

TUGAS AKHIR

ANALISIS PERBANDINGAN ASPAL WEARING COARSE (AC-WC) DENGAN BUTON GRANULAR ASPAL (BGA) 15/20 PADA PENETRASI 60/70 MENGUNAKAN *FLY ASH* TERHADAP UJI PARAMETER ASPAL

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

**Ferdiano Yogi Pradana
Nim : 30201900087**

**Muhammad Sektiaji Kliswanto
Nim : 30201900152**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERBANDINGAN ASPHAL CONCRETE WEARING COARSE (AC-WC) DENGAN BUTON GRANULAR ASPHAL (BGA) 15/20 PADA PENETRASI 60/70 MENGGUNAKAN *FLY ASH* TERHADAP UJI PARAMETER ASPAL



FERDIANO YOGI PRADANA
NIM : 30201900087



MUHAMMAD SEKTIAJI K.
NIM : 30201900152

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, juli 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si M.Si**
NIDN: 0631057002
2. **Juny Andry Sulisty, ST., MT.**
NIDN: 0611118903
3. **Dr. Ir. H. Rachmat Mudiono, MT. p.Hd**
NIDN: 0605016802

UNISSULA
Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 23 /A.2 /SA – T /VII /2023

Pada hari ini tanggal juli berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si M.Si
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Juny Andry Sulisty, ST., MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Ferdiano Yogi Pradana
NIM : 3020190087

Muhammad Sektiaji Kliswanto
NIM : 30201900152

Judul : ANALISIS PERBANDINGAN ASPHAL CONCRETE WEARING COARSE (AC-WC) DENGAN BUTON GRANULAR ASPHAL (BGA) 15/20 PADA PENETRASI 60/70 MENGGUNAKAN FLY ASH TERHADAP UJI PARAMETER ASPAL

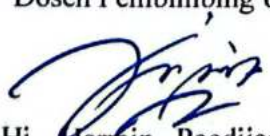
Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	13/03/2023	ACC
2	Seminar Proposal	14/06/2023	ACC
3	Pengumpulan data	17/06/2023	ACC
4	Analisis data	25/06/2023	ACC
5	Penyusunan laporan	05/07/2023	ACC
6	Selesai laporan	18/07/2023	ACC

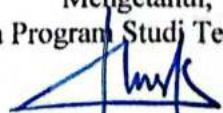
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping


Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si
M.Si


Juny Andry Sulisty, ST MT

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Ferdiano Yogi Pradana
NIM : 30201900087
2. NAMA : Muhammad Sektiaji Kliswanto
NIM : 30201900152

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **“ANALISIS PERBANDINGAN ASPHAL CONCRETE WEARING COARSE (AC-WC) DENGAN BUTON GRANULAR ASPHAL (BGA) 15/20 PADA PENETRASI 60/70 MENGGUNAKAN FLY ASH TERHADAP UJI PARAMETER ASPAL”** benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, ____/____/____

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2

Ferdiano Yogi Pradana
NIM : 30201900

Muhammad Sektiaji K.
NIM : 30201900152

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

1. NAMA : Ferdiano Yogi Pradana
NIM : 30201900087
2. NAMA : Muhammad Sektiaji Kliswanto
3. NIM : 30201900152

JUDUL : ANALISIS PERBANDINGAN ASPHAL CONCRETE WEARING COARSE (AC-WC) DENGAN BUTON GRANULAR ASPHAL (BGA) 15/20 PADA PENETRASI 60/70 MENGGUNAKAN FLY ASH TERHADAP UJI PARAMETER ASPAL.

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Yang membuat pernyataan 1

Semarang, ____/____/____
Yang membuat pernyataan 2

Ferdiano Yogi Pradana
NIM : 30201900087

Muhammad Sektiaji K.
NIM : 30201900152

MOTTO

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. (Qs. Ali Imran :110)

.Jikalau penduduk negeri-negeri beriman dan bertaqwa. Pastilah kami akan melimpahkan kepada mereka berkah dari langit dan bumi, tetapi mereka mendustakan (ayat-ayat kami)itu, maka kami siksa mereka disebabkan perbuatannya (Qs. Al A'raf: 96)

Tidak ada kesuksesan melainkan dengan pertolongan Allah” (Qs. Huud : 88)

“Barang siapa yang bertaqwa kepada Allah, maka Allah memberikan jalan keluar kepadanya dan memberi rezeki dari arah yang tidak disangka-sangka. (Qs. Ath Thalaq : 2)

Janganlah kamu bersikap lemah dan janganlah pula kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi derajatnya jika kamu beriman. (Qs. Ali Imran :139)

Dan barang -siapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Allah menjadikan baginya kemudahan dalam urusannya.” — (Q.S At-Talaq: 4)

"Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan Bersama kesempatan, dan kesulitan bersama kemudahan". (HR Tirmidzi)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua saya tercinta, ayah Aries Junaidi dan Ibu Marifah yang selalu memberi semangat serta saran yang berguna dan selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Kakak saya Fernanda Yoga Prananda dan Adik Riendina Triagusta yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir, serta ponakan saya yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Lisa Fitriyana, ST. M.eng selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan membantu menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. Dosen - dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikan ilmunya.
7. Muhammad Sektiaji Kliswanto (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman — teman semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tidak bisa saya sebut satu — persatu

Ferdiano Yogi Pradana

30201900087

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua saya tercinta, Ayah Nurcholis dan Ibu Siti Kiswati yang selalu memberi semangat serta saran yang berguna dan selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Kakak saya Muhammad Faisal Abdul Aziz yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir, serta ponakan saya yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Ir H. Rachmat Mudiono MT., p,Hd selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan membantu menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. Dosen - dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikan ilmunya.
7. Ferdiano Yogi Pradana (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman — teman Teknik Sipil Angkatan 2019 yang tidak bisa saya sebut satu — persatu

Muhammad Sektiaji Kliswanto

30201900152

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Perbandingan Presentasi Buton Granular Aspal (BGA) Pada Aspal Wearing Coarse (AC-WC) dengan Bahan Tambahan Fly Ash Terhadap Uji Parameter Aspal”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu ingin mengucpkan terima kasih kepada kepada:

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph. D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
 2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
 3. Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
 4. Bapak Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
 5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu
- Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, Juni 2023

Ferdiano Yogi Pradana

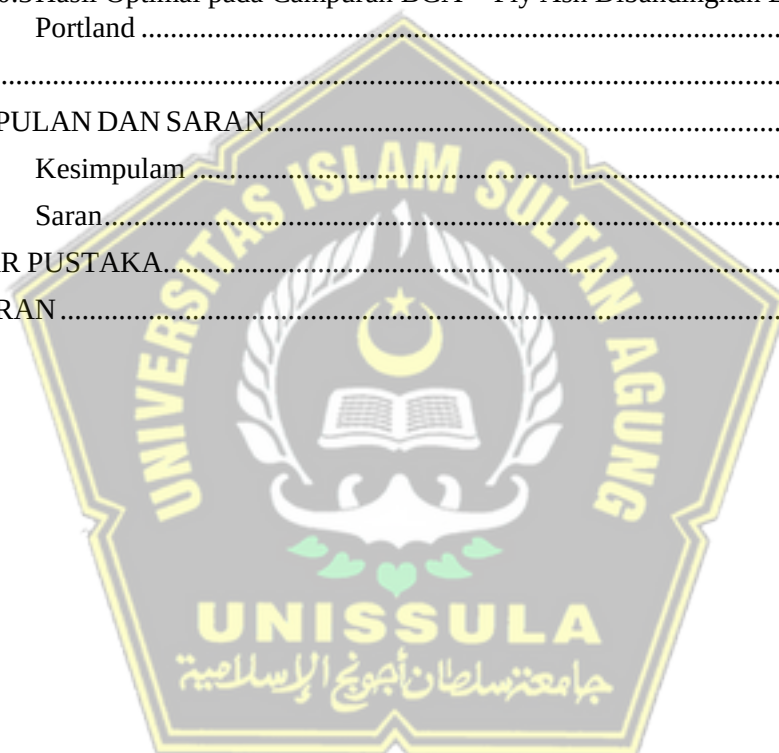
Muhammad Sektiaji K

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR.....	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO.....	vi
PERSEMBAHAN	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
.DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
ABSATRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Abu Terbang (<i>Fly Ash</i>).....	9
2.2 Penyusun Perkerasan Jalan.....	10
2.3 Persyaratan Agregat	11
2.3.1 Buton Granular Asphalt (BGA).....	13
2.3.2 Gradasi Agregat.....	14
2.3.3 Karakteristik Campuran Aspal Beton.....	15
2.3.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum	17
2.4 Laston Lapis Aus (AC-WC).....	17
2.5 Material Penyusun Perkerasan Jalan	19
2.6 Spesifikasi gradasi agregat lapis AC-WC	19
2.7 Aspal.....	20
2.7.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall	20
2.7.2 Pengikat bitumen.....	21
2.7.3 Generally equivalent common graded of unmodified bitumen.....	23
2.8 Sifat Bahan Aggregate Aspal Wearing Coarse.....	23
2.8.1 Fraksi Agregat Kasar.....	23
2.8.2 Fraksi Agregat Halus.....	23
2.8.3 Sifat bahan yang disyaratkan.....	23

2.8.4	Pencampuran bahan.....	25
2.9	Lapis Pengikat	25
2.9.1	Cuaca yang diijinkan untuk bekerja	25
2.9.2	Kesiapan Pekerjaan	25
2.10	Penelitian Terdahulu yang Sejenis	26
2.12	Kerangka Pemikiran	30
BAB III METODE PENELITIAN		31
3.1.	Tipe Penelitian	31
3.2.	Bahan dan Peralatan Penelitian.....	31
3.2.1	Bahan Penelitian	31
3.6.2	Peralatan Penelitian	32
3.3	Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian	38
3.4.	Bagan Alir Program Kerja 3.1.	40
3.5.	Aspal.....	43
3.6.	Sifat – Sifat Campuran Aspal.....	43
3.6.1.	Stabilitas	43
3.6.2	Kelelahan Plastis (Flow).....	43
3.6.3	Marshall Quotient	44
3.7	Laston Lapis Aus (AC – WC).....	44
3.8	Metode Analisis.....	44
BABIV		50
4.1	Persiapan Material	50
4.2	Pembuatan Benda Uji Dengan KadarAspal.....	51
4.3	Pembuatan Benda Uji Dengan Kadar BGA granular	53
4.4	Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)	56
4.5	Pengujian Laboratorium.....	57
4.5.1	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70	57
4.5.2	Pengujian Agregat	58
4.5.3	Hasil Pengujian Hot Bin II	59
4.5.4	Hasil Pengujian Hot Bin III.....	60
4.5.5	Hasil Pengujian Hot Bin IV	61
4.5.6	Hasil Pengujian Pasir.....	62
4.5.7	Hasil Pengujian Buton Granular Aspal (BGA)	63
4.5.8	Hasil Pengujian Fly Ash.....	64
4.5.9	Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat.....	65
4.6	Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Pengujian Laboraturium.....	67
4.7	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (ASSHTO-209s).....	69
4.7.1	Berat Jenis dengan Campuran BGA dan Fly Ash	69
4.7.2	Berat Jenis dengan Campuran BGA dan Semen Portland.....	70
4.7.3	Berat Jenis dengan Campuran Komposisi Normal	71

4.8	Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994).....	72
4.8.1	Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	72
4.8.2	Ringkasan Hasil Test Pengujian AC Wearing.....	75
4.9	Hasil Pemeriksaan Marshall	76
4.9.1	Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi BGA dengan Fly Ash.....	77
4.9.2	Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi BGA dengan Portland Cement.....	82
4.9.3	Hasil Marshall Benda Uji Komposisi Normal	87
4.10	Analisa Hasil Perancangan dan Pengujian Marshall	92
4.10.1	Job Mix terbaik BGA terhadap Aspal AC-WC	92
4.10.2	Perubahan pada Campuran BGA + Fly Ash Dibandingkan BGA + Semen Portland	92
4.10.3	Hasil Optimal pada Campuran BGA + Fly Ash Dibandingkan BGA + Semen Portland	95
BAB V		98
KESIMPULAN DAN SARAN.....		98
5.1	Kesimpulan	98
5.2	Saran.....	99
DAFTAR PUSTAKA.....		xviii
LAMPIRAN.....		xx



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi mineral Buton Granular Aspal.....	8
Tabel 2.3 Persyaratan Agregat Kasar	12
Tabel 2.4 Ketentuan Agregat halus	12
Tabel 2.2 Persyaratan Bitumen Asbuton Butir (BGA).....	13
Tabel 2.5 Spesifikasi Pengujian Aspal	20
Tabel. 2.6 Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk <i>Wearing Coarse</i>	24
Tabel. 2.7 Sifat -sifat Agregat untuk <i>Wearing Coarse</i>	24
Tabel 3.1. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan BGA 10 %	33
Tabel 3.2. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)dengan BGA 20 %	33
Tabel 3.3. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)dengan BGA 30 %	34
Tabel 3.4. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)dengan BGA 40 %	34
Tabel 3.5. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)dengan BGA 50 %	35
Tabel 3.6. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 4%.....	35
Tabel 3.7. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 4,5%	36
Tabel 3.8. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 5%.....	36
Tabel 3.9. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 5,5%	36
Tabel 3.10. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 6%	37
Tabel 3.7. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	41
Tabel 3.8. Ketentuan Syarat-Syarat Bahan untuk Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum 2018, Seksi 6.3. Campuran Beraspal Panas,	46
Tabel 4.1 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 4,5%.....	51
Tabel 4.2 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 5%.....	51
Tabel 4.3. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 5,5%	52
Tabel 4.4 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 6%.....	52
Tabel 4.5 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 6,5%.....	52
Tabel 4.6 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan BGA 10 %	53
Tabel 4.7 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan BGA 20 %.....	53
Tabel 4.8 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan BGA 30 %	54
Tabel 4.9 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan BGA 40 %	54
Tabel 4.10 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan dengan BGA 50 %...	55
Tabel 4.11 Pembuatan Benda Uji	56
Tabel 4.12 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70	57
Tabel 4.13 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat.....	58
Tabel 4.14 Hasil Analisa Pembangian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)	59
Tabel 4.15 Hasil Analisa Pembangian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)	60
Tabel 4.16 Hasil Analisa Pembangian Butiran(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)	61
____/ AASHTO T.27-88)	63
Tabel 4.19 Hasil Analisa Pembangian Butiran(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)	64

Tabel 4.20 Perhitungan Kombinasi Agregat(SNI 03-1968 1990 /AASHTO T.27-88)....	65
Tabel 4.21. Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan(SNI 03-1968-1990 /AASHTO T.27-88)	66
Tabel 4.22. Pemeriksaan Pengujian Labolaturium(SNI 03-1968-1990 /AASHTO T.27-88).....	68
Tabel 4.23 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran BGA dengan <i>Fly Ash</i>	69
Tabel 4.24 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMMCampuran BGA dengan <i>Portland Cement</i>	70
Tabel 4.25 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMMCampuran komposisi Normal	71
Tabel 4.26 Hasil Pengujian Kadar Aspal.....	72
Tabel 4.27 Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum	73
Tabel 4.28 Komposisi Material AC - WC.....	75
Tabel 4.30 Rekap Hasil rata-rata komposisi BGA dengan <i>Fly Ash</i>	81
Tabel 4.31 Hasil Marshall Komposisi BGA + Portland Cement	82
Tabel 4.32 Rekap Hasil rata-rata komposisi BGA dengan <i>Portland Cement</i>	86
Tabel 4.33 Hasil Marshall Komposisi Normal	87
Tabel 4.34 Rekap Hasil rata-rata komposisi Normal.....	91



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test.....	21
Gambar 4.1 Pengambilan Agregat Material	50
Gambar 4.2. Pengambilan Material Buton Granular Aspal.....	50
Gambar 4.3 Kombinasi Agregat.....	67
Gambar 4.5 VIM untuk Komposisi BGA dengan <i>Fly Ash</i>	78
Gambar 4.6 VMA untuk Komposisi BGA dengan <i>Fly Ash</i>	78
Gambar 4.7 VFB untuk Komposisi BGA dengan <i>Fly Ash</i>	79
Gambar 4.8 Stabilitas untuk Komposisi BGA dengan <i>Fly Ash</i>	79
Gambar 4.9 Flow untuk Komposisi BGA dengan <i>Fly Ash</i>	80
Gambar 4.11 VIM untuk Komposisi BGA dengan <i>Portland Cement</i>	83
(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).	83
Gambar 4.12 VMA untuk Komposisi BGA dengan <i>Portland Cement</i>	83
Gambar 4.13 VFB untuk Komposisi BGA dengan <i>Portland Cement</i>	84
Gambar 4.14 Stabilitas untuk Komposisi BGA dengan <i>Portland Cement</i>	84
Gambar 4.15 <i>Flow</i> untuk Komposisi BGA dengan <i>Portland Cement</i>	85
Gambar 4.16 <i>Marshall Quotient</i> untuk Komposisi BGA dengan <i>Portland Cement</i>	85
Gambar 4.17 VIM untuk Komposisi Normal.....	88
Gambar 4.18 VMA untuk Komposisi Normal	88
Gambar 4.19 VFB untuk Komposisi Normal.....	89
Gambar 4.20 Stabilitas untuk Komposisi Normal.....	89
Gambar 4.21 Flow untuk Komposisi Normal	90
Gambar 4.22 Marshall Quotient untuk Komposisi Normal.....	90

ABSATRACT

ANALISIS PERBANDINGAN ASPAL WEARING COARSE (AC-WC) DENGAN GRANULAR ASPAL (BGA) 15/20 PADA PENETRASI 60/70 MENGUNAKAN *FLY ASH* TERHADAP UJI PARAMETER ASPAL

Ferdiano Yogi Pradana^{1*}, Muhammad Sektiaji Kliswanto Hermin Poedjiastoeti, Juny Andry Sulistyo¹

¹ *Civil Engineering*, ²Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia;

Indonesia has quite a lot of natural asphalt reserves on the island of Buton, Southeast Sulawesi Province. This asphalt is known as Asbuton. Asbuton can be used as an additive that can reduce the need for oil in the asphalt mixture and at the same time improve the performance of the asphalt mixture. This study aims to determine how big the Marshall characteristic value is in mixing natural and artificial asphalt with a comparison of the use of asphalt granular buttons. This research uses an experimental method with experiments to obtain results, the use of BGA as a mixture with variations in granular content of 10%, 20%, 30%, 40%, and 50% of the total mixture. The results showed that the use of natural asphalt will affect the characteristics of asphalt concrete mixtures. The more natural asphalt is used, causing the stability value to increase. At 10% BGA content, the stability value was 1593.63 Kg, when the buton granular asphalt content was added up to 50%, the stability value was increased to 2614.59 Kg. The stability value increases with increasing levels of BGA. With an average increase of 2047.83 kg. The melt flow of the mixture increases with the increase in the asphalt granular content. When the mixture uses a 10% BGA variation, it has a flow value of 3.17 after being varied with the asphalt granular button content up to 50%, the flow value increases to 3.60 with an average increase of 3.36.

Keyword : Asphalt Concrete Mixture, Buton Granular Asphalt, Marshall Characteristics

ABSTRAK

ANALISIS PERBANDINGAN ASPAL WEARING COARSE (AC-WC) DENGAN GRANULAR ASPAL (BGA) 15/20 PADA PENETRASI 60/70 MENGUNAKAN *FLY ASH* TERHADAP UJI PARAMETER ASPAL

Ferdiano Yogi Pradana^{1*}, Muhammad Sektiaji Kliswanto Hermin Poedjiastoeti, Juny Andry Sulisty¹

¹ **Teknik Sipil**, ²Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia;

Indonesia memiliki cadangan aspal alam yang cukup banyak di pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Aspal ini dikenal dengan Asbuton. Asbuton dapat dijadikan suatu bahan tambah yang dapat mengurangi kebutuhan aspal minyak suatu campuran dan sekaligus dapat meningkatkan performa campuran aspal. Penelitian ini bertujuan mengetahui seberapa besar nilai karakteristik Marshall pada pencampuran aspal alam dan buatan dengan perbandingan penggunaan buton granular aspal dengan fly ash dan portland cement. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan percobaan untuk mendapatkan hasil, pemanfaatan BGA sebagai pencampuran dengan variasi kadar granular 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% terhadap total campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan granular dengan semen portland memiliki hasil terbaik dibanding dengan campuran fly ash. Semakin banyak granular yang digunakan, menyebabkan nilai stabilitas semakin meningkat. Pada kadar BGA 10% nilai stabilitas yang didapatkan sebesar 1593,63 Kg, pada saat kadar buton granular aspal ditambahkan sampai pada kadar 50%, nilai stabilitas meningkat menjadi 2614,59 Kg. Nilai stabilitas mengalami peningkatan seiring pertambahan kadar BGA. Dengan peningkatan rata-rata sebesar 2047,83 kg. Kelelahan flow campuran mengalami peningkatan seiring pertambahan kadar buton granular aspal. Pada saat campuran menggunakan variasi bga sebesar 10 %, memiliki nilai flow sebesar 3,17 setelah divariasikan dengan kadar buton granular aspal sampai pada 50%, nilai flow meningkat menjadi 3,60 dengan rata-rata peningkatan sebesar 3,36.

Kata Kunci : Campuran Beton aspal, Buton Granular Aspal, Karakteristik Marshall

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan semakin meluasnya jaringan jalan aspal di Indonesia, kebutuhan aspal untuk pengaspalan jalan saat ini cukup tinggi. Aspal ini didukung oleh aspal impor Pertamina. Penggunaan aspal impor dapat dikurangi dengan zat aditif yang dapat meningkatkan kinerja campuran perkerasan jalan, sedangkan Indonesia memiliki cadangan alam aspal yang banyak di Pulau Buton di Provinsi Sulawesi Tenggara. Aspal ini dikenal sebagai aspal ashbuton atau batu-buton. Asbuton dapat digunakan sebagai bahan tambahan yang dapat mengurangi kebutuhan aspal minyak dalam campuran dengan cara meningkatkan efisiensi campuran sesuai arahan Presiden Joko Widodo (Jokowi) untuk mengoptimalkan potensi aspal alam Indonesia. Tujuannya untuk mengurangi penggunaan aspal impor. Pemetaan dan pengembangan potensi aspal sangat penting, begitu juga dengan program pembangunan dan proyek infrastruktur yang sedang berlangsung. Selain itu, beberapa proyek infrastruktur di Indonesia masih menggunakan aspal buatan hasil penyulingan minyak Pertamina dan sebagian lagi masih impor. Untuk mengoptimalkan potensi aspal alam Indonesia dan mengurangi impor aspal, pemerintah membentuk tim di bawah koordinasi Menkomarveste untuk mempercepat penggunaan aspal alam Buton. (*Nasional.Kompas.Com*, n.d.)

Sebagai produk aspal alam, kandungan aspal alam (asbuton) kurang lebih lebih dari 300.000.000 Ton atau terbesar dibandingkan deposit aspal alam lainnya di dunia. Kandungan aspal Asbuton berupa Buton Granular Asphalt (BGA) diharapkan dapat mengurangi penggunaan aspal minyak tanpa mempengaruhi kualitas campuran perkerasan jalan. Diketahui bahwa ketersediaan dan harga aspal minyak bumi cenderung meningkat pada saat harga minyak dunia berfluktuasi (Madi Hermadi, 2009).

BGA digunakan di banyak tempat, tetapi tidak optimal. Penggunaan BGA sebagai bahan pengisi dianggap sebagai cara untuk mengoptimalkan kinerja campuran aspal, karena merupakan salah satu produk olahan Aspal Buton yang banyak mengandung bahan aromatik dan resin, sehingga meningkatkan daya rekat

(anti aspal). Bisa. tingkatkan -pengupasan) dan tingkatkan. Fleksibilitas komposit meningkatkan kekakuan dengan batas elastis yang cukup untuk menahan beban lalu lintas tanpa kerusakan yang tidak direncanakan (Balitbang PU, 2009). Namun penelitian sebelumnya menemukan bahwa sebagian besar sifat fisik dan durabilitas aspal tidak sesuai dengan sifat fisik dan durabilitas aspal minyak. Oleh karena itu diperlukan suatu plasticizer untuk melunakkan aspal sehingga akan mengubah sifat fisik dan keawetannya. Daya tahan bitumen asbuton mendekati aspal minyak Pen 60/70 (Erwan, RS dkk, 2010).

Filler dalam campuran beraspal panas mempunyai kadar sekitar 1% sampai dengan 2% bahan pengisi, namun sangat berpengaruh terhadap sifat aspal sebagai bahan pengikat. Partikel kecil bereaksi terhadap sifat aspal. Diketahui *filler* yang paling banyak digunakan adalah semen (semen portland), khususnya di lokasi penelitian ini produk yang paling banyak digunakan adalah Semen Padang. Semen mengandung banyak bahan kimia seperti batu kapur (CaO), silikon dioksida (SiO_2), aluminium silikat (Al_2O_3) dan pasir besi (Fe_2O_3). Diketahui juga bahwa semen terhidrasi, yaitu air menyerapnya dan mengeras, mengeras. Pengisi lain yang membutuhkan pengujian konstan adalah *fly ash*. Bahan pengisi ini wajib disebutkan karena bahan ini sangat umum sebagai bahan sisa pembakaran batu bara di hampir semua Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), khususnya PLTU Batang. Abu terbang ini dapat mengandung bahan kimia silikon dioksida (SiO_2) dan aluminium silikat (Al_2O_3) dalam jumlah besar. Namun karena kandungan kapur yang sedikit, *fly ash* tidak sebaik semen dalam hal sifat melembabkan, sebaliknya penggunaan *fly ash* dapat menghemat anggaran karena harganya lebih murah dari semen. (Hendri Nofriant, Wilton Wahab2, n.d.)

Fly ash memiliki kegunaan yang luas, seperti bahan baku semen, bahan tambahan pengolah limbah, bahan pengisi aspal dan lain-lain. Karbon sisa *fly ash* hasil pembakaran memiliki kualitas yang sama dengan karbon aktif, sehingga studi tentang penghilangan sisa karbon berpotensi untuk meningkatkan nilai ekonomis *fly ash*. Mengingat kegunaan *fly ash* sebagai bahan pengisi aspal dan pentingnya mengurangi dampak negatif lingkungan, penggunaan *fly ash* sebagai komponen bioaspal diharapkan dapat menciptakan produk yang ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan terhadap aspal minyak bumi. (Ash et al., 2012)

Tes Marshall adalah metode laboratorium yang paling umum untuk memeriksa kinerja campuran panas menggunakan alat Marshall untuk menentukan nilai stabilitas dan kelelahan campuran aspal. Parameter yang disebut properti Marshall ditentukan dengan uji Marshall, yang terdiri dari densitas, stabilitas, *flow*, *Marshall quotient* (MQ), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga terisi aspal (VFA) dan persentase rongga. Tegangan maksimum yang dapat diambil sampel sebelum putus disebut konstanta Marshall, dan jumlah regangan dalam sampel sebelum putus disebut arus Marshall. Hubungan antara stabilitas dan aliran Marshall disebut koefisien Marshall, yang merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi tetap.

Laston adalah permukaan jalan dengan nilai struktural. Campuran ini terdiri dari agregat bergradasi kontinyu yang dicampurkan pada aspal keras, disebarkan dan dipadatkan panas pada temperatur tertentu. Laston adalah lapisan paving yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat butir menerus yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan pada suhu tertentu. (Rahim et al., n. d.) Ada berbagai jenis beton aspal panas, namun jenis beton aspal panas yang diteliti dalam penelitian ini adalah AC-WC. Dressing Course adalah lapisan yang dilekatkan langsung pada ban kendaraan, lapisan tahan air dan cuaca setebal minimal 4 cm. Lapisan ini menyerap beban lalu lintas dan mendistribusikannya kembali ke lapisan di bawahnya berupa beban kendaraan (*gaya vertikal*), gaya pengereman (*gaya horizontal*), dan roda kendaraan (getaran). Karena sifat distribusi beban, beban yang diserap oleh setiap lapisan berbeda, dan semakin kebawah semakin besar.

Material alami seperti *Buton Granular Asphalt* (BGA) dan *fly ash* yang digunakan dalam penelitian ini. diambil dari AMP (*Asphalt Mixing Plant*) PT. Deltamarga Adyatama Jekulo Kudus, Jawa Tengah. Penggunaan dan pemanfaatan aspal alam BGA diharapkan dapat meningkatkan produksi pada perusahaan pertambangan di Pulau Buton dan diharapkan juga dapat digunakan sebagai bahan tambahan atau bahan inti perkerasan jalan di Indonesia.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal yang menggunakan *fly ash* dan semen *portland* sebagai bahan substitusi agregat halus dan BGA substitusi aspal penetrasi 60/70, terhadap campuran aspal beton lapis AC-WC yang memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan pada lapisan perkerasan jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana persentase komposisi dalam aspal modifikasi asbuton granular terhadap karakteristik *Asphalt Concrete Wearing Course* Modifikasi “BGA” dan *fly ash*
2. Bagaimana pengaruh penambahan Asbuton granular (BGA) terhadap nilai uji marshall pada karakteristik campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC)?
3. Bagaimanakah stabilitas yang terjadi pada Aspal Modifikasi “BGA” dan semen *portland* dibandingkan dengan stabilitas *Asphalt Concrete Wearing Course* Modifikasi “BGA” dan *fly ash*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah untuk :

1. Mendapatkan *job mix* terbaik dalam aspal modifikasi asbuton granular terhadap karakteristik *Asphalt Concrete Wearing Course* Modifikasi “BGA” dan *fly ash*
2. Mengetahui perubahan yang terjadi pada Aspal Modifikasi “BGA” dan *fly ash* dibandingkan dengan *Asphalt Concrete Wearing Course* Modifikasi “BGA” dan semen *portland*.
3. Mendapatkan hasil perbandingan yang optimal antara campuran BGA terhadap penggunaan *fly ash* dan semen *portland* pada modifikasi *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC).

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini harus dibatasi supaya menyimpang dari tujuan penelitiannya. Adapun beberapa lingkup penelitian ini terbatas pada ketentuan sebagai berikut:

1. Fraksi agregat kasar dan halus berasal dari PT. Deltamarga Adyatama Jekulo Kudus Jawa Tengah.
2. Bahan aspal menggunakan Aspal Penetrasi 60/70.
3. Variasi BGA untuk penambahan *fly ash* batubara dan semen *portland* sebagai *filler* pada aspal adalah 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari berat aspal beton *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC – WC).
4. Gradasi pada campuran *job mix* aspal beton ini berdasarkan pada gradasi agregat gabungan sesuai dengan Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Revisi 2 2018.
5. Kinerja yang diukur adalah stabilitas, ketahanan friksi, kelelahan, dan Marshall Quotient.
6. Pengujian dengan metode Marshall Test dilakukan dalam kondisi suhu ruangan serta menggunakan acuan spesifikasi Bina Marga Revisi I Divisi 6 2018.
7. Penelitian dititik beratkan pada hasil pengujian Marshall, tidak pada reaksi kimia yang terjadi pada saat penyampuran bahan.
8. Penelitian hanya dilakukan di Laboratorium Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Agung dan tidak melakukan penghamparan lapangan.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam melakukan penulisan penelitian ini akan digunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Memberikan gambaran mengenai topik yang akan diteliti ke dalam latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan mengenai beberapa aspek legalitas dan teknis yang berkenaan langsung dengan analisis dalam penelitian ini. Penjabaran dan penguraian teori yang digunakan pada penelitian ini, sebagai bahan dalam menyelesaikan permasalahan yang dihadapi dalam penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

Menguraikan mengenai metode yang digunakan penelitian mulai dari tahapan penelitian, lokasi penelitian, materi penelitian, alat survei, waktu serta tata cara dan proses pengumpulan data lapangan.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Membahas mengenai hasil penelitian dan pembahasan tentang penelitian yang telah dilaksanakan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta mengemukakan beberapa saran yang mungkin untuk dilakukan dalam mendukung penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Buton Granular Asphalt adalah aspal alam yang terdapat di Pulau Buton. Biasanya dalam bentuk padat, aspal butiran terbentuk secara alami oleh proses geologis, yaitu dari minyak yang terdorong ke permukaan hingga menyusup di antara batuan berpori. Dari sekian banyak endapan Buton Granular Asphalt, tambang utamanya berada di Kabungka dan Lawele. Secara umum, aspal reklamasi Kabungka bersifat keras dan aspal reklamasi Lawele biasanya lebih lunak (Dirjen Bina Marga, 2006). Secara kimiawi, Buton Granular Asphalt terutama terdiri dari kalsium karbonat, sejumlah kecil magnesium karbonat, kalsium sulfat, dan beberapa senyawa lain.

Aspal alam tersebut dikenal dengan nama Asbuton atau Aspal Batu Buton dan berasal dari Pulau Buton di Provinsi Sulawesi Tenggara. Aspal butiran dapat diproduksi dalam berbagai ukuran. Mengenai kemudahan mobilisasi aspal, perlu diperhatikan bahwa semakin kecil granulasi maka semakin mudah aspal Asbuton dapat mobilisasi dalam campuran beton aspal. Dalam kasus campuran bitumen panas, butiran bitumen pada dasarnya dimasukkan ke dalam campuran aspal minyak-aspal panas dalam jumlah tertentu. Asbuton bertindak sebagai aditif dalam campuran dan sebagai pengganti aspal minyak. Sebagai bahan tambahan, Asbuton dikatakan dapat memperbaiki sifat campuran aspal minyak dan aspal, terutama dengan meningkatkan ketahanan beban lalu lintas dan kepekaan terhadap suhu medan panas. (Iqbal Arsyad A : 2018)

Buton Granular Asphalt (BGA) merupakan hasil pengolahan aspal Butir Butir dalam bentuk padat, yang dihancurkan dengan alat penghancur Batu (Crusher) atau alat penghancur lain yang sesuai sehingga memiliki ukuran partikel tertentu. Buton Granular Asphalt terdiri dari dua unsur utama yaitu aspal (bitumen) dan mineral. Sifat Butiran Granular Asphalt sama dengan aspal keras pada umumnya, yaitu. H. saat terkena panas, berubah wujud dari keras menjadi plastik. Granulate-Asphalt-Buton-Stein masih rapuh atau getas hingga suhu 30°C dan mudah pecah. Pada suhu 40°C - 50 °C, Buton Granular Asphalt bersifat plastis dan sulit pecah akibat benturan. Pada suhu di atas 60 °C, batu aspal sangat plastis. Antara lain, sifat aspal alam dari Pulau Buton (Dairi, 1992):

a). Partikel Buton Granular Aspal

Partikel Buton Granular Aspal tersusun dari kombinasi mineral, aspal dan air, berwarna hitam kecokelatan, sangat berpori dan relatif ringan.

b). Kadar bitumen

Kandungan bitumen Buton Granular Aspal sangat bervariasi, tidak teratur (tidak homogen) dan sulit diperkirakan. Ini karena Buton Granular Asphalt merupakan produk pertambangan.

c). Kadar air

Menurut sumber Natural Asphalt, kadar air Butiran Aspal Buton dipengaruhi oleh porositas partikel, kondisi cuaca dan kelembaban. Secara umum, kadar air partikel aspal yang diperoleh bervariasi antara 2 sampai 15%.

d). Bitumen Buton Granular Aspal

Bitumen murni Buton Granular Aspal diperoleh dengan metode destilasi vakum. Bitumen murni yang diperoleh diuji Sifat reologi dari aspal murni yang diperoleh dan komposisi struktural yang terkandung dalam aspal diuji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penetrasi, titik lembek dan viskositas Buton Granular Asphalt Bitumen sangat bervariasi.

e). Mineral Buton Granular Aspal

Pada umumnya mineral Buton Granular Aspal hampir 85% terdiri dari batuan dasar kapur (*limestone*). Komposisi mineral Buton Granular Aspal dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2.1 Komposisi mineral Buton Granular Aspal

Mineral	Kadar (%)
CaCO ₃	81,62 - 85,27
MgCO ₃	1,98 - 2,22
CaSO ₄	1,25 - 1,70
CaS	0,17 - 0,33
SiO ₃	6,95 - 8,20
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	2,15 - 2,84
Residu	0,83 - 1,12

Sumber : Molenaar, 2002

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, aspal di *Buton Granular Asphalt* terikat dengan mineralnya dan sulit untuk dipadatkan, sehingga perlu ditambahkan modifikator. Beberapa peneliti telah menggunakan pengubah yang berasal dari bahan alami. Bailey dkk. (2010) menyatakan bahwa limbah minyak bumi dapat digunakan untuk meregenerasi aspal yang terdegradasi. Limbah minyak nabati adalah limbah minyak wijen, limbah minyak bunga matahari, limbah minyak kedelai, limbah minyak jagung, limbah minyak kelapa sawit atau limbah minyak kacang tanah. Mengenai bahan botani, Wahyudi dan Yuniarti (2012) menyimpulkan bahwa penggunaan minyak nabati jarak sebagai peremajaan aspal reklamasi dapat meningkatkan kinerja campuran aspal daur ulang. Selain itu, Yuniarti (2012) menyimpulkan bahwa penggunaan minyak biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) dan bahan tanaman lainnya sebagai modifikator Buton Granular Asphalt granulate dapat menghasilkan lapisan aspal beton untuk angkutan lalu lintas berat. Dengan menggunakan modifier yang berasal dari bahan alami dan penambahan minyak tanah pada Buton Granular Asphalt Buton diharapkan kinerja campuran dapat memenuhi persyaratan yang ditentukan.

2.1 Abu Terbang (*Fly Ash*)

Abu terbang (*fly ash*) adalah abu hasil pembakaran batu bara yang biasa dihasilkan pada industri pembangkit listrik. *Fly ash* biasanya hanya diolah pada tumpukan di kawasan industri atau lahan yang tidak digarap. Akumulasi abu layang batu bara menimbulkan masalah karena abu terbang di udara dan dapat terhirup oleh manusia dan hewan. Terbangnya abu batubara juga dapat mempengaruhi kondisi air dan tanah di sekitarnya sehingga menyebabkan kematian tanaman. Efek negatif tersebut terutama disebabkan oleh unsur Pb, Cr dan Cd, yang sebagian besar terkonsentrasi pada fraksi butiran yang sangat halus ($0,5-10\ \mu\text{m}$). Butiran ini dapat dengan mudah diangkut dan dihirup oleh manusia dan hewan, sehingga konsentrasi tertentu yang terakumulasi dalam tubuh manusia dapat menimbulkan akibat yang berbahaya.

Komponen utama abu layang batubara dari pembangkit listrik adalah silikon oksida (SiO_2), aluminium oksida (Al_2O_3), oksida besi (Fe_2O_3), kalsium (CaO) dan sisanya magnesium, kalium, natrium, titanium dan belerang dalam jumlah kecil (Putri). , 2008). *Fly ash* terdiri dari butiran halus yang sebagian besar berbentuk bola padat atau berongga. Ukuran partikel *fly ash* yang dihasilkan

selama pembakaran batubara kurang dari 0,075 mm. Kepadatan abu terbang bervariasi antara 2100 dan 3000 kg/m³ dan permukaan spesifik antara 170 dan 1000 m²/kg. (Primer et al., 2007).

Fly ash memiliki kegunaan yang luas, seperti bahan baku semen, bahan tambahan pengolah limbah, bahan pengisi aspal dan lain-lain. Karbon sisa *flyash* hasil pembakaran memiliki kualitas yang sama dengan karbon aktif, sehingga studi tentang penghilangan sisa karbon berpotensi untuk meningkatkan nilai ekonomis *fly ash*. Mengingat kegunaan *fly ash* sebagai bahan pengisi aspal dan pentingnya mengurangi dampak negatif lingkungan, penggunaan *fly ash* sebagai komponen bioaspal diharapkan dapat menciptakan produk yang ramah lingkungan dan mengurangi ketergantungan terhadap aspal turunan minyak bumi.

2.2 Penyusun Perkerasan Jalan

Agregat adalah batu pecah, kerikil, pasir atau bahan galian alam dan buatan lainnya yang berupa mineral padat dalam ukuran besar atau kecil atau pecahan. Agregat merupakan komponen utama struktur perkerasan jalan, menjadi 90-95% agregat berat atau 75-85% agregat volume (Djalante, 2011). Oleh karena itu, kualitas perkerasan juga ditentukan oleh sifat-sifat agregat dan hasil pencampuran agregat dengan material lain. Sifat-sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu daya dukung dan ketahanan cuaca permukaan jalan. Kualitas agregat sebagai bahan paving ditentukan oleh: Kerak, kebersihan, kekerasan, kekuatan agregat, bentuk butir, struktur permukaan, porositas, daya serap air, berat jenis dan daya lekat aspal. Aspal menipis. Jumlah pori ditentukan oleh jumlah air yang diserap tergantung pada agregat. (Kurniawan et al., 2012). Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering, yang didapat dengan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$BJ_{abs} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \dots \dots \dots (2.6)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$BJ_{abs} = \frac{B_s}{B + B_s - B_t} \times 10\% \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

B : Berat piknometer berisi air, (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air, (gram)

Bs : Berat sample, (gram)

Bj : Berat sample kering permukaan jenuh

Bk: Berat sample kering oven

2.3 Persyaratan Agregat

Berdasarkan jenis dan ukuran butirannya agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (filler).

- Agregat Kasar

Agregat kasar rencana adalah yang tertinggal pada saringan No. #4 (4,75 mm) dan harus bersih, sehat dan bebas dari tanah liat atau bahan lain yang tidak diinginkan dan memenuhi persyaratan tabel 2.3. Agregat kasar yang digunakan dalam pengujian harus dihancurkan atau kerikil dan disediakan dalam ukuran standar. Agregat kasar ini memberi permukaan lebih stabil dan memiliki tingkat ketahanan slip yang tinggi untuk memastikan keselamatan lalu lintas. Agregat kasar dengan bentuk butiran bulat memudahkan proses pemadatan tetapi memiliki stabilitas yang rendah, sedangkan agregat sudut sulit untuk dipadatkan tetapi memiliki stabilitas yang tinggi. Bila digunakan sebagai campuran lapisan aus, agregat kasar harus memiliki ketahanan abrasi; untuk itu, nilai abrasi test of the loss angle harus diperhatikan. (Spesifikasi Bina Marga, 2018)

Tabel 2.3 Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
		magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 ^{*)}
		Lainnya		95/90 ^{**))}
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

- *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Stone Matrix Asphalt selanjutnya disebut SMA, terdiri dari tiga jenis : SMA Tipis, SMA Halus dan SMA Kasar, dengan ukuran partikel agregat maksimum dari setiap campuran adalah 12,5mm, 19mm, 25mm. Setiap campuran SMA dari bahan aspal polimer disebut sebagai SMA tipismodifikasi, SMA halus modifikasi, dan SMA kasar modifikasi.

- *Agregat Halus*

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan No.8 (2,36 mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan menempel di antara butiran. Agregat halus juga mengisi ruang antar butir. Bahan ini dapat terdiri dari kerikil atau pasir alam atau campuran keduanya . Persyaratan umum agregat halus sesuai ketentuan Spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6.

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat halus

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

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

- Filler (Bahan Pengisi)

Bahan Pengisi adalah bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075 mm) dan membentuk setidaknya 75% berat. Fungsi filler adalah untuk mengisi lubang-lubang udara pada material, sehingga mengeraskan lapisan aspal. Abu batu atau semen portland dapat digunakan sebagai bahan pengisi.

2.3.1 Buton Granular Asphalt (BGA)

Buton Granular Asphalt adalah produk aspal alam dari pulau buton yang diproduksi secara mekanis menjadi berbentuk butiran, Buton Granular Asphalt memiliki mineral dengan ukuran butir <1,16 mm, serta memiliki kadar air <2%. dan memiliki kadar bitumen pada butirnya berkisar antara 20%-25%.

Tabel 2.2 Persyaratan Bitumen Asbuton Butir (BGA)

No	Keterangan Pengujian	Metode	Tipe 5/20	Tipe 15/20	Tipe 15/25
1	Kadar Bitumen Asbuton ; %	SNI 03-3640-1994	18 - 22	18 - 22	23 - 27
2	Ukuran Asbuton Butir (BGA)				
3	Lolos saringan No.8 (2,36mm); %	SNI 03-1968-1990	100	100	100
4	Lolos saringan No.16 (1,18); %	SNI 03-1968-1990	Min. 9 - 5	Min. 9 - 5	Min. 9 - 5
5	Kadar air, %	SNI 06-2490-1991	Maks. 2	Maks. 2	Maks. 2
6	Penetrasi Asbuton , 25°C ;100gr; 5 detik; 0 ,1 mm	SNI 06-2456-1991	05-10	18-10	05-10

Sumber : Spesifikasi Khusus Campuran Panas dengan Asbuton, Binamarga (2018)

Mineral BGA memiliki diameter yang bersesuaian dengan ukuran agregat halus-filler, maka mineral BGA dapat menggantikan peran sebagian atau seluruhnya kebutuhan agregat halus-filler dalam campuran. Aspal yang menggunakan Asbuton BGA diklasifikasikan oleh Spesifikasi Umum Binamarga (2018) Rev. 3 sebagai Aspal Modifikasi. Asbuton Butir (BGA) memiliki beberapa tipe berdasarkan kadar bitumen yang terkandung dan kelas penetrasinya (Spesifikasi Khusus Campuran Panas dengan Asbuton, Binamarga (2018)), yaitu:

1. Asbuton butir tipe 5/20: kelas penetrasi 0.5 mm dan kelas kadar bitumen 20%.
2. Asbuton butir tipe 15/20: kelas penetrasi 1.5 mm dan kelas kadar bitumen 20%.
3. Asbuton butir tipe 15/25: kelas penetrasi 1.5 mm dan kelas kadar bitumen 25%.
4. Asbuton butir tipe 20/25: kelas penetrasi 2.0 mm dan kelas kadar bitumen 25%.

2.3.2 Gradasi Agregat

Gradasi merupakan hal yang penting untuk menentukan stabilitas jalan. Ukuran agregat umumnya mempengaruhi ukuran rongga intergranular, yang menentukan stabilitas dan kemudahan implementasi. Gradasi agregat dibedakan atas (Jenderal & Marga, 2018) :

a. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi Skala seragam adalah skala agregat dengan ukuran yang hampir sama. Grade seragam disebut juga open grade karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau rongga antar agregat. Campuran aspal yang dihasilkan pada skala ini berpori atau memiliki permeabilitas tinggi, stabilitas rendah, dan berat satuan rendah.

b. Gradasi rapat (*Dense graded*)

Gradasi rapat adalah skala agregat di mana butiran dari agregat kasar hingga halus hadir dalam proporsi yang sama. Oleh karena itu sering disebut sebagai continuous grading atau well graded. Agregat dianggap bergradasi baik bila persentase yang menembus setiap lapisan lapisan ayakan meningkat memenuhi:

$$P = 100 (d/D)^{0,45} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka

Agregat dengan skala padat membentuk lapisan perkerasan yang sangat stabil dan kurang permeabel, memiliki sifat drainase yang buruk dan memiliki berat satuan yang tinggi.

c. Gradasi senjang (*Gap graded*)

Gradasi senjang adalah skala agregat di mana ukuran agregat tidak lengkap atau tidak memiliki atau sedikit agregat. Agregat berukuran sedang membentuk lapisan jalan dengan kualitas antara agregat seragam dan agregat bergradasi rapat.

2.3.3 Karakteristik Campuran Aspal Beton

Beton aspal dibuat dari bahan-bahan agregat, aspal dan/atau udara yang dicampur secara merata atau homogen dalam suatu alat pencampur pada suhu tertentu. Campuran tersebut kemudian disebarkan dan dipadatkan hingga terbentuk beton aspal yang padat (Hainin et al., 2012). Perhitungan yang biasa digunakan pada campuran aspal beton adalah :

1. Berat Jenis *Bulk* Beton Aspal Padat (Gmb)

Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat (Gmb) dapat diukur dengan menggunakan hukum Archimedes, yaitu :

$$G_{mb} = \frac{\text{Berat Uji Kering}}{\text{Berat Uji Kering Permukaan} - \text{Berat Uji dalam Air}} \dots\dots\dots(2.9)$$

2. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal yang Belum Dipadatkan (Gmm)

Berat jenis maksimum (Gmm) campuran beton aspal yang tidak dipadatkan adalah berat jenis campuran beton aspal bebas udara yang ditentukan oleh uji laboratorium.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Gmm = Berat Jenis Maksimum Campuran

Pb = Jumlah Aspal, % terhadap Total Berat Campuran

Ps = Jumlah Agregat, % terhadap Total Berat Campuran

Gb = Berat Jenis Aspal

GSe = Berat Jenis Efektif Agregat

3. Rongga diantara mineral agregat (VMA)

Rongga diantara agregat (VMA = Voids of Mineral Aggregate adalah jumlah pori antar agregat dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase.

$$VMA = 100 \frac{G_m - P}{G_{sb}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Gmb = Berat Jenis Bulk Campuran

Gsb= Berat Jenis Efektif Agregat

Ps = Jumlah Agregat, % terhadap Total Berat Campuran

4. Rongga di dalam campuran (VIM)

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat (VIM) adalah jumlah pori antara butiran batuan yang tertutup aspal. VIM dinyatakan sebagai persentase volume beton aspal padat.

$$VIM = 100 \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Gmm = Berat Jenis Maksimum Campuran

Gmb = Berat Jenis Bulk Campuran

VIM = Rongga udara dalam, persentase terhadap volume campuran

5. Rongga terisi aspal (VFA)

Jumlah rongga anantara butir agregat (VMA) didalam beton aspal padat yang diisi aspal dinyatakan sebagai VMA. Persentase rongga antara butiran agregat bitumen disebut VFA. Oleh karena itu VFA adalah bagian dari VMA yang diisi dengan bitumen, tidak termasuk aspal, yang diserap oleh setiap butir agregat. Jadi aspal yang memenuhi VFA adalah persentase volume beton aspal padat yang menjadi membran atau perkerasan aspal. Perhitungannya didasarkan pada volume beton aspal yang padat (Gadpalliwar et al., 2018).

$$VFA = \frac{100.(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.12)$$

VIM = Rongga udara dalam campuran, persen terhadap volume campuran

VMA = Pori Butir agregat di dalam beton aspal, % dari volume bulk beton aspal

VFA = Pori antar butir Agregat yang terisi Aspal % dari VMA

2.3.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum menurut SNI-06-2490-1991 dengan rumus ;

$$B = \frac{(1-W_2)-(W_3+W_4)}{VMAW_1-W_2} \times 100\%$$

.....(2.13)

B = Kadar Aspal, dinyatakan dalam %

W1= Berat benda uji dinyatakan dalam gram.

W2 = Berat air dalam benda uji dinyatakan dalam gram.

W3= Berat mineral hasil ekstraksi dinyatakan dalam gram.

W4= Berat mineral halus yang tertinggal dalam filtrat, dinyatakan dalam gram.

2.4 Laston Lapis Aus (AC-WC)

Laston adalah permukaan jalan dengan nilai struktural. Campuran ini terdiri dari agregat bergradasi kontinyu yang dicampurkan pada aspal keras, disebar dan dipadatkan panas pada suhu tertentu. Laston adalah lapisan paving yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat butir menerus yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan pada suhu tertentu. (Rahim et al., n.d.) Ada berbagai jenis beton aspal panas, namun jenis beton aspal panas yang diteliti dalam penelitian ini adalah AC-BC dan AC-WC. Lapisan ikatan (bond layer) adalah lapisan di bawah lapisan aus. Tidak berhubungan langsung dengan kondisi cuaca, tetapi membutuhkan stabilitas untuk mendukung beban lalu lintas yang disalurkan melalui roda kendaraan dengan ketebalan nominal minimal 5 cm. Sedangkan Laston Wearing Course adalah lapisan atas yang terhubung langsung dengan ban kendaraan, yang tahan air dan cuaca serta memiliki kekasaran yang dibutuhkan dengan ketebalan nominal minimal 4 cm. Lapisan-lapisan ini menyerap beban lalu

lintas dan mendistribusikannya kembali ke lapisan-lapisan di bawahnya dalam bentuk beban kendaraan (gaya vertikal), gaya rem (horizontal) dan guncangan roda kendaraan (getaran). Karena sifat distribusi beban, beban yang diserap oleh setiap lapisan berbeda, dan semakin berkurang. Lapisan permukaan disebut lapisan permukaan, dan lapisan permukaan ini harus menahan semua jenis beban yang bekerja. . Oleh karena itu lapisan permukaan mempunyai fungsi sebagai berikut :

5. Lapis perkerasan penahan beban roda, harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
6. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan–lapisan tersebut
7. Lapis aus, lapisan yang langsung menerima gesekan akibat gaya rem dari kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
8. Lapisan yang meyebarkan beban kelapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang ada di bawahnya.

Untuk memenuhi fungsi di atas, lapisan lapisan atas biasanya disiapkandengan bahan pengikat aspal, sehingga menghasilkan lapisan kedap air dengan stabilitas tinggi dan daya tahan jangka panjang. . (Zumrawi et al., 2015)

Menurut (Rahim et al., n.d.), aspal terdiri dari dua jenis bahan kimia yang dominan, yaitu asphaltenes dan maltenes. Asphaltene adalah senyawa hitam atau coklat tua yang mengandung karbon, hidrogen, beberapa nitrogen, belerang dan oksigen. Senyawa aspal yang tinggi menyebabkan pengerasan aspal yang tercermin dari nilai penetrasi yang rendah. Secara umum, kandungan asphaltene bervariasi antara 5% dan 25%. Malt mengandung jenuh, aromatik dan resin. Kandungan resin aspal memastikan daya rekat aspal yang kuat. Aromatik adalah molekul aspal paling ringan dan mengandung sekitar 40-65% aspal. Jenuh bersama dengan Neptana basa dan Aroma sedikit basa. Ini adalah minyak non-polar berwarna putih bening.

2.5 Material Penyusun Perkerasan Jalan

Agregat adalah batu pecah, kerikil, pasir atau bahan galian alam dan buatan lainnya yang berupa mineral padat dalam ukuran besar atau kecil atau pecahan. Agregat merupakan komponen terpenting dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berat atau 75-85% agregat volume. Oleh karena itu, kualitas perkerasan juga ditentukan oleh sifat-sifat agregat dan hasil pencampuran agregat dengan material lain. Sifat-sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu daya dukung dan ketahanan cuaca permukaan jalan. Kualitas agregat sebagai bahan paving ditentukan oleh: skala, kebersihan, kekerasan, kekuatan agregat, bentuk butiran, permukaan akhir, porositas, kapasitas penyerapan air, berat jenis dan daya lekat aspal. Agregat dengan kadar void yang tinggi membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak karena banyaknya aspal yang terserap menghasilkan aspal yang lebih tipis. Penentuan jumlah pori ditentukan oleh jumlah air yang terserap dalam agregat. (Jaya et al., 2019)

2.6 Spesifikasi gradasi agregat lapis AC-WC

Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan paving, agregat sendiri merupakan bahan yang kaku dan keras. Agregat berkualitas tinggi dan berkualitas tinggi diperlukan untuk lapisan atas, yang secara langsung membawa beban lalu lintas dan mentransfernya ke lapisan bawah. . (Materials & Shankar, 2006).

2.7 Aspal

Aspal pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera dalam tabel 2.5

Tabel 2.5 Spesifikasi Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25° C, 100 gr, 5	SNI 06-2456-1991	50 – 80
2.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	≥ 54
3.	Indeks penetrasi	-	$\geq - 1,0$
4.	Daktilitas pada 25° C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 150
5.	Titik nyala	SNI 06-2433-1991	≥ 232
6.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	$\geq 1,0$
7.	Berat yang hilang	SNI 06-2440-1991	$\geq 0,8$

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2.)

Aspal, atau bitumen, adalah bahan berwarna coklat kehitaman yang bersifat viskoelastis, artinya melunak dan meleleh. Berkat sifat viskoelastik ini, aspal mampu menutupi dan menahan agregat selama produksi dan umurkonstruksi jalan. Intinya, aspal terdiri dari rantai hidrokarbon, yang disebut bitumen.

2.7.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall

Tes Marshall adalah metode laboratorium yang paling umum untuk memeriksa kinerja campuran panas dengan alat Marshall untuk menentukan stabilitas dan nilai kelelahan plastik dari campuran aspal. Konsep ini dikembangkan pada tahun 1939 oleh Bruce Marshall, seorang insinyur material aspal untuk Departemen Jalan Raya Negara Bagian Mississippi. Kemudian penelitian ini dilanjutkan oleh Amerika Serikat. Korps Insinyur Angkatan Darat, dengan penambahan yang lebih luas dan lebih komprehensif pada prosedur pengujian Marshall, kemudian mengembangkan Kriteria Desain Lain-Lain. (Jamshidi et al., 2019).

Untuk pencampuran, agregat dan aspal dipanaskan pada suhu yang memiliki nilai kekentalan aspal 170 ± 20 centistokes (cst) dan dipadatkan pada suhu yang memiliki nilai kekentalan aspal 280 ± 30 cst. Alat yang digunakan dalam proses pemadatan adalah palu pemadatan Marshall (Gambar 2.1). Spesimen silinder dengan tinggi 64 mm dan diameter 102 mm diuji gagal pada suhu $60 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

dan laju pemuatan konstan 51 mm/menit. Beban maksimum yang dapat diambil benda uji sebelum dihancurkan disebut stabilitas Marshall. Besarnya regangan yang terjadi pada benda uji sebelum pecah adalah arus Marshall. Perbandingan antara stabilitas dan aliran Marshall. Yang disebut koefisien Marshall adalah ukuran ketahanan material terhadap deformasi. Alat yang digunakan terdiri dari mesin uji *Marshall* seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1. Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test

Dari pengujian *Marshall* diperoleh parameter-parameter yang disebut dengan *Marshall Properties*, yang terdiri dari kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), kelelehan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga terisi aspal (VFB), dan persentase rongga dalam agregat (VMA).

2.7.2 Pengikat bitumen

Permukaan trotoar di seluruh dunia memiliki sejarah panjang menggunakan aspal sebagai pengikat di aspal campuran (Jaya et al., 2019). Bitumen sendiri adalah produk rumahan dari pemurnian minyak mentah untuk produksi gas minyak bumi, bahan bakar minyak bumi, bahan bakar diesel dan minyak pelumas. Residu dari yang kedua penyulingan minyak mentah termasuk aspal, yang kemudian dipisahkan dan diproses untuk dijual di industri konstruksi trotoar jalan, bandara, dan pelabuhan, serta produksi herpes zoster atap dan produk lainnya.

Secara tradisional, produksi aspal menggunakan aspal yang tidak dimodifikasi, biasanya dinilai sesuai dengan viskositas atau ketahanan terhadap penetrasi beban pada suhu tertentu. Namun, sebagaimana diperlukan sifat rekayasa campuran aspal meningkat dari waktu ke waktu, polimer, asam dan lainnya aditif dimasukkan untuk meningkatkan ketahanan campuran aspal ke suhu tinggi deformasi, retak suhu rendah dan kerusakan kelembaban (Materials & Shankar, 2006).

Secara tradisional, produksi aspal menggunakan aspal yang tidak dimodifikasi, biasanya dinilai sesuai dengan viskositas atau ketahanan terhadap penetrasi beban pada suhu tertentu. Namun, sebagaimana diperlukan Seperti banyak negara, baik Australia dan Inggris terutama menggunakan aspal atau polimer yang tidak dimodifikasi aspal yang dimodifikasi sebagai pengikat dalam campuran aspal. Inggris mempertahankan penilaian penetrasi sistem untuk aspal yang tidak dimodifikasi sementara Australia menggunakan penilaian berbasis viskositas. Namun viskositas dan penetrasi umumnya terkait secara terbalik dan nilai yang biasanya setara adalah dirangkum dalam Tabel 2.6, meskipun ada tumpang tindih yang signifikan antara nilai Grafik 2.6 dengan hubungan bervariasi di antara sumber. Penilaian aspal modifikasi polimer (PMB) lebih banyak kompleks dan banyak negara beralih ke sistem Performance Grading (GP) dikembangkan di Amerika Serikat (FHWA 2011). Namun, Australia mempertahankan sistem nilai PMB berdasarkan properti produksi yang menunjukkan jenis dan persentase polimer (Putih 2017). Bagi aplikasi berkinerja tinggi, A10E dan A35P adalah PMB elastomerik dan plastomerik umum untuk produksi aspal di Australia. Meskipun kandungan aspal biasanya hanya 5- 6%, pengikat mencerminkan sekitar 60% dari biaya bahan baku di aspal dan penggantian aspal parsial dengan produk by-products dan limbah menghadirkan manfaat biaya yang signifikan (White, 2019) di mana kinerja campuran tidak terpengaruh secara merugikan.

2.7.3 *Generally equivalent common graded of unmodified bitumen*

Viscosity Grade (Pa.s at 60°C)	Generally equivalent Penetration Grade (/0.1 mm at 25°C)
C170 (140-180)	70/100
C320 (260-360)	40/60
C600 (500-700)	30/45

2.8 Sifat Bahan Aggregate Aspal Wearing Coarse

Aspal Wearing Coarse adalah Aspal Wearing dengan gradasi senjang dengan Agregat lolos saringan No.16

2.8.1 *Fraksi Agregat Kasar*

Agregat kasar yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel atau pecahan batu keras dan awet. Bahan Pecah apabila berulang-ulang dibasahi dan dikeringkan tidak boleh digunakan.

2.8.2 *Fraksi Agregat Halus*

Agregat halus yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel pasir alami atau batu pecah halus dan partikel halus lainnya yang memenuhi persyaratan

2.8.3 *Sifat bahan yang disyaratkan*

Seluruh bahan agregat harus terlepas dari bahan organik dan atau gumpalan lempung atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki dan setelah dipadatkan harus memenuhi ketentuan gradasi (menggunakan ayakan secara basah) dan memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan berdasarkan tabel dibawah ini.

Tabel. 2.6 Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk *Wearing Coarse*

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50		100		
1½"	37,5	100	88 - 95	100	100
1"	25,0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	71 - 87
¾"	19,0				58 - 74
½"	12,5				44 - 60
3/8"	9,50	44 - 58	30 - 65	41 - 66	34 - 50
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	19 - 31
No.8	2,36				8 - 16
No.10	2,0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No.16	1,18				0 - 4
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26	
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16	

Sumber ; Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 5

Tabel. 2.7 Sifat -sifat Agregat untuk *Wearing Coarse*

Sifat – sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	80/75 ³⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indek Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No.200	maks.25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	min.90 %	min.60 %	min.50 %	-
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40	maks.2/3	maks.2/3	-	-
Koefisien Keceragaman : $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	> 3,5

Sumber ; Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 6

2.8.4 Pencampuran bahan

Pencampuran bahan untuk memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan harus dikerjakan di lokasi *stone crusher* (pemecah batu) yang telah memiliki standart pemecahan dengan menggunakan pemasok mekanis (*mechanical Feeder*) yang telah dikalibrasi untuk memperoleh aliran yang menerus dari komponen campuran dengan proporsi yang benar dan dalam keadaan apapun tidak dibenarkan melakukan pencampuran di lapangan.

2.9 Lapis Pengikat

Lapis Pengikat mencakup penyediaan dan penghamparan bahan aspal pada permukaan yang telah disiapkan. Lapis pengikat dihampar diatas permukaan pondasi tanpa bahan pengikat lapis pondasi agregat.

2.9.1 Cuaca yang diijinkan untuk bekerja

Lapis Pengikat harus dilaksanakan pada permukaan yang kering dan benar – benar kering. Pelaksanaan Lapis pengikat tidak boleh dilaksanakan saat angin kencang, hujan atau akan turun hujan.

2.9.2 Kesiapan Pekerjaan

Kesiapan pekerjaan lapis pengikat sebagai berikut ;

- a. Lima liter contoh dari setiap bahan yang diusulkan dalam pekerjaan dilengkapi dengan sertifikat dari pembuatnya dan hasil pengujian yang disyaratkan
- b. Catatan kalibrasi dari semua instrument dan meteran ukur serta tongkat celup ukur untuk aspal distributor. Tongkat celup ukur, alat instrumen dan harus dikalibrasi memenuhi akurasi, toleransi ketelitian memenuhi Spesifikasi serta tanggal pelaksanaan kalibrasi harus tidak melebihi satu tahun sebelum pelaksanaan dilakukan.
- c. Laporan harian untuk pekerjaan yang lakukan dan takaran pemakaian bahan harus memenuhi spesifikasi.

2.10 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Azilla Rahmania, Sulaiman AR, Fauzi A Ghani (2021)	Substitusi Filler Abu Ampas Tebu pada Laston Ac-Wc dan Buton Granular Asphalt Sebagai Agregat Halus	American standart for Testing and materials (ASTM), American Association of State Higway and Transportation Offiials (AASHTO) dan Standar Nasional Indonesia (SNI)	Bitumen Granular Asphalt (BGA) and filler abu ampas tebu	Persentase komposisi <i>Mix Design</i> yang dihasilkan berupa agregat halus 10%, ayakan 30%, debu 38% (mengganti Aspal Granular Buton dengan varietas 25%, 50% dan 100%), pasir 20% dan filler fly ash 2%. Substitusi tebu sebesar 50% dari total agregat dan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 6,6%. Pengisi aspal butir-butir halus Marshall, parameter pengisi abu batu dan abu ampas tebu, stabilitas, flowabilitas, nilai VMA, VIM, dan MQ meningkat seiring dengan peningkatan konsentrasi aspal butir-butir dengan pengisi abu batu.. Nilai pada VFB, <i>density</i> , dan durabilitas mengalami penurunan seiringbertambahnya kadar <i>Buton Granular Asphalt</i> . Nilai optimum parameter <i>Marshall</i> pada campuran 25% <i>Buton Granular Asphalt</i>
Febby Salsha Nabila, Sofwan M. Saleh, Cut Mutiawati (2020)	Krakteristik Campuran Aspal Porus dengan Buton Granular Asphalt sebagai Bahan Substitusi Agregat halus dan styrofoam substitusi Aspal Pen 60/70	Metode marshall campuran variasi persentase BGA yaitu 0%, 6% dan 8% serta <i>styrofoam</i> sebagai bahan substitusi ke dalam aspal penetrasi 60/70, dilakukan dengan beberapa variasi persentase yaitu sebesar 0%, 7% dan 9%.	Bitumen Granular Asphalt (BGA) and Styrofoam	Hasil pengujian penentuan KAO pada fluktuasi kadar aspal 4,25%; 4,75%; 5,25%; 5,75%; dan 6,25% menggunakan timbangan terbuka. Parameter Marshall adalah : Kepadatan, VIM, Stabilitas, Aliran dan Koefisien Marshall. sifat-sifat campuran aspal berpori yang kadar aspalnya bervariasi menurut BGA 6%, 8% polystyrene 7%, 9% dengan penggantian. Topik yang dibahas pada subbab ini sesuai dengan hasil penelitian properti dan hasil pengolahan data campuran aspal berpori. Berdasarkan penelitian, kadar aspal optimum terbaik dicapai dengan substitusi 5,76% 9% BGA 8% Styrofoam, dengan semua parameter memenuhi spesifikasi AAPA (2004).

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
M.Iqbal Batubara, Zurkanain A.Nuis, Adina Sari Lubi (2016)	Studi Pengaruh Penambahan Buton Granular Asphalt 5/20 terhadap karakteristik Marshall Campuran Asphalt Panas AC-WC	Persentase Buton Granular Asphalt (BGA) 0%, 3%, and 5%, dari campuran desain. Dengan kadar bahan pengikat rencana (4,5 % - 6,5 %)	Sifat campuran aspal yang mengandung Buton Granular aspal (BGA)	Hasil menunjukkan bahwa campuran dengan kadar aspal optimum (KAO) digunakan kadar dapat yang memenuhi semua parameter Marshall, sehingga berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai KAO dengan BGA sebesar 0%. 3%, 5%. 5,85%, 5,9% dan 6%. Hasil ini dinilai memuaskan karena nilainya lebih tinggi dari kadar aspal (Pb) optimal. Ditemukan bahwa semakin banyak BGA yang digunakan, semakin besar pula kebutuhan aspal untuk mencapai kadar optimum.
Kurniawan Eka Yunanto, Purwo Mahardi, yogie Risdianto (2018)	Analisa Campuran AC-WC dengan Agregat Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan filler Fly Ash sebagai campuran Induk untuk Penambahan Styrofoam (Polystyreme)	analisis pengujian aspal <i>wearing-course</i> (AC-WC) dengan bahan <i>reclaimed asphalt pavement</i> (RAP) yang di substitusikan terhadap agregat dan menggunakan <i>fly ash</i> sebagai <i>filler</i> serta penambahan <i>Styrofoam</i> kedalam campuran dengan metode kering.	Agregat Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan filler Fly Ash	Dari pengaruh penggunaan agregat RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) dan fly ash sebagai filler pada campuran AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course), dapat disimpulkan bahwa KAO yang dihasilkan dari penggunaan RAP 21% adalah sebesar 5,25%. . Sebuah campuran. Nilai stabilitas Marshall 1256,64 kg, nilai leleh atau aliran 3,25 mm, V.I.M 4,51%, V.M.A 15,12%, V.F.A 70,20% dan Koefisien Marshall 387,67 kg/mm. Jika hasilnya lebih baik dari campuran acuan, varian 1. Menggunakan RAP sebagai agregat dapat memenuhi persyaratan umum Bina Marga 2010 dan dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat.

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Mohamad Yusup Awang Ma'ruf, Yogie Risdianto (2018)	Pengaruh Penggunaan BGA (Buton Granular Asphalt) pada perencanaan aspal Beton AC-WC pen menggunakan Fly Ash sebagai Filler	Pengujian lapis aspal beton <i>hotmix</i> pada AC-WC (<i>Asphalt Concrete - Wearing Course</i>) dan AC-WC menggunakan asbuton butir tipe BGA terhadap karakteristik Marshall menggunakan alat <i>Marshall test</i> . Benda uji yang akan digunakan adalah aspal, agregat halus, agregat kasar, dan bahan pengisi (<i>filler</i>).	Buton Granular Asphalt (BGA) dan filler Fly Ash	Hasil penelitian menunjukkan kadar aspal (KAO) optimum pada campuran AC-WC adalah 5,55 n AC-WC bila menggunakan aspal grade 60/70 dengan BGA tipe Asbuton yaitu sebesar 4,55%. Lapisan Beton Aspal AC-WC Nilai stabil properti Marshall sebesar 1244 kg, nilai leleh atau flow sebesar 3,4 mm, VIM 3,55%, VMA 15,9%, VFB 77,6 dan koefisien Marshall sebesar 369,37 kg/mm dengan AC. Aspal lapis beton WC aspal stick 60/70 dengan jenis aspal button BGA memiliki nilai stabilitas 1724 kg, nilai leleh atau flow 3,1 mm, VIM 5,08%, VMA 15,026%, VFB 66,19, koefisien Marshall 562 kg.
A. Martha K. (2012)	Analisis Kinerja Campuran Aspal Panas dengan Menggunakan Variasi Komposisi BGA (<i>Buton Granular Asphalt</i>) dan Penambahan Aditif Jenis Polimer	Pengujian campuran aspal dengan menggunakan material BGA dan polimer SBS	Campuran aspal panas, BGA, Aditif SBS	Hasil pengujian menunjukkan campuran aspal modifikasi polimer P4-B5 memiliki nilai stabilitas tertinggi dari seluruh campuran yaitu 1333,181 kg. Namun pertimbangan ekonomis dari material yang digunakan pada campuran aspal tersebut menjadikan campuran aspal P2-B7 sebagai pilihan campuran yang paling cocok untuk diterapkan, karena nilai kestabilannya tidak berbeda jauh dengan nilai kestabilan campuran P4-B5 1280.471 kg.

2.11 Rencana Penelitian

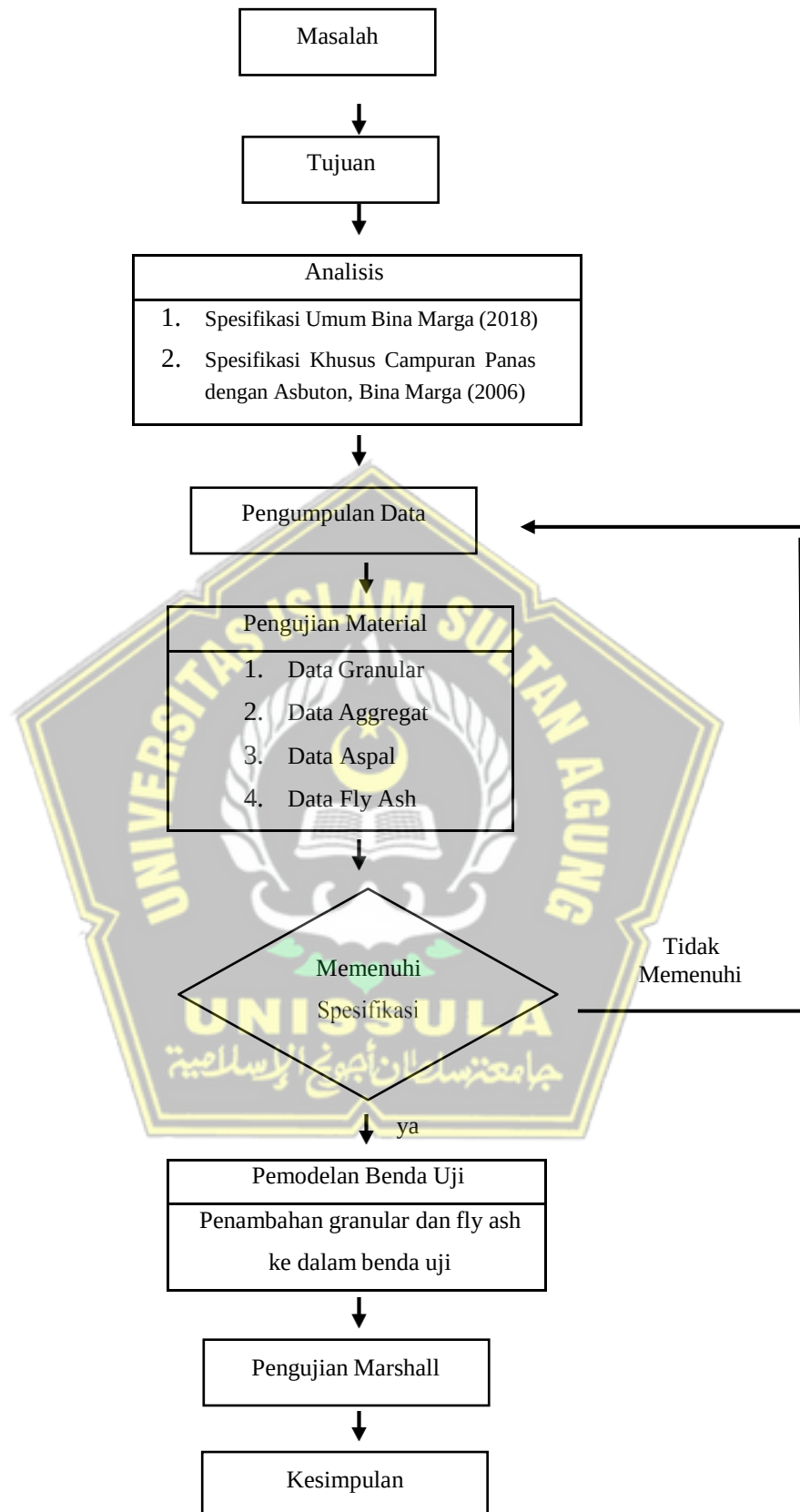
Rencana Penelitian bertujuan untuk menunjukkan rencana peneliti dari tujuan, metode yang digunakan dan hasil yang diharapkan.

Adapun rencana penelitian dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Rencana Penelitian

No	Judul Penelitian	Peneliti	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil yang Diharapkan
1	Pengaruh Perbandingan Persentasi Buton Granular (BGA) Pada Aspal Wearing Coarse (AC-WC) Dengan Tambahan Fly Ash Terhadap Uji Parameter Aspal	Ferdiano Yogi Pradana, Muhammad Sektiaji Kliswanto	Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi nilai kuat tekan <i>Asphalt Concrete- Wearing Course</i> dengan modifikasi buton granular dan fly ash, dengan komposisi 10%,20%,30%,40%,50% granular dan fly ash sebagai pengganti substitusi <i>filler</i> (semen porland)	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan menganalisis hasil tes Marshall. Dalam studi ini, mengacu pada spesifikasi umum binamarga 2018 digunakan dalam pembuatan benda uji.	Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah diperolehnya nilai stabilitas sesuai spesifikasi umum Bina Marga, sehingga hasil penelitian ini dapat digunakan untuk menghasilkan KAO Asphalt concrete – Wearing Course.

2.12 Kerangka Pemikiran



Gambar 2. 1 Kerangka Berfikir

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tipe Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap perlakuan lainnya dalam kondisi terkendali (Jaya et al., 2019). Dari definisi beberapa ahli, dapat disimpulkan bahwa penelitian eksperimen adalah penelitian yang meneliti tentang pengaruh perlakuan atau perlakuan terhadap subjek penelitian.

Menurut (Jaya et al., 2019), penelitian eksperimen dalam pendidikan terbagi menjadi dua, yaitu penelitian laboratorium dan penelitian non laboratorium. Pada penelitian ini dilakukan eksperimen di laboratorium dengan menggunakan perlakuan dengan meningkatkan proporsi Buton Buton Granular Asphalt dan membandingkan penggunaan fly ash dan semen portland dengan lapis bantalan beton aspal modifikasi.

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain;

- a) Agregat kasar, halus, filler diperoleh dari hasil pemecahan batu(stonecrusher) di AMP (Asphalt Mixing Plant) PT. Deltamarga Adyatama Jekulo Kudus Jawa Tengah.
- b) Bahan aspal menggunakan Aspal Penetrasi 60/70.
- c) *Buton Granular Asfalt* adalah bahan aspal alam Sebagai bahan tambah (additive), Asbuton diharapkan akan meningkatkan karakteristik aspal minyak dan karakteristik campuran beraspal terutama agar memiliki ketahanan terhadap beban lalu lintas dan kepekaan terhadap temperatur panas di lapangan digunakan kadar 10%, 20% , 30% , 40% dan 50% dari kadar aspal Optimum (KAO) pada bahan BGA.

- d) Bahan *fly ash* yang menjadi obyek penelitian adalah hasil pembakaran batu bara PLTU yang diambil dari PT. Deltamarga Adyatama Jekulo Kudus Jawa Tengah dengan kadar yang dibutuhkan untuk job mix adalah 1,2% untuk masing-masing benda uji.

3.6.2 Peralatan Penelitian

a. Alat penguji agregat dan *filler*

Mesin *Los Angeles* (untuk uji abrasi), saringan standar (untuk penilaian agregat), pengering (untuk oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), dan bak perendaman dan tabung (Setara Pasir) adalah beberapa alat yang digunakan untuk pengujian agregat.

b. Alat penguji aspal

Peralatan pengujian aspal meliputi; alat uji kelarutan, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji titik lembek, dan alat uji kelarutan.

c. Alat pengujian campuran metode *Marshall*

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi;

- 1) Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flow meter*).
- 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inci) dengan tinggi 7,5 cm (3 inci) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 inci) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci), berat 4,5 kg (10 lbs), dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inci) untuk *Marshall* standar.
- 4) *Ejektor* untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- 5) Bak perendaman (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu..

3.2.3 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Komposisi aspal yang di rencanakan yaitu *BGA* dengan kadar 10%, 20%, 30%, 40 dan 50%, untuk masih-masing setiap campuran filler (*flyash* dan portland semen, bukan untuk komposisi yang normal.

Tabel 3.1. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
BGA 10 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/4)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
	A. <i>BGA</i>	10,0 %	6.96 gram
	B. Aspal (digunakan)		62,64 gram

Tabel 3.2. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
BGA 20 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/4)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
	A. <i>BGA</i>	20,0 %	13,92 gram
	B. Aspal (digunakan)		55,68 gram

Tabel 3.3. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
BGA 30 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	Medium Agregat (1/2)	25 %	300,0 gram
5	Coarse Agregat (3/4)	25 %	300,0 gram
6	Filler	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
	A. BGA	30,0 %	20,88 gram
	B. Aspal (digunakan)		48,72 gram

Tabel 3.4. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
BGA 40 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	Medium Agregat (1/2)	25 %	300,0 gram
5	Coarse Agregat (3/4)	25 %	300,0 gram
6	Filler	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
	A. BGA	40,0 %	27,84 gram
	B. Aspal (digunakan)		41,76 gram

Tabel 3.5. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
BGA 50 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	Medium Agregat (1/2)	25 %	300,0 gram
5	Coarse Agregat (3/4)	25 %	300,0 gram
6	Filler	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
	A. BGA	50,0 %	34,8 gram
	B. Aspal (digunakan)		34,8 gram

Tabel 3.6. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal
Kadar Aspal 4%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	506,88 gram
2	Pasir	3,0 %	34,56 gram
4	Medium Agregat (3/4)	12 %	138,24 gram
5	Coarse Agregat (1/2)	40 %	460,8 gram
6	Filler	1,0 %	11,62 gram
		100,0 %	1152 gram
Keterangan Aspal :			
	A. Aspal	4 %	48 gram

Tabel 3.7. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)Normal

Kadar Aspal 4,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	504,24 gram
2	Pasir	3,0 %	34,38 gram
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	12 %	137,52 gram
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	40 %	458,4 gram
6	<i>Filler</i>	1,0 %	11,46 gram
		100,0 %	1146 gram
Keterangan Aspal :			
	A. Aspal	4,5 %	54 gram

Tabel 3.8. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)Normal

Kadar Aspal 5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	501,6 gram
2	Pasir	3,0 %	34,2 gram
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	12 %	136,8 gram
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	40 %	456 gram
6	<i>Filler</i>	1,0 %	11,4 gram
		100,0 %	1140 gram
Keterangan Aspal :			
	A. Aspal	5 %	60 gram

Tabel 3.9. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)Normal

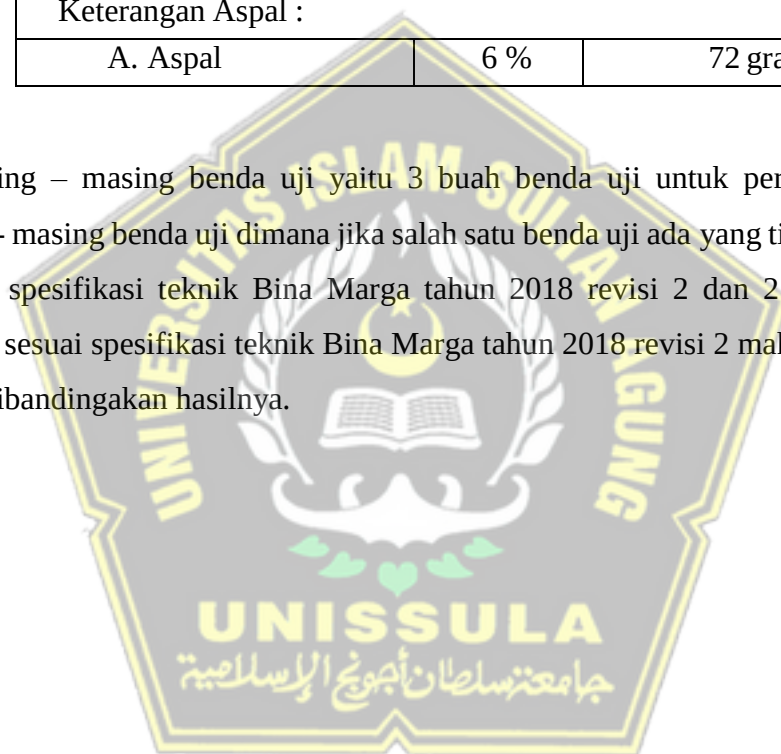
Kadar Aspal 5,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	498,96gram
2	Pasir	3,0 %	33,84 gram
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	12 %	136,08 gram
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	40 %	453,6 gram
6	<i>Filler</i>	1,0 %	11,34 gram
		100,0 %	1134 gram
Keterangan Aspal :			
	A. Aspal	5,5 %	66 gram

Tabel 3.10. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal
Kadar Aspal 6%

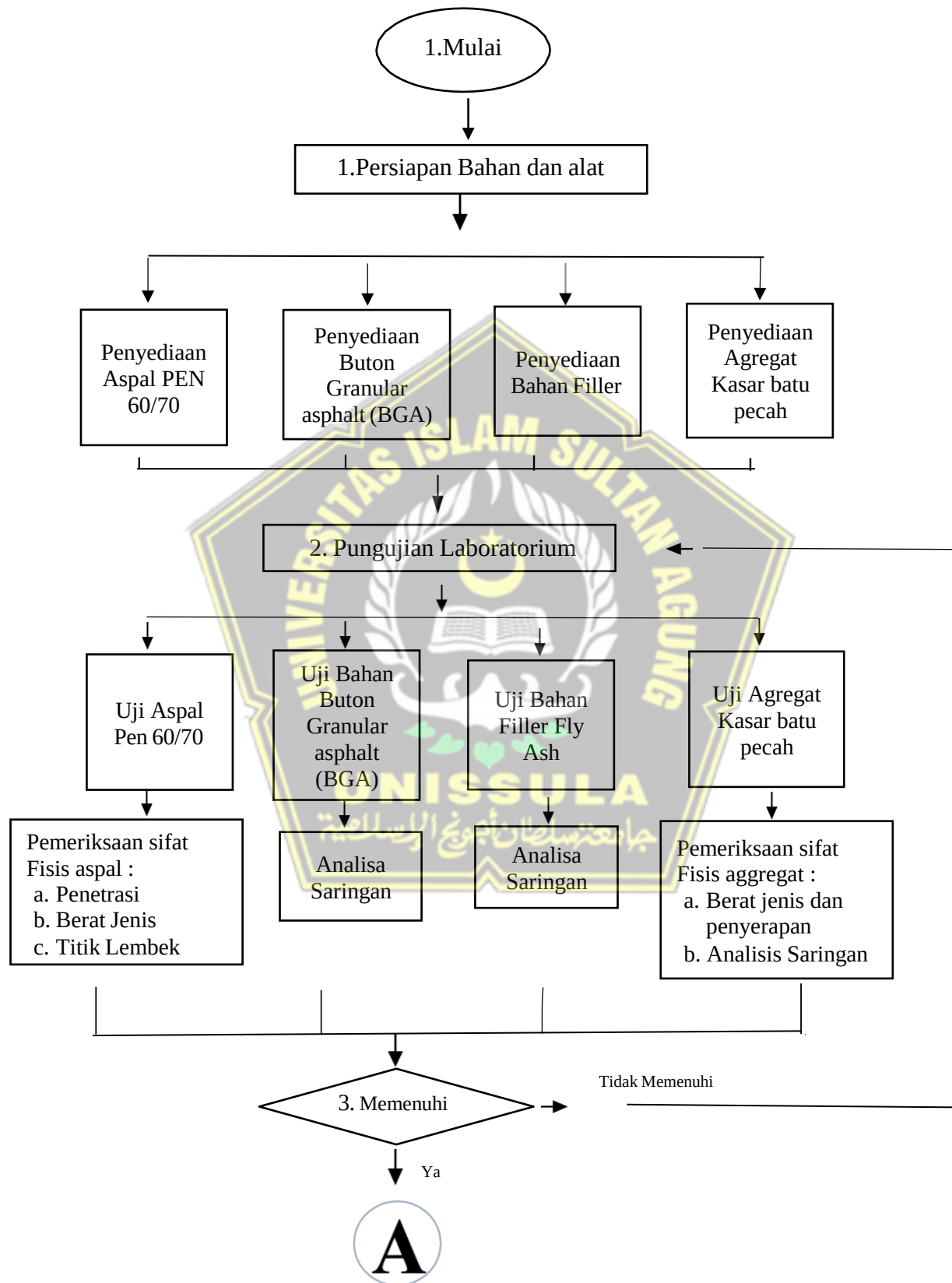
No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	496,32 gram
2	Pasir	3,0 %	33,84 gram
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	12 %	135,36 gram
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	40 %	451,2 gram
6	<i>Filler</i>	1,0 %	11,28 gram
		100,0 %	1128 gram
Keterangan Aspal :			
A. Aspal		6 %	72 gram

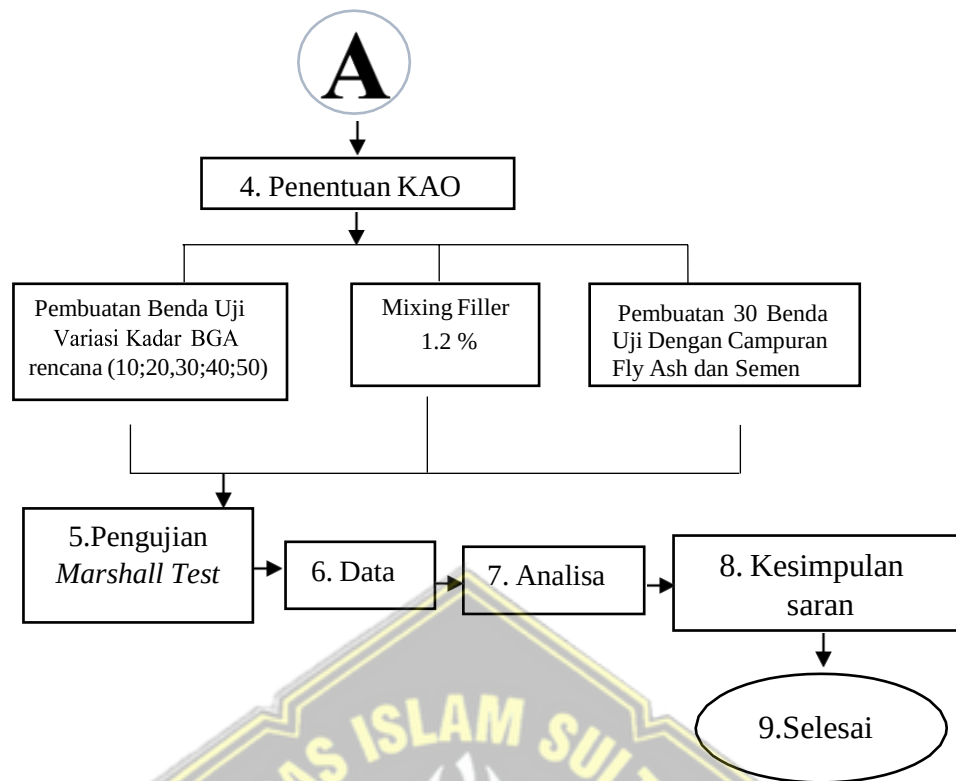
Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan masing- masing benda uji dimana jika salah satu benda uji ada yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 dan 2 benda uji lainnya sesuai spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.



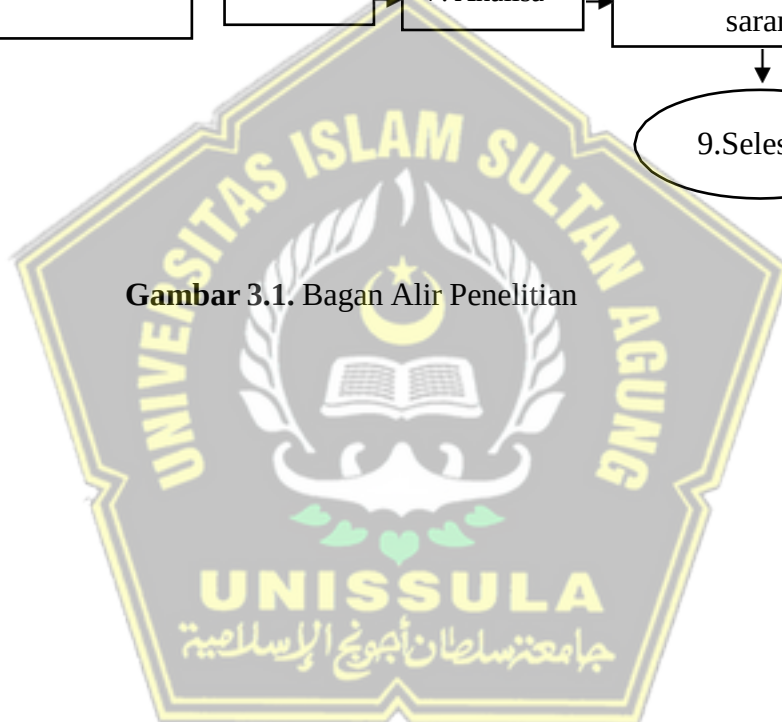
3.3 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Bagan alir penelitian berupa tahapan-tahapan penelitian yang dilakukanselama penelitian ini dijelaskan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian



3.4. Bagan Alir Program Kerja 3.1.

Pada tahap awal dilakukan penelitian literatur dan pengolahan alat dan bahan yang digunakan. Riset sesuai standar Laboratorium Riset AMP Jekulo Kudus.

Bahan campuran aspal diperiksa untuk memastikan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Society for Testing Materials* (ASTM) menjadi acuan standar pengujian yang dipatuhi oleh semua pengujian. Pemeriksaan agregat kasar dan halus meliputi hal-hal berikut:

- a. Berat Jenis Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008) dan Penyerapan Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008).
- b. Tingkat Keausan Agregat Kasar (berdasarkan SNI 2417:2008).
- c. Partikel Pipih dan Lonjong (berdasarkan ASTM D 4791-95).
- d. Daya Lekat Agregat terhadap Aspal (berdasarkan SNI-06-2439-1991).
- e. *Soundness* atau Uji Sifat Kekekalan Bentuk agregat (berdasarkan SNI 3407:2008).
- f. Berat Jenis Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008) dan Penyerapan Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:).
- g. Analisis Butiran (berdasarkan SNI-M-02-1994-03).
- h. Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal PEN 60/70. Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan antara lain:
 - 1) Pemeriksaan penetrasi aspal (berdasarkan SNI 06-2456-1991).
 - 2) Pemeriksaan titik lembek (berdasarkan SNI 06-2434-1991).
 - 3) Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar (berdasarkan SNI 06-2433-1991).
 - 4) Pemeriksaan daktilitas (berdasarkan SNI 06-2432-1991).
 - 5) Pemeriksaan berat jenis bitumen (berdasarkan SNI 06-2441-1991).

Langkah selanjutnya adalah dengan merancang dan memproduksi sampel yang akan digunakan untuk penelitian dengan metode Marshall setelah semua bahan penyusun campuran aspal, termasuk agregat dan Asphalt Polymer PEN 60/70, telah diuji dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. . Pengujian spesimen standar Marshall sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T- 44-81, dan ASTM D-2042-76). Memanfaatkan variasi kadar aspal, desain dan produksi benda uji atau campuran aspal. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan tersebut didapatkan Pb (kadar aspal tengah/ ideal). Kadar Buton Granular Aspal (BGA) yang digunakan sebagai sampel adalah 10%; 20%; 30%; 40%; 50%, masing-masing menggunakan 3 sampel, penjelasan pada **Tabel 3.7**

Tabel 3.7. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Benda Uji	Kadar Aspal	Kadar BGA	Benda Uji	Jumlah
Fly Ash	5,8 %	10%	3	15
		20%	3	
		30%	3	
		40%	3	
		50%	3	
Semen Portland	5,8 %	10%	3	15
		20%	3	
		30%	3	
		40%	3	
		50%	3	
Normal	4%	-	3	15
	4,5%		3	
	5%		3	
	5,5%		3	
	6%		3	
Total		45 sampel benda uji		

Pengambilan sampel benda uji dilakukan setelah ditentukan komposisi campuran aspal. Temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 170/20 centistokes adalah temperatur campurannya dengan agregat, dan temperatur pemadatan aspal adalah temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 280/30 centistokes.

Menurut penelitian Prabowo (2003) dan Riyadi sebelumnya, suhu pencampuran umumnya ditemukan antara 145 dan 155 derajat Celcius, dan suhu pemadatan ditemukan antara 110 dan 135 derajat Celcius. Hal ini dikarenakan tidak dilakukannya pengujian viskositas kinematis aspal, menggunakan Palu Pemadatan Marshall, pemadatan dilakukan dua kali untuk setiap 75 ton beban lalu lintas. Spesimen dipadatkan dan disimpan pada suhu ruangan selama 24 jam sebelum ditimbang kering dan diukur tingginya. Untuk mendapatkan data volumetrik bituminous (densitas, VIM, VMA, dan VFA), spesimen direndam dalam air selama 24 jam sebelum ditimbang baik dalam air maupun dalam kondisi kering permukaan jenuh. Setelah itu, sampel direndam selama 30 menit dalam penangas air pada suhu 60 °C, dan stabilitas, leleh, dan Marshall Quotient diukur menggunakan alat Marshall. Setelah didapatkan data hasil uji *Marshall* berupa stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*, kemudian dianalisis untuk mendapatkan komposisi campuran aspal ideal.

Setelah dilakukan serangkaian penelitian dan didapatkan data, maka tahapan selanjutnya adalah sebagai berikut :

- a. Menganalisis hasil pemeriksaan material campuran aspal yaitu agregat dan aspal, apakah sesuai dengan spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018.
- b. Menampilkan data nilai stabilitas (*stability*); kelelahan (*flow*); *Marshall Quotient* (MQ); *void in mix* (VIM); *void in mineral aggregate* (VMA); *void filled with asphalt* (VFA);

3.5. Aspal

Aromat, Napathen, dan Alkan merupakan senyawa yang paling banyak terdapat pada aspal yang merupakan senyawa hidrokarbon. Persyaratan spesifikasi didasarkan pada karakteristik aspal. Untuk menjamin tercapainya karakteristik aspal yang dipersyaratkan, digunakan ketentuan dan pengujian aspal sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel aspal untuk bahan uji
2. Pengujian penetrasi
3. Pengujian titik lembek
4. Pengujian daktilitas
5. Pengujian titik nyala dan titik bakar

Metode atau prosedur pengujian – pengujian yang disebutkan diatas, diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk tiap jenis pengujian.

3.6. Sifat – Sifat Campuran Aspal

3.6.1. Stabilitas

Faktor terpenting dalam aspal adalah stabilitas yang dapat menahan deformasi dan peleburan plastis yang disebabkan oleh beban lalu lintas statis dan dinamis, mencegah bekas roda, keriting, dan perubahan permukaan perkerasan jalan. Jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan melaju di jalan menentukan spesifikasi stabilitas perkerasan. Gesekan butiran, penguncian antar partikel, dan daya rekat yang unggul pada aspal semuanya berkontribusi pada stabilitas. Nilai stabilitas dalam kg atau KN.

3.6.2 Kelelahan Plastis (*Flow*)

Keadaan perubahan bentuk campuran yang disebabkan oleh beban hingga batas keruntuhan, yang dinyatakan dalam mm atau inci, dikenal sebagai pelelehan (aliran) plastis. Karena kandungan aspal yang tinggi, nilai hasil yang tinggi menyerupai campuran plastik. Sementara itu, karena kadar aspal yang rendah, campuran dengan nilai leleh yang sangat rendah akan menunjukkan sifat campuran yang kaku.

3.6.3 Marshall Quotient

Marshall Quotient membandingkan peleburan plastik dan *stabilitas* dalam kilogram per milimeter. Campuran dengan kestabilan yang tinggi dan pelelehan plastik yang rendah memiliki nilai MQ yang tinggi, menandakan bahwa campuran tersebut bersifat kaku. Hal ini memudahkan perkerasan untuk berubah bentuk saat dibebani oleh lalu lintas, yang dapat menyebabkan retak. Namun, campuran plastisitas tinggi dan stabilitas rendah menghasilkan MQ rendah dan lebih cenderung plastis dan tidak stabil.

3.7 Laston Lapis Aus (AC – WC)

Laston adalah lapisan penutup dengan nilai struktural yang digunakan untuk membangun perkerasan jalan. Agregat bergradasi kontinu dan aspal keras dicampur, disebar, dan dipadatkan pada suhu tertentu untuk membuat campuran ini. Pada konstruksi jalan, lapisan laston merupakan campuran aspal keras dan agregat dengan gradasi menerus yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan pada temperatur tertentu. Ada banyak jenis beton aspal campuran panas (Silvia Sukirman, 2012), tetapi jenis AC-WC menjadi subjek penelitian ini. Lapisan di bawah lapisan keausan adalah Laston sebagai lapisan pengikat (*Binder Course*). Meski tidak dipengaruhi cuaca secara langsung, roda kendaraan harus memiliki ketebalan nominal minimal 5 sentimeter agar dapat menopang beban lalu lintas.

Sebaliknya, Laston sebagai lapisan keausan (*Wearing Course*) merupakan lapisan perkerasan yang memiliki kekasaran yang dipersyaratkan dan tebal nominal minimal 4 cm. Ini tahan air, tahan cuaca, dan terkait dengan ban kendaraan. Berupa beban kendaraan (gaya vertikal), gaya rem (gaya horizontal), dan hembusan roda kendaraan (getaran), lapisan-lapisan ini berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan-lapisan di bawahnya. Setiap lapisan menerima beban yang berbeda karena bagaimana beban didistribusikan, dan semakin besar bebannya, semakin rendah bebannya. Lapisan atas, juga dikenal sebagai lapisan permukaan, harus mampu menangani segala jenis beban kerja.

3.8 Metode Analisis

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen di laboratorium perkerasan yaitu melakukan percobaan terhadap bahan baku aspal dan agregat dari proses penelitian. dilaksanakan dalam 6 (Enam) tahap sebagai berikut (Indriani Santoso, 2013) :

Tahap I

Persiapan Beberapa hal yang dilakukan dalam persiapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan seperti agregat, aspal, granular, fly ash.
2. Menyiapkan peralatan.
3. Menyiapkan form-form pengujian dan mengolah hasil pengujian

Tahap II

Pemeriksaan bahan pemeriksaan agregat yang dilakukan meliputi:

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus
- b. Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus.
- c. Pemeriksaan berat jenis aspal.
- d. Pemeriksaan penetrasi
- e. Pemeriksaan titik lembek.
- f. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar
- g. Pemeriksaan daktilitas

Tahap III

1. Perancangan Filler menggunakan fly ash dan semen portland dengan kadar yang dibutuhkan untuk campuran (Mix Design) adalah 1,2% untuk masing-masing benda uji
2. Perancangan campuran (Mix Design) Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (mix design) dan pembuatan benda uji dengan kadar Buton Granular Aspal (BGA) 10%, 20%, 30%, 40% dan 50%, untuk menentukan kadar aspal Optimum

Tahap IV

Tes Marshall untuk menemukan jumlah aspal terbaik(KAO). Uji Marshall dilakukan pada benda uji dengan kadar aspal yang bervariasi pada titik ini untuk mendapatkan data kestabilan dan aliran. Sebelum ini, spesimen telah ditimbang berat kering, berat SSD, dan berat sampel dalam air.

Tahap V

Kemudian dilakukan pengujian dan analisa Marshall untuk mengetahui stabilitas Marshall, Flow (kelelehan Plastis), Rongga dalam campuran, Rongga dalam mineral dan Stabilitas Marshall sisa.

Tabel 3.8. Ketentuan Syarat-Syarat Bahan untuk Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum 2018, Seksi 6.3. Campuran Beraspal Panas, Pasal 6.3.3.

Hasil Pengujian Ketentuan Syarat-Syarat Bahan untuk Campuran Beraspal Panas						
Bahan Campuran						
NO	Jenis Bahan	Jenis Pengujian	Metode Uji	Hasil Uji		Spesifikasi
1	Aspal	Ketentuan syarat Aspal		Nilai	Ya/ Tidak	Tabel (6.3.2.5)
	Jenis / type :	Berat Jenis Aspal (gr/cc)	SNI 2441 : 2011		ya	Min. 1
	PEN 60/70	Penetrasi pada 25 °C	SNI 2456 : 2011		ya	60 - 70
	Supplier :	Titik Lembek (°C)	SNI 2434 : 2011		ya	> 48° C
	PEN 60/70					

2	Agregat Kasar	Ketentuan agregat kasar :			Nilai	Ya/ Tidak	Tabel 6.3.2.1a)
	Sumber Asal :	Abrasi dengan mesin Los Angeles	AC Mod. dan SMA	100 ptr :	SNI 2417 : 2008		Maks. 6 %
				500 ptr :			Maks.30 %
			Semua jenis camp. gradasi lainnya	100 ptr :			Maks. 8 %
				500 ptr :		ya	Maks.40 %
		Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439 : 2011	ya	Min. 95%
		Butir Pecah pada Agregat Kasar (Angularitas)	SMA	SNI 7619 : 2012	ya	100 / 90 %	
			Lain n ya			95 / 90 %	
		Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791 - 10 Perbandingan 1:5	ya	Maks. 5%	
			Lain n ya			Mak s. 10 %	
		Material lolos No.200			SNI ASTM C117:2012	ya	Maks. 1 %

		Penyerapan air			ya	Maks.2% untuk SMA /3% untuk Jenis Lainnya
		Berat Jenis (Specific Gravity)			ya	
3	Agregat Halus (Abu Batu)	Ketentuan agregat halus :		Nilai	Ya / Tidak	Tabel 6.3.2.2
	Sumber asal :	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997		ya	Min. 50%
		Gumpalan Lempung dan Butir-butir mudah pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996		ya	Maks. 1%
		Angularitas dengan Uji Kadar Rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002		ya	Min. 45
		Agregat lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012		ya	Maks. 10 %
		Penyerapan air				Maks.2% untuk SMA : 3% untuk Jenis Lainnya
		Berat Jenis (Specific Gravity)			ya	
		Penggunaan Pasir Alam		-		Maks. 15 % Berat Total Campuran
	CHECKING	Beda Berat Jenis Agregat Kasar dan Halus				Maks. 0,2

4	Filler	Ketentuan penggunaan n Filler:		Nilai	Ya/ Tidak	Pasal 6.3.2.4)	Syarat Gradasi	
		Penggunaan Filler (Filler Added) :	AAS HTO M303	-		Min.1 %/ Maks.2%(semen) /3%(lainnya) dari Berat Total Agregat	Ukuran Saringan	% lolos
		(Debu Batu Kapur / Semen / Abu Terbang)	-89 (2014)	-		Min. 75% berat filler	0.600	Hasil Uji
		Bahan lolos No.200 :	SNI ASTM C136:20 12			Min. 95% berat filler	0.300	100
							0.075	95- 10
		Catatan Evaluasi / Rekomendasi						

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6

Tahap VI : Setelah dilakukan inventarisasi dan analisis terhadap seluruh data pemeriksaan agregat, aspal, dan campuran beton aspal, diperoleh berbagai rekomendasi dan kesimpulan dari seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Material

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap persiapan bahan penelitian, penentuan kadar aspal, pembuatan benda uji, dan pengujian di laboratorium. Pada tahap penyediaan bahan, disiapkan antara lain agregat batu pecah yang diambil dari Aspal Mixing Plant (AMP) PT. Deltamarga Adyatama Jekulo Kudus. Semua proses pembuatan benda uji dan properti material, uji aspal, dan pengujian Marshall dilakukan di laboratorium transportasi jalan Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4.1 Pengambilan Agregat Material

Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pengambilan Buton Granular Aspal (BGA) dan aspal pen 60/70, *Quary* material diambil dari Aspal Mixing Plant (AMP) PT. Deltamarga Adyatama Jekulo Kudus, yang nanti akan digunakan sebagai bahan material pada penelitian.



Gambar 4.2. Pengambilan Material Buton Granular Aspal

Sumber : Dokumentasi Pribadi

4.2 Pembuatan Benda Uji Dengan KadarAspal

Komposisi aspal normal yang di rencanakan yaitu dengan kadar 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%, penggunaan komposisi normal ini nantinya untuk menentukan kadar aspal optimum. Campuran normal tanpa bahan tambah granular ataupun *fly ash* dengan masing-masing kadar ada 3 benda uji dengan total keseluruhan terdapat 15 benda uji, dapat dilihat pada **Tabel 4.1 – Tabel 4.5**

Tabel 4.1 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)Normal Kadar Aspal 4,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	504,24 gram
2	Pasir	3,0 %	34,38 gram
4	Medium Agregat (3/4)	12 %	137,52 gram
5	Coarse Agregat (1/2)	40 %	458,4 gram
6	Filler	1,0 %	11,46 gram
		100,0 %	1146 gram
Keterangan Aspal :			
	A. Aspal	4,5 %	54 gram

Tabel 4.2 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)Normal Kadar Aspal 5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	501,6 gram
2	Pasir	3,0 %	34,2 gram
4	Medium Agregat (3/4)	12 %	136,8 gram
5	Coarse Agregat (1/2)	40 %	456 gram
6	Filler	1,0 %	11,40 gram
		100,0 %	1140 gram
Keterangan Aspal :			
	A. Aspal	5%	60 gram

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Tabel 4.3. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)Normal Kadar Aspal
5,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	498,96gram
2	Pasir	3,0 %	33,84 gram
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	12 %	136,08 gram
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	40 %	453,6 gram
6	<i>Filler</i>	1,0 %	11,34 gram
		100,0 %	1134 gram
Keterangan Aspal :			
A. Aspal		5,5 %	66 gram

Tabel 4.4 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)Normal Kadar Aspal

6%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	496,32 gram
2	Pasir	3,0 %	33,84 gram
4	Medium Agregat (3/4)	12 %	135,36 gram
5	Coarse Agregat (1/2)	40 %	451,2 gram
6	Filler	1,0 %	11,28 gram
		100,0 %	1128 gram
Keterangan Aspal :			
A. Aspal		6 %	72 gram

Tabel 4.5 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)Normal Kadar Aspal

6,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44,0 %	493,68 gram
2	Pasir	3,0 %	33,66 gram
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	12 %	134,64 gram
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	40 %	448,8 gram
6	<i>Filler</i>	1,0 %	11,22 gram
		100,0 %	1122 gram
Keterangan Aspal :			
A. Aspal		6,5 %	78 gram

4.3 Pembuatan Benda Uji Dengan Kadar BGA granular

Komposisi aspal modifikasi dengan kadar aspal 5,8% yang di rencanakan yaitu BGA dengan kadar 10%, 20%, 30%, 40 dan 50%, untuk masing-masing setiap campuran filler (*fly ash* dan portland semen bukan untuk komposisi yang normal. Masing masing campuran dengan *fly ash* 15 benda uji, sedangkan untuk campuran semen *portland* 15 benda uji dengan total keseluruhan ada 30 benda uji yang dicampur dengan buton granular aspal, dapat dilihat pada Tabel 4.6 – Tabel 4.10

Tabel 4.6 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan BGA 10 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	Medium Agregat (1/2)	25 %	300,0 gram
5	Coarse Agregat (3/8)	25 %	300,0 gram
6	Filler	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
A. BGA		10,0 %	6,96 gram
B. Aspal (digunakan)			62,64 gram

Tabel 4.7 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan BGA 20 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	Medium Agregat (1/2)	25 %	300,0 gram
5	Coarse Agregat (3/8)	25 %	300,0 gram
6	Filler	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
A. BGA		20,0 %	13,92 gram
B. Aspal (digunakan)			55,68 gram

Tabel 4.8 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan BGA 30 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
A. BGA		30,0 %	20,88 gram
B. Aspal (digunakan)			48,72 gram

Tabel 4.9 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan BGA 40 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
A. BGA		40,0 %	27,84 gram
B. Aspal (digunakan)			41,76 gram

Tabel 4.10 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan BGA 50 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
	A. BGA	50,0 %	34,8 gram
	B. Aspal (digunakan)		34,8 gram

Perancangan dan memproduksi sampel yang akan digunakan untuk penelitian dengan metode Marshall setelah semua bahan penyusun campuran aspal, termasuk agregat dan Asphalt Polymer PEN 60/70, telah diuji dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian spesimen standar Marshall sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T- 44-81, dan ASTM D-2042-76). Memanfaatkan variasi kadar aspal, desain dan produksi benda uji atau campuran aspal. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan tersebut didapatkan P_b (kadar aspal tengah/ ideal) sebesar 5,8% karena merupakan aspal modifikasi dengan perolehan Kadar Buton Granular Aspal (BGA) yang digunakan sebagai sampel adalah 10%; 20%; 30%; 40%; 50%, masing-masing menggunakan 3 sampel

4.4 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Pada penelitian kali ini akan membuat 3 komposisi campuran aspal diantaranya, Komposisi BGA dengan *Fly Ash*, BGA dengan *Portland Cement* (PC) dan Komposisi Normal. Masing- masing komposisi mempunyai 5 variasi BGA dan Aspal yang nanti akan digunakan sebagai pembanding dalam penentuan campuran yang terbaik pada penelitian ini

Tabel 4.11 Pembuatan Benda Uji

No	Jenis	Masing-masing	Total
1	BGA kadar (10%;20%;30%;40%;50%) dengan Fly Ash	3 buah	15 buah
2	BGA kadar (10%;20%;30%;40%;50%) dengan Portland Cement	3 buah	15 buah
3	Normal Kadar Aspal (4;4,5;5;5,5;6)	3 buah	15 buah
	Total Keseluruhan Benda Uji		45 buah

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pengambilan sampel benda uji dilakukan setelah ditentukan komposisi campuran aspal. Temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 170/20 centistokes adalah temperatur campurannya dengan agregat, dan temperatur pemadatan aspal adalah temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 280/30 centistokes.

Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan masing-masing benda uji dimana jika salah satu benda uji ada yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 dan 2 benda uji lainnya sesuai spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.

4.5 Pengujian Laboratorium

4.5.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70

Hasil Pemeriksaan Aspal Polimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aspal PEN 60/70 (Pertamina). Pengujian yang dilakukan untuk aspal polimer ini adalah 5 parameter yaitu penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala, dan berat jenis aspal, untuk hasil lebih spesifik bisa dilihat pada **lampiran 2** data pengujian aspal. Parameter tersebut dapat mewakili karakteristik utama dari aspal polimer untuk diaplikasikan sebagai campuran untuk perkerasan lentur. Hasil Pengujian Aspal tertera pada **Tabel 4.12** dengan menggunakan perbandingan berdasarkan dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/ 1976 Bina Marga.

Tabel 4.12 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal PEN 60/70		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
			Min	Max			
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	SNI-06-2456-1991	Memenuhi
2	Titik Lembek 5°C (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	48	58	51.55	SNI-06-2434-1991	Memenuhi
3	Titik Nyala (<i>Cleaveland Open Cup</i>)	°C	Min 200	-	314	SNI-06-2433-1991	Memenuhi
4	Daktilitas	cm	Min. 100	-	151.5	SNI-06-2432-1991	Memenuhi
5	Berat Jenis	%	Min. 1,0	-	1.034	SNI-06-2432-1991	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Proses Pencampuran aspal polimer sangat bergantung pada temperatur selama proses pencampuran dan kemampuan alat pengaduk (*mixer*) yang digunakan, serta waktu pengadukan. Menurut J.S. Chen, MC Liao dan H.H. Tsai (2012) dalam penelitiannya yang berjudul *Evaluation and Optimization of the Engineering Properties Of Polymer – Modified Ashpalt* menyatakan bahwa proses pencampuran aspal polimer dilakukan selama 2,3 – 3 jam dengan kemampuan mixer sebesar 2000 rpm dan suhu 150 °C – 170 °C.

4.5.2 Pengujian Agregat

Pengujian properties agregat kasar meliputi bentuk agregat, abrasi dengan mesin *Los Angeles*, kelekatan agregat terhadap aspal, angularitas dan butiran mudah pecah, gradasi agregat, berat jenis, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, penyerapan, material lolos saringan No 200, partikel pipih dan lonjong, dan *sand equivalent*. untuk hasil tiap pengujian bisa dilihat pada lampiran 3 data pengujian agregat, Hasil Pengujian agregat tertera pada Tabel 4.13 dengan menggunakan perbandingan berdasarkan dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976 Bina Marga.

Tabel 4.13 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat kasar				
1	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-2008	Maks. 40%	14.01%	Memenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap aspal Pen 60/70	SNI 03-2439-2011	Min. 95%	98%	Memenuhi
3	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	8.89%	Memenuhi
4	Material lolos saringan no. 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,6%	Memenuhi
5	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat kasar 1/2 b. Agregat kasar 3/8	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1.583% 2.064%	Memenuhi
6	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) a. Agregat kasar 0.5/1 b. Agregat kasar 1/2	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5%	2.661% 2.652%	Memenuhi
B	Agregat halus				
1	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 15%	10.56%	Memenuhi
2	Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%	46.92%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1.583% 2.064%	Memenuhi
4	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5	2.651% 2.652%	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Karena semua hasil pengujian material agregat yang berasal dari pemecahan batu *Stone Crusher* dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* P.T. Deltamarga Adyatama, yang berlokasi di wilayah Jekulo Kudus memenuhi persyaratan Spesifikasi 2018, maka agregat tersebut dapat digunakan sebagai campuran beton aspal campuran panas (Laston) AC- WC. Demikianhalnya *filler* yang digunakan adalah material dari semen *Portland (PC)* yangdibandingkan dengan *Fly Ash* pembakaran batu bara.

4.5.3 Hasil Pengujian Hot Bin II

Hot Bin II terdiri dari material Coarse Agregat atau agregat kasar yang lolos saringan 1 ½ - ¾ dan tertahan mulai dari saringan ½ sampai dengan saringan #200, yang dapat dilihat pada **tabel 4.14**

Tabel 4.14 Hasil Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

Jenis Material : Hot Bin II

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				inch			
1 1/2"	37.5				1 1/2"			
1"	25.0				1"			
3/4"	19.0	-	-	100.00	3/4"	-	-	100.00
1/2"	12.5	1.779	28.66	71.34	1/2"	1.792	30.90	69.10
3/8"	9.5	4.711	75.89	24.11	3/8"	4.221	72.78	27.22
# 4	4.75	6.114	98.49	1.51	# 4	5.705	98.36	1.64
# 8	2.36	6.138	98.87	1.13	# 8	5.778	99.62	0.38
# 16	1.15	6.190	99.71	0.29	# 16	5.781	99.67	0.33
# 30	0.6	6.192	99.74	0.26	# 30	5.781	99.67	0.33
# 50	0.3	6.193	99.76	0.24	# 50	5.781	99.67	0.33
#100	0.15	6.193	99.76	0.24	#100	5.781	99.67	0.33
# 200	0.075	6.193	99.76	0.24	# 200	5.781	99.67	0.33
Weight Of Sample (gr)		6.208					5.800	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada analisa saringan agregat kasar pada Hot Bin II sebanyak 70.22 % merupakan agregat yang lolos saringan 3/4" dan tertahan pada saringan 1/2" atau 9,52mm sebanyak 69,10 %. Untuk sebaran agregat medium, sebanyak 25%dari total sampel analisa saringan medium merupakan agregat lolos saringan 3/8" dan tertahan pada saringan No. 4 atau 4,75 mm sebanyak 1,5.

4.5.4 Hasil Pengujian Hot Bin III

Hot Bin III terdiri dari material Medium Agregat atau agregat kasar yang lolos saringan 1 ½ - ½ dan tertahan mulai dari saringan 3/8 sampai dengan saringan #200, yang dapat dilihat pada Tabel 4.15

Tabel 4.15 Hasil Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

Jenis Material : Hot Bin III

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				inch			
11/2"	37.5				11/2"			
1"	25.0				1"			
3/4"	19.0				3/4"			
1/2"	12.5	-	-	100.00	1/2"	-	-	100.00
3/8"	9.5	605	18.26	81.74	3/8"	570	17.03	82.97
# 4	4.75	2.103	63.46	36.54	# 4	2.325	69.44	30.56
# 8	2.36	3.102	93.60	6.40	# 8	3.155	94.24	5.76
# 16	1.15	3.245	97.92	2.08	# 16	3.257	97.28	2.72
# 30	0.6	3.251	98.10	1.90	# 30	3.269	97.64	2.36
# 50	0.3	3.257	98.28	1.72	# 50	3.286	98.15	1.85
#100	0.15	3.267	98.58	1.42	#100	3.299	98.54	1.46
# 200	0.075	3.280	98.97	1.03	# 200	3.327	99.37	0.63
Weight Of Sample (gr)		3.314			3.348			

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada analisa saringan agregat kasar pada Hot Bin III sebanyak 100% merupakan agregat yang lolos saringan ½" dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,52 mm sebanyak 82,35 %. Untuk sebaran agregat medium, sebanyak 82,97 % dari total sampel analisa saringan medium merupakan agregat lolos saringan 3/8" dan tertahan pada saringan No. 4 atau 4,76 mm sebanyak 33,55%.

4.5.5 Hasil Pengujian Hot Bin IV

Hot Bin IV merupakan material Agregat Halus yang lolos saringan 1 ½ - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8, yang terdiri Abu Batu dapat dilihat pada Tabel 4.16

Tabel 4.16 Hasil Analisa Pembagian Butiran(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

Jenis Material : Hot Bin IV

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS			TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%			gr	%	%
inch	mm				inch				
1 1/2"	37.5				1 1/2"				
1"	25.0				1"				
3/4"	19.0				3/4"				
1/2"	12.5				1/2"				
3/8"	9.5				3/8"				
# 4	4.75	-	-	100.00	# 4	-	-	100.00	
# 8	2.36	185.3	24.12	75.88	# 8	170.1	20.71	79.29	
# 16	1.15	398.3	51.84	48.16	# 16	413.6	50.36	49.64	
# 30	0.6	535.0	69.63	30.37	# 30	540.4	65.80	34.20	
# 50	0.3	565.0	73.54	26.46	# 50	630.0	76.71	23.29	
#100	0.15	641.7	83.52	16.48	#100	684.8	83.38	16.62	
# 200	0.075	707.2	92.05	7.95	# 200	755.1	91.94	8.06	
Weight Of Sample (gr)		768.3					821.3		

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada analisa saringan agregat kasar pada Hot Bin IV sebanyak 100 % merupakan agregat yang lolos saringan ½" dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,52 mm sebanyak 100 %. Untuk sebaran agregat medium, sebanyak 100 % dari total sampel analisa saringan medium merupakan agregat lolos saringan No. 4" dan tertahan pada saringan No.8 atau 1.15 mm sebanyak 77,58 %. Untuk agregat halus terbagi disetiap saringan.

4.5.6 Hasil Pengujian Pasir

Pasir merupakan material Agregat Halus yang lolos saringan 1 ½ - #30 dan tertahan mulai dari saringan #50, yang dapat dilihat pada Table 4.17

Tabel 4.17 Hasil Analisa Pembagian Butiran(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

Jenis Material : Pasir								
UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			Rata-rata Lolos	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				Inch			
11/2"	37.5	0.00	0.00	100.00	11/2"	0.00	0.00	100.00
1"	25.0	0.00	0.00	100.00	1"	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.00	0.00	100.00	3/4"	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	100.00	1/2"	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	100.00	3/8"	0.00	0.00	100.00
# 4	4.75	0.00	0.00	100.00	# 4	0.00	0.00	100.00
# 8	2.36	0.00	0.00	100.00	# 8	0.00	0.00	100.00
# 16	1.15	0.00	0.00	100.00	# 16	0.00	0.00	100.00
# 30	0.6	0.00	0.00	100.00	# 30	0.00	0.00	100.00
# 50	0.3	305.8	61.16	38.84	# 50	275.2	55.04	44.96
#100	0.15	417.5	83.50	16.50	#100	421.4	84.28	15.72
# 200	0.075	478.2	95.64	4.36	# 200	461.2	92.24	7.76
Weight Of Sample (gr)		500.0				500.0		

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Untuk agregat halus pasir sebanyak 100% merupakan agregat yang lolos saringan No.30" atau 0.6 mm dan tertahan pada saringan No.50" atau 0.3 mm sebanyak 44,96 %. Untuk sebaran agregat medium, sebanyak 100 % dari total sampel analisa saringan medium merupakan agregat lolos saringan No. 30" dan tertahan pada saringan No. #50 atau 2,36 mm sebanyak 100 %. Untuk agregat halus terbagi disetiap saringan.

4.5.7 Hasil Pengujian Buton Granular Aspal (BGA)

Buton Granular Aspal (BGA) merupakan material dijadikan sebagai kombinasi campuran antara penggunaan aspal alam dengan aspalminyak yang lolos saringan 1 ½ - 3/8 dan tertahan mulai dari saringan#16, yang akan dapat dilihat pada Tabel 4.18

Tabel 4.18 Hasil Analisa Pembangian Butiran (SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

Jenis Material : Buton Granular Aspal (BGA)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	Rata-rata Lolos	TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
					%			
inch	mm							
11/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,36	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 16	1,15	154,7	22,88	77,12	72,84	198,4	31,45	68,55
# 30	0,6	296,1	43,79	56,21	51,29	338,3	53,63	46,37
# 50	0,3	407,6	60,28	39,72	35,98	427,5	67,77	32,23
#100	0,15	577,4	85,39	14,61	12,14	569,8	90,33	9,67
# 200	0,075	634,9	93,89	6,11	5,25	603,1	95,61	4,39
Weight Of Sample (gr)		676,2				630,8		

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Untuk agregat halus Buton Granular Aspal sebanyak 100% merupakan agregat yang lolos saringan No.8" atau 9.5 mm dan tertahan pada saringan No.16" atau 4,75 mm sebanyak 77,12 %. Untuk sebaran Buton Granula Aspal (BGA), sebanyak 100 % dari total sampel analisa saringan kecil merupakan agregat lolos saringan No. 8" dan tertahan pada saringan No. 16 atau 1.15 mm sebanyak 100%.

4.5.8 Hasil Pengujian Fly Ash

Fly Ash merupakan material dijadikan sebagai Filler pengganti penggunaan semen *portland*, yang lolos saringan #8 sampai #100 dan tertahan mulai dari saringan #200, yang akan dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4.19 Hasil Analisa Pembagian Butiran(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

Jenis Material : Filler (<i>Fly Ash</i>)								
UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE	TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		Gr	%	%
inch	Mm				inch			
11/2"	37,5				11/2"			
1"	25,0				1"			
3/4"	19,0				3/4"			
1/2"	12,5				1/2"			
3/8"	9,5				3/8"			
# 4	4,75				# 4			
# 8	2,36	-	-	100.00	# 8	-	-	100.00
# 16	1,15	-	-	100.00	# 16	-	-	100.00
# 30	0,6	-	-	100.00	# 30	-	-	100.00
# 50	0,3	-	-	100.00	# 50	-	-	100.00
#100	0,15	-	-	100.00	#100	-	-	100.00
# 200	0,075	1.5	1.63	98.37	# 200	1.1	1.10	98.90
Weight Of Sample (gr)		92.0			99.8			

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Untuk agregat halus terbagi disetiap saringan kecuali saringan No. 200 atau 200 mm yang tertahan sebanyak 1,63%. Pada tabel Analisa Pembagian Butiran jenis material Filler Semen semua material lolos saringan 1" sampai dengan saringan No. 100 atau 100 mm kecuali pada saringan No. 200 sebanyak 98,37%.

4.5.9 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

Kombinasi agregat adalah pengambungan dari masing-masing agregat yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ dan tertahan mulai dari saringan ukuran $\frac{1}{2}$ sampai dengan # 200, yang terdiri dari Hot Bin II,III,IV,Pasir, Buton Granula Aspal dan Filler (*Fly Ash*). Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Tabel 4.20

Tabel 4.20 Perhitungan Kombinasi Agregat(SNI 03-1968 1990 /AASHTO T.27-88)

Uraian	Ukuran Saringan (SIEVE SIZE)											
Inch		1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
mm		25	19	12.7	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Data Material												
Batu Pecah Max 1/2' (%)		100.00	100.00	70.22	25.67	1.58	0.76	0.31	0.30	0.29	0.29	0.29
Batu Pecah Max 3/8' (%)		100.00	100.00	100.00	82.36	33.55	6.08	2.40	2.13	1.79	1.44	1.44
Abu Batu (%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	77.59	48.90	32.29	24.88	16.55	8.01
Buton Granular Aspal (%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	51.29	35.98	12.14	5.25
Pasir (%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	41.90	16.11	6.06
Filler Semen (%)		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.64
Total Campuran		70.00	70.00	64.34	51.65	35.35	22.65	13.93	9.24	7.09	6.09	3.03
Batu Pecah Max 1/2' (%)	25.0%	25.00	25.00	17.56	6.42	0.39	0.19	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07
Batu Pecah Max 3/8' (%)	25.0%	25.00	25.00	25.00	20.59	8.39	1.52	0.60	0.53	0.45	0.36	0.36
Abu Batu (%)	40.0%	40.00	40.00	40.00	40.00	40.00	31.03	19.56	12.91	9.95	6.62	3.20
Buton Granular Aspal (%)	5.8%	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	5.80	2.97	2.09	0.70	0.30
Pasir	3.0%	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1.26	0.48	0.18
Filler Semen (%)	1.2%	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.18
Total Campuran	100%	100.00	100.00	92.56	77.01	58.78	42.74	30.24	20.70	15.01	9.44	5.30
Spesifikasi Gradasi												
Max		100	100	95	80	65	48	35	25	18	12	7
Min		100	100	85	70	50	33	23	12	8	5	3
Toleransi Komposisi												
max		100.00		95.00	80.00	62.50	43.50	32.00	21.50	16.00	10.50	6.00
min		95.00		85.00	70.00	52.50	37.50	26.00	15.50	10.00	6.50	4.00
Luas Permukaan Agregat	:	5.83										

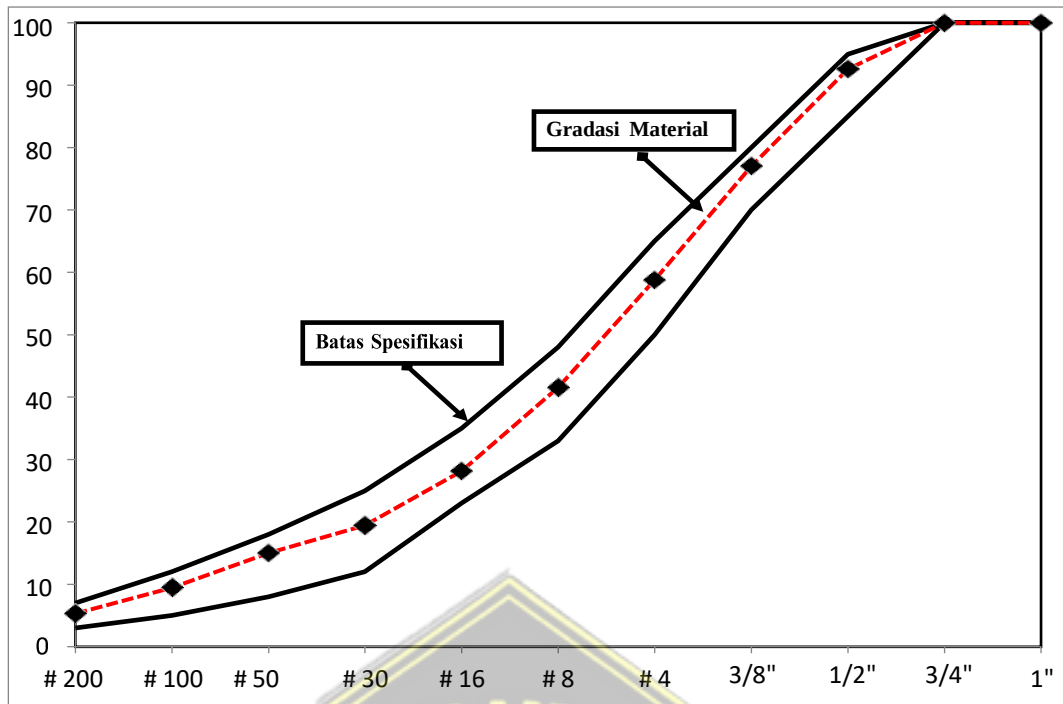
(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Tabel 4.21. Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan (SNI 03-1968-1990 /AASHTO T.27-88)

No. Saringan	Prosentase Lolos	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos	Batas Bawa H	Batas Atas
# 200	4.12	2	7
# 100	7.13	5	12
# 50	11.61	8	18
# 30	15.11	12	25
# 16	21.74	23	35
# 8	31.34	33	48
# 4	56.65	50	65
3/8"	69.59	70	80
1/2"	87.5	85	95
3/4"	100.0	100	100
1"	100.0	100	100

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Dari Tabel 4.21 hasil kombinasi agregat dengan total campuran gradasi agregat tiap saringan tidak boleh melebihi batas Max dan Min dari spesifikasi gradasi yang telah ditetapkan, bisa dilihat pada Gambar 4.3 Kombinasi Agregat.



Gambar 4.3 Kombinasi Agregat

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada pembacaan Gambar 4.3 kombinasi agregat prosentase lolos saringan no. 200 atau 200 mm sampai dengan 1' tidak diperbolehkan melewati batas bawah dan batas atas pada masing-masing agregat yang disaring. Jika terdapat agregat yang melewati batas atas ataupun batas bawah, maka tidak diijinkan menjadi material pengisi pada AC- Wearing Course.

4.6 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Pengujian Laboratorium

Berdasarkan Hasil pemeriksaan pengujian laboratorium diperoleh data pada Tabel 4.22, dalam pemeriksaan campuran ini untuk Hot Bin I mendapatkan hasil : 0, karena kita menggunakan ukuran saringan 1 ½ tapi pada pengujian ini dimulai dari Hot Bin II yang menggunakan saringan ½ sampai dengan filler

Tabel 4.22. Pemeriksaan Pengujian Labolaturium (SNI 03-1968-1990
/AASHTO T.27-88)

URAIAN PEMERIKSAAN		HASIL	SPESIFIKASI
I	KOMPOSISI CAMPURAN ASPAL		
	KADAR ASPAL	5.80 %	
	Hot Bin I (Coarse Agregate 1 ½)	0.00 %	
	Hot Bin II (Coarse Agregate ½)	25.00 %	
	Hot Bin III (Medium Agregate 3/8)	25.00 %	
	Hot Bin IV (Abu Batu)	40.00 %	
	Pasir	3.00 %	
	Filler	1.2 %	
		100.0 %	
II.	KOMPOSISI CAMPURAN AGREGAT		
	Hot Bin I I (Coarse Agregate 1 ½)	0.00 %	
	Hot Bin II (Coarse Agregate ½)	25.00 %	
	Hot Bin III (Medium Agregate 3/8)	25.00 %	
	Hot Bin IV (Abu Batu)	43.00 %	
	Buton Granular Aspal (BGA)	5.80 %	
	Filler (Fly Ash)	1.2 %	
		100.00 %	1,0 – 2,0 %
III	PEMBAGIAN BUTIRAN GABUNGAN		
	Saringan 1"	100	100 -
	¾"	100	100 -
	½"	87.5	90 -
	3/8"	69.59	77 -
	No.4	56.65	53 -
	No.8	31.34	33 -
	No.16	21.74	21 -
	No.30	15.11	14 -
	No.50	11.61	9 -
	No.100	7.13	6 -
	No.200	4.12	4 -

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

4.7 Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (ASSHTO-209s)

Berat jenis maksimum campuran beraspal ditentukan dengan mengukur berat dan isi dari benda uji dimana udara yang berada di antara butir benda uji dikeluarkan dengan cara pengisapan

4.7.1 Berat Jenis dengan Campuran BGA dan Fly Ash

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal BGA dengan *Fly Ash* dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 10% , 20 %, 30 %, 40% dan 50% dengan benda uji GMM sebanyak 2 buah untuk masing-masing kadar BGA campuran *fly ash*.

Tabel 4.23 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran BGA dengan *Fly Ash*

No.	Fly Ash			Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)									
	Contoh No :			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1,361	1,389	1,276	1,286	1,349	1,357	1,354	1,367	1,320	1,337
2	Berat Botol		Grm	763	763	763	763	763	763	763	763	763	763
3	Berat Contoh	(1-2)	Grm	598	626	513	523	586	594	591	604	557	574
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kalibrasi)		Grm	1,871	1,886	1,850	1,859	1,893	1,908	1,915	1,931	1,913	1,924
5	Berat botol + Air (batas kalibrasi)		Grm	1,575	1,575	1,568	1,568	1,567	1,567	1,560	1,560	1,575	1,575
6	Berat air	(4-5)	Grm	296	311	282	291	326	341	355	371	338	349
7	Volume contoh	(3-6)	Grm	302	315	231	232	260	253	236	234	219	225
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3:7)	Gmm/cc	1.981	1.987	2.225	2.258	2.254	2.346	2.500	2.586	2.541	2.551
9	Temperatur air T ° C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Gmm/cc	1.981	1.987	2.225	2.258	2.254	2.346	2.500	2.586	2.541	2.551
Rata - rata GMM				1.984		2.241		2.300		2.543		2.546	
Variasi Kadar BGA (Buton Granular Aspal) %				10%		20%		30%		40%		50%	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Hasil Pemeriksaan berat jenis campuran aspal BGA dengan *Fly Ash* dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 10% , 20 %, 30 %, 40% dan 50% dengan berat jenis maksimum aspal adalah 2,323 gr / cc.

4.7.2 Berat Jenis dengan Campuran BGA dan Semen Portland

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal BGA dengan Semen *Portland* dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 10% , 20 %, 30 %, 40% dan 50% dengan benda uji GMM sebanyak 2 buah untuk masing-masing kadar BGA campuran semen *Portland*.

Tabel 4.24 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran BGA dengan *Portland Cement*.

No.	Semen Portland					Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)									
	Contoh No :					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Berat Botol + Contoh				Grm	1,344	1,351	1,312	1,357	1,347	1,337	1,332	1,389	1,346	1,286
2	Berat Botol				Grm	763	763	763	763	763	763	763	763	763	763
3	Berat Contoh			(1 - 2)	Grm	581	588	549	594	584	574	569	626	583	523
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)				Grm	1,909	1,926	1,903	1,891	1,901	1,914	1,871	1,886	1,850	1,859
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)				Grm	1,575	1,575	1,573	1,573	1,589	1,589	1,555	1,555	1,571	1,571
6	Berat air			(4 - 5)	Grm	334	351	330	318	312	325	316	331	279	288
7	Volume contoh			(3 - 6)	Grm	247	237	219	276	272	249	253	295	304	235
8	Max Specific Gravity (Gmm)			(3 : 7)	Grm / cc	2.351	2.481	2.507	2.152	2.147	2.305	2.249	2.122	1.918	2.226
9	Temperatur air T °C				Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu				Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)			(8 x 10)	Grm / cc	2.351	2.481	2.507	2.152	2.147	2.305	2.249	2.122	1.918	2.226
Rata - rata GMM						2.416		2.330		2.226		2.186		2.072	
Variasi Kadar BGA (Buton Granular Aspal) %						10%		20%		30%		40%		50%	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Hasil Pemeriksaan berat jenis campuran aspal BGA dengan *Portland Cement* (PC) dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 10% , 20 %, 30 %, 40% dan 50% dengan berat jenis maksimum aspal adalah 2,246 gr / cc

4.7.3 Berat Jenis dengan Campuran Komposisi Normal

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal Normal 5 variasi kadar aspal yaitu 4,5%, 5 %, 5,5 %, 6% dan 6,5% dengan benda uji gmm sebanyak 2 buah untuk masing-masing kadar BGA campuran semen portland

Tabel 4.25 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran komposisi Normal

No.	Normal					Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)									
	Contoh No :					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Berat Botol + Contoh				Grm	2,209	2,208	2,309	2,312	2,564	2,549	2,677	2,598	2,576	2,543
2	Berat Botol				Grm	648	616	648	648	648	648	648	648	648	648
3	Berat Contoh			(1 - 2)	Grm	1,561	1,592	1,661	1,664	1,916	1,901	2,029	1,950	2,029	1,950
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)				Grm	4,057	4,071	4,107	4,110	4,252	4,241	4,305	4,259	4,303	4,258
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)				Grm	3,125	3,125	3,125	3,125	3,125	3,125	3,125	3,125	3,125	3,125
6	Berat air			(4 - 5)	Grm	928	946	982	985	1,127	1,116	1,180	1,134	1,178	1,133
7	Volume contoh			(3 - 6)	Grm	633	646	679	679	789	785	849	816	851	817
8	Max Specific Gravity (Gmm)				Grm / cc	2.466	2.464	2.446	2.451	2.428	2.422	2.390	2.390	2.384	2.387
9	Temperatur air T °C				Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu				Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)			(8 x 10)	Grm / cc	2.466	2.465	2.446	2.451	2.428	2.422	2.390	2.390	2.384	2.387
Rata - rata GMM						2.466		2.448		2.425		2.390		2.386	
Variasi Kadar Aspal %						4.50%		5.00%		5.50%		6.00%		6.50%	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal Normal dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 4,5% , 5 %, 5,5 %, 6% dan 6,5% dengan berat jenis maksimum aspal adalah 2,223 gr / cc.

4.8 Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994)

Kadar aspal dalam campuran adalah banyaknya aspal dalam campuran beraspal yang diperoleh dengan cara ekstraksi menggunakan alat refluks ekstraktor. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kadar aspal dalam suatu campuran (agregat + aspal) yang akan digunakan dalam perencanaan perkerasan jalan.

Tabel 4.26 Hasil Pengujian Kadar Aspal

NO	URAIAN PEMERKSAAN	Rumus	BGA + Fly Ash	BGA + PC	SAT
A	Berat Pan / Cawan		105.6	105.6	gr
B	Berat Material + Pan Sebelum		554.4	542.3	gr
C	Berat Material + Pan Sesudah		534.2	524.1	gr
D	Berat Sebelum Ekstraksi	(B - A)	448.8	436.7	gr
E	Berat Setelah Ekstraksi	(C - A)	428.6	418.5	gr
F	Berat Kertas Filter		6.5	6.5	gr
G	Berat Total Mineral	(C - A - F)	422.1	412.0	gr
H	Berat Aspal Dalam Campuran	(D - G)	26.7	24.7	gr
I	Persen Aspal Dalam Campuran	(H / D x 100)	5.95	5.66	%
Rata – rata			5.80		%

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Berdasarkan Tabel 4.26 hasil dari Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi digunakan sebagai penentuan Kadar Aspal Optimum sebesar 5,80 %, untuk campuran modifikasi antara penggunaan campuran Buton Granular Aspal dengan Fly Ash dan Semen Portland. Hasil ini dianggap memenuhi dikarenakan nilai KAO tersebut telah memenuhi syarat karakteristik Marshall sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 3 terkait penggunaan campuran aspal modifikasi.

4.8.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

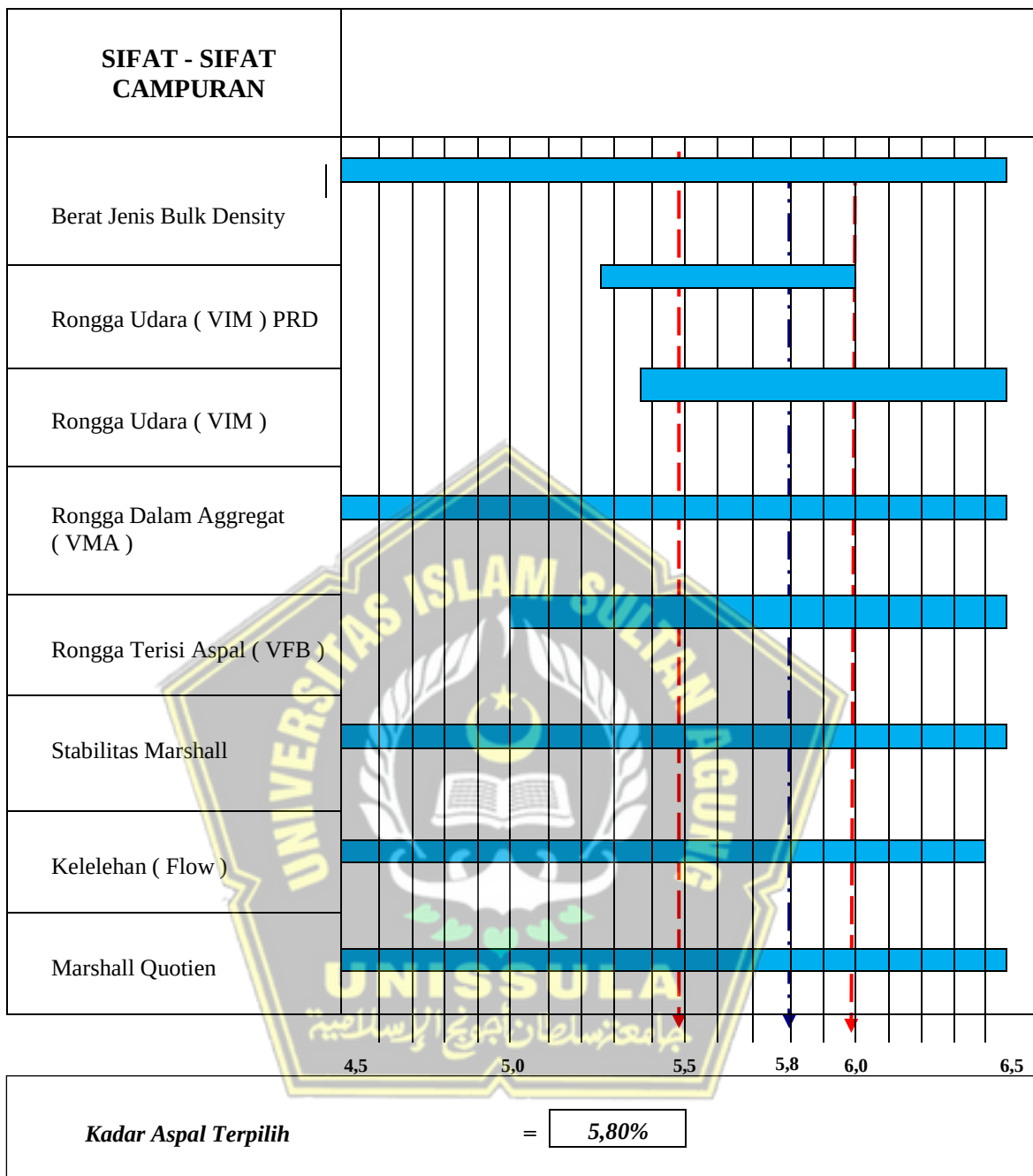
Kadar aspal optimum (KAO) campuran Lapisan Aspal Beton (Laston), dalam penelitian ini digunakan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%. Data hasil pengujian dan Analisa parameter pada Tabel 4.27 , selanjutnya kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dengan menggunakan standar Bina Marga, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu : stabilitas, kelelahan (*flow*), Marshall Quotien (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA).

Tabel 4.27 Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Beraspal		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
Spesifikasi	Min	800	3	250	3	15	65
	Maks	-	-	-	5	-	-
4,5		2896.02	2.30	1259.14	6,14	16.62	52.88
		2797.85	2.40	1165.77	5,65	16.60	52.97
		2856.75	2.15	1328.72	5,89	16.48	53.41
Rata-Rata		2850.20	2.28	1248.26	5,89	16.57	53.09
5		3190.53	2.80	1139.47	5,07	16.30	68.88
		3043.27	2.90	1049.40	5.00	16.24	69.23
		3141.44	2.70	1163.50	5.11	16.34	68.71
Rata-Rata		3125.08	2.80	1116.10	5.06	16.29	68.94
5,5		2748.76	3.30	832.96	5.00	17.45	71.33
		2699.68	3.50	771.34	4.68	17.18	72.73
		2738.94	3.40	805.57	4.67	17.17	72.79
Rata-Rata		2729.13	3.40	802.68	4.79	17.27	72.28
6		2414.98	4.00	603.75	4.62	17.26	73.24
		2385.53	4.20	567.98	4.10	16.81	75.61
		2454.25	4.10	598.60	4.79	17.41	72.48
Rata-Rata		2418.25	4.10	589.82	4.50	17.16	73.78
6.5		2385,53	4,60	518,59	4,06	16.78	75,82
		2444,43	4,50	543,21	4,07	16.79	75,75
		2454,25	4,40	557,78	4,02	16.75	76,01
Rata-Rata		2428,07	4,50	569,57	4,05	16.77	75,86

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Berdasarkan Tabel 4.27 Hasil pengujian untuk penentuan kadar aspal optimum diperoleh pada kadar 5,8% sedangkan untuk kadar aspal efektif pada kadar 5,5% dan 6%. Hal tersebut berdasarkan nilai VIM Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* diatas yang memenuhi spesifikasi binarmarga dengan nilai 3.00 – 5.00, maka dapat ditentukan kadar aspal optimum sebagai berikut :



Gambar 4.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

4.8.2 Ringkasan Hasil Test Pengujian AC Wearing

Setelah mendapatkan presentase masing-masing fraksi agregat dan aspal. Maka ditentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas mold yang ada.

Contoh untuk campuran AC-WC sebagai berikut :

- Kadar aspal = 5.8 %
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = 5.8 % x 1200 = 69.6 gr
- Berat total agregat = $(100 - 5.8)\% \times 1200$ = 1130.4 gr
 - Coarse Agg. (1/2') = 25% x 1200 gr = 300 gr
 - Medium Agg. (3/8') = 25% x 1200 gr = 300 gr
 - Pasir = 40 % x 1200 gr = 480 gr
 - Abu batu = 3% x 1200 gr = 36 gr
 - Filler = 1.2 % x 1200 gr = 14.4 gr
 - Total agregat = 1130.4 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada **tabel 4.28**

Tabel 4.28 Komposisi Material AC - WC

JENIS MATERIAL	KOMPOSISI		BERAT g	KUMULATIF g
1.Coarse Agg. (1/2')	25.00	%	300.00	600.00
2.Medium Agg. (3/8')	25.00	%	300.00	300.00
3.Abu batu	40.00	%	516.00	1080.00
4.Pasir	3.00	%	36.00	1116.00
5. Filler Semen	1.20	%	14.4	1130.4
6. Aspal	5.80	%	69.6	1200

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Dari pengujian *AC Wearing Course* di dapatkan Kadar Aspal Optimum adalah 5,8% dengan berat 69,6 g

4.9 Hasil Pemeriksaan Marshall

Apabila sudah dilakukan penentuan *job mix design* juga *design mix* formula, dan pembuatan benda uji sebanyak 45 buah aspal, selanjutnya seluruh benda uji ditimbang dalam keadaan masih masih kering, dilanjutkan benda uji ditimbang setelah melakukan perendaman selama 24 jam dan benda uji ditimbang kembali dalam keadaan SSD. Setelah didapatkan berat benda uji selanjutnya lalu dilakukan perendaman pada *waterbath* (pemanasan cairan dengan cara merendamnya pada air yang telah dipanaskan sebelumnya) pada temperature 60°C selama 30 menit. Seluruh sample benda uji pada *waterbath* yang telah direndam harus langsung dilakukan proses pengujian pada alat marshall untuk mendapatkan hasil bacaan stabilitas dan hasil bacaan *flow* (kelelehan) pada sample benda uji aspal. Maksud dalam pemeriksaan Marshall test akan menghasilkan parameter Marshall, yaitu nilai KAO (Kadar Aspal Optimum). Agar dapat memperoleh nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) terlebih dahulu didapatkan beberapa parameter. Parameter yang didapatkan yaitu adalah VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, *flow* (kelelehan), dan MQ (*Marshall Quotient*).

Hasil dari pemeriksaan Marshall Test terdapat pada tabel yang telah di rekap pada tabel dibawah dan juga terdapat pula grafik dari seluruh nilai parameter Marshall Test yaitu VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, *flow* (kelelehan), dan MQ (*Marshall Quotient*) yang telah memenuhi persyaratan dari Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2). Untuk hasil yang didapatkan dari pengujian Marshall pada penelitian dibagi menjadi 3 komposisi, yaitu hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi normal dengan kadar aspal (4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%) benda uji kombinasi BGA kadar (10%, 20%, 30%, 40% dan 50%) dengan *fly ash*, dan benda uji kombinasi BGA (10%, 20%, 30%, 40% dan 50%) dengan *Portland Cement* dengan masing – masing 3 benda uji per komposisi.

4.9.1 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi BGA dengan Fly Ash

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi BGA kadar (10%, 20%, 30%, 40% dan 50%) dicampur Fly Ash, dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai marshall dapat di lihat pada Tabel 4.29

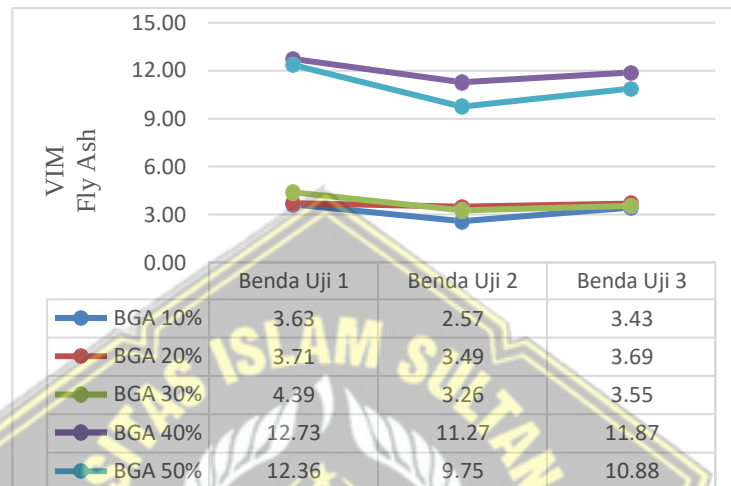
Tabel 4.29 Hasil Marshall Komposisi BGA + Fly Ash

Pengujian (Komposisi Buton Granular Aspal + Fly Ash)															
BJ Aspal (T) :		1.034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :		2.516	BJ Total Agg (Gsb) :		2.749	Kalibrasi Proving Ring :		9.817 Kg				
no	%	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	BGA	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji	(Asbuton)							camp. Agg	agg(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)				
		total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m / n
		campuran							gsb	h					
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
Benda Uji 1	10%	5.8	1165.2	558.4	1167.8	609.4	1.912	1.984	34.48	3.63	89.48	171	1678.71	2.60	645.66
Benda Uji 2	10%	5.8	1164.8	563.8	1166.4	602.6	1.933	1.984	33.76	2.57	92.38	166	1629.62	2.60	626.78
Benda Uji 3	10%	5.8	1167.2	561.2	1170.4	609.2	1.916	1.984	34.35	3.43	90.01	145	1423.47	2.70	527.21
Rata-rata	10%	5.8					1.920	1.984	34.20	3.21	90.63	160.67	1577.26	2.63	598.96
Benda Uji 1	20%	5.8	1139.8	613.0	1141.2	528.2	2.158	2.241	26.06	3.71	85.77	224	2199.01	2.90	758.28
Benda Uji 2	20%	5.8	1177.4	635.2	1179.6	544.4	2.163	2.241	25.89	3.49	86.51	232	2277.54	2.80	813.41
Benda Uji 3	20%	5.8	1164.6	626.6	1166.2	539.6	2.158	2.241	26.04	3.69	85.82	223	2189.19	3.00	729.73
Rata-rata	20%	5.8					2.160	2.241	26.00	3.63	86.03	226.33	2221.91	2.90	766.18
Benda Uji 1	30%	5.8	1175.6	642.2	1176.8	534.6	2.199	2.300	24.65	4.39	82.19	165	1619.81	3.10	522.52
Benda Uji 2	30%	5.8	1170.8	646.4	1172.6	526.2	2.225	2.300	23.76	3.26	86.27	170	1668.89	2.90	575.48
Benda Uji 3	30%	5.8	1155.8	636.6	1157.6	521.0	2.218	2.300	23.98	3.55	85.21	138	1354.75	3.10	437.01
Rata-rata	30%	5.8					2.214	2.300	24.13	3.73	84.56	157.67	1547.81	3.03	510.27
Benda Uji 1	40%	5.8	1166.4	642.2	1167.8	525.6	2.219	2.543	23.96	12.73	46.84	185	1816.15	3.20	567.55
Benda Uji 2	40%	5.8	1177.8	658.6	1180.6	522.0	2.256	2.543	22.68	11.27	50.30	181	1776.88	3.10	573.19
Benda Uji 3	40%	5.8	1162.2	646.8	1165.4	518.6	2.241	2.543	23.21	11.87	48.83	167	1639.44	3.40	482.19
Rata-rata	40%	5.8					2.239	2.543	23.28	11.96	48.66	177.67	1744.15	3.23	539.43
Benda Uji 1	50%	5.8	1165.2	645.0	1167.2	522.2	2.231	2.546	23.54	12.36	47.49	209	2051.75	3.50	586.22
Benda Uji 2	50%	5.8	1171.8	663.4	1173.4	510.0	2.298	2.546	21.27	9.75	54.13	214	2100.84	3.40	617.89
Benda Uji 3	50%	5.8	1157.2	650.2	1160.2	510.0	2.269	2.546	22.25	10.88	51.10	187	1835.78	3.80	483.10
Rata-rata	50%	5.8					2.266	2.546	22.35	11.00	50.91	203.33	1996.12	3.57	559.66

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Dari Tabel 4.29 diperoleh nilai hasil dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan komposisi Buton Granular Aspal dengan Fly Ash.

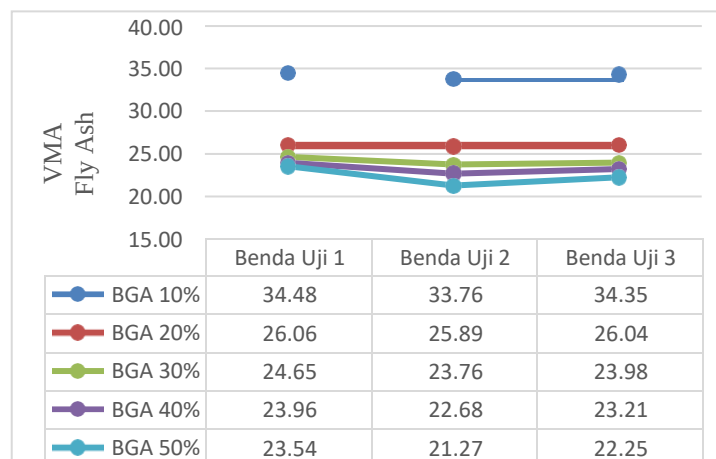
Pada gambar 4.5 nilai VIM (*Void in Mix*) campuran Buton Granular Aspal (BGA) dengan *Fly Ash* menggunakan kadar 10%, 20% dan 30% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 40%, dan 50% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 3.21%, 3.63%, 3.73%, 11.96%, 11.00%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Gambar 4.5 VIM untuk Komposisi BGA dengan *Fly Ash*

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

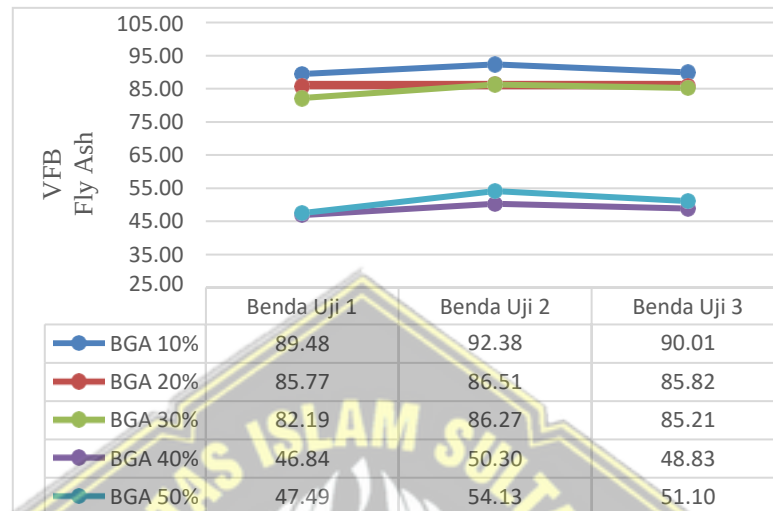
Pada gambar 4.6 nilai yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 34.20%, 26.00%, 24.13%, 23.28 dan 22.35%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Buton Granular Aspal (BGA) telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Bina Marga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.6 VMA untuk Komposisi BGA dengan *Fly Ash*

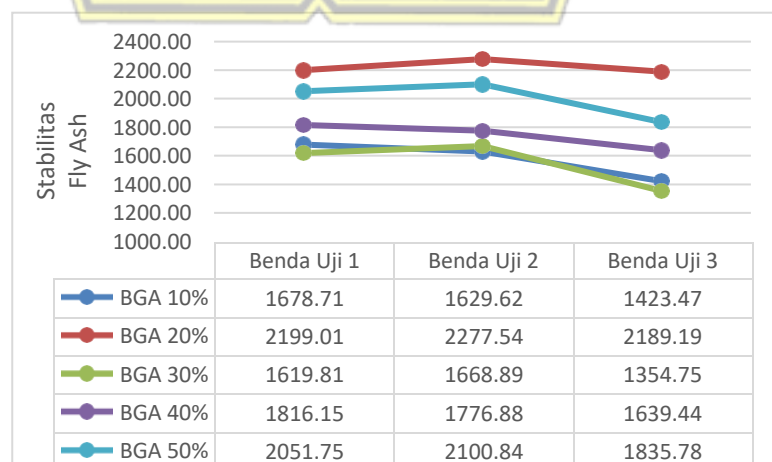
(Sumber : Hasil Penelitian).

Pada gambar 4.7 nilai VFB yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 90,63%, 86,03%, 84,56%, 48,66 dan 50,91 % ,dari hasil yang untuk kadar Buton Granular Aspal 40% dan 50% belum memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu minimum 65%.



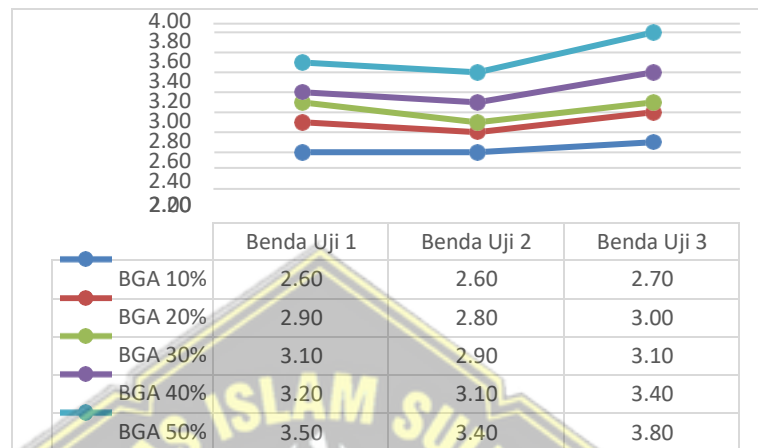
Gambar 4.7 VFB untuk Komposisi BGA dengan Fly Ash
(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada gambar 4.8 nilai Stabilitas yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 1577.26 kg , 2221.91 kg, 1574.81 kg, 1744.15 kg dan 1996.12 kg Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Buton Granular Aspal (BGA) telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



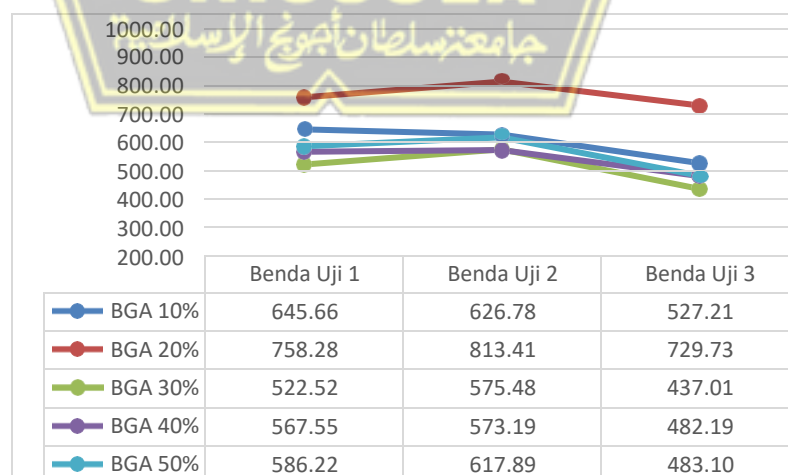
Gambar 4.8 Stabilitas untuk Komposisi BGA dengan Fly Ash
(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada gambar 4.9 nilai *Flow* yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 2.63 mm , 2.90 mm, 3.03 mm, 3.23 dan 3.57 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *Flow* dari Bina Marga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00mm



Gambar 4.9 *Flow* untuk Komposisi BGA dengan Fly Ash
(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada gambar 4.10 nilai (Marshall Quotient) yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 598.96 mm , 766.18 mm, 510.27 mm, 539.43 dan 556.66 mm. Dari hasil yang didapatkan nilaidari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada



Gambar 4.10 Marshall Quotient untuk Komposisi BGA dengan Fly Ash

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Hasil Komposisi Granular dengan *Fly Ash* pada kadar 10%, 20%,30%, 40% dan 50% BGA dengan *Fly Ash*, maka Rongga Udara (VIM) pada kadar 10%, dan 20%, dan 30%, kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) terbesar adalah 3,2 %, 3,63%, dan 3,73%,. Namun untuk kadar 40% dan 50% tidak sesuai Spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) adalah 11,96 % dan 11.00%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%. Rata-rata komposisi Buton Granular Aspal dengan *Fly Ash* menggunakan kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yang dihasilkan dari parameter Marshall Test dapat dilihat pada Tabel 4.30

Tabel 4.30 Rekap Hasil rata-rata komposisi BGA dengan *Fly Ash*

URAIAN Komposisi BGA dengan Fly Ash	SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM	BUTON GRANULAR ASPAL	SPESIFIKASI
Rongga Udara (VIM)	3,21	10 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	34,20	10 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	90,63	10 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	1577,26	10 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	2,63	10 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	598,96	10 %	-
Rongga Udara (VIM)	3,63	20 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	26,00	20 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	86,03	20 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	2221,91	20 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	2,90	20 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	766,18	20 %	-
Rongga Udara (VIM)	3,73	30 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	24,13	30 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	84,56	30 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	1547,81	30 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,03	30 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	510,27	30 %	-
Rongga Udara (VIM)	11,96	40 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	2,28	40 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	48,96	40 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	1744,15	40 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,23	40 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	539,43	40 %	-
Rongga Udara (VIM)	11,00	50 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	22,35	50 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	50,91	50 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	1996,12	50 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,57	50 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	559,66	50 %	-

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

4.9.2 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi BGA dengan Portland Cement

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi BGA kadar (10%, 20%, 30%, 40% dan 50%) dicampur Semen portland, dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai marshall dapat di lihat pada Tabel 4.31

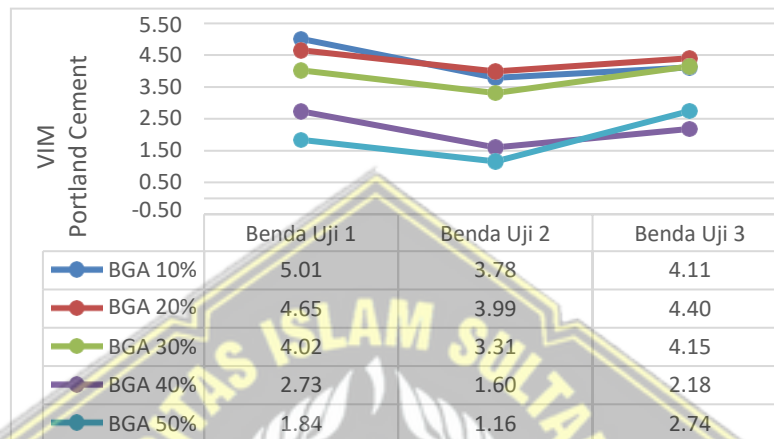
Tabel 4.31 Hasil Marshall Komposisi BGA + Portland Cement

Pengujian (Komposisi Buton Granular Aspal + Portland Semen)															
BJ Aspal (T) :		1.034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :		2.421	BJ Total Agg (Gsb) :		2.749	Kalibrasi Proving Ring :		9.817	Kg			
no	%	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	BGA	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji	(Asbuton)						camp. Agg	agg(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-i)				
		total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m / n
		campuran							gsb	h					
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
Benda Uji 1	10%	5.8	1145.2	651.2	1150.2	499.0	2.295	2.416	21.36	5.01	76.55	178	1747.43	3.10	563.69
Benda Uji 2	10%	5.8	1133.0	647.2	1134.6	487.4	2.325	2.416	20.34	3.78	81.40	151	1482.37	3.30	449.20
Benda Uji 3	10%	5.8	1151.4	657.2	1154.2	497.0	2.317	2.416	20.61	4.11	80.06	158	1551.09	3.10	500.35
Rata-rata	10%	5.8					2.312	2.416	20.77	4.30	79.34	162.33	1593.63	3.17	503.25
Benda Uji 1	20%	5.8	1171.2	645.6	1172.8	527.2	2.222	2.330	23.87	4.65	80.50	201	1973.22	3.20	616.63
Benda Uji 2	20%	5.8	1151.2	638.2	1152.8	514.6	2.237	2.330	23.34	3.99	82.91	177	1737.61	3.30	526.55
Benda Uji 3	20%	5.8	1163.6	642.8	1165.2	522.4	2.227	2.330	23.67	4.40	81.40	184	1806.33	3.15	573.44
Rata-rata	20%	5.8					2.229	2.330	23.63	4.35	81.61	187.33	1839.05	3.22	571.73
Benda Uji 1	30%	5.8	1167.4	621.8	1168.2	546.4	2.137	2.226	26.79	4.02	85.00	212	2081.20	3.30	630.67
Benda Uji 2	30%	5.8	1153.2	618.6	1154.4	535.8	2.152	2.226	26.25	3.31	87.39	199	1953.58	3.40	574.58
Benda Uji 3	30%	5.8	1165.0	628.2	1174.2	546.0	2.134	2.226	26.88	4.15	84.58	205	2012.49	3.20	628.90
Rata-rata	30%	5.8					2.141	2.226	26.64	3.83	85.65	205.33	2015.76	3.30	610.84
Benda Uji 1	40%	5.8	1178.8	625.8	1180.2	554.4	2.126	2.186	27.14	2.73	89.93	229	2248.09	3.50	642.31
Benda Uji 2	40%	5.8	1181.4	627.2	1176.4	549.2	2.151	2.186	26.29	1.60	93.93	215	2110.66	3.60	586.29
Benda Uji 3	40%	5.8	1169.2	627.4	1174.2	546.8	2.138	2.186	26.73	2.18	91.83	221	2169.56	3.40	638.11
Rata-rata	40%	5.8					2.139	2.186	26.72	2.17	91.90	221.67	2176.10	3.50	621.74
Benda Uji 1	50%	5.8	1176.0	601.2	1179.4	578.2	2.034	2.072	30.30	1.84	93.93	271	2660.41	3.60	739.00
Benda Uji 2	50%	5.8	1160.4	596.2	1162.8	566.6	2.048	2.072	29.82	1.16	96.12	261	2562.24	3.70	692.50
Benda Uji 3	50%	5.8	1169.2	592.2	1172.4	580.2	2.015	2.072	30.95	2.74	91.14	267	2621.14	3.50	748.90
Rata-rata	50%	5.8					2.032	2.072	30.36	1.91	93.73	266.33	2614.59	3.60	726.28

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

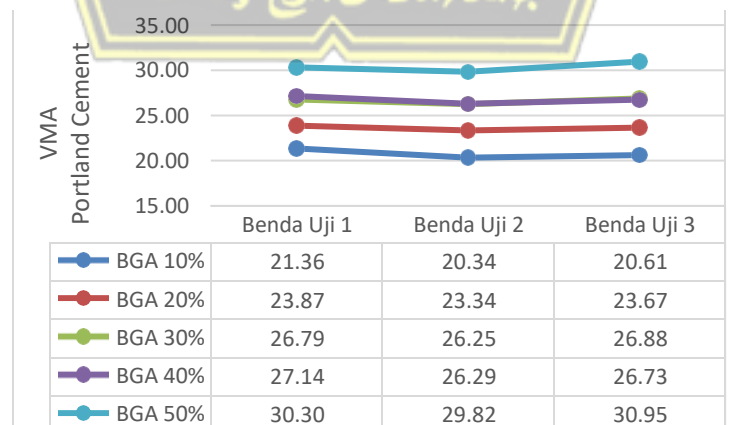
Dari Tabel 4.31 dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan komposisi Buton Granular aspal + Portland Cement.

Pada gambar 4.11 nilai VIM (*Void in Mix*) campuran Buton Granular Aspal (BGA) dengan Semen *Portland* menggunakan kadar 10%, 20% dan 30% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 40%, dan 50% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 4.30%, 4.35%, 3.83%, 2.17%, 1.91%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Gambar 4.11 VIM untuk Komposisi BGA dengan Portland Cement
(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

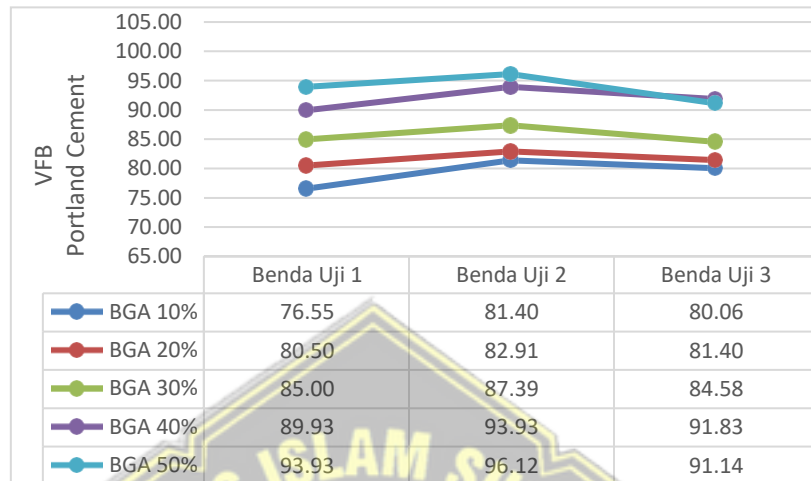
Pada gambar 4.12 VMA dibawah nilai yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 20.77%, 23.63%, 26.64%, 26.72 dan 30.36%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Buton Granular Aspal (BGA) telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.12 VMA untuk Komposisi BGA dengan *Portland Cement*

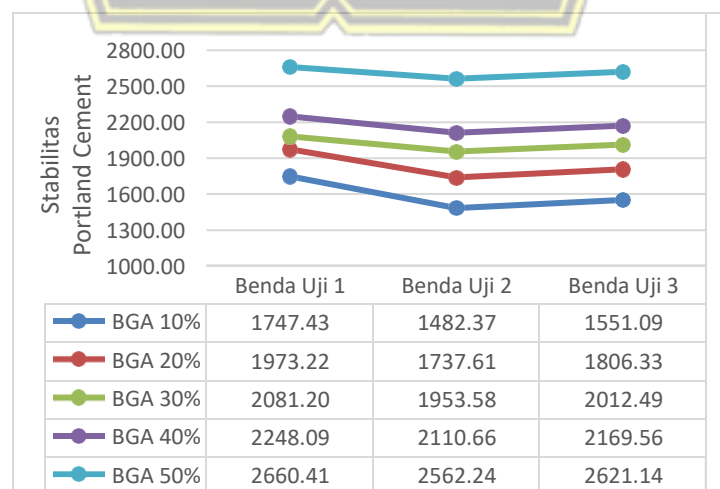
(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada gambar 4.13 VFB diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 79.34%, 81.6%, 85.65%, 91.90 dan 93.73 % ,dari hasil yang untuk kadar Buton Granular Aspal 40% dan 50% belum memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Bina Marga yaitu minimum 65%.



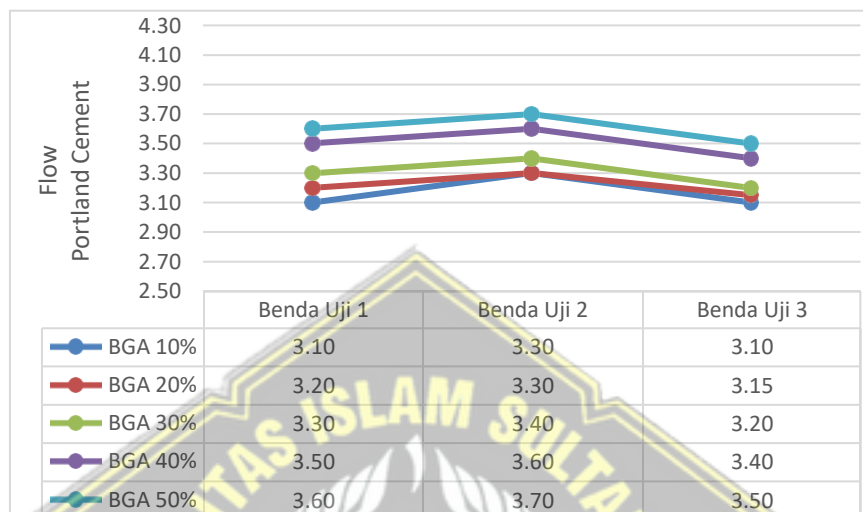
Gambar 4.13 VFB untuk Komposisi BGA dengan *Portland Cement*
(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada gambar 4.14 nilai Stabilitas yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 1593.63 kg , 1839.05 kg, 2015.76 kg, 2176.10 kg dan 2614.59 kg Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Buton Granular Aspal (BGA) telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Bina Marga yaitu minimum 800 kg.



Gambar 4.14 Stabilitas untuk Komposisi BGA dengan *Portland Cement*
(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

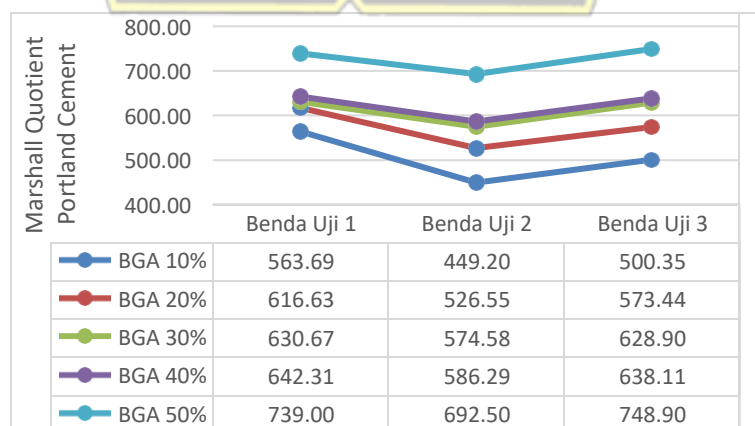
Pada gambar 4.15 diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 3.17 mm , 3.22 mm, 3.30 mm, 3.50 dan 3.60 mm. Dari hasil yang didapatkan nilaidari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Flow dari Bina Marga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.15 *Flow* untuk Komposisi BGA dengan *Portland Cement*

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada gambar 4.16 MQ nilai (*Marshall Quotient*) yang dihasilkan untuk kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yaitu 503.25 mm , 571.73 mm, 610.84 mm, 621.74 dan mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Bina Marga yaitu belum ada



Gambar 4.16 *Marshall Quotient* untuk Komposisi BGA dengan *Portland Cement*

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Hasil Komposisi Granular dengan *Portland Cement* pada kadar 10%, 20%,30%, 40%dan 50% BGA dengan *Portland Cement*, maka Rongga Udara (VIM) pada kadar 10%, 20%,dan 30% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalandengan hasil Rongga Udara (VIM) terbesar adalah 4,30 %, 4,35 % dan 3,83 %. Namun untuk kadar 40% dan 50% tidak sesuai Spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) adalah 2,17%, dan 1,91 %. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%. Rata-rata komposisi Buton Granular Aspal dengan Semen *Portland* menggunakan kadar 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% yang dihasilkan dari parameter Marshall Test dapat dilihat pada Tabel 4.32

URAIAN Komposisi BGA denganPortland Cement	SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM	BUTON GRANULAR ASPAL	SPESIFIKASI
Rongga Udara (VIM)	4,30	10 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	20,77	10 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	79,34	10 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	1593,63	10 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,17	10 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	503,25	10 %	-
Rongga Udara (VIM)	4,35	20 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	23,63	20 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	81,61	20 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	1839,05	20 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,232	20 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	571,73	20 %	-
Rongga Udara (VIM)	3,83	30 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	26,64	30 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	85,65	30 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	2133,56	30 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,30	30 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	610.84	30 %	-
Rongga Udara (VIM)	2,17	40 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	26,72	40 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	91,90	40 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	2176,10	40 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,50	40 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	611,34	40 %	-
Rongga Udara (VIM)	1,91	50 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	30,36	50 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	93,73	50 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	2614,59	50 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,60	50 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	726,28	50 %	-

Tabel 4.32 Rekap Hasil rata-rata komposisi BGA dengan *Portland Cement*

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

4.9.3 Hasil Marshall Benda Uji Komposisi Normal

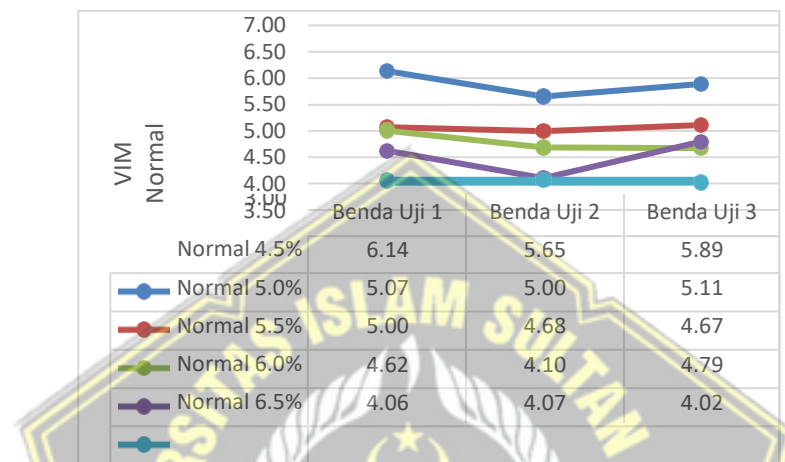
hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi aspal normal kadar (4%, 4,5%, 5%,5,5% dan 6%) dicampur Semen portland, dengan benda uji 3buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai marshall dapat di lihat pada Tabel 4.33

Tabel 4.33 Hasil Marshall Komposisi Normal



Dari tabel 4.33 dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi sesuai dengan komposisi kadar aspal normal

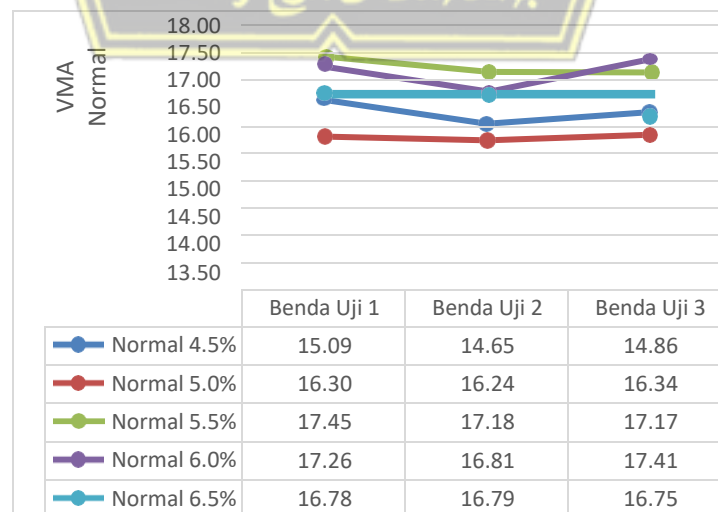
Pada gambar 4.17 nilai VIM (*Void in Mix*) atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai VMA dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VIM hanya mendapatkan nilai sebesar 5,89 untuk 10%, 5,06 untuk 20%, tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan namun untuk kadar BGA memenuhi spesifikasi dengan nilai 4,79 untuk 30%, 4,50 untuk 40%, dan 4,05 untuk 50%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Gambar 4.17 VIM untuk Komposisi Normal

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

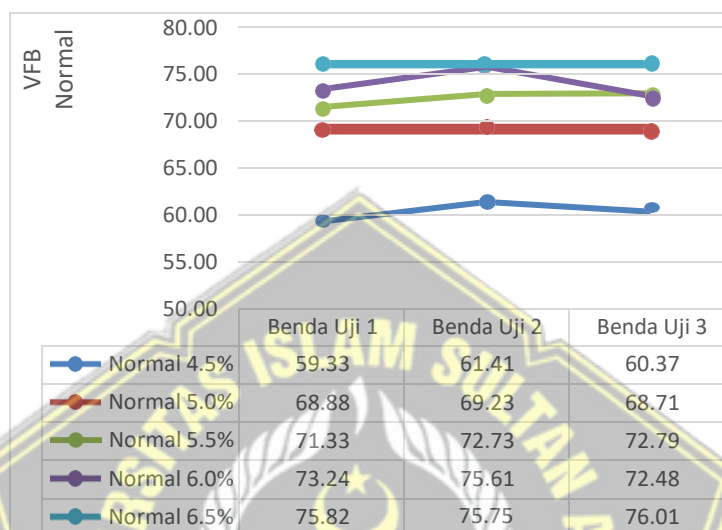
Pada gambar 4.18 VMA dibawah nilai yang dihasilkan untuk kadar 4,5%, 5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% yaitu 14,87%, 16,29%, 17,27%, 17,16 dan 16,77%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar Aspal Normal telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.18 VMA untuk Komposisi Normal

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

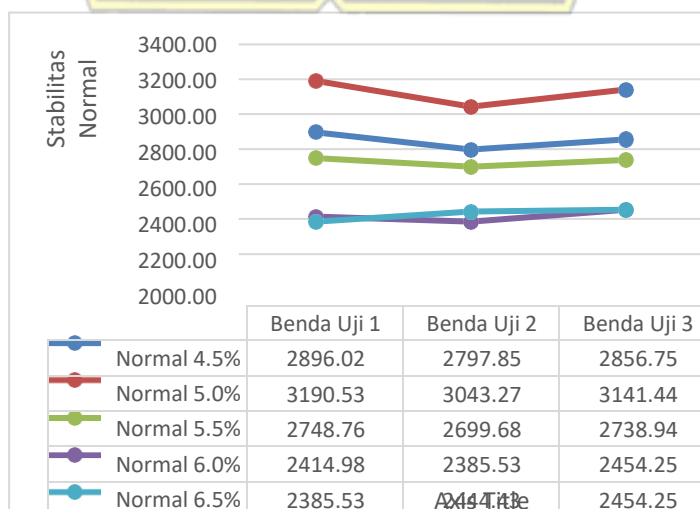
Pada gambar 4.19 VFB diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 4,5%, tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan namun dengan kadar 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% memenuhi spesifikasi sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Terisi Aspal (VFB) adalah 60,37%, 58,94%, 72,28%, 73,78 dan 75,86 % ,dari hasil yang untuk kadar Buton Granular Aspal 40% dan 50% belum memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu minimum 65%.



Gambar 4.19 VFB untuk Komposisi Normal

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

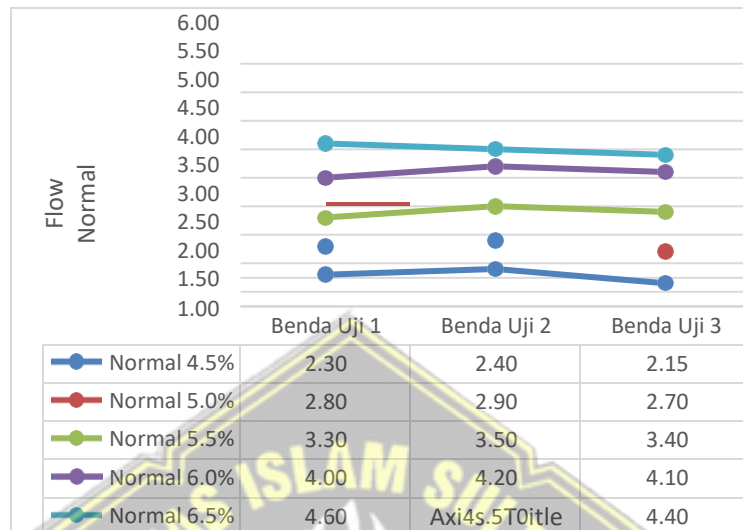
Pada gambar 4.20 Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% yaitu kg , 2850.20 kg, 3125.08 kg, 2729.13kg, 2418.25 kg dan 2428,07, dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar normal telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



Gambar 4.20 Stabilitas untuk Komposisi Normal

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

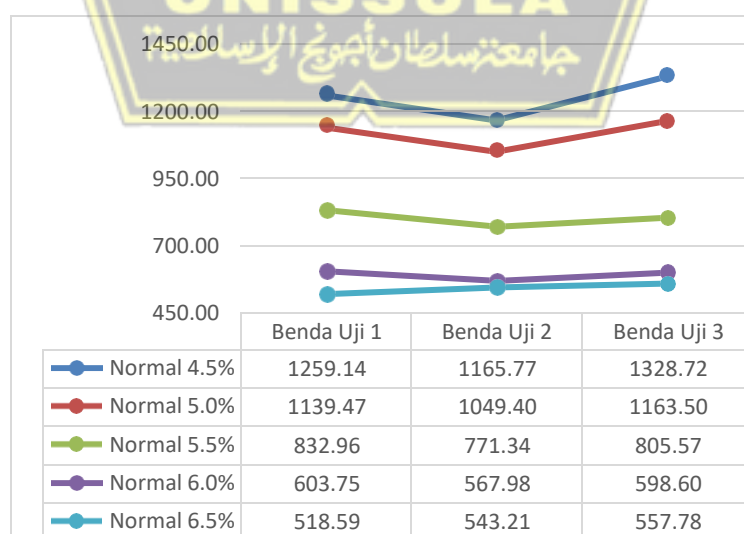
Pada gambar 4.21 Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% yaitu, 2.28 mm, 2.80 mm, 3.40 mm, 4.10 mm dan 4,50 mm. Dari hasil yang didapatkan nilaidari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *Flow* dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm



Gambar 4.21 Flow untuk Komposisi Normal

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Pada gambar 4.22 MQ (Marshall Quotient) diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% yaitu, 1248.26 mm, 1116.10 mm, 802.68, 589.82 mm dan 539,57. Dari hasil yang didapatkan nilaidari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada



Gambar 4.22 Marshall Quotient untuk Komposisi Normal

(Sumber : Hasil Penelitian, 2023).

Hasil Komposisi Normal pada kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% maka Rongga Udara (VIM) pada kadar 4,5%, dan 5%, tidak sesuai Spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) adalah 5,89%, dan 5,06 %. Namun untuk kadar 5,5% dan 6,5% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) terbesar adalah 4,79 %, 4,50 %, dan 4,05 %. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%. Rata-rata komposisi aspal normal yang dihasilkan dari parameter Marshall Test dapat dilihat pada Tabel 4.34

Tabel 4.34 Rekap Hasil rata-rata komposisi Normal

URAIAN Komposisi Normal	SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM	KADAR ASPAL (%)	SPESIFIKASI
Rongga Udara (VIM)	5,89	4,5 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	14,87	4,5 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	60,37	4,5 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	2850,2	4,5 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	2,28	4,5 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	1248,26	4,5 %	-
Rongga Udara (VIM)	5,06	5 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	16,29	5 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	68,94	5 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	3125,08	5 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,40	5 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	1116,10	5 %	-
Rongga Udara (VIM)	4,79	5,5 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	17,27	5,5 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	72,28	5,5 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	2729,13	5,5 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,40	5,5 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	802,68	5,5 %	-
Rongga Udara (VIM)	4,50	6 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	17,16	6 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	73,78	6 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	2418,25	6 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	4,10	6 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	589,82	6 %	-
Rongga Udara (VIM)	4,05	6,5 %	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	16,77	6,5 %	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	75,86	6,5 %	Min 65 %
Stabilitas Marshall	2428,07	6,5 %	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	4,50	6,5 %	2.0 - 4.0
Marshall Quotient	539,57	6,5 %	-

4.10 Analisa Hasil Perancangan dan Pengujian Marshall

4.10.1 Job Mix terbaik BGA terhadap Aspal AC-WC

Dalam penelitian ini setiap kadar variasi BGA memiliki desain gradasi kombinasi agregat granular yang sama namun semakin tinggi kadar pemakaian BGA maka dilakukan pengurangan pemakaian aspal, oleh karena itu didapatkan desain benda uji berupa 25% (CA), 25% (MA), 40% (Abu Batu), 3% (Pasir), 1.2% (*filler*) untuk

Variabel uji BGA 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% per - kadar. Desain ini telah memenuhi gradasi laston AC-WC yang ditetapkan Spesifikasi Binamarga 2018 Revisi. Untuk penentuan kadar optimum rencana didapatkan nilai P_b BGA 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% sebesar 5,8% karena merupakan campuran aspal modifikasi, terkait rancangan *job mix desain* Buton Granular Aspal (BGA) bisa dilihat pada Lampiran 6 Komposisi Benda Uji, Tabel 6.2 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

4.10.2 Perubahan pada Campuran BGA + Fly Ash Dibandingkan BGA + Semen Portland

1. Kepadatan

Untuk melihat hubungan antara nilai kepadatan dengan variasi kadar filler abu terbang batu bara dapat terlihat pada Lampiran 6 Komposisi Benda Uji, Tabel 6.18 Nilai Kepadatan Campuran Kadar Buton Granular Aspal (BGA). Dari hasil pengujian Marshall diperoleh nilai kepadatan untuk filler fly ash dan semen portland terhadap berbagai kadar BGA. Dari tabel 6.18 terlihat kecenderungan kepadatan mengalami kenaikan. Disimpulkan dengan adanya penambahan filler fly ash kedalam campuran, yang disertai dengan naiknya kadar Buton Granular Aspal (BGA) dalam campuran diindikasikan dapat menaikkan nilai kepadatan suatu campuran beton aspal. Hal utama yang menyebabkan kepadatan menjadi rendah dibanding dengan campuran Buton Granular Aspal (BGA) dengan filler semen portland ialah kandungan mineral halus dalam hal ini filler fly ash dan semen portland pada campuran, yang membuat kerapatan antar agregat dengan bitumen menjadi tinggi dan menyebabkan sifat *interlocking* dari partikel-partikel agregat dengan aspal bertambah.

2. Void In Mixture (VIM)

Void In Mixture VIM merupakan persentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. Nilai VIM menjadi indikator durabilitas atau memberi pengaruh terhadap keawetan dari campuran beton aspal. Hasil pemeriksaan VIM campuran beton aspal disajikan pada Lampiran 6 Pengujian Marshall Tabel 6.17 Hasil Marshall Perbandingan BGA Fly Ash dengan BGA Semen Portland. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan kadar BGA dengan filler fly ash kedalam campuran menyebabkan nilai VIM meningkat, sedangkan untuk penggunaan kadar BGA dengan filler semen portland Nilai VIM yang cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh rongga udara yang terisi oleh filler pada campuran telah memenuhi spesifikasi pada kadar Buton Granular Aspal (BGA) 10 % sampai 30%

3. Void in Mineral Agergat (VMA)

Nilai VMA merupakan persentase rongga yang ada diantara butir agregat dalam campuran beton aspal yang dinyatakan dalam (%) terhadap volume campuran beton aspal. Nilai VMA dapat dilihat pada Lampiran 6 Pengujian Marshall Tabel 6.17 Hasil Marshall Perbandingan BGA Fly Ash dengan BGA Semen Portland.

- a). Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VMA terhadap variasi kadar BGA dengan filler fly ash pada tiap kadar BGA. Nilai VMA cenderung semakinmenurun dengan **pertambahan** kadar filler abu terbang batu bara, hal ini disebabkan karena penambahan kadar buton granular aspal (BGA) membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udarayang diperlukan dalam campuran semakin sedikit.
- b). Pengujian variasi kadar BGA dengan filler semen portland memiliki Nilai VMAcenderung semakin meningkat, hal ini disebabkan karena penambahan kadar buton granular aspal (BGA) membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam campuran semakin banyak.

4. *Void Filled with Bitumen (VFB)*

VFB adalah rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butir agregat (VMA). Faktor – faktor yang dapat mempengaruhi VFB antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadatan dan pemanasan aspal. Nilai VFB dapat dilihat pada Lampiran 6 Pengujian Marshall, Tabel 6.17 Hasil Marshall Perbandingan BGA Fly Ash dengan BGA Semen *Portland*.

1. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB cenderung menurun seiring dengan pertambahan kadar BGA dengan fly ash, hal ini disebabkan karena filler fly ash yang menyerap aspal dan mengisi rongga lebih sedikit. Nilai VFB terbesar terjadi pada kadar BGA 10% dengan kadar filler *fly ash*, yaitu sebesar 90,63%. Diketahui pada kadar BGA 40% dan 50% nilai VFB tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Pada kadar BGA 10% nilai VFB baru memenuhi spesifikasi pada kadar filler *fly ash*, pada kadar BGA selanjutnya yakni 20%, dan 30% nilai VFB memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.
2. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB untuk campuran BGA dengan Semen *Portland* meningkat seiring dengan pertambahan kadar BGA dengan Semen *Portland*, hal ini disebabkan karena filler semen *portland* yang ada menyerap aspal dan mengisi rongga lebih banyak. Nilai VFB terbesar terjadi pada kadar BGA 50% dengan filler semen *portland* yaitu sebesar 93,73%. Diketahui pada kadar aspal 10% nilai VFB memenuhi spesifikasi. Pada kadar BGA selanjutnya yakni 20%, 30% 40% dan 50% nilai VFB memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

5. *Stabilitas*

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (*rutting*), maupun mengalami *bleeding*. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi aspal, kadar aspal, gesekan (*internal friction*), sifat saling mengunci (*interlocking*) dari partikel – partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan serta gradasi agregat. Nilai Stabilitas dapat dilihat pada Lampiran 6 Pengujian Marshall, Tabel 6.17 Hasil Marshall Perbandingan BGA Fly Ash

dengan BGA Semen Portland. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai stabilitas yang diperoleh cenderung mengalami kenaikan sampai pada batas optimum kemudian mengalami penurunan. Nilai stabilitas optimum campuran BGA dengan Fly Ash terjadi pada kadar BGA 20% yaitu sebesar 2221,91 Kg, dan Nilai stabilitas optimum untuk kadar BGA dengan Fly Ash terjadi pada kadar 50% yaitu sebesar 2614,19 Kg.

6. Flow

Kelelehan merupakan implementasi dari sifat fleksibilitas campuran yang dihasilkan. Nilai flow dipengaruhi oleh kadar aspal, distribusi agregat dan temperatur pemadatan. Nilai Flow dapat dilihat pada Lampiran 6.3 Pengujian Marshall, Tabel 6.17 Hasil Marshall Perbandingan BGA Fly Ash dengan BGA Semen Portland, dari hasil pengujian menunjukkan nilai flow dengan variasi penambahan kadar BGA, bahwa semakin banyak kadar BGA pada campuran beton aspal maka nilai kelelehan (*flow*) semakin besar.

7. Marshall Quotient

Dari hasil pengujian Nilai Marshall Quotient (MQ) dapat dilihat pada Lampiran 6 Pengujian Marshall, Tabel 6.17 Hasil Marshall Perbandingan BGA Fly Ash dengan BGA Semen Portland, menunjukkan bahwa nilai MQ cenderung semakin naik seiring dengan bertambahnya kadar Buton Granular Aspal. Hal ini disebabkan karena penambahan kadar Buton Granular Aspal membuat campuran menjadi padat dan kaku. Namun jika dilihat dari bentuk kurva yang terbuka kebawah maka bisa dikatakan penambahan kadar Buton Granular Aspal yang terlalu tinggi dapat menurunkan nilai MQ, karena mengurangi kohesi antara aspal dan agregat. disebabkan karena penambahan kadar Buton Granular Aspal (BGA) membuat campuran menjadi rapat sehingga deformasi akibat beban berkurang.

4.10.3 Hasil Optimal pada Campuran BGA + Fly Ash Dibandingkan BGA + Semen Portland

1. Analisa Hasil Pengujian Marshall (Sebelum KAO)

Untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) digunakan kadar yang dapat memenuhi seluruh parameter Marshall, maka berdasarkan hasil uji didapat nilai KAO pada BGA 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% , sebesar 5.80%, hasil ini dianggap memenuhi dikarenakan nilai tersebut sesuai dengan spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 3 terkait penggunaan campuran aspal modifikasi.

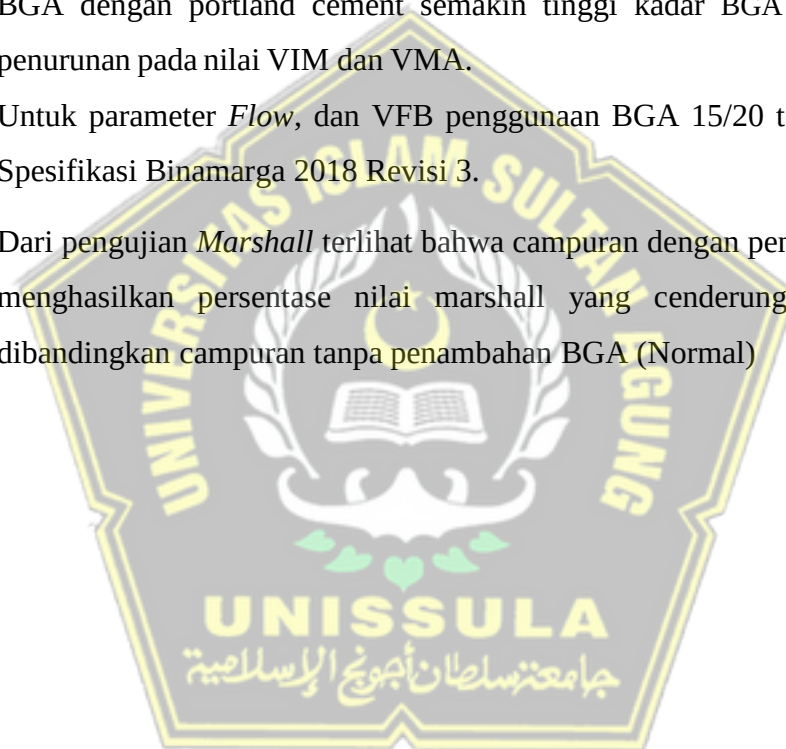
2. Analisa Hasil Pengujian Marshall (Sesudah KAO)

Dari hasil dari pengujian *Marshall* (sesudah kao) didapat pada Lampiran 6 Pengujian Marshall, Tabel 6.13 Hasil Marshall Perbandingan BGA Fly Ash dengan BGA Semen Portland, bahwa campuran aspal panas dengan bahan tambah BGA 15/20 sebanyak 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% dengan KAO telah memenuhi syarat karakteristik *Marshall* yang ditetapkan Spesifikasi Binamarga 2018 Rev.3. Dari pengujian ini didapatlah hasil analisis berupa:

- a) Pada parameter stabilitas, penggunaan campuran BGA dengan fly ash kadar 10%, 20%, telah memenuhi Spesifikasi Laston AC-WC dan Laston Mod. AC-WC yang ditetapkan Spesifikasi Binamarga 2018 Revisi 3 dan didapat kenaikan stabilitas pada campuran yang ditambah BGA 10% sebesar 1577,16 kg/mm serta kenaikan sebesar 2221,91 kg/mm pada campuran BGA 20%, namun untuk penggunaan BGA kadar 30% sebesar 1547,67 kg/mm, mengalami penurunan pada nilai stabilitas tetapi untuk BGA dengan kadar 40% sebesar 1774,67 dan kadar 50% sebesar 1996,12 kg/mm mengalami kenaikan kembali pada nilai stabilitas. Kemudian untuk penggunaan campuran BGA dengan portland Cement mengalami kenaikan pada nilai stabilitas dari kadar 10% sebesar 1593,63 kg/mm, kadar 20% sebesar 1839,05 kg/mm, kadar 30% sebesar 2015,76 kg/mm, kadar 40% sebesar 2176,10 kg/mm dan untuk kadar 50% sebesar 2614,59 kg/mm yang artinya semakin tinggi penggunaan BGA pada benda uji campuran BGA dengan semen portland akan mengalami kenaikan pada nilai stabilitas, dapat disimpulkan bahwa pengaruh penambahan BGA berbanding lurus dengan aspal semakin besar kadar dari BGA maka campuran aspal akan semakin kuat.
- b) Kenaikan parameter MQ untuk BGA dengan Fly Ash yakni sebesar 598,96 pada campuran dengan BGA 10% dan 766,18% pada campuran dengan BGA 20%, hal ini dapat disebabkan oleh nilai penetrasi bitumen yang terkandung dalam BGA rendah oleh karenanya berdampak ke campuran yang lebih kaku. Parameter MQ yang didapat dari pengujian telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Binamarga Revisi 3. Namun untuk penggunaan BGA kadar 30% 40% 50% mengalami fleksibilitas pada nilai MQ dari 510,27 kg/mm, 539,66 kg/mm dan 1124,05 kg/mm. Sedangkan BGA dengan Portland Cement sebesar 503,25 kg/mm pada campuran dengan BGA 10%, untuk 571,73 kg/mm pada campuran dengan BGA 20%, untuk 610,84 kg/mm pada campuran dengan BGA 30%, untuk 621,74 kg/mm pada campuran dengan BGA 20%, dan

untuk 726,28 kg/mm pada campuran dengan BGA 50%. Hal ini dapat disebabkan oleh nilai penetrasi bitumen yang terkandung dalam BGA rendah oleh karenanya berdampak ke campuran yang lebih kaku. Parameter MQ yang didapat dari pengujian telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Binamarga Revisi 3.

- c) Dari hasil pengujian hasil optimal dapat dilihat pada penambahan BGA mulai dari kadar 10% sampai 30% berpengaruh kepada nilai VIM dan VMA, sehingga apabila semakin tinggi kadar penggunaan BGA dengan fly ash pada suatu campuran akan berdampak meningkatnya nilai VIM (*Void in Mix*) dan VMA pada suatu campuran namun berbanding terbalik dengan campuran BGA dengan portland cement semakin tinggi kadar BGA akan mengalami penurunan pada nilai VIM dan VMA.
- d) Untuk parameter *Flow*, dan VFB penggunaan BGA 15/20 telah memenuhi Spesifikasi Binamarga 2018 Revisi 3.
- e) Dari pengujian *Marshall* terlihat bahwa campuran dengan penambahan BGA menghasilkan persentase nilai marshall yang cenderung lebih rendah dibandingkan campuran tanpa penambahan BGA (Normal)



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil penelitian yang telah dilakukan maka untuk *job mix design* pada pengujian marshall mendapatkan nilai VIM dengan kadar Buton Granular Aspal (BGA) 10%, 20% dan 30% dimana hasil pengujian tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2 sehingga campuran aspal dapat digunakan untuk kondisi jalan namun dengan kadar 40%, dan 50% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2 dengan nilai minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.
2. Hasil pengujian Marshall dapat dilihat bahwa seiringan dengan penambahan Buton Granular Aspal (BGA) berpengaruh kepada nilai VIM (*Void in Mix*). Semakin tinggi campuran kadar Buton Granular Aspal (BGA) dengan Fly Ash rongga udara (VIM) pada kadar 10%, dan 20%, dan 30%, kondisi sesuai Spesifikasi sedangkan untuk kadar 40% dan 50% tidak sesuai Spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata rongga Udara (VIM) adalah 3.22%, 3.63%, 3.73%, 11.96%, 11.00%, semakin tinggi kadar BGA pada campuran Semen Fly Ash akan berdampak pada meningkatnya nilai VIM (*Void in Mix*). Namun berbanding terbalik dengan campuran Buton Graular Aspal (BGA) dengan Semen Portland menggunakan kadar 10%, 20% dan 30% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 40%, dan 50% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata rongga Udara (VIM) adalah 4.30%, 4.35%, 3.83%, 2.17%, 1.91%, semakin tinggi kadar BGA pada campuran Semen Portland maka akan menyebabkan menurunnya nilai VIM (*Void in Mix*).
3. Uji marshal nilai stabilitas untuk campuran kadar Buton Granular Aspal (BGA) 10%, 20%, 30%, 40% 50% dengan Fly Ash dan Semen Portland memenuhi spesifikasi Bina Marga di karenakan nilai stabilitas masih diatas 800 kg, sedangkan untuk nilai spesifikasi dari Bina Marga adalah 800kg.

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat dikemukakan beberapa saran untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya :

1. Job Mix formula dengan stabilitas yang baik pada komposisi kadar campuran BGA 40% dan 50% namun memiliki *Void in Mineral* (VIM) yang rendah perlu meningkatkan kembali bahan tambah agar *Void in Mineral* (VIM) sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 Revisi 2
2. Menjaga kondisi ruangan agar tidak ada angin yang dapat mempengaruhi penimbangan material.
3. Penumbukan benda uji dengan menggunakan mesin *Compaction* harus lebih akurat.
4. Menggunakan alat perekam saat pengujian *marshall* dilakukan sehingga pembacaan jarum Stabilitas (O) dan Kelelahan (R) lebih akurat. Pengembangan penelitian berikutnya yang dapat dilakukan sebagai penelitian lanjutan adalah :
 1. Mengingat penelitian yang dilakukan sekarang tidak ditinjau dari reaksi kimia Buton Granular Aspal (BGA) yang terjadi, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh dari reaksi kimia terhadap nilai stabilitas, durabilitas dan kuat tarik dari campuran beton aspal.
 2. Perlunya pengembangan penelitian mengenai BGA tentang tata cara penggunaannya agar bisa mempermudah pemanfaatannya, sehingga dapat dihasilkan pengujian yang maksimal sesuai dengan kebutuhannya.
 3. Menggunakan jenis uji lain (tidak hanya uji *marshall*) seperti uji permeabilitas dan uji ketahanan friksi campuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Agah, H.R (2011), Pengaruh Penambahan Buton Granular Asphalt pada Campuran Beton Aspal Terhadap Modulus Resilien dan Gradasi. Jurnal Transportasi Vol.12 No.2 Agustus2012: 103-112.
- A. Martha K (2012), Analisis Kinerja Campuran Aspal Panas dengan menggunakan Variasi Komposisi BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan penambahan aditif jenis polimer. Universitas Indonesia
- Arief, Dimas (2012), Pengaruh Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) 15/20 terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Universitas Jember.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2456-1991, Metode Pengujian Penetrasi, Jakarta, 1991.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2434-1991, Metode Pengujian Titik Lembek 5°C (Ringand Ball Test), Jakarta, 1991
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2433-1991, Metode Pengujian Titik Nyala (CleavelendOpen Cup), Jakarta, 1991
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2432-1991, Metode Pengujian Daktilitas, Jakarta, 1991 Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2432-1991, Metode Pengujian Berat Jenis, Jakarta, 1991
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2417-2008, Metode Pengujian Keausan Agregat denganMesin Abrasi Los Angeles, Jakarta, 2008
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2439-2011, Metode Pengujian Kelekatan Aggregatterhadap aspal pen 60/70, Jakarta, 2011
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-1969-1990, Metode Pengujian Penyerapan Air olehAggregat, Jakarta, 1990
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran, Jakarta, 1991.
- Advances in Engineering Research, volume 18
- Chen, et al (2015), *Research on the Application of Rock Asphalt in a Seasonal Frozen Area*.
- ASCE. CICTP 2015:980-991.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2018). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi6 Perkerasan Beraspal*. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Badan Penelitian dan Pengembangan, Bandung.

- Djalante, S. (2011). *Pengaruh ketahanan beton aspal (ac-bc) yang menggunakan asbuton butirtipe 5/20 terhadap air laut ditinjau dari karakteristik mekanis dan durabilitasnya.*
- FATMAWATI, S. (2011). *Analisa sifat ...*, Siti Fatmawati, FT UI, 2011.
- Firstyan. F et al (2015), Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Kinerja Marshall pada Campuran CPHMA menggunakan LGA dan Aspal Minyak Penetrasi 60/70.
- Universitas Brawijaya. Jinjin Shi, et al (2016), *A Modification Mechanism Study of Buton Natural Rock Asphalt in a Matrix Asphalt and Asphalt Mixture.* Geo-China 2016 GSP 262 :155-162.
- Kirana, D. E. I. W. F. F. W. (2018). *ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN LATASTON (HRS- WC) MODIFIKASI POLIMER STARBIT E-55.* 7(2).
- Layuk, M.P. (2014), *Studi Kinerja Campuran AC-WC Menggunakan BGA Asbuton Sebagai Bahan Pengikat.* Universitas Hasanudin.
- Patricia, Gloria (2012), *Analisis Pengaruh Penambahan BGA dan Polimer SBS Terhadap Sifat Agregat dan Aspal Dari Campuran Aspal Panas.* Depok: Universitas Indonesia.
- Prawira, Abdi. et al. (2008), *Pemanfaatan BGA (Buton Granular Asphalt) sebagai bahan pengganti agregat halus pada campuran HRS-WC secara Laboratorium.* Forum Teknik Sipil , No.XVIII/2-5-08
- Rajib Muammar, Sofyan M. Saleh, Y. Y. (2018). *Durabilitas campuran laston lapis aus (ac-wc) di substitusi limbah.* 1, 689–700.
- R. A. Jimenez, “ASPHALT: mixture design method to minimize rutting,” *Transportation Research Record*, no. 1417, pp. 109–116, 1993.
- Ramlan, R., & Pradhani, N. (2018). *Studi pemanfaatan pasir laut sebagai agregat halus pada campuran beton aspal.*
- Sains, J., & Ritonga, A. H. (2017). *JURNAL STIKNA Pembuatan Aspal Polimer Menggunakan Karet SIR-20 Yang Diinisiasi.* 01(02), 123–130.
- Tahir, *Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara, Jurnal Sipil Mesin Arsitektur Elektro*, 2009, 256-278.