.

4.2.5 Tinjauan Terhadap Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

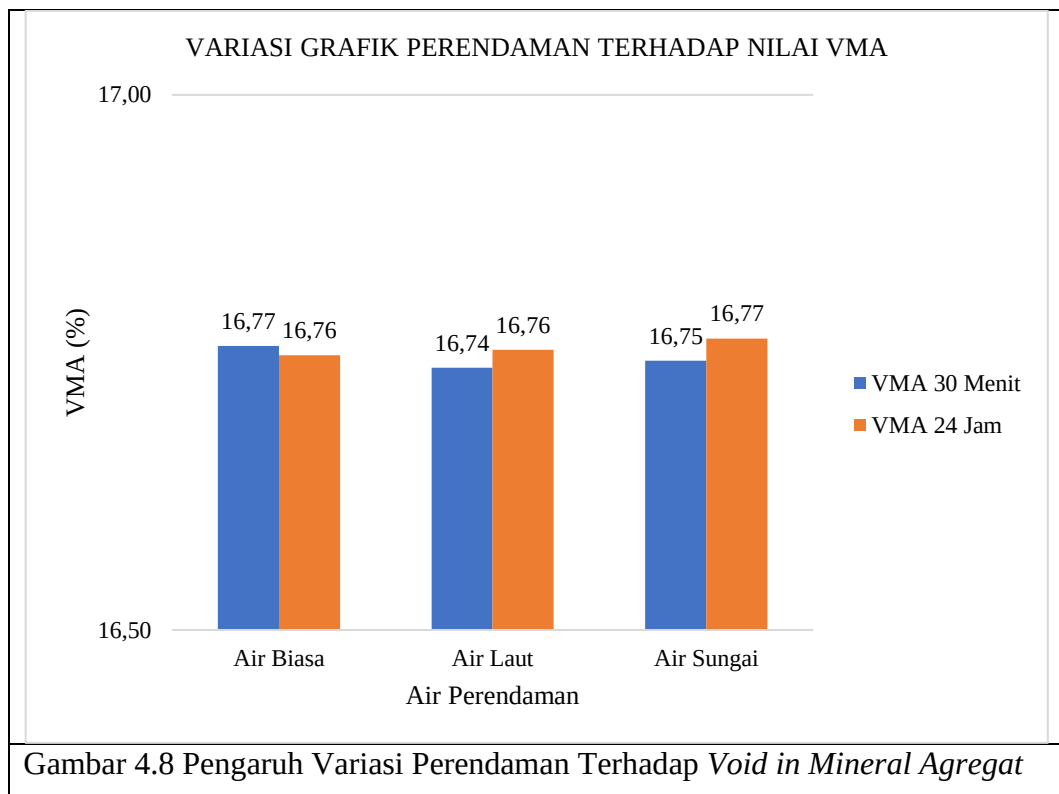
Nilai *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow* yang mengindikasikan terhadap kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran. Campuran yang memiliki nilai *Marshall Quotient* tinggi, menunjukkan bahwa lapisan tersebut bersifat kaku dan kurang lentur. Sedangkan apabila nilainya lebih rendah maka campuran beton aspal cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas. Nilai *Marshall Quotient* campuran aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai diperlihatkan pada Gambar 4.7 sebagai berikut:



Berdasarkan gambar 4.7 semakin besar nilai MQ dari suatu campuran maka campuran tersebut cenderung memiliki fleksibilitas rendah (kaku), karena nilai MQ merupakan pendekatan terhadap kekakuan dan kelenturan dari suatu campuran aspal. Persyaratan nilai MQ menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I (2019) yaitu minimal 250 kg/mm semua campuran aspal tersebut telah memenuhi spesifikasi.

4.2.6 Tinjauan Terhadap Nilai *Void in Mineral Agregat* (VMA)

Nilai *void in mineral agregat* (VMA) pada campuran aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.8 sebagai berikut:

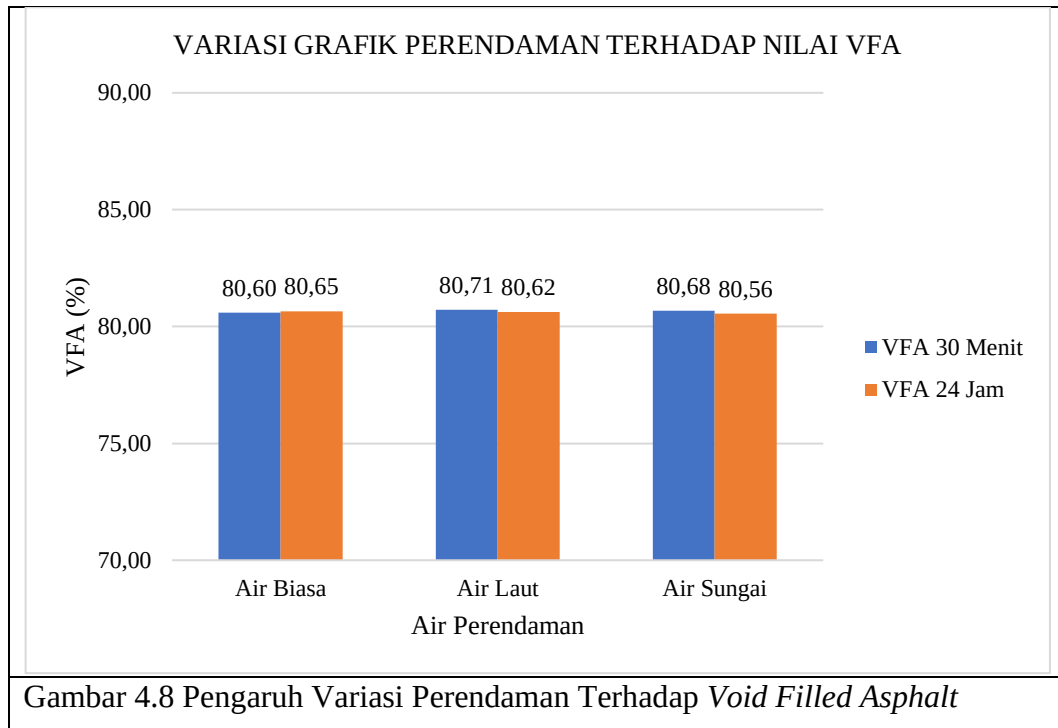


Bila campuran mempunyai nilai VMA yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat tersebut terbatas dan mengakibatkan selimut aspal yang tipis sehingga berpengaruh terhadap keawetan dan fleksibilitas campuran. Nilai VMA pada campuran aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai telah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I (2019) yaitu harus lebih besar dari 15%.

4.2.7 Tinjauan Terhadap Nilai *Void Filled Asphalt* (VFA)

Besarnya nilai VFA sangat menentukan keawetan suatu campuran beton aspal, semakin besar nilai VFA menjadikan nilai VIM semakin kecil, karena semakin banyak rongga dalam campuran yang dapat terisi oleh aspal, sehingga campuran beton aspal akan semakin awet. Pada penelitian ini menentukan keawetan campuran tidak hanya melihat nilai VFA namun dilihat juga dari nilai stabilitas dan durabilitas pada campuran aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap variasi perendaman

air biasa, air laut dan air sungai. Nilai VFA penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.9 berikut ini:



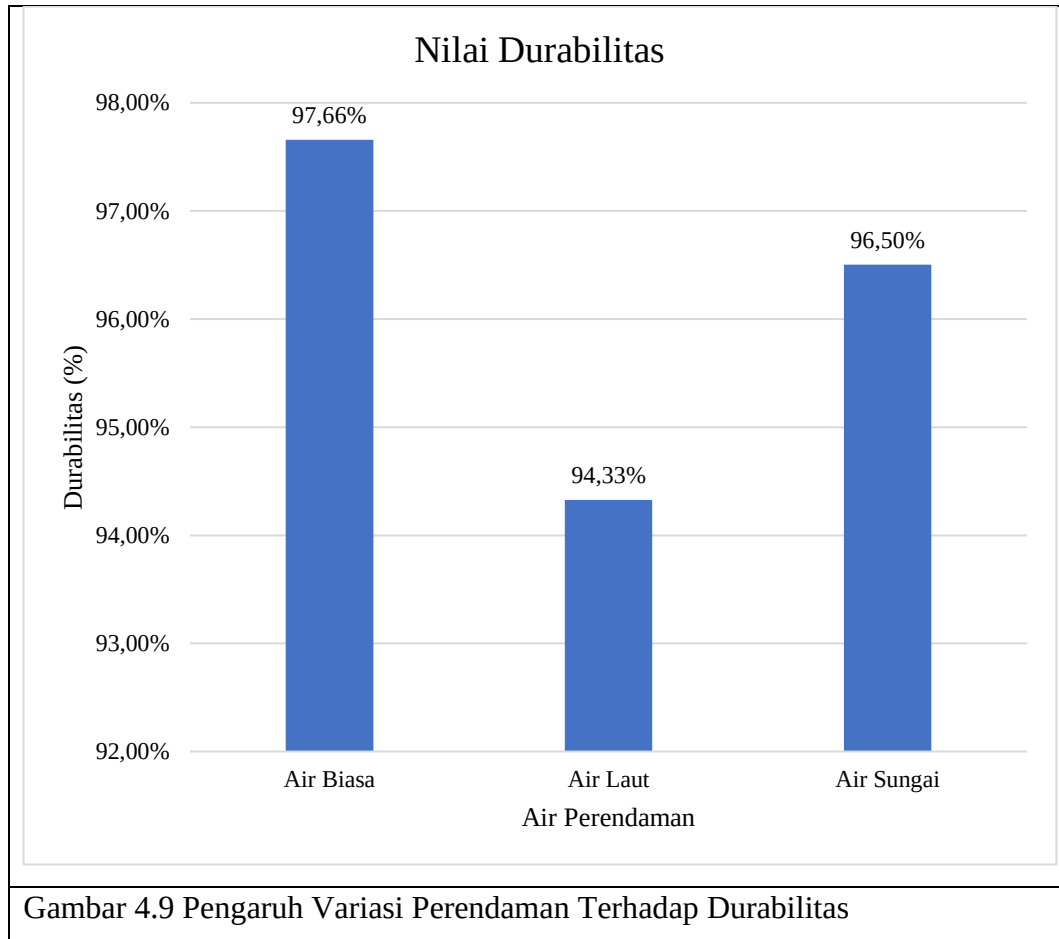
Gambar 4.8 Pengaruh Variasi Perendaman Terhadap *Void Filled Asphalt*

Berdasarkan gambar 4.8 memperlihatkan nilai VFA pada campuran aspal dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terlihat stabil baik pada perendaman 30 menit maupun perendaman 24 jam. Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I (2019) menyatakan nilai VFA harus $\geq 65\%$, sehingga dapat dilihat bahwa nilai VFA pada aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE dan *filler fly ash* batubara terhadap variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai memenuhi persyaratan.

4.2.8 Tinjauan Terhadap Nilai Durabilitas

Pengujian perendaman *Marshall (Marshall immersion)* untuk memperoleh kekuatan suatu campuran aspal terhadap kerusakan akibat pengaruh perendaman air biasa, air laut dan air sungai dengan melihat dari persentase indeks durabilitas campuran sebagai parameter yang diperoleh setelah melakukan pengujian. Nilai ini merupakan indikator untuk menentukan besaran nilai penurunan durabilitas campuran aspal pada variasi perendaman. Nilai durabilitas campuran

aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan substitusi HDPE 8% dan *filler fly ash* batubara 100% terhadap variasi perendaman air biasa, air laut dan air sungai seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.9.



Dari Gambar 4.9 terlihat bahwa durabilitas dari masing-masing variasi rendaman memiliki hasil yang berbeda, pada nilai durabilitas tertinggi terhadap rendaman air biasa yaitu 97,66%. Sementara rendaman air laut merupakan nilai durabilitas terendah sebesar 94,33%. Dari hasil durabilitas tersebut dapat dilihat substitusi HDPE pada aspal dengan menggunakan *filler fly ash* batubara bekerja dengan sangat baik sehingga membuat nilai durabilitas yang tinggi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian, pengolahan data dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan dan saran dari penelitian ini, antara lain:

5.1 Kesimpulan

1. Adapun Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh dari campuran aspal AC-WC adalah 5,46%, dimana dengan kadar HDPE 8% dan *fly ash* batubara 100% nilai stabilitas pada adalah 1680,93 kg, nilai *density* 2,610 gr/cm³, nilai *flow* 2,47 mm, nilai VIM 3,23%, nilai VFA 80,70%, nilai VMA 16,75%, dan nilai MQ 684,05 kg/mm yang sudah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I (2019).
2. Substitusi HDPE pada aspal dengan *filler fly ash* batubara dapat digunakan sebagai campuran aspal beton pada lapisan AC-WC.
3. Nilai durabilitas pada perendaman air biasa, air laut dan air biasa memenuhi Spesifikasi yang telah ditentukan $\geq 90\%$, yaitu untuk air biasa 97,66%, air laut 94,33% dan air sungai 96,50%. Dari hasil durabilitas tersebut dapat dilihat substitusi HDPE pada aspal dengan menggunakan *filler fly ash* batubara bekerja dengan sangat baik sehingga membuat nilai durabilitas yang tinggi.

5.2 Saran

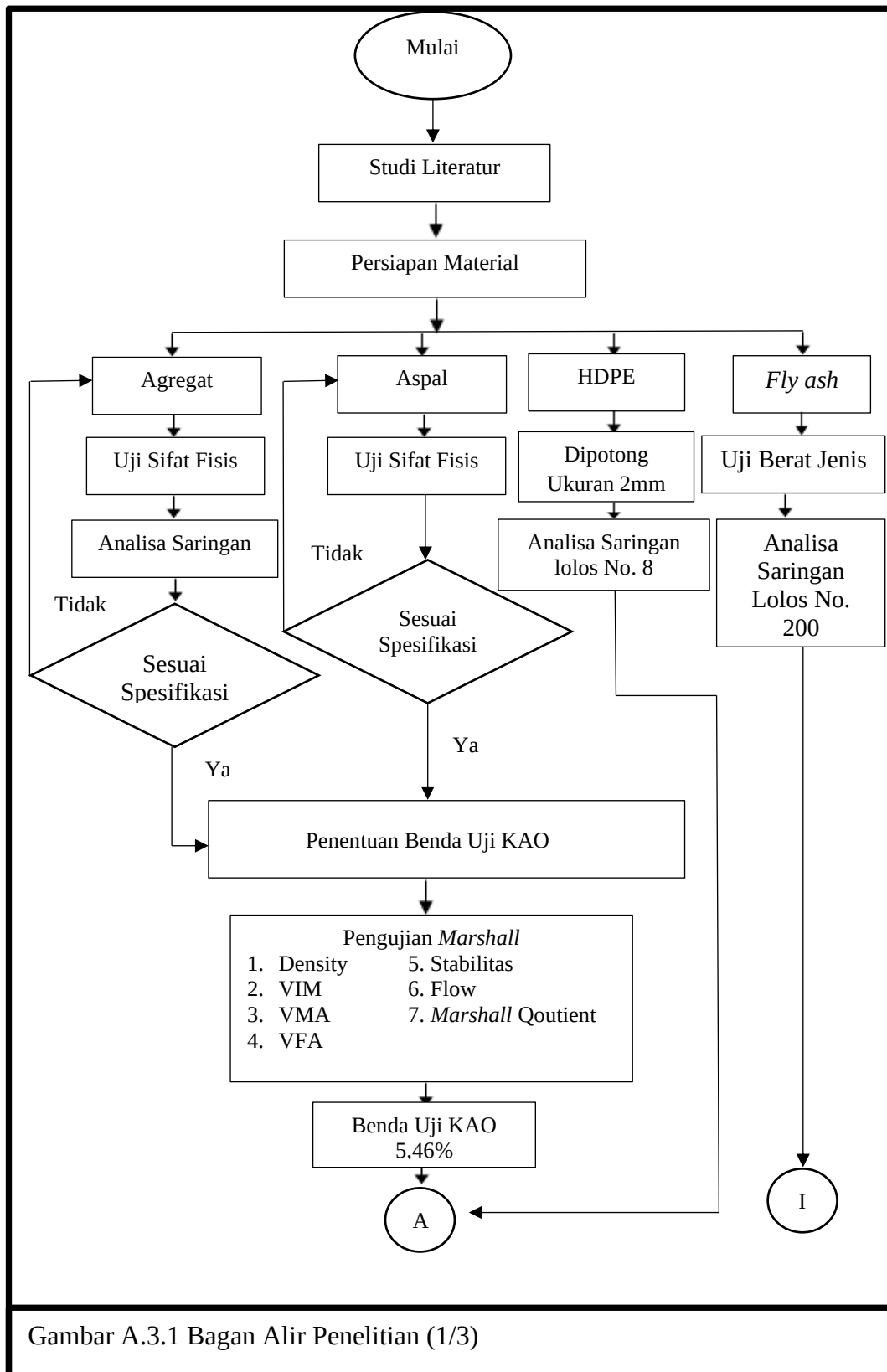
1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan penggunaan pada HDPE jenis lainnya dengan kadar substitusi dibawah 10%
2. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menambahkan variasi waktu perendaman.

DAFTAR PUSTAKA

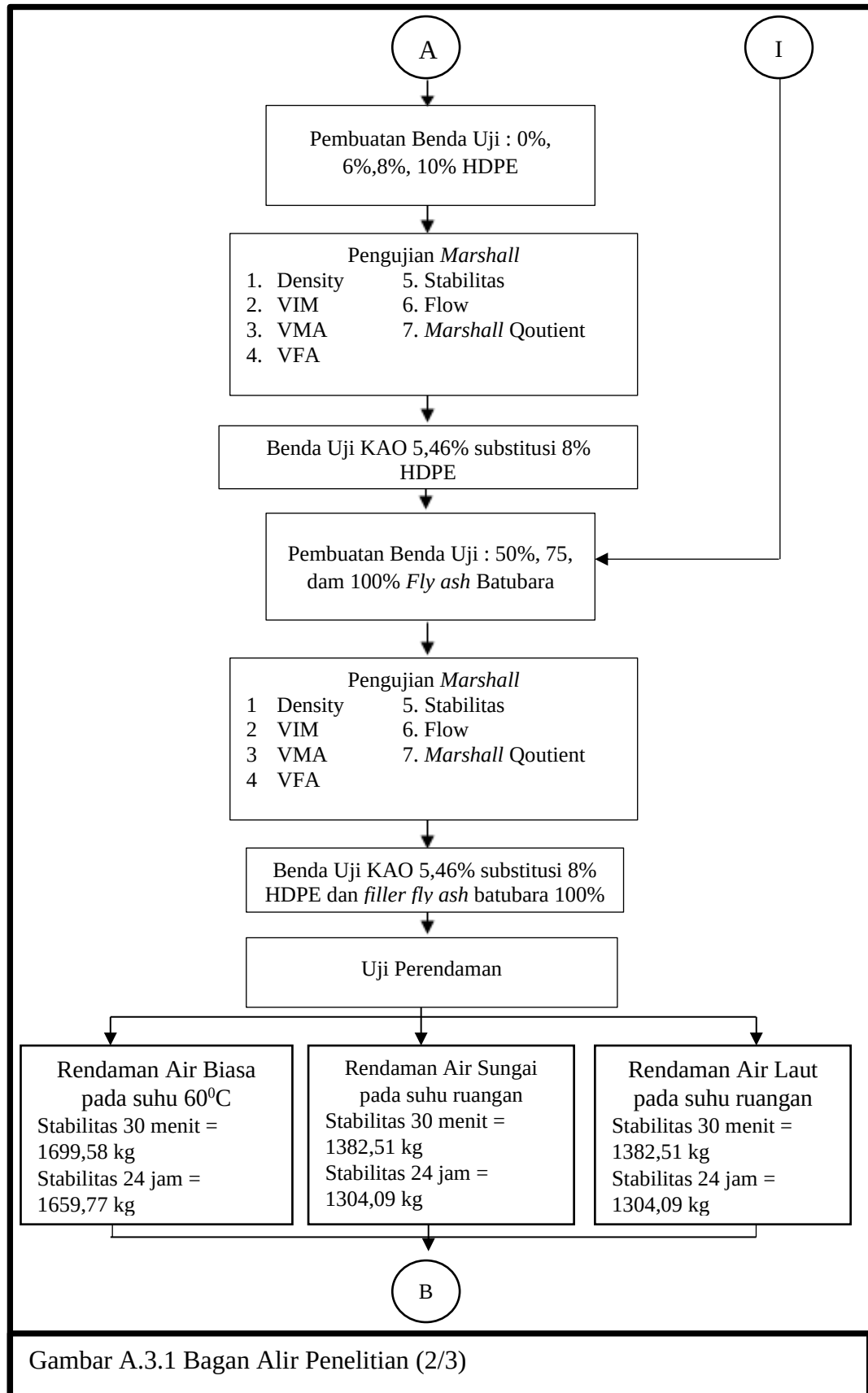
- Abdullah, Z. Z., Wesli, W., & Akbar, S. J. (2017). Penggunaan Abu Batu Bara Sebagai *Filler* Pada Campuran Aspal Beton AC-BC. *Teras Jurnal*, 6(2), 121–130.
- Bukhari, R. A. (2007). Rekayasa bahan dan tebal perkerasan jalan raya. *Bidang Studi Teknik Transportasi Fakultas Teknik Unsyiah, Banda Aceh*.
- Hunter, R. N. (1994). *Bituminous mixtures in road construction*. Thomas Telford.
- Muaya, G. S., Kaseke, O. H., & Manoppo, M. R. E. (2015). Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal oleh Air Laut yang Ditinjau Terhadap Karakteristik *Marshall*. *Jurnal Sipil Statik*, 3(8).
- Rachman, F., Syammaun, T., & 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), 23–33.
- Rahmawati, A. (2015). Pengaruh penggunaan plastik polyethylene (PE) dan high density polyethylene (HDPE) pada campuran laston-WC terhadap karakteristik *marshall*. *Semesta Teknika*, 18(2), 147–159.
- Saleh, S. M., Anggraini, R., Agustian, K., & 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. *Prosiding Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi*.
- Santoso, I., Patrick, P., Andarias, A., & Roy, S. K. (2011). Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton. *Civil Engineering Dimension*, 5(2), 75–81.
- Siswadi. (2013). *PENGARUH JUMLAH TUMBUKAN MARSHALL TERHADAP KINERJA CAMPURAN LASTON LAPIS AUS (AC-WC)*. Universitas Teuku Umar Meulaboh.
- Spesifikasi Umum Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum 2018. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, September*.
- Suprayitno, S., Mudjanarko, S. W., Koespiadi, K., & Limantara, A. D. (2019). STUDI PENGGUNAAN VARIASI CAMPURAN MATERIAL PLASTIK JENIS HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) PADA CAMPURAN BERASPAL UNTUK LAPIS AUS AC-WC (ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE). *PADURAKSA: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 8(2), 222–233.

- Suryani, F. M., Yusuf, I., Aida, H., & Farhan, A. (2023). Coal Ash Utilization as a *Filler* in Flexible Pavement Construction. *International Conference on Experimental and Computational Mechanics in Engineering*, 215–223.
- Tarmizi, T., Saleh, S. M., & Isya, M. (2018). PENGARUH SUBSTITUSI SEMEN PORTLAND DAN *FLY ASH* Batubara PADA *FILLER* ABU BATU terhadap asPHalT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC). *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 749–760.
- Tohir, M., & Findia, F. (2020). ANALISIS PENAMBAHAN ABU CANGKANG SAWIT PADA CAMPURAN LAPIS ASPAL BETON (LASTON). *JURNAL RISET PEMBANGUNAN*, 3(1), 10–16.
- Triatmodjo, B. (2002). *Metode Numerik Beta Offset*. Yogyakarta.
- Ubay, M. R. (2018). Pengaruh Variasi Perendaman dengan Menggunakan Air Lumpur dan Air Laut Terhadap Karakteristik Beton Aspal dengan Substitusi Gondorukem. *Universitas Syiah Kuala*.

LAMPIRAN A

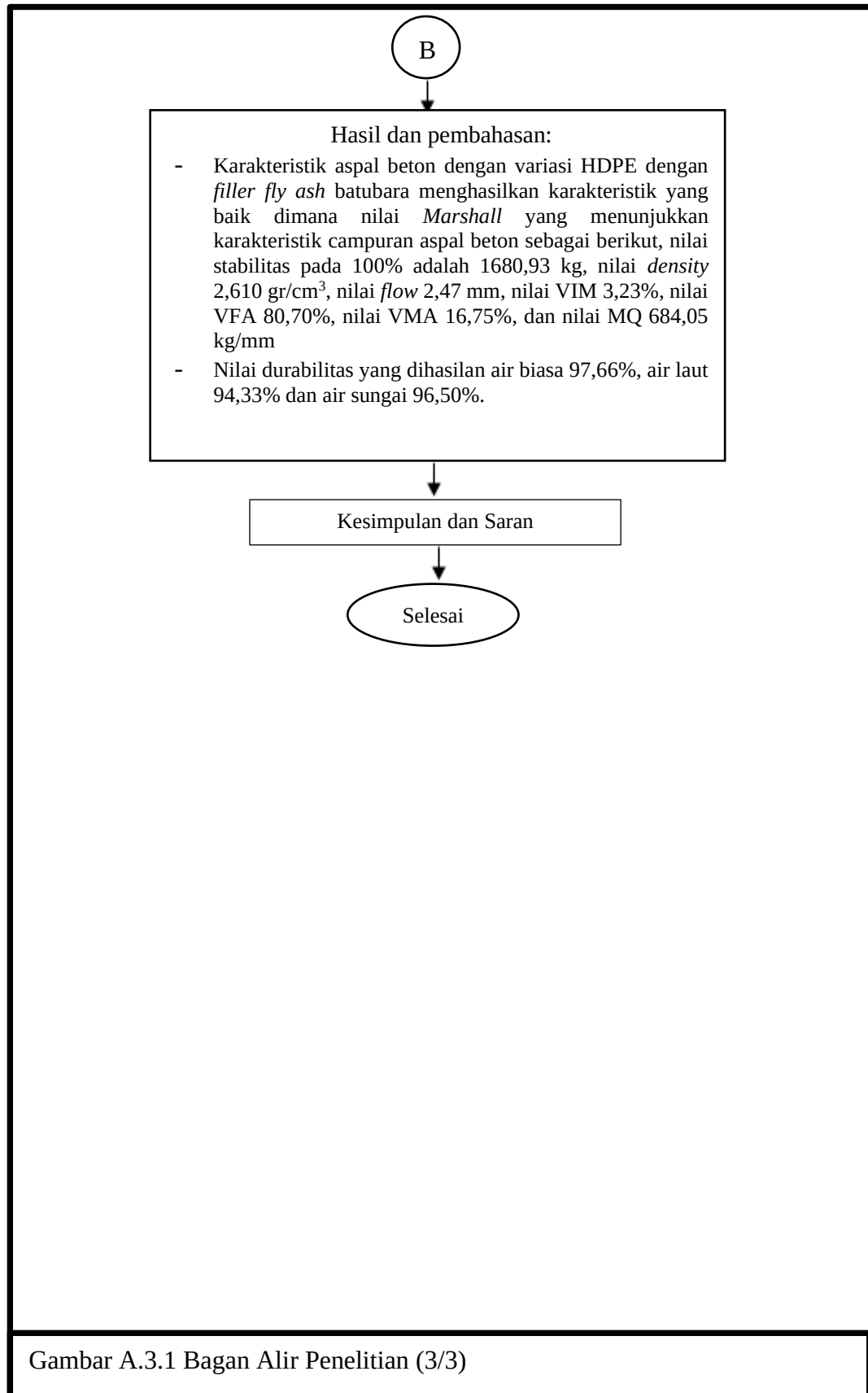


LAMPIRAN A



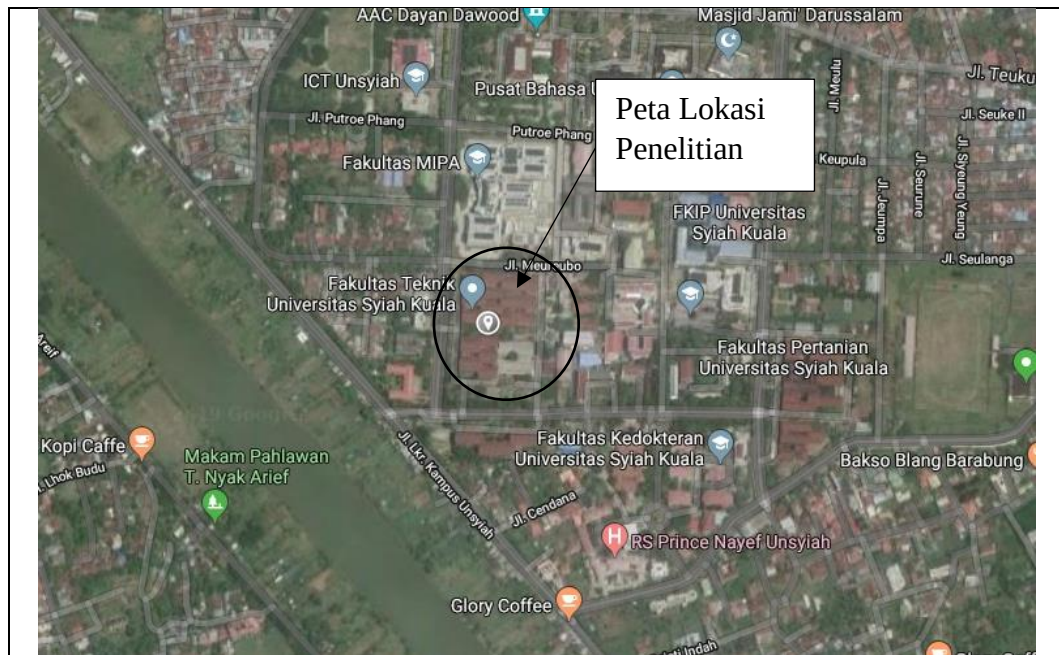
Gambar A.3.1 Bagan Alir Penelitian (2/3)

LAMPIRAN A



Sumber : www.peta-kota.blogspot.com (2022)

LAMPIRAN A



Gambar A.3.3 : Peta Lokasi Penelitian
Sumber : Google Maps (2021)



Gambar A.3.4 : Peta Lokasi Pengambilan Agregat
Sumber : Google Earth (2022)

LAMPIRAN A

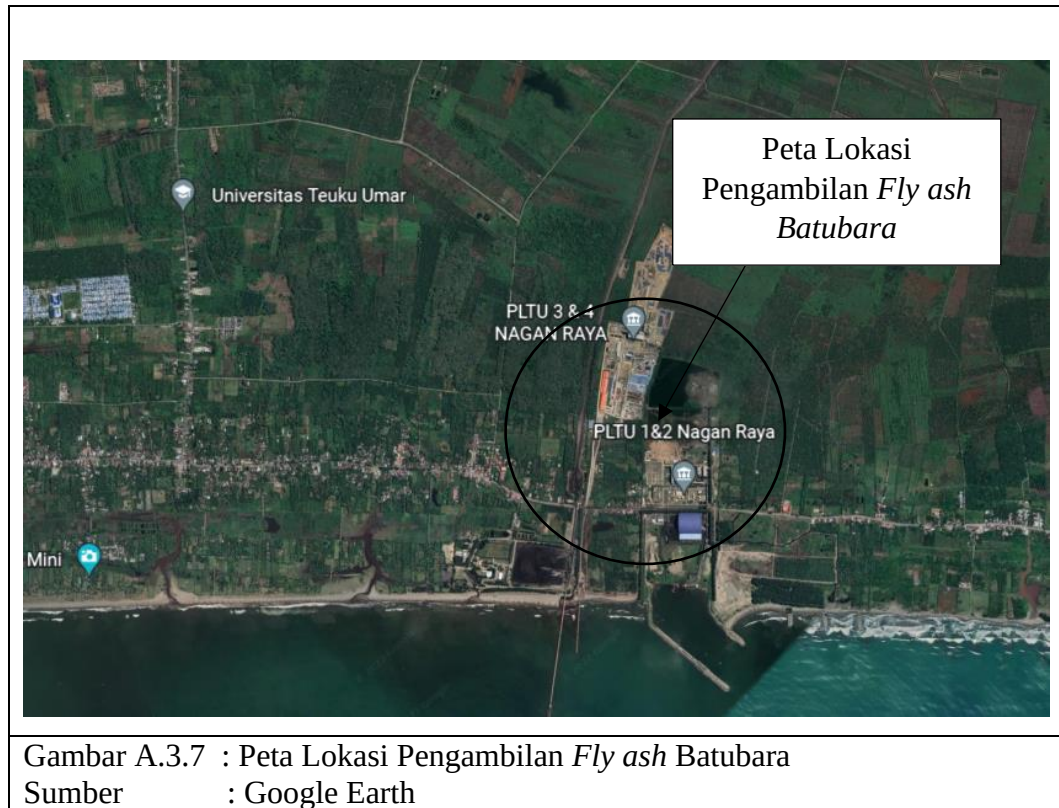


Gambar A.3.5 : Peta Lokasi Pengambilan Air Sungai (Krueng Aceh)
Sumber : Google Earth (2022)



Gambar A.3.6 : Peta Lokasi Pengambilan Air Laut (Pantai Ulee Lheue)
Sumber : Google Earth (2022)

LAMPIRAN A



LAMPIRAN A



Gambar D.4.1 : Proses Penyaringan Agregat
Sumber : Dokumentasi



Gambar D.4.2 : Proses Penyaringan *Filler Fly Ash* Batubara
Sumber : Dokumentasi

LAMPIRAN A



Gambar D.4.3 : Proses Pengambilan Air Sungai
Sumber : Dokumentasi



Gambar D.4.4 : Proses Pengambilan Air Laut
Sumber : Dokumentasi

LAMPIRAN A



Gambar D.4.5 : Benda Uji Pengujian Sifat-Sifat Fisis Aspal
Sumber : Dokumentasi

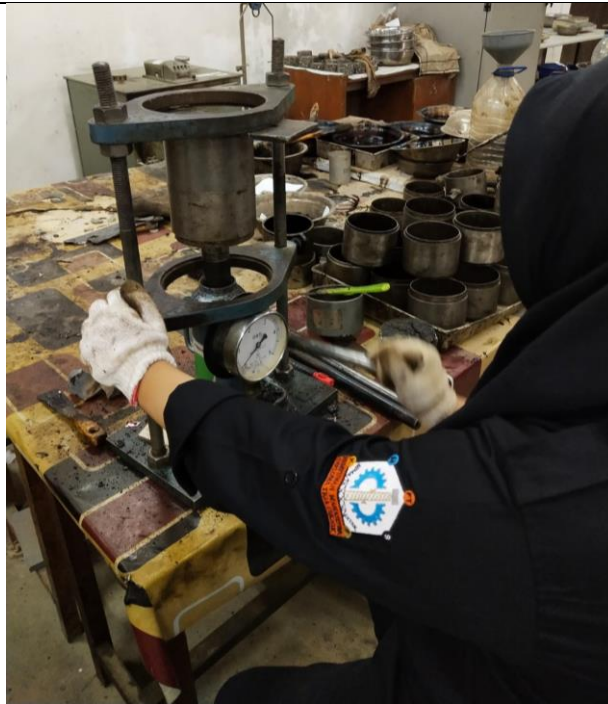


Gambar D.4.6 : Proses Pembuatan Benda Uji
Sumber : Dokumentasi

LAMPIRAN A

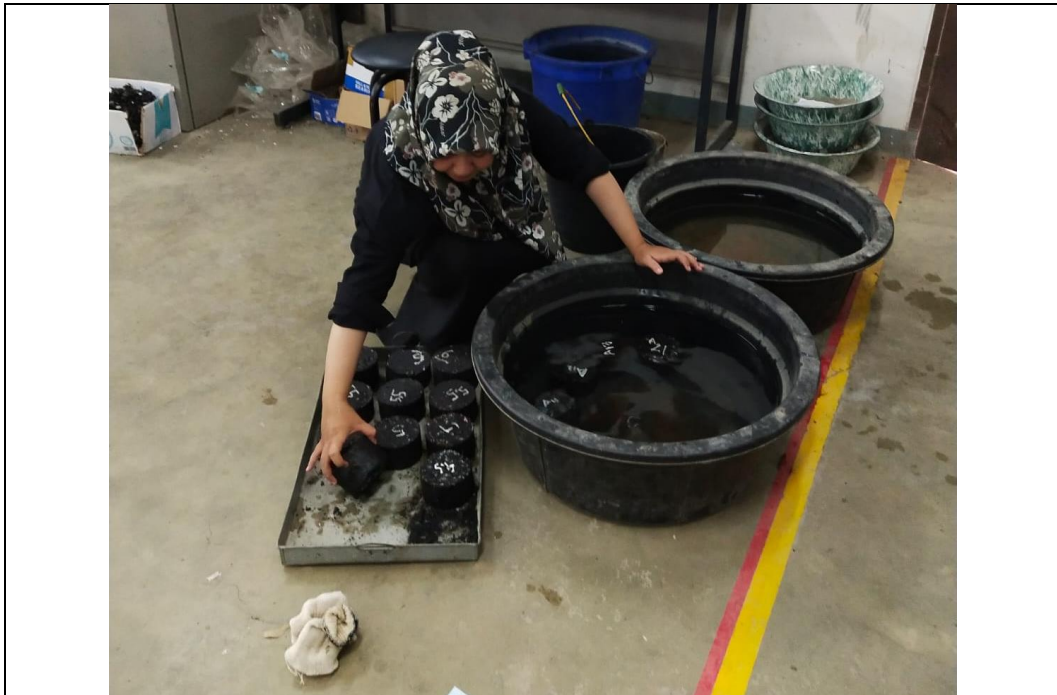


Gambar D.4.7 : Proses Pelarutan HDPE
Sumber : Dokumentasi



Gambar D.4.8 : Proses Pembukaan Benda Uji dari Mold
Sumber : Dokumentasi

LAMPIRAN A



Gambar D.4.9 : Perendaman Benda Uji *Marshall*
Sumber : Dokumentasi



Gambar D.4.10 : Pengujian *Marshall*
Sumber : Dokumentasi

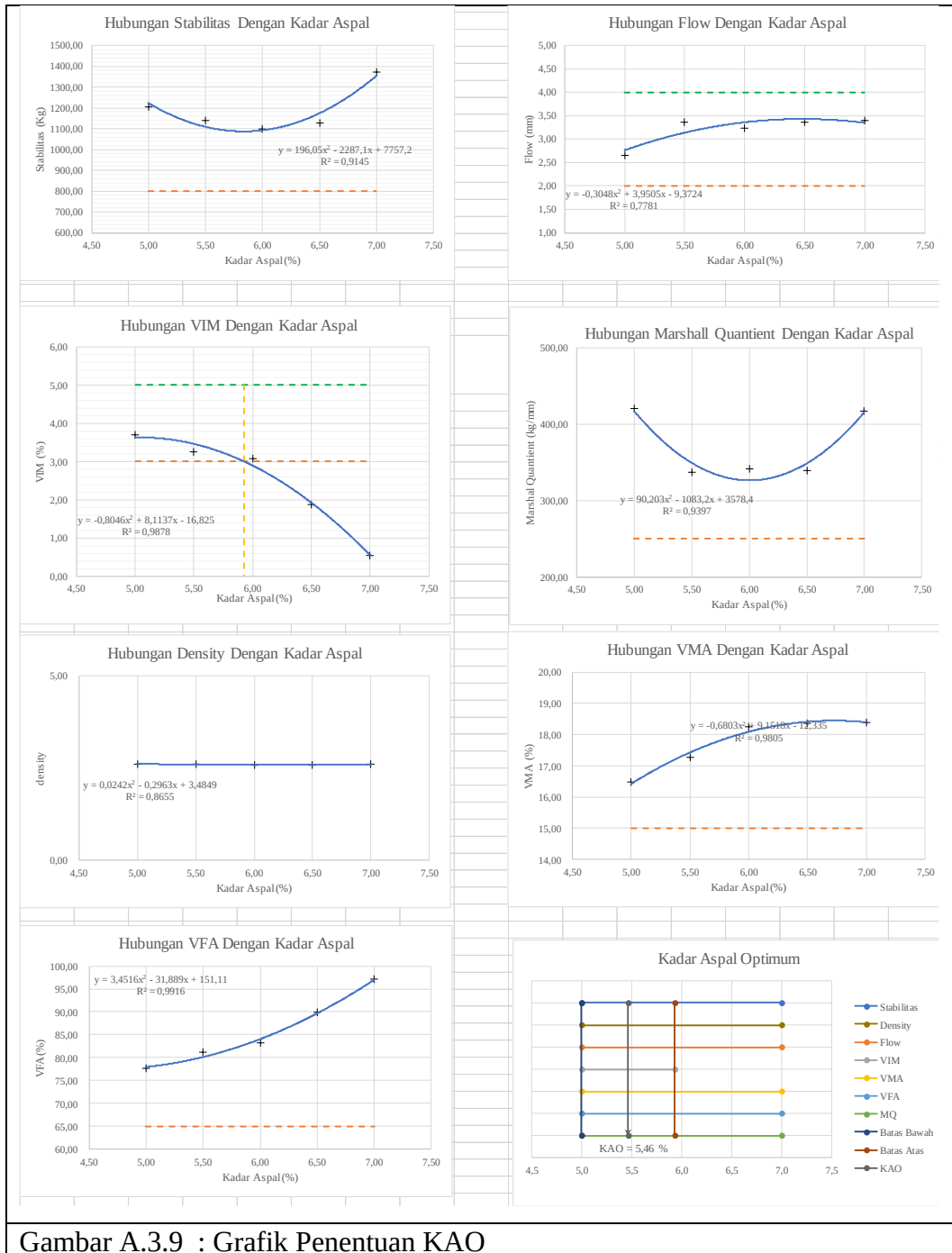
LAMPIRAN A



Gambar D.4.11 : Variasi Perendaman Durabilitas

Sumber : Dokumentasi

LAMPIRAN A



Gambar A.3.9 : Grafik Penentuan KAO

LAMPIRAN B

Tabel 4.1 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Uraian		Agregat
Berat benda uji kering oven (Bk)	(gr)	5000
Berat benda uji kering permukaan jenuh (Bj)	(gr)	5089
Berat benda uji dalam air (Ba)	(gr)	3402,3
Berat jenis (<i>bulk</i>)	$\frac{BK}{BJ - BA}$	2,964
Berat jenis kering perm. jenuh	$\frac{BJ}{BJ - BA}$	3,017
Berat jenis semu (<i>apparent</i>)	$\frac{BK}{BK - BA}$	3,129
Penyerapan (<i>absorbtion</i>)	$\frac{BJ - BK}{BK} \times 100\%$	1,78%

Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Isi Agregat

No	Uraian		Cara Pemadatan	
			Isi Lepas	Pemadatan
1	Berat cetakan (W1)	(kg)	6,659	6,659
2	Berat cetakan + Berat agregat (W2)	(kg)	11,932	12,688
3	Berat agregat (W2 – W1 = W3)	(kg)	5,273	6,029
4	Isi wadah (V)	(cm ³)	3,092	3,092
5	Berat isi Agregat = (W3/V)	(kg/cm ³)	1,705	1,950
Berat isi rata-rata			1,828 kg/cm3	

LAMPIRAN B

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Impact Agregat

No	Uraian	Percobaan ke	
		I	II
1.	Berat contoh lolos #12,5cm tertahan #10 cm + mold (A), gram	3697,5	3690,6
2.	Berat mold, (B) gram	3023,8	3023,8
3.	Berat contoh sebelum diuji (A – B), gram	673,7	666,8
4.	Berat lolos #2,36 mm (no.8), (C) gram	56,11	51,63
5.	$\text{Nilai Impact} = \frac{C}{A - B} \times 100 \quad \%$	8,329	7,743
Rata- rata		8,036 %	

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat

Gradasi Pemeriksaan		Berat Sampel (gr)
Lolos (mm)	Tertahan (mm)	
19.0	13.2	2504,7
13.2	9.5	2500,9
Jumlah Berat	(a)	5005,6
Berat Tertahan no. 12	(b)	4175,3
Berat yang Aus (a-b)		830,3
Nilai Keausan		16,587%

LAMPIRAN B

Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Indek Kepipihan Agregat

Analisa Saringan		B. Kering Oven = 5000 gr	Gram Lolos Alat
Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Persentase Tertahan (%)	
26.5	-	-	-
19.0	994,6	19,892	233,5
13.2	1951,4	39,028	156,2
9.5	1295,6	25,912	139,3
6.3	758,4	15,168	221,5
	5000	100	750,5
Berat Benda Uji (M1)		5000	
Total persen berat tertahan di atas 5% (M2)		100%	
Total Berat lolos pada test Kepipihan (M3)		750,5	
Indek Kepipihan (M3/M2)		7,50%	

Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Indek Kelonjongan Agregat

Analisa Saringan		B. Kering Oven = 5000 gr	Gram Tertahan Alat
Saringan (mm)	Berat Tertahan (gram)	Persentase Tertahan (%)	
26.5	-	-	-
19.0	994,6	19,892	233,5
13.2	1951,4	39,028	156,2
9.5	1295,6	25,912	139,3
6.3	758,4	15,168	221,5
	5000	100	750,5
Berat Benda Uji (M1)		5000	
Total persen berat tertahan di atas 5% (M2)		100%	
Total Berat lolos pada test Kelonjongan (M3)		828,3	
Indek Kepipihan (M3/M2)		8,28%	

LAMPIRAN B

Tabel 4.7 Hasil Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Uraian	Hasil Pengamatan	
	I	II
Luas Permukaan benda uji yang masih terselimuti aspal sesudah perendaman selama 16-18 jam, (%)	99	99
Hasil rata-rata	99%	

Tabel 4.8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70 (0% HDPE)

No	Uraian	Berat (gr)
1	Berat piknometer + aspal	60,85
	Berat piknometer kosong	33,15
	Berat aspal (a)	27,7
2	Berat piknometer + air	82,25
	Berat piknometer kosong	33,15
	Berat air (b)	49,1
3	Berat piknometer + aspal + air	82,8
	Berat piknometer + aspal	60,85
	Berat air (c)	21,95
Volume aspal (b – c) (cm ³)		27,15
Berat Jenis I = berat aspal/volume aspal (a/d) (gr/cm ³)		1,020

Tabel 4.9 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 (0% HDPE)

Benda Uji	Hasil Penetrasi (0.1 mm)			Penetrasi (0.1 mm)	Rata-rata (0.1 mm)
	I	II	III		
I	62	60	62	61	64
II	67	66	61	65	
III	64	68	65	66	

LAMPIRAN B

Tabel 4.10 hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 (0% HDPE)

Daktilitas Pada 25 °C 5cm per menit	(cm)
Pengamatan	
1	141
2	141
3	141
Rata- rata	141,00

Tabel 4.11 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Penetrasi 60/70 (0% HDPE)

No	Suhu yang diamati	Waktu (menit)		Titik Lembek (°C)	
	°C	I	II	I	II
1	5	0	0	48 °C	48,5 °C
2	10	02.39	02.39		
3	15	04.33	04.33		
4	20	06.26	06.26		
5	25	07.56	07.56		
6	30	09.38	09.38		
7	35	11.12	11.12		
8	40	13.09	13.09		
9	45	15.11	15.11		
10	50	16.43	16.43		
				Rata-rata =	48,25 °C

LAMPIRAN B

Tabel 4.12 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70 (6% HDPE)

No	Uraian	Berat (gr)
1	Berat piknometer + aspal	62,5
	Berat piknometer kosong	33,15
	Berat aspal (a)	29,35
2	Berat piknometer + air	82,25
	Berat piknometer kosong	33,15
	Berat air (b)	49,1
3	Berat piknometer + aspal + air	83,45
	Berat piknometer + aspal	62,5
	Berat air (c)	20,95
Volume aspal (b – c) (cm ³)		28,15
Berat Jenis I = berat aspal/volume aspal (a/d) (gr/cm ³)		1,043

Tabel 4.13 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 (6% HDPE)

Benda Uji	Hasil Penetrasi (0.1 mm)			Penetrasi (0.1 mm)	Rata-rata (0.1 mm)
	I	II	III		
I	62	60	62	61	63
II	63	65	61	63	
III	64	66	65	65	

LAMPIRAN B

Tabel 4.14 hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 (6% HDPE)

Daktilitas Pada 25 °C 5cm per menit	(cm)
Pengamatan	
1	131
2	130
3	133
Rata- rata	131,33

Tabel 4.15 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Penetrasi 60/70 (6% HDPE)

No	Suhu yang diamati	Waktu (menit)		Titik Lembek (°C)	
	°C	I	II	I	II
1	5	0	0	49°C	50°C
2	10	02.42	02.42		
3	15	05.42	05.42		
4	20	07.50	07.50		
5	25	09.43	09.43		
6	30	10.52	10.52		
7	35	12.22	12.22		
8	40	14.53	14.53		
9	45	16.34	16.34		
10	50	17.54	17.54		
				Rata-rata =	49,5°C

LAMPIRAN B

Tabel 4.16 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70 (8% HDPE)

No	Uraian	Berat (gr)
1	Berat piknometer + aspal	65,09
	Berat piknometer kosong	33,15
	Berat aspal (a)	31,94
2	Berat piknometer + air	82,25
	Berat piknometer kosong	33,15
	Berat air (b)	49,1
3	Berat piknometer + aspal + air	83,9
	Berat piknometer + aspal	65,09
	Berat air (c)	18,81
Volume aspal (b – c) (cm ³)		30,29
Berat Jenis I = berat aspal/volume aspal (a/d) (gr/cm ³)		1,054

Tabel 4.17 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 (8% HDPE)

Benda Uji	Hasil Penetrasi (0.1 mm)			Penetrasi (0.1 mm)	Rata-rata (0.1 mm)
	I	II	III		
I	61	60	62	61	61
II	60	64	61	62	
III	63	62	60	62	

LAMPIRAN B

Tabel 4.18 hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 (8% HDPE)

Daktilitas Pada 25 °C 5cm per menit	(cm)
Pengamatan	
1	128
2	129
3	127
Rata- rata	128,00

Tabel 4.19 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Penetrasi 60/70 (8% HDPE)

No	Suhu yang diamati	Waktu (menit)		Titik Lembek (°C)	
	°C	I	II	I	II
1	5	0	0	50 °C	52 °C
2	10	02.39	02.39		
3	15	04.33	04.33		
4	20	06.26	06.26		
5	25	07.56	07.56		
6	30	09.38	09.38		
7	35	11.12	11.12		
8	40	13.09	13.09		
9	45	15.11	15.11		
10	50	16.43	16.43		
11	55	18.22			
				Rata-rata =	51 °C

LAMPIRAN B

Tabel 4.20 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Penetrasi 60/70 (10% HDPE)

No	Uraian	Berat (gr)
1	Berat piknometer + aspal	67,02
	Berat piknometer kosong	33,15
	Berat aspal (a)	33,87
2	Berat piknometer + air	82,25
	Berat piknometer kosong	33,15
	Berat air (b)	49,1
3	Berat piknometer + aspal + air	84,6
	Berat piknometer + aspal	67,02
	Berat air (c)	17,58
Volume aspal (b – c) (cm ³)		31,52
Berat Jenis I = berat aspal/volume aspal (a/d) (gr/cm ³)		1,075

Tabel 4.21 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal Penetrasi 60/70 (10% HDPE)

Benda Uji	Hasil Penetrasi (0.1 mm)			Penetrasi (0.1 mm)	Rata-rata (0.1 mm)
	I	II	III		
I	60	60	62	61	61
II	60	63	61	61	
III	63	62	61	62	

LAMPIRAN B

Tabel 4.22 hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 (10% HDPE)

Daktilitas Pada 25 °C 5cm per menit	(cm)
Pengamatan	
1	110
2	115
3	113
Rata- rata	112,67

Tabel 4.23 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Penetrasi 60/70 (10% HDPE)

No	Suhu yang diamati	Waktu (menit)		Titik Lembek (°C)	
	°C	I	II	I	II
1	5	0	0	55 °C	59 °C
2	10	02.39	02.39		
3	15	04.33	04.33		
4	20	06.26	06.26		
5	25	07.56	07.56		
6	30	09.38	09.38		
7	35	11.12	11.12		
8	40	13.09	13.09		
9	45	15.11	15.11		
10	50	16.43	16.43		
11	55	18.22	18.23		
12	60		20.02		
				Rata-rata =	57 °C

LAMPIRAN B

Tabel 4.24 Hasil Rancangan Gradasi Agregat Untuk Mendapatkan KAO (Aspal Penetrasi 60/70)

Agregat				Berat Agregat Tertahan				
				Untuk Variasi Kadar Aspal (gr)				
	Uk. Saringan	% Lolos	% Tertahan	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%
CA	26,5 mm	-	-					
	19,0 mm	100	0	0	0	0	0	0
	13,2 mm	95	5	57	56,7	56,4	56,1	55,8
	9,5 mm	83,5	11,5	131,1	130,41	129,72	129,03	128,34
	4,75 mm	61	22,5	256,5	255,15	253,8	252,45	251,1
FA	2,36 mm	43	18	205,2	204,12	203,04	201,96	200,88
	1,18 mm	30,5	12,5	142,5	141,75	141	140,25	139,5
	0,6 mm	22	8,5	96,9	96,39	95,88	95,37	94,86
	0,3 mm	15,5	6,5	74,1	73,71	73,32	72,93	72,54
	0,15 mm	10,5	5	57	56,7	56,4	56,1	55,8
	0,075 mm	6,5	4	45,6	45,36	45,12	44,88	44,64
Total Persen Agregat Tertahan			93,5	1065,9	1060,29	1054,68	1049,07	1043,46
Berat <i>Filler</i>			6,5	74,1	73,71	73,32	72,93	72,54
Berat Agregat (gr)			100	1140	1134	1128	1122	1116
Berat Aspal (gr)				60	66	72	78	84
Berat Campuran (gr)				1200	1200	1200	1200	1200

LAMPIRAN B

Tabel 4.25 Hasil Rancangan Gradasi Agregat Untuk Menentukan Persentase HDPE (Aspal Penetrasi 60/70)

Agregat				Berat Agregat Tertahan			
				Untuk Variasi Kadar Aspal (gr)			
	Uk. Saringan	% Lolos	% Tertahan	0,0%	6,0%	8,00%	10,0%
CA	26,5 mm	-	-				
	19,0 mm	100	0	0,00	0,00	0,00	0,00
	13,2 mm	95	5	56,72	56,72	56,72	56,72
	9,5 mm	83,5	11,5	130,47	130,47	130,47	130,47
	4,75 mm	61	22,5	255,26	255,26	255,26	255,26
FA	2,36 mm	43	18	204,21	204,21	204,21	204,21
	1,18 mm	30,5	12,5	141,81	141,81	141,81	141,81
	0,6 mm	22	8,5	96,43	96,43	96,43	96,43
	0,3 mm	15,5	6,5	73,74	73,74	73,74	73,74
	0,15 mm	10,5	5	56,72	56,72	56,72	56,72
	0,075 mm	6,5	4	45,38	45,38	45,38	45,38
Total Persen Agregat Tertahan			93,5	1060,74	1060,74	1060,74	1060,74
Berat <i>Filler</i>			6,5	73,74	73,74	73,74	73,74
Berat Agregat (gr)			100	1134,48	1134,48	1134,48	1134,48
Berat Aspal (gr) + HDPE			5,46%	65,52	65,52	65,52	65,52
HDPE				0,00	3,93	5,24	6,55
Berat Aspal (gr)				65,52	61,59	60,28	58,97
Berat Campuran (gr)				1200	1200	1200	1200

LAMPIRAN B

Tabel 4.26 Hasil Rancangan Gradasi Agregat Untuk Menentukan Persentase *Fly ash* Batubara (Aspal Penetrasi 60/70)

Agregat				Berat Agregat Tertahan		
				Untuk Variasi Kadar Aspal 4,8% (gr)		
	Uk. Saringan	% Lolos	% Tertahan	50,0%	75,0%	100,00%
CA	26,5 mm	-	-			
	19,0 mm	100	0	0,00	0,00	0,00
	13,2 mm	95	5	56,72	56,72	56,72
	9,5 mm	83,5	11,5	130,47	130,47	130,47
	4,75 mm	61	22,5	255,26	255,26	255,26
FA	2,36 mm	43	18	204,21	204,21	204,21
	1,18 mm	30,5	12,5	141,81	141,81	141,81
	0,6 mm	22	8,5	96,43	96,43	96,43
	0,3 mm	15,5	6,5	73,74	73,74	73,74
	0,15 mm	10,5	5	56,72	56,72	56,72
	0,075 mm	6,5	4	45,38	45,38	45,38
Total Persen Agregat Tertahan			93,5	1060,74	1060,74	1060,74
Berat <i>Filler</i>			6,5	73,74	73,74	73,74
Berat <i>Filler Fly ash</i> Batubara				36,87	55,31	73,74
Berat <i>Filler</i> PC				36,87	18,44	0,00
Berat Agregat (gr)			100	1134,48	1134,48	1134,48
Berat Aspal (gr) + HDPE			5,46%	65,52	65,52	65,52
HDPE			8%	5,24	5,24	5,24
Berat Aspal (gr)				60,28	60,28	60,28
Berat Campuran (gr)				1200	1200	1200

LAMPIRAN B

Tabel 4.27 Hasil Rancangan Gradasi Agregat Untuk Durabilitas (Aspal Penetrasi 60/70)

Agregat				Berat Agregat Tertahan
				Untuk Variasi Kadar Aspal (gr)
	Uk. Saringan	% Lolos	% Tertahan	
CA	26,5 mm	-	-	
	19,0 mm	100	0	0,00
	13,2 mm	95	5	56,72
	9,5 mm	83,5	11,5	130,47
	4,75 mm	61	22,5	255,26
FA	2,36 mm	43	18	204,21
	1,18 mm	30,5	12,5	141,81
	0,6 mm	22	8,5	96,43
	0,3 mm	15,5	6,5	73,74
	0,15 mm	10,5	5	56,72
	0,075 mm	6,5	4	45,38
Total Persen Agregat Tertahan			93,5	1060,74
Berat <i>Filler</i>			6,5	73,74
Berat <i>Filler Fly ash</i> Batubara			100,00%	73,74
Berat <i>Filler</i> PC				0,00
Berat Agregat (gr)			100	1134,48
Berat Aspal (gr) + HDPE			5,46%	65,52
HDPE			8%	5,24
Berat Aspal (gr)				60,28
Berat Campuran (gr)				1200

LAMPIRAN C

Tabel 4.28 Hasil Pemeriksaan Parameter Marshall dengan Variasi Kadar Aspal Pen. 60/70

Tanggal : 17 Januari 2023		Agregat		: AMP PT Ayu Indah Lestari					
Jenis Pengujian : Marshall Test		Berat Jenis bulk, Gsb		: 2,964					
No. Benda Uji	Kadar Aspal		Berat Jenis		Berat, gram			Volume Bulk (cm3)	Density
	% Berat thdp total agregat	% Berat thdp total Campuran	Gmm	Gsb	Di udara / Kering (gram)	Dalam Air (gram)	Kering Permukaan ssd (gram)		
	A	B	C	D	E	F	G		
A11	5,26	5,00	2,71	2,964	1189,10	738,10	1192,50	454,40	2,617
A12	5,26	5,00	2,71	2,964	1178,00	730,60	1185,30	454,70	2,591
A13	5,26	5,00	2,71	2,964	1178,90	730,90	1182,50	451,60	2,610
Rata-rata									2,606
A21	5,82	5,50	2,68	2,964	1172,10	728,20	1180,60	452,40	2,591
A22	5,82	5,50	2,68	2,964	1173,60	727,40	1176,50	449,10	2,613
A23	5,82	5,50	2,68	2,964	1170,00	725,50	1178,70	453,20	2,582
Rata-rata									2,595
A31	6,38	6,00	2,66	2,964	1186,20	733,30	1193,80	460,50	2,576
A32	6,38	6,00	2,66	2,964	1185,60	732,50	1192,50	460,00	2,577
A33	6,38	6,00	2,66	2,964	1188,40	735,40	1195,90	460,50	2,581
Rata-rata									2,578
A41	6,95	6,50	2,64	2,964	1182,00	730,40	1189,70	459,30	2,573
A42	6,95	6,50	2,64	2,964	1180,60	735,60	1189,20	453,60	2,603
A43	6,95	6,50	2,64	2,964	1182,10	730,70	1187,60	456,90	2,587
Rata-rata									2,588
A51	7,53	7,00	2,62	2,964	1187,40	735,10	1192,30	457,20	2,597
A52	7,53	7,00	2,62	2,964	1184,90	733,30	1187,50	454,20	2,609
A53	7,53	7,00	2,62	2,964	1182,20	734,10	1189,30	455,20	2,597
Rata-rata									2,601
Aspal Penetrasi :		60/70							
Berat Jenis (T) :		1,02 gr/cm3							
% Volume		% Pori			Stabilitas			Flow (mm)	Marshal Quantyn
Aspal thdp. Campuran	Agregat efektif thdp. Camp	VMA	VIM	VFA	Bacaan Dial	Angka Faktor Koreksi	Nilai Stabilitas		
J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
12,83	83,87	16,13	3,30	79,55	35	0,81	344,14	2,00	172,07
12,70	83,04	16,96	4,26	74,86	204	0,78	1931,56	3,00	643,85
12,80	83,67	16,33	3,53	78,36	145	0,76	1337,72	3,00	445,91
Rata-rata		16,47	3,70	77,59			1204,47	2,67	420,61
13,97	82,60	17,40	3,43	80,30	107	0,76	987,14	2,80	352,55
14,09	83,32	16,68	2,59	84,46	150	0,81	1474,89	4,00	368,72
13,92	82,31	17,69	3,77	78,69	102	0,78	965,78	3,30	292,66
Rata-rata		17,26	3,26	81,15			1142,60	3,37	337,98
15,15	81,69	18,31	3,16	82,76	120	0,78	1136,21	3,50	324,63
15,16	81,74	18,26	3,10	83,03	120	0,76	1107,08	3,00	369,03
15,18	81,84	18,16	2,98	83,61	115	0,76	1060,95	3,20	331,55
Rata-rata		18,24	3,08	83,13			1101,41	3,23	341,73
16,40	81,18	18,82	2,42	87,14	104	0,81	1022,59	2,60	393,30
16,59	82,10	17,90	1,31	92,68	98	0,83	987,39	3,50	282,11
16,49	81,61	18,39	1,90	89,67	149	0,76	1374,62	4,00	343,66
Rata-rata		18,37	1,88	89,83			1128,20	3,37	339,69
17,82	81,49	18,51	0,69	96,28	125	0,76	1153,21	4,00	288,30
17,90	81,85	18,15	0,24	98,66	152	0,78	1439,20	2,80	514,00
17,82	81,49	18,51	0,69	96,28	156	0,81	1533,88	3,40	451,14
Rata-rata		18,39	0,54	97,07			1375,43	3,40	417,81

LAMPIRAN C

Tabel 4.29 Hasil Pemeriksaan Parameter Marshall Aspal Penetrasi 60/70 dengan Variasi HDPE

Tanggal : 21 Januari 2023				Agregat : AMP PT Ayu Indah Lestari							
Jenis Pengujian : Marshall Test				Berat Jenis bulk, Gsb : 2,964							
No. Benda Uji	Kadar Aspal + HDPE		Berat Jenis		Berat, gram			Volume Bulk (cm3)	Density	% Volume	
	% Berat thdp total agregat	% Berat thdp total Campuran	Gmm	Gsb	Di udara / Kering (gram)	Dalam Air (gram)	Kering Permukaan ssd (gram)			Aspal thdp. Campuran	Agregat efektif thdp. Camp
	A	B	C	D	E	F	G			H	I
HDPE 0%											
B11	5,78	5,46	2,68	2,964	1201,10	743,10	1205,50	462,40	2,598	13,90	82,85
B12	5,78	5,46	2,68	2,964	1202,80	744,20	1206,90	462,70	2,600	13,91	82,91
B13	5,78	5,46	2,68	2,964	1198,90	739,70	1203,50	463,80	2,585	13,83	82,45
Rata-rata									2,594		
HDPE 6%											
B21	5,78	5,46	2,68	2,964	1201,05	743,20	1206,40	463,20	2,593	13,58	82,70
B22	5,78	5,46	2,68	2,964	1199,20	740,40	1204,30	463,90	2,585	13,54	82,45
B23	5,78	5,46	2,68	2,964	1202,01	744,70	1206,30	461,60	2,604	13,64	83,06
Rata-rata									2,594		
HDPE 8%											
B31	5,78	5,46	2,68	2,964	1203,20	748,10	1207,60	459,50	2,618	13,56	83,52
B32	5,78	5,46	2,68	2,964	1198,40	739,20	1204,00	464,80	2,578	13,35	82,24
B33	5,78	5,46	2,68	2,964	1188,40	735,20	1195,60	460,40	2,581	13,37	82,33
Rata-rata									2,593		
HDPE 10%											
B41	5,78	5,46	2,68	2,964	1185,20	735,10	1190,50	455,40	2,603	13,22	83,01
B42	5,78	5,46	2,68	2,964	1194,90	733,30	1201,80	468,50	2,550	12,96	81,35
B43	5,78	5,46	2,68	2,964	1192,50	734,10	1201,10	467,00	2,554	12,97	81,45
Rata-rata									2,569		
Aspal Penetrasi :		60/70		Berat Jenis 6%(T) :		1,04 gr/cm3		Berat Jenis 10%(T) :		1,075 gr/cm3	
Berat Jenis 0%(T) :		1,02 gr/cm3		Berat Jenis 8%(T) :		1,05 gr/cm3					
% Volume		% Pori			Stabilitas				Flow (mm)	Marshal Quantyn	
Aspal thdp. Campuran	Agregat efektif thdp. Camp	VMA	VIM	VFA	Bacaan Dial	kalibrasi Alat	Angka Faktor Koreksi	Nilai Stabilitas			
J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
HDPE 0%											
13,90	82,85	17,15	3,25	81,06	110	12,139	0,78	1041,53	2,50	416,61	
13,91	82,91	17,09	3,17	81,42	155	12,139	0,78	1467,61	3,50	419,32	
13,83	82,45	17,55	3,72	78,82	150	12,139	0,76	1383,85	5,00	276,77	
Rata-rata		17,26	3,38	80,44				1297,66	3,67	370,90	
HDPE 6%											
13,58	82,70	17,30	3,42	80,23	150	12,139	0,76	1383,85	4,00	345,96	
13,54	82,45	17,55	3,71	78,84	130	12,139	0,81	1278,24	2,00	639,12	
13,64	83,06	16,94	3,01	82,25	145	12,139	0,78	1372,92	2,50	549,17	
Rata-rata		17,26	3,38	80,44				1345,00	2,83	511,42	
HDPE 8%											
13,56	83,52	16,48	2,47	85,03	107	12,139	0,78	1013,12	2,20	460,51	
13,35	82,24	17,76	3,96	77,68	145	12,139	0,76	1337,72	3,50	382,21	
13,37	82,33	17,67	3,86	78,18	209	12,139	0,76	1928,16	2,50	771,26	
Rata-rata		17,30	3,43	80,30				1426,33	2,73	537,99	
HDPE 10%											
13,22	83,01	16,99	3,06	81,98	99,2	12,139	0,78	939,27	2,00	469,63	
12,96	81,35	18,65	5,00	73,19	98,6	12,139	0,83	993,43	2,50	397,37	
12,97	81,45	18,55	4,89	73,66	106,9	12,139	0,76	986,22	2,50	394,49	
Rata-rata		18,06	4,32	76,28				972,97	2,33	420,50	

LAMPIRAN C

Tabel 4.30 Hasil Pemeriksaan Parameter Marshall Aspal Penetrasi 60/70 +HDPE 8% dengan Variasi Fly Ash Batubara

Tanggal		: 25 Januari 2023		Agregat		: AMP PT Ayu Indah Lestari			
Jenis Pengujian		: Marshall Test		Berat Jenis bulk, Gsb		: 2,964			

No. Benda Uji	Kadar Aspal + HDPE		Berat Jenis		Berat, gram			Volume Bulk (cm3)	Density
	% Berat thdp total agregat	% Berat thdp total Campuran	Gmm	Gsb	Di udara / Kering (gram)	Dalam Air (gram)	Kering Permukaan ssd (gram)		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
HDPE 8% + Fly Ash Batubara 50%									
C11	5,78	5,46	2,70	2,964	1207,80	747,50	1209,20	461,70	2,616
C12	5,78	5,46	2,70	2,964	1200,10	742,00	1204,30	462,30	2,596
C13	5,78	5,46	2,70	2,964	1204,30	746,10	1207,10	461,00	2,612
Rata-rata									2,608
HDPE 8% + Fly Ash Batubara 75%									
C21	5,78	5,46	2,70	2,964	1205,70	746,10	1207,40	461,30	2,614
C22	5,78	5,46	2,70	2,964	1202,20	744,10	1205,20	461,10	2,607
C23	5,78	5,46	2,70	2,964	1202,40	744,20	1205,30	461,10	2,608
Rata-rata									2,610
HDPE 8% + Fly Ash Batubara 100%									
C31	5,78	5,46	2,70	2,964	1203,20	745,60	1206,20	460,60	2,612
C32	5,78	5,46	2,70	2,964	1201,70	744,00	1204,90	460,90	2,607
C33	5,78	5,46	2,70	2,964	1201,50	745,10	1205,30	460,20	2,611
Rata-rata									2,610

Aspal Penetrasi :		60/70								
Berat Jenis 8%(T) :		1,05 gr/cm3								
% Volume		% Pori			Stabilitas				Flow (mm)	Marshall Quantyn
Aspal thdp. Campuran	Agregat efektif thdp. Camp	VMA	VIM	VFA	Bacaan Dial	kalibrasi Alat	Angka Faktor Koreksi	Nilai Stabilitas		
J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
HDPE 8% + Fly Ash Batubara 50%										
13,55	83,44	16,56	3,01	81,79	150	12,139	0,78	1420,26	2,70	526,02
13,44	82,80	17,20	3,76	78,15	158	12,139	0,76	1457,65	3,40	428,72
13,53	83,32	16,68	3,15	81,12	152	12,139	0,78	1439,20	2,50	575,68
Rata-rata		16,81	3,31	80,35				1439,04	2,87	510,14
HDPE 8% + Fly Ash Batubara 75%										
13,53	83,37	16,63	3,10	81,36	150	12,139	0,78	1420,26	2,60	546,26
13,50	83,16	16,84	3,34	80,17	165	12,139	0,78	1562,29	3,00	520,76
13,50	83,17	16,83	3,32	80,25	170	12,139	0,76	1568,36	2,70	580,87
Rata-rata		16,77	3,25	80,60				1516,97	2,77	549,30
HDPE 8% + Fly Ash Batubara 100%										
13,53	83,32	16,68	3,15	81,09	175	12,139	0,78	1656,97	2,30	720,42
13,50	83,16	16,84	3,34	80,18	182	12,139	0,76	1679,07	2,40	699,61
13,52	83,27	16,73	3,21	80,83	185	12,139	0,76	1706,74	2,70	632,13
Rata-rata		16,75	3,23	80,70				1680,93	2,47	684,05

LAMPIRAN C

Tabel 4.31 Hasil Pemeriksaan Parameter Marshall Perendaman 30 menit dengan aspal penetrasi 60/70 + HDPE 8% + Fly Ash Batubara100%

Tanggal		: 27 Januari 2023		Agregat		: AMP PT Ayu Indah Lestari				
Jenis Pengujian		: Marshall Test		Berat Jenis bulk, Gsb		: 2,964				
No. Benda Uji	Kadar Aspal + HDPE		Berat Jenis		Berat, gram			Volume Bulk (cm3)	Density	
	% Berat thdp total agregat	% Berat thdp total Campuran	Gmm	Gsb	Di udara / Kering (gram)	Dalam Air (gram)	Kering Permukaan ssd (gram)			
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
AB11	5,78	5,46	2,70	2,964	1201,10	743,70	1203,60	459,90	2,612	
AB12	5,78	5,46	2,70	2,964	1203,50	744,70	1206,10	461,40	2,608	
AB13	5,78	5,46	2,70	2,964	1200,50	744,50	1204,70	460,20	2,609	
Rata-rata									2,610	
AL11	5,78	5,46	2,70	2,964	1203,40	746,20	1207,10	460,90	2,611	
AL12	5,78	5,46	2,70	2,964	1200,90	744,80	1204,80	460,00	2,611	
AL13	5,78	5,46	2,70	2,964	1199,60	744,10	1203,90	459,80	2,609	
Rata-rata									2,610	
AS11	5,78	5,46	2,70	2,964	1209,10	750,30	1213,20	462,90	2,612	
AS12	5,78	5,46	2,70	2,964	1198,40	743,80	1203,20	459,40	2,609	
AS13	5,78	5,46	2,70	2,964	1201,60	744,70	1205,20	460,50	2,609	
Rata-rata									2,610	
Aspal Penetrasi : 60/70										
Berat Jenis 8%(T) : 1,05 gr/cm3										
% Volume		% Pori			Stabilitas				Flow (mm)	Marshal Quantyn
Aspal thdp. Campuran	Agregat efektif thdp. Camp	VMA	VIM	VFA	Bacaan Dial	kalibrasi Alat	Angka Faktor Koreksi	Nilai Stabilitas		
J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
13,52	83,30	16,70	3,18	80,98	180	12,139	0,78	1704,32	3,00	568,11
13,51	83,20	16,80	3,30	80,38	183	12,139	0,78	1732,72	2,70	641,75
13,51	83,21	16,79	3,29	80,43	169	12,139	0,81	1661,71	2,40	692,38
Rata-rata		16,77	3,25	80,60				1699,58	2,70	634,08
13,52	83,28	16,72	3,20	80,86	140	12,139	0,78	1325,58	2,00	662,79
13,52	83,27	16,73	3,21	80,80	142	12,139	0,81	1396,23	2,30	607,06
13,51	83,22	16,78	3,28	80,49	145	12,139	0,81	1425,73	2,10	678,92
Rata-rata		16,74	3,23	80,71				1382,51	2,13	649,59
13,52	83,31	16,69	3,16	81,05	155	12,139	0,76	1429,97	2,40	595,82
13,51	83,20	16,80	3,29	80,42	160	12,139	0,81	1573,21	2,30	684,01
13,51	83,23	16,77	3,26	80,56	152	12,139	0,78	1439,20	2,20	654,18
Rata-rata		16,75	3,24	80,68				1480,80	2,30	644,67

LAMPIRAN C

Tabel 4.32 Hasil Pemeriksaan Parameter Marshall Perendaman 24 Jam dengan aspal penetrasi 60/70 + HDPE 8% + Fly Ash Batubara100%

Tanggal : 27 Januari 2023			Agregat		: AMP PT Ayu Indah Lestari					
Jenis Pengujian : Marshall Test			Berat Jenis bulk, Gsb		: 2,964					
No. Benda Uji	Kadar Aspal + HDPE		Berat Jenis		Berat, gram			Volume Bulk (cm3)	Density	
	% Berat thdp total agregat	% Berat thdp total Campuran	Gmm	Gsb	Di udara / Kering (gram)	Dalam Air (gram)	Kering Permukaan ssd (gram)			
	A	B	C	D	E	F	G			H
AB21	5,78	5,46	2,70	2,964	1203,10	745,20	1206,30	461,10	2,609	
AB22	5,78	5,46	2,70	2,964	1201,20	744,60	1205,10	460,50	2,608	
AB23	5,78	5,46	2,70	2,964	1206,40	748,50	1210,40	461,90	2,612	
Rata-rata									2,610	
AL21	5,78	5,46	2,70	2,964	1201,90	744,90	1205,30	460,40	2,611	
AL22	5,78	5,46	2,70	2,964	1200,10	744,10	1204,10	460,00	2,609	
AL23	5,78	5,46	2,70	2,964	1204,30	745,70	1207,20	461,50	2,610	
Rata-rata									2,610	
AS21	5,78	5,46	2,70	2,964	1204,20	745,90	1207,30	461,40	2,610	
AS22	5,78	5,46	2,70	2,964	1205,10	747,70	1209,60	461,90	2,609	
AS23	5,78	5,46	2,70	2,964	1201,50	744,20	1204,70	460,50	2,609	
Rata-rata									2,609	
Aspal Penetrasi : 60/70										
Berat Jenis 8%(T) : 1,05 gr/cm3										
% Volume		% Pori			Stabilitas				Flow (mm)	Marshal Quantyn
Aspal thdp. Campuran	Agregat efektif thdp. Camp	VMA	VIM	VFA	Bacaan Dial	kalibrasi Alat	Angka Faktor Koreksi	Nilai Stabilitas		
J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
13,51	83,22	16,78	3,27	80,53	160	12,139	0,81	1573,21	2,50	629,29
13,51	83,20	16,80	3,29	80,40	175	12,139	0,81	1720,70	3,00	573,57
13,52	83,31	16,69	3,17	81,01	178	12,139	0,78	1685,38	2,80	601,92
Rata-rata		16,76	3,24	80,65				1659,77	2,77	601,59
13,52	83,27	16,73	3,22	80,78	130	12,139	0,81	1278,24	2,30	555,76
13,51	83,21	16,79	3,28	80,48	135	12,139	0,81	1327,40	2,00	663,70
13,51	83,23	16,77	3,25	80,59	138	12,139	0,78	1306,64	2,00	653,32
Rata-rata		16,76	3,25	80,62				1304,09	2,10	624,26
13,51	83,25	16,75	3,24	80,66	140	12,139	0,81	1376,56	2,30	598,51
13,51	83,22	16,78	3,27	80,49	145	12,139	0,81	1425,73	2,50	570,29
13,51	83,22	16,78	3,27	80,52	151	12,139	0,81	1484,72	2,20	674,87
Rata-rata		16,77	3,26	80,56				1429,00	2,33	614,56

BERITA ACARA SIDANG TUGAS AKHIR

Telah dilaksanakan Sidang Tugas Akhir Tahun Ajaran 2022/2023,

Hari / Tanggal : Kamis / 16 Februari – Jam 14.00
Tempat : Ruang Seminar – Gedung FT UNMUHA
Nama Mahasiswa : Putri Inas Haura Hega
NIM : 2003120095
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Proposal : Pengaruh Variasi Perendaman Air Terhadap Karakteristik Aspal Beton dengan Menggunakan Substitusi *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Fly Ash* Sebagai *Filler*

Dengan hasil seminar Proposal Tugas Akhir :

1. Seminar cukup satu kali
- ② Seminar cukup satu kali dengan perbaikan

Mengetahui dan menilai :

1. Dosen Pembimbing
Fitrika Mita Suryani, ST., MT.
2. Dosen Co Pembimbing
Rifki Hidayat, ST., MT., IPM.
3. Dosen Penguji I
Cut Nawalul Azka, S.ST., MT., IPP
4. Dosen Penguji II
Ir. Wahyuni, MT., IPM

TTD
TTD
TTD
TTD

Mengetahui,
Ketua Seminar

Rifki Hidayat, ST., MT., IPM
NIDN : 13011118604

RESUME SIDANG TUGAS AKHIR

Penguji I : Cut Nawalul Azka, S.ST., MT., IPM.

No.	Komentar	Respon Penulis
1	Bagaimana cara untuk menguji berat jenis agregat ?	Pertama dilakukan penyaringan agregat yang yang digunakan merupakan agregat kasar yang tertahan No.4, lalu agregat tersebut dicuci hingga bersih sehingga tidak ada lumpur pada agregat tersebut. Setelah dicuci agregat tersebut dioven dengan suhu 79 ⁰ C hingga beratnya stabil dan tidak mengandung air lagi. Setelah itu agregat tersebut ditimbang untuk menganbil berat keringnya setelah ditimbang agregat tersebut direndam lebih kurang 4 jam hingga jenuh. Setelah di rendam agregat tersebut ditimbang dalam air lalu dilap hingga permukaannya lalu ditimbang untuk mendapatkan berat jenuh agregat.
2	Bagaimana cara untuk menguji berat jenis aspal dengan substitusi HDPE ?	Pertama-tama aspal ditimbang terlebih dahulu sebanyak 100gr lalu timbang HDPE sebanyak persentase yang diinginkan lalu kurangi aspal seberat HDPE yang ditambahkan. Setelah itu aspal di panaskan hingga mencair lalu ditambahkan HDPE kedalam aspal tersebut. Setelah HDPE mencair aspal di masukkan kedalam piknometer sebanyak 3/4 bagian lalu ditimbang setelah ditimbang piknometer + aspal lalu diisikan air sebanyak 1/4 bagian lalu ditutup tanpa ditekan dan kemudian ditimbang. Lalu piknometer di bersihkan lalu ditimbang kosong. Setelah

No.	Komentar	Respon Penulis
3	Pada bab 4 tidak ada nilai Pb	Sudah ada pada bab 3
4	Agregat kasar tertahan No.4 atau lolos No.4 ?	Menurut Bina Marga 2018 Revisi I (2019) agregat kasar merupakan agregat yang tertahan No.4
5	Batas atas dan batas bawah untuk KAO harap ditulis pada grafik.	Sudah diperbaiki.
6	Apakah kalibrasi alat ada dimasukkan ?	Sudah pada bab 2.

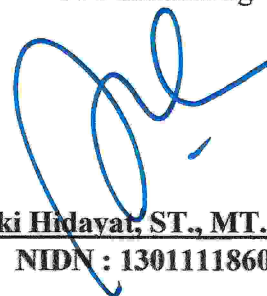
Bathoh, 16 Februari 2023

Mengetahui,
Pembimbing



Fitrika Mita Suryani, ST., MT.,
NIP : 196812211998022001

Mengetahui,
Co Pembimbing



Rifki Hidayat, ST., MT., IPM.
NIDN : 13011118604

Menyetujui,
Penguji I



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

RESUME SIDANG TUGAS AKHIR

Penguji II : Ir. Wahyuni, MT., IPM.

No.	Komentar	Respon Penulis
1	Daftar isi jangan dibold	Sudah dilampirkan
2	Apakah air laut ada diuji kimia ?	Tidak ada karena pada proposal sudah dibatasi tidak ada pengujian zat kimia untuk air perendaman
3	Pada grafik ada yang tidak ada legendnya	Sudah diperbaiki
4	Darimana didapatkan batas atas dan batas bawah ?	Batas Atas dan Batas bawah sudah ditentukan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 1 (2019)
5	Berapa banyak tujuan penelitian kamu ? masukkan pada abstrak	Sudah diperbaiki
6	Dari ke3 air tersebut mana yang bagus?	Dari ketiga perendaman tersebut yang bagus adalah air biasa dan terburuk adalah air laut tetapi semuanya masih memiliki nilai stabilitas yang bagus.
7	Gambar tidak boleh satu kecil satu besar.	Sudah diperbaiki
8	Nilai durabilitas menentukan apa?	Nilai Durabilitas menentukan penurunan kualitas aspal jika semakin lama terjadinya perendaman.
9	Apakah Lampiran C hanya ada rata-rata tidak ada hasil ?	Iya karena lampiran tersebut merupakan tabel hasil marshall sehingga di rata-ratakan

Bathoh, 16 Februari 2023

Mengetahui,
Pembimbing



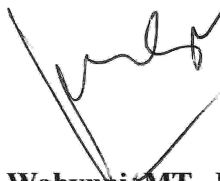
Fitrika Mita Suryani, ST., MT.,
NIP : 196812211998022001

Mengetahui,
Co Pembimbing



Rifki Hidayat, ST., MT., IPM.
NIDN : 13011118604

Menyetujui,
Penguji II



Ir. Wahyuni, MT., IPM.
NIDN : 0106116802



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH

Jln. Muhammadiyah No.91 Bathoh, Lueng Bata

TELP. (0651) 31583 FAKS. 34091-34092

BANDA ACEH 23245

KARTU KENDALI KEGIATAN PENULISAN TUGAS AKHIR

Nama Mahasiswa : Putri Inas Haura Hegu
NIM : 2003120095
Program Studi : Teknik Sipil
Pembimbing : Fitrika Mita Suryani, ST., MT.
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Variasi Perendaman Air terhadap Karakteristik Aspal Beton dengan Menggunakan Substitusi HDPE dan Fly Ash Sebagai *Filler*

TANGGAL	URAIAN KEGIATAN	TANDA TANGAN PEMBIMBING
18/1/2023	Cek Grafik pada KAO, Gbr air laut, sungai, HDPE -6ab3 Perendaman sesuai lingkup-6ab3	
23/1/2023	Lanjut u/ B.4 dgn Kadar HDPE terbaik → cek spec terbaik BU beton aspal.	
28/1/2023	Perhatikan penulisan u/ substitusi Penyajian hasil berurutan. sesuaikan dgn judul	
3/2/23	Kesimpulan tambahkan hsl/ keseluruhan beton aspal s65 rekomendasi. Dapat melanjutkan konsultasi dgn Co Pembimbing	



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH

Jln. Muhammadiyah No.91 Bathoh, Lueng Bata

TELP. (0651) 31583 FAKS. 34091-34092

BANDA ACEH 23245

4/02 ⁻²³	- Perbaiki Penulisan Cover, sebuatkan dengan buku panduan Tugas Akhir - Penulisan di Cek Kembali Font 12 - Halaman Daftar Isi Cek Kembali	y f. 7 f.
6/02 ⁻²³	- Pastikan sampel sebagai data yang di sang paparkan pada metodologi penelitian	y 7

- pada pembahasan di jabarkan narasi ketuai daya grafik hasil y
7



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH

Jln. Muhammadiyah No.91 Bathoh, Lueng Bata

TELP. (0651) 31583 FAKS. 34091-34092

BANDA ACEH 23245

- Cek Kembali. penulisan y
nomor tabel. f
- Daftar Pustaka. teknik y
Jaya bab II Tinjau f
Pustaka.
- Penulisan & Cek Kembali f
- Bagan Alir tampilkan f
Data / hari yang telah f
& Jarak, Jarak.
di tampilkan bagan alir
seperti punya proposal.
- Perbaiki & teknik y
halaman. f
- Lampiran Gambar, Foto.
 - Lampiran A
 - Lampiran B tabel. f
- cek lagi lampiran.



UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH ACEH

Jln. Muhammadiyah No.91 Bathoh, Lueng Bata

TELP. (0651) 31583 FAKS. 34091-34092

BANDA ACEH 23245

7/02-23	- Cer kembali penulisan sebagai dosen baru penduan, hasil cer kembali - - lampiran cer kembali - - Dapat di lanjutkan. konsultasi kembali kepada Pembimbing Utama	2 f
7/2 2023	Dapat melanjutkan untuk proses sidang.	Rifki Hidayat fcs