

TUGAS AKHIR

**ANALISA ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE
(AC-BC) DENGAN MATERIAL SUBSTITUSI FLY ASH DAN
BOTTOM ASH**

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



Disusun Oleh :

**Mohamad Fikri Ardiansyah
Nim : 30201900118**

**Muhammad Luqman Hadi
Nim : 30201900145**

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISA ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE
(AC-BC) DENGAN MATERIAL SUBSTITUSI FLY ASH DAN BOTTOM ASH



Mohamad Fikri Ardiansyah
Nim : 30201900118



Muhammad Luqman Hadi
Nim : 30201900145

Telah disetujui oleh dan disahkan di Semarang, 24 Juni 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT..**
NIDN: 0623026901
2. **Juny Andry Sulisty, ST., MT**
NIDN: 0611118903
3. **Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., PhD**
NIDN: 0605016802

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: 42 / A.2 / SA – T / VII / 2023

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

1. Nama : Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
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.

Mohamad Fikri Ardiansyah
Nim : 30201900118

Muhammad Luqman Hadi
Nim : 30201900145

Judul : ANALISA ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)
DENGAN MATERIAL SUBSTITUSI FLY ASH DAN BOTTOM ASH

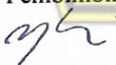
Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	15/September/2022	
2	Seminar Proposal	18/Oktober/2022	
3	Pengumpulan data	23/November/2022	
4	Analisis data	1/Desember/2022	
5	Penyusunan laporan	6/Januari/2023	
6	Selesai laporan	20/Juni/2023	
7	ACC	24/Juni/2023	

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. Ir. Rinda Karlinasari, MT


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 : Mohamad Fikri Ardiansyah
NIM : 30201900118
2. NAMA : Muhammad Luqman Hadi
NIM : 30201900145

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

Analisa Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) Dengan Material Substitusi Fly Ash dan Bottom Ash

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, 24/Juni/2023

Yang membuat pernyataan

Mohamad Fikri Ardiansyah

NIM : 30201900118

Muhammad Luqman Hadi

NIM : 30201900079

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

1. NAMA : Mohamad Fikri Ardiansyah
NIM : 30201900118
 2. NAMA : Muhammad Luqman Hadi
NIM : 30201900145
- JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*
Dengan Material Substitusi *Fly Ash* dan *Bottom Ash*

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 ijasah 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.

Semarang, 24/Juni/2023

Yang membuat pernyataan



Mohamad Fikri Ardiansyah
NIM : 302019000118

Muhammad Luqman Hadi
NIM : 30201900079

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمُ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Artinya:

“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)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا (٥) إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا (٦)

Artinya:

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan”. (QS. Al Insyirah : 5 – 6)

طَلَبُ الْعِلْمِ فَرِيضَةٌ عَلَى كُلِّ مُسْلِمٍ

Artinya:

“Bahwasanya menuntut ilmu itu hukumnya wajib bagi setiap umat muslim”.

(HR. Ibnu Majah)

مَنْ أَرَادَ الدُّنْيَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَ الْآخِرَةَ فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ، وَمَنْ أَرَادَهُمَا فَعَلَيْهِ بِالْعِلْمِ

Artinya:


“Barang siapa yang menghendaki kehidupan dunia maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa yang menghendaki kehidupan Akhirat, maka wajib baginya memiliki ilmu, dan barang siapa menghendaki keduanya maka wajib baginya memiliki ilmu”. (HR. Turmudzi)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua Orang Tua saya yang saya sayangi yaitu Bapak Moh Taofiq dan Ibu Herliana yang telah menjadi *support system* yang sangat besar untuk saya selama ini berupa segenap kasih sayang, semangat, motivasi, nasihat dan do'anya untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat serta memotivasi saya untuk mengejar impian dan cita-cita.
2. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu Mas Daryanto yang telah membantu saya dalam melakukan penelitian ini.
3. Muhammad Luqman Hadi yang selama ini telah menemani saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Sahabat saya yaitu Teman – teman *Yellow Squad* yang selalu mendoakan dan memberi dorongan kepada saya untuk menjadi yang terbaik, selalu memberi semangat saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dan selalu memotivasi untuk mengejar impian dan cita-cita.
5. Teman-teman Fakultas Teknik Unissula angkatan 2019 yang turut memberikan semangat kepada saya khususnya teman-teman kelas Sipil B 2019.



Mohamad Fikri Ardiansyah
30201900118

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis bisa menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Laporan Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua Orang Tua saya yang saya sayangi yaitu Bapak Khusen dan Ibu Solekhah yang telah menjadi *support system* yang sangat besar untuk saya selama ini berupa segenap kasih sayang, semangat, motivasi, nasihat dan do'anya untuk keberkahan saya dalam mencari ilmu yang bermanfaat serta memotivasi saya untuk mengejar impian dan cita-cita.
2. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu Mas Daryanto, Muhammad Sektiaji Kliswan, dan Ferdiano Yogi Pradana yang telah membantu saya dalam melakukan penelitian ini.
3. Mohamad Fikri Ardiansyah yang selama ini telah menemani saya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Sahabat saya yaitu Teman – teman *Yellow Squad* yang selalu mendoakan dan memberi dorongan kepada saya untuk menjadi yang terbaik, selalu memberi semangat saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini dan selalu memotivasi untuk mengejar impian dan cita-cita.
5. Teman-teman Fakultas Teknik Unissula angkatan 2019 yang turut memberikan semangat kepada saya khususnya teman-teman kelas Sipil B 2019.

UNISSULA
معتمداً على أصول الإسلام


Muhammad Luqman Hadi

30201900145

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Analisa *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) Dengan Material Substitusi *Fly Ash* dan *Bottom Ash*” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari pihak, tiada kata-kata yang lebih tepat untuk diucapkan dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinsari, MT, selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Bapak Juny Andry Sulisty, ST., MT, selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi pembaca.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.

Semarang, 24 Juni 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
ABSTRAK.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Sistematika Penulisan	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Struktur Perkerasan Jalan.....	5
2.2. Beton Aspal (AC).....	6
2.2.1. Jenis Beton Aspal.....	6
2.2.2. Campuran Beraspal Panas (<i>Hot Mix</i>).....	7
2.2.3. Campuran Beraspal Hangat (<i>Warm Mix</i>).....	7
2.2.4. Campuran Beraspal Dingin (<i>Cold Mix</i>).....	8
2.3. Bahan Perkerasan Lapisan Aspal Beton	9
2.3.1. Agregat.....	9
2.3.2. Aspal	12
2.4. Beton Aspal Lapisan Pengikat (AC Binder)	14
2.5. Gradasi Agregat Gabungan	14
2.6. Limbah	16
2.6.1. Limbah <i>Fly Ash</i>	16
2.6.2. Limbah <i>Bottom Ash</i>	19
2.7. Karakteristik Campuran Aspal	22
2.8. Pengujian Bahan Perkerasan	22
2.8.1. Bahan Aspal	22
2.8.2. Bahan Agregat	24
2.9. <i>Design Mix Formula</i> (DMF)	25
2.10. <i>Job Mix Formula</i> (JMF).....	26
2.11. Pengujian <i>Marshall</i>	29
2.12. Penelitian Terdahulu yang Sejenis	32

BAB III METODOLOGI.....	36
3.1. Penjelasan Umum.....	36
3.2. Persiapan Penelitian	36
3.3. Pengujian Agregat	36
3.3.1. Pengujian Saringan Agregat	37
3.3.2. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat.....	37
3.4. Pengujian Aspal	39
3.4.1. Pengujian Penetrasi Aspal.....	39
3.4.2. Pengujian Daktilitas Aspal.....	41
3.4.3. Pengujian Titik Lembek Aspal	42
3.5. Kadar Aspal Rencana.....	43
3.6. Rencana Campuran (<i>Mix Design</i>)	43
3.7. Pengujian Benda Uji Menggunakan Alat <i>Marshall</i>	44
3.8. Bagan Alir Penelitian	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	47
4.1. Hasil Penelitian Kadar Aspal Optimum.....	47
4.2. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>).....	49
4.3. Pemeriksaan Gradasi Agregat.....	52
4.4. Perhitungan Pada Kadar Aspal Rencana “ <i>Design Mix Formula</i> ” Lapisan AC-BC	56
4.5. Pembuatan Benda Uji.....	58
4.6. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM.....	60
4.7. Ekstraksi.....	61
4.8. Rekapitulasi Hasil Campuran Aspal	62
4.9. Gradasi Material Agregat.....	63
4.10. Rekapitulasi Sifat-sifat Campuran	64
4.11. Hasil Pemeriksaan <i>Marshall</i>	65
4.11.1. Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Komposisi Normal.....	66
4.11.2. Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi Pasir + <i>Bottom Ash</i> 50%.....	68
4.11.3. Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 50% + <i>Bottom Ash</i> 50%	70
4.11.4. Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Fly Ash</i> 50% + <i>Bottom Ash</i> 60%	72
4.11.5. Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi Abu Batu + <i>Fly Ash</i> 50%	74
4.11.6. Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Bottom Ash</i> 50% + <i>Fly Ash</i> 50 %	76
4.11.7. Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Bottom Ash</i> 50% + <i>Fly Ash</i> 60 %	78
4.12. Hasil Rekapitulasi	80
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	82
5.1. Kesimpulan	82
5.2. Saran.....	83

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Ketentuan Agregat Kasar	10
Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Halus	11
Tabel 2.3. Amplop.GradasiiAgregattGabungan untuk Campuran Aspal	12
Tabel 2.4. Kondisi untuk Pencampuran dan Pemadatan dalam Temperatur	14
Tabel 2.5. Untuk Campuran Aspal dan Gradasi Agregat Gabungan	15
Tabel 2.6. Contoh Batasan Materi Bergradasi Yang Bercelah	15
Tabel 2.7. KebutuhannBahan Filler	16
Tabel 2.8. Komposisi kimia abu terbang	18
Tabel 2.9. Laporan.Penelitian Analisis.Fly Ash.....	19
Tabel 2.10. Karakteristik fisik abu dasar.....	21
Tabel 2.11. Komposisi Kimia Bottom Ash.....	21
Tabel 2.12. Ketentuan mengenai ciri-ciri kombinasi laston	31
Tabel 2.13. Penelitian Terdahulu	31
Tabel 4.1. Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum.....	48
Tabel 4.2. Rancangan Campuran Aspal (JMD) normal.....	49
Tabel 4.3. Rancangan Campuran Aspal (JMD) substisusi Fly Ash 50%.....	49
Tabel 4.4. Rancangan Campuran Aspal (JMD) substisusi Fly Ash 50% dan Bottom Ash 50%	50
Tabel 4.5. Rancangan Campuran Aspal (JMD) substisusi Fly Ash 50% dan Bottom Ash 60%	50
Tabel 4.6. Rancangan Campuran Aspal (JMD) substisusi Fly Ash 60%.....	51
Tabel 4.7. Rancangan Campuran Aspal (JMD) substisusi Fly Ash 60% dan Bottom Ash 60%	51
Tabel 4.8. Rancangan Campuran Aspal (JMD) substisusi Fly Ash 60% dan Bottom Ash 50%	52
Tabel 4.9. Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar 1 inch.	52
Tabel 4.10. Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar ½ inch.	53
Tabel 4.11. Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus pasir (Sand).....	54
Tabel 4.12. Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr)...	54
Tabel 4.13. Perhitungan Kombinasi Agregat.....	55
Tabel 4.14. Titik control (batas bawah dan batas atas) gradasi persen lolos lapis aspal beton lapis pengikat AC-BC	57
Tabel 4.15. Rencana pembuatan benda uji.....	59
Tabel 4.16. Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM (AASHTO – T.209 – 90).....	60
Tabel 4.17. Hasil Gradasi Ekstraksi.....	61
Tabel 4.18. Baca Grafik Gradasi Ekstraksi.....	62
Tabel 4.19. Baca Grafik Gradasi Ekstraksi.....	62
Tabel 4.20. Gradasi Material Agregat.....	63
Tabel 4.21. Gradasi Material Agregat.....	64
Tabel 4.22. Hasil Marshall Komposisi Normal	66
Tabel 4.23. Hasil Marshall Kombinasi Pasir + Bottom Ash 50%	68
Tabel 4.24. Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 50.....	70
Tabel 4.25. Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 60%	72
Tabel 4.26. Hasil Marshall Kombinasi Abu Batu + Fly Ash 50.....	74

Tabel 4.27. Hasil Marshall Kombinasi Bottom Ash 50% + Fly Ash 50.....	76
Tabel 4.28. Hasil Marshall Kombinasi Bottom Ash 50% + Fly Ash 60.....	78
Tabel 4.29. Hasil Rekapitulasi	80



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Ilustrasi beban didistribusikan antara perkerasan kaku dan lentur.	5
Gambar 2.2. Limbah <i>Fly Ash</i>	18
Gambar 2.3. Limbah <i>Bottom Ash</i>	20
Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian	43



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Kombinasi Agregat.....	56
Grafik 4.2. Grafik Gradasi Ekstraksi.....	61
Grafik 4.3. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Komposisi Normal	66
Grafik 4.4. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi Pasir + <i>Bottom Ash</i> 50%	68
Grafik 4.5. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 50% + <i>Bottom Ash</i> 50%	70
Grafik 4.6. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Fly Ash</i> 50% + <i>Bottom Ash</i> 60%	72
Grafik 4.7. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi Abu Batu + <i>Fly Ash</i> 50%	74
Grafik 4.8. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Bottom Ash</i> 50% + <i>Fly Ash</i> 50%	76
Grafik 4.9. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>Bottom Ash</i> 50% + <i>Fly Ash</i> 60%	78
Grafik 4.10. Hasil Rekapitulasi.....	81



ANALISA ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC) DENGAN MATERIAL SUBSTITUSI FLY ASH DAN BOTTOM ASH

Abstrak

Pemanfaatan limbah pada saat ini mengalami kemajuan. *Fly ash* dan *bottom ash* adalah abu yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara sebagai sumber energi di unit pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Kedua jenis limbah padat tersebut merupakan sisa dari pembangkit listrik berbahan bakar batu bara dan jika tidak dikelola dengan baik dapat merusak lingkungan. Untuk mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan tersebut diperlukan pengelolaan yang memadai lebih lanjut. Pemanfaatan limbah saat ini mengalami kemajuan. Selain mengurangi jumlah limbah yang menumpuk dari waktu ke waktu, Tujuan dari penelitian ini adalah pemanfaatan limbah batu bara sebagai bahan substitusi campuran aspal. Pada penelitian yang dilakukan di laboratorium mencoba menggunakan kombinasi yaitu campuran *Fly Ash* dan *Bottom Ash*.

Pada penelitian yang dilakukan dibuat 21 benda uji dari 7 varian komposisi yaitu komposisi normal, komposisi substitusi *fly ash* 50%, komposisi substitusi *fly ash* 50% dan *bottom ash* 50%, komposisi substitusi *fly ash* 50% dan *bottom ash* 60%, komposisi substitusi *fly ash* 60%, komposisi substitusi *fly ash* 60% dan *bottom ash* 60%, komposisi substitusi *fly ash* 60% dan *bottom ash* 50%.

Dari semua hasil yang diperoleh dari penelitian yang sudah dilakukan, komposisi yang terbaik pada penelitian *Asphalt Concrete Binder Course* kali ini yaitu campuran normal dengan nilai rata – rata tertinggi 535,90%, sedangkan untuk aspal modifikasi disini campuran Abu Batu + *Fly Ash* mendapatkan nilai rata – rata yang cukup tinggi yaitu sebesar 489%.

Kata Kunci: *Limbah, Batu Bara, Asphalt Concrete Binder Course*

ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC) ANALYSIS WITH FLY ASH AND BOTTOM ASH SUBSTITUTION MATERIAL

Abstract

Waste utilization is currently progressing. Fly ash and bottom ash are ash produced from the process of burning coal as an energy source in units at Steam Power Plants (PLTU). Both types of solid waste are leftovers from coal-fired power plants and if not managed properly can damage the environment. To reduce the adverse impact on the environment, further adequate management is needed. Waste utilization is currently progressing. In addition to reducing the amount of waste that accumulates over time, the purpose of this study is the utilization of coal waste as a substitute material for asphalt mixtures. In research conducted in the laboratory tried to use a combination of a mixture of Fly Ash and Bottom Ash.

In the research conducted, 21 test objects were made from 7 composition variants, namely normal composition, fly ash substitution composition 50%, fly ash substitution composition 50% and bottom ash 50%, fly ash substitution composition 50% and bottom ash 60%, fly ash substitution composition 60%, fly ash substitution composition 60% and bottom ash 60%, fly ash substitution composition 60% and bottom ash 50%.

Of all the results obtained from the research that has been done, the best composition in the Asphalt Concrete Binder Course research this time is a normal mixture with the highest average value of 535.90%, while the modified asphalt mixture here is a fairly high average value of 489%.

Keywords: *Waste, Coal, Asphalt Concrete Binder Course*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang teknik sipil semakin maju seiring dengan perkembangan kebutuhan aktivitas manusia sesuai dengan status sosialnya, sarana dan prasarana harus memadai. Salah satu sarana dan prasarana yang diperlukan adalah aksesibilitas. Transportasi telah menjadi kebutuhan dasar setiap individu dan kelompok, yang bertujuan untuk memenuhi kebutuhan dan mendukung strata sosial. Salah satu infrastruktur pendukung jaringan transportasi yang memadai adalah sambungan jalan. Saat ini struktur perkerasan memiliki berbagai permasalahan, seperti retakan halus pada badan jalan dan lubang pada perkerasan jalan.

Jalan aspal di Indonesia memerlukan perawatan atau restorasi untuk mengatasi keausan, retak, lubang dan kerusakan umum lainnya. Pemeliharaan jalan aspal dengan menerapkan lapisan baru pada perkerasan lama merupakan cara yang umum dilakukan di Indonesia. Penambahan aspal yang konstan menyebabkan aspal menebal, yang menghambat drainase dan ketinggian trotoar. Kondisi demikian mendorong masyarakat untuk mendaur ulang aspal sehingga memberikan nilai tambah secara kualitatif dan ekonomis.

Pemanfaatan limbah saat ini mengalami kemajuan. Selain mengurangi jumlah limbah yang menumpuk dari waktu ke waktu, juga berpotensi mengurangi penggunaan sumber daya alam yang tidak terbarukan seperti pasir dan batu. Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah memanfaatkan limbah sebagai salah satu dari material, yaitu pemanfaatan limbah batu bara sebagai bahan campuran aspal.

Fly ash dan *bottom ash* adalah abu yang dihasilkan dari proses pembakaran batubara sebagai sumber energi di unit pembangkit uap pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). *Fly Ash* adalah istilah untuk abu yang dihasilkan dari gas pembakaran yang terbang bebas di udara dan ditangkap oleh mesin penangkap abu seperti presipitator elektrostatis atau kantong filter. Partikel batu bara kecil yang tidak terbakar dan mineral terkait batu bara membentuk *fly ash*, zat halus dan ringan. Karena memiliki kemampuan mengikat bahan yang baik, *fly ash* sering

dimanfaatkan dalam campuran beton dan bahan bangunan lainnya. Sedangkan *bottom ash* adalah abu yang terbentuk di dasar tungku pembakaran batu bara dan mengendap di sana. *Bottom ash* sering digunakan dalam aplikasi konstruksi, seperti pengganti pasir dalam campuran beton, timbunan jalan, dan penghalang suara. Ini lebih kasar dan lebih berat dari *fly ash*.

Kedua jenis limbah padat tersebut merupakan sisa dari pembangkit listrik berbahan bakar batu bara dan jika tidak dikelola dengan baik dapat merusak lingkungan. Untuk mengurangi dampak buruk terhadap lingkungan, diperlukan pengolahan dan pengelolaan yang memadai.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang sudah dibahas sebelumnya, maka rumusan masalah yang dapat diambil, yaitu :

1. Bagaimana campuran aspal Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) dengan material substitusi fly ash dan bottom ash terhadap stabilitas Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) ?
2. Bagaimana campuran aspal Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) dengan material substitusi fly ash dan bottom ash terhadap kelelahan plastis (flow) ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yang telah dibahas, maka tujuan dari penelitian ini antara lain :

1. Untuk mengetahui pengaruh kadar aspal optimum terhadap nilai stabilitas, flow, Marshall Quotient, VMA, VIM dan VFB didapat dari hasil Marshall Test.
2. Untuk mendapatkan Job Mix Design (JMD) yang sesuai terhadap aspal Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) dengan material substitusi fly ash dan bottom ash.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian tugas akhir ini hanya meliputi tentang komposisi benda uji Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) aspal penetrasi 60/70 sehingga pengujian – pengujiannya hanya meliputi :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Material berupa agregat dan aspal penetrasi 60/70.
3. Pembuatan benda uji terdiri dari masing – masing komposisi campuran aspal.
4. Coarse Agregat menggunakan Bottom ash $\frac{3}{4}$ (15%) dan juga $\frac{1}{2}$ (40%).
5. Pengujian menggunakan alat Marshall Test ini hanya dilakukan di laboratorium fakultas teknik universitas sultan agung semarang.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini menguraikan landasan teori tentang teori, temuan, dan penelitian terdahulu yang menjadi acuan untuk melaksanakan penelitian ini.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan rancangan penelitian dan prosedur penelitian yang dilaksanakan, yaitu membahas metode penelitian, pengumpulan data, dan juga pengujian-pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan hasil dari pengujian yang telah dilaksanakan lalu akan dibahas sesuai tujuan dari penelitian ini, adapun yang dibahas pada bab ini adalah hasil dari pengujian marshall dan akan didapat nilai kadar aspal optimal.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menguraikan kesimpulan dan keseluruhan pengujian yang telah dilakukan, apakah pengujian ini dapat diaplikasikan atau tidak, dan apakah pengujian ini dapat mengurangi limbah dan juga berdampak lebih baik atau tidak, setelah itu penulis akan memberikan saran apa saja yang dirasakan penulis perlu adanya perbaikan dan pengkajian kembali apabila akan adanya penelitian kembali pada topik yang sama.



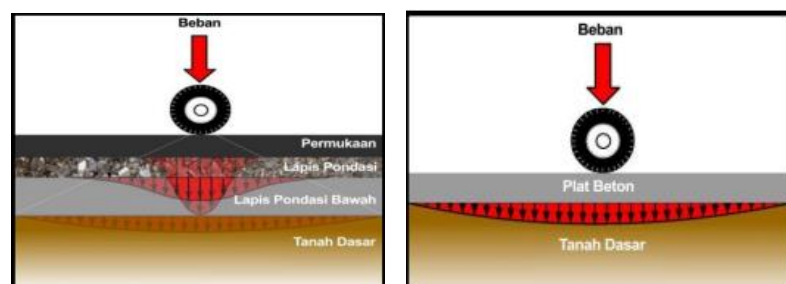
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Struktur Perkerasan Jalan

Seperti yang dikatakan oleh Hardiyatmo (2015), Perkerasan jalan terbuat dari agregat dan pengikat yang membawa beban lalu lintas. Sebagian besar waktu, batu pecah atau batu kali digunakan sebagai agregat, dan Bahan pengikat untuk perkerasan jalan antara lain tanah liat, semen, dan aspal.

Perkerasan jalan mempunyai tujuan utama adalah untuk mendistribusikan beban lalu lintas di atas permukaan tanah yang lebih luas daripada area kontak langsung antara roda kendaraan dan perkerasan. Ini mengurangi beban maksimum yang ditempatkan pada lapisan tanah dan menjaga bagian bawah agar tidak terlalu banyak berubah bentuk seiring waktu.

Sistem pelapisan pada pekerjaan aspal harus dirancang untuk masa pakai yang lama, sehingga tidak rusak sebelum waktunya akibat pengaruh dari lingkungan yaitu (air, oksigenasai, dan pengaruh suhu). Material penyusun permukaan pada jalan biasanya banyak dipengaruhi oleh kelembaban dan juga faktor lingkungan. Kelembaban yang berlebihan pada struktur permukaan biasanya berdampak negatif pada kinerja pada lapis permukaan aspal. Hal ini karena terdapat lebih banyak uap air atau air pada bahan tersebut, yang dapat membuatnya kurang kuat dan kaku (pondasi atas dan pondasi bawah) sehingga mencemari lapisan tanah dengan butiran halus yang dipompa dengan air (Hardiyatmo, 2015). Berikut ini adalah contoh gambar dari perkerasan keras dan lentur.



Gambar 2.1. Ilustrasi tentang bagaimana beban didistribusikan antara perkerasan kaku dan lentur.

Perkerasan jalan dapat dipecah menjadi tiga bagian berdasarkan bahan pengikatnya yaitu sebagai berikut:

1. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Semen (*Portland cement*) digunakan seperti bahan pengikat dalam konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*). Di atas lapisan tersebut ditempatkan pelat beton bertulang atau pelat beton tanpa tulangan, dengan atau tanpa lapisan bawah. Struktur jalan kaku terdiri dari lapisan-lapisan yang ditunjukkan pada Gambar 2.1.

2. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Yaitu perkerasan jalan yang bahan utamanya menggunakan aspal sebagai pengikat. Lapisan jalan mengangkut serta mendistribusikan beban langsung ke bawah tanah. Struktur lintasan fleksibel seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

3. Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Ini adalah perkerasan yang kaku dan fleksibel, atau perkerasan yang kaku dan fleksibel di atas satu sama lain.

2.2 Beton Aspal (AC)

Suatu jenis perkerasan yang dikenal sebagai beton aspal terdiri dari campuran agregat dan aspal, baik dengan atau tanpa tambahan. Ini memiliki nilai struktural yang baik dan digunakan sebagai lapisan atas dalam konstruksi perkerasan jalan. Di fasilitas pencampuran, bahan untuk beton aspal digabungkan, selanjutnya diaplikasikan saat kondisi masih panas ke permukaan jalan pada suhu tertentu, disebarkan dan juga dipadatkan. Dalam proses pengadukan, aspal harus dipanaskan hingga mencapai kekentalan yang tinggi untuk mencapai mutu pengadukan pada beton yang baik dan juga kemudahan pada saat pengolahan.

2.2.1 Jenis Beton Aspal

Temperatur campuran bahan Proses pembuatan beton aspal dan penggunaan beton aspal itu sendiri adalah dua dari banyak faktor yang dapat digunakan untuk membedakan antara berbagai jenis beton aspal, seperti yang dikemukakan oleh Sukirman (1999). Dapat dibedakan dengan campuran aspal atau aspal beton pada saat pencampuran dan pemadatan akibat temperatur pencampuran, yaitu:

1. Komponen beton aspal campuran panas (*Hot Mix*), juga dikenal sebagai Ketika suhu pencampuran mencapai kira-kira 140 °C, beton atau aspal campuran panas digabungkan.
2. Beton aspal campuran hangat (*warm mix*), beton aspal campuran hangat yaitu aspal beton atau disebut juga aspal campuran hangat, dibuat dengan mencampurkan bahan-bahan pembentuknya Sekitar 60 °C tercapai selama pencampuran.
3. Beton aspal campuran dingin (*cold mix*), Bahan campuran Juga dikenal sebagai aspal campuran dingin atau beton aspal dingin dicampur pada suhu pencampurannya mencapai kurang lebih sekitar 25 ° C.

2.2.2 Campuran Beraspal Panas (*Hot Mix*)

Campuran panas aspal adalah perkerasan dengan fleksibilitas yang terbuat dari bitumen dan agregat. Aspal bertindak sebagai pengikat di perkerasan ini dan bercampur dengan agregat pada suhu pencampuran tertentu. Agar agregat mengering dan aspal memiliki kekentalan yang cukup untuk memungkinkan pemrosesan yang mudah dan pencampuran yang baik, kedua bahan tersebut harus dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu tertentu. Temperatur pencampuran aspal hotmix ini dilakukan pada temperatur 140 °C sampai 155 °C.

2.2.3 Campuran Beraspal Hangat (*Warm Mix*)

Kombinasi aspal yang dicampur pada suhu rendah dikenal sebagai "aspal hangat", antara 212°F dan 275°F di pabrik. Ini membantu meminimalkan emisi gas dan menghemat sumber daya alam buang dari pembakaran bahan bakar. Aspal dapat dicampur, diangkut, dan dipadatkan pada suhu yang jauh lebih rendah berkat teknologi WMA. Proses menerima atau meninggalkan aspal dari campuran aspal panas pada suhu yang lebih rendah, yang mengurangi kekentalan aspal dan meningkatkan workabilitas campuran dengan panas yang minimal, dikenal dengan aspal campuran hangat. WMA memiliki sejumlah keunggulan dibandingkan HMA, termasuk suhu yang jauh lebih rendah selama proses pembuatan dan pengaspalan, konsumsi bahan bakar dan energi yang lebih rendah yang dapat menyebabkan energi dan bahan bakar yang lebih terjangkau, dan lebih sedikit degradasi pengikat selama pencampuran dan pengaspalan yang dapat memperpanjang masa pakai serta

masa manfaat produk, emisi pabrik pencampur yang lebih lama dari perkerasan jalan serta penurunan pembentukan debu akibat waktu pemanasan suhu yang lebih rendah dan lebih pendek (Chowdhury et al., 2008).

Klasifikasi aspal campuran panas ditentukan oleh penurunan temperatur campuran aspal, campuran panas didefinisikan berada di atas 135 °C dan di atas 100 °C adalah definisi aspal campuran panas. Menurut teknologi, aspal campuran panas dapat dikategorikan menjadi tiga kategori berdasarkan bahan tambahan kimia, proses berbasis air, dan faktor lainnya berupa proses yang menggunakan air (Giehart, 2009). Artinya campuran aspal kurang dari 100 derajat Celcius. Trial and error dapat digunakan untuk menentukan temperatur kompresi aspal panas sehingga sebanding dengan berat jenis campuran aspal panas pada temperatur tertentu (Zaumanis, 2010).

2.2.4 Campuran Beraspal Dingin (*Cold Mix*)

Campuran dingin aspal adalah campuran yang digunakan sebagai lapisan permukaan struktural dan kedap air dan terdiri dari aspal cair dengan agregat bergradasi dalam aspal dingin, aspal emulsi, atau aspal cair. Begitu kondisi menjadi dingin, selanjutnya itu dicampur. Berikut ini adalah beberapa manfaat aspal campuran dingin:

1. Karena merupakan campuran dingin, tidak tergantung pada suhu campuran.
2. Campuran dapat disimpan untuk sementara waktu tanpa pengerasan cepat, yang membuatnya bagus untuk menambahkan sesuatu material tambahan.
3. Bertoleransi menggunakan agregat agak basah dan lembab.
4. Dapat dilakukan pencampuran dan penghamparan dengan peralatan yang relatif sederhana.
5. Ramah lingkungan karena Tingkat emisi debu yang rendah tidak menyebabkan asap dan agregat tidak perlu dipanaskan.

Selain itu disebut sebagai "Dense Graded Emulsion Mixtures DGEM", beton aspal campuran dingin adalah Kemampuan untuk membuat campuran dingin dengan agregat halus dan pengisi sebagai pengganti agregat kasar disediakan oleh

pencampuran dingin emulsi aspal cair dengan agregat bergradasi tertutup (Brown, 1990).

2.3 Bahan Perkerasan Lapisan Aspal Beton

Salah satu kriteria konstruksi jalan yang kuat akan terpengaruhi akibat zat yang digunakan untuk membuat perkerasan jalan adalah jenis yang tepat. Ini adalah sesuatu yang perlu dipertimbangkan.

Aspal, bahan pengisi, dan bahan pengganti untuk agregat dan bahan pengisi membentuk bahan perkerasan aspal beton ini, yang dapat dibagi menjadi kategori agregat kasar dan agregat halus. Sesuai dengan pedoman atau persyaratan yang ditetapkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum Ditjen Bina Marga merupakan salah satu instansi pemerintah di Indonesia yang berwenang untuk melaksanakan kegiatan tersebut. Bahan penyusun perkerasan beton aspal terlebih dahulu harus melewati pengujian, persyaratan, dan spesifikasi.

Jika bahan yang tepat digunakan untuk membuat perkerasan jalan, salah satu faktor yang mempengaruhi kekuatan konstruksi jalan akan terpengaruh, sehingga hal ini harus diperhitungkan.

Aspal, agregat, agregat halus, dan agregat pengganti aspal beton adalah beberapa jenis agregat. Salah satu instansi pemerintah di Indonesia yang berwenang melaksanakan tugas ini adalah Kementerian Pekerjaan Umum Bina Marga. Memiliki persyaratan, spesifikasi, dan pengujian bahan perkerasan jalan aspal beton yang harus dilakukan terlebih dahulu.

2.3.1 Agregat

Agregat merupakan salah satu unsur yang sangat penting dalam pembangunan perkerasan jalan, menurut Sukirman (1999). Proyek konstruksi jalan dapat terdiri dari 90–95% agregat berat atau 75–85% agregat volume.

Jenis dan juga kualitas agregat yang membentuk efisiensi agregat ditentukan oleh beban lalu lintas yang dibawa melaluinya. Salah satu karakteristik yang sangat berpengaruh terhadap kualitas permukaan jalan secara keseluruhan adalah gradasi agregat.

Agregat dapat dipecah menjadi tiga bagian berdasarkan ukuran butirnya: Sesuai dengan penjelasan Divisi 6 Spesifikasi Jalan Raya Umum 2018 Persyaratan atau standar berikut telah ditetapkan untuk agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi.

1. Agregat kasar

Untuk campuran desain, Bahan yang tertinggal setelah melewati saringan nomor 4 (4,75 mm) yang disebut agregat kasar harus kuat, tahan lama, bebas dari tanah liat atau bahan lain yang tidak diinginkan, serta bersih. Material yang dihancurkan dengan mesin yang menyusun fraksi batuan kasar harus diproduksi dalam ukuran nominal yang sesuai untuk campuran yang direncanakan. Dengan satu atau lebih permukaan datar dihancurkan, agregat kasar harus memiliki sudut yang diperlukan dan memiliki persentase berat melebihi 4,75 mm. Tabel 2.1 menggambarkan agregat kasar yang dibutuhkan jalan raya.

Tabel 2.1. Ketentuan Agregat

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	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
	500 putaran		Maks. 30%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95 %
Angularitas agregat kasar		SNI 7619:2012	100/90 ^o
Gumpalan lempung dan butiran mudah pecah dalam agregat		SNI 4141:2015	Maks.5%
Rasio panjang rata-rata terhadap tebal rata-rata (<i>Average Greatest Dimension/Average Least Dimension, AGD/ALD</i>)		SNI 4137:2012	Maks. 2,3
Jumlah agregat berukuran tebal rata-rata (<i>Average Least Dimension, ALD</i>) dalam rentang $\pm 2,5$ mm		SNI 4137:2012	Min.60%

Sumber : (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 pada Seksi 6.2.2)

2. Agregat Halus

Material yang melewati filter No. 4 membentuk agregat halus bahan baku, yang harus disaring dengan pasir atau pecahan batu (4,75 mm). Agregat halus dan pasir penghancur harus disimpan terpisah dari bahan kasar. Maksimal 15% berat dari seluruh campuran dapat terdiri dari pasir alam dalam campuran AC. Agregat yang baik harus bebas dari tanah liat dan kotoran lain yang tidak diinginkan, serta bersih dan kokoh. Persyaratan yang tercantum pada Tabel 2.2. dibawah ini harus dipenuhi oleh agregat halus yang akan digunakan.

Pasir atau batu pecah merupakan bahan dasar yang perlu disaring untuk menjadi agregat halus, terbuat dari material bahan yang dapat melewati ayakan No. 4 (4.75mm). Jumlah pasir alam yang boleh ditambahkan ke dalam campuran AC dibatasi maksimal 15% berat dan harus disimpan terpisah dari agregat kasar, agregat halus, dan pasir yang telah dihancurkan oleh crusher. Agregat harus bersih, kokoh, dan bebas dari kotoran yang tidak diinginkan seperti tanah liat.

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Halus

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

Sumber : (Spesifikasi Bina Marga 2018 pada Seksi 6.3.2.2)

3. Bahan Pengisi (*filler*) untuk campuran aspal

Menurut AASHTO M303-89 (2006), debu kapur juga dikenal sebagai, semen atau mineral dari Asbuton yang sumbernya telah disetujui oleh Direktur Pekerjaan Umum Bina Marga, merupakan bahan pengisi yang sudah terdaftar.

Saat diuji dengan filter yang sesuai SNI ASTM C136:2012 Filler tambahan harus kering dan tidak menggumpal, harus memiliki setidaknya 75% berat material yang melewati saringan No.200 (75 mikron), atau

Setidaknya agregat harus ada dalam setiap campuran aspal. 1% dari seluruh massa.

4. Gradasi Agregat Gabungan

Batasan yang tertera pada Tabel 2.3. di bawah ini harus diikuti saat menghitung persentase agregat dan bahan pengisi dalam campuran aspal.

Tabel 2.3. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
¾"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
½"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
⅜"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	8 - 12	8 - 11	8 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber : (Spesifikasi Bina Marga 2018 pada Seksi 6.3.2.3)

2.3.2 Aspal

Aspal adalah zat alami yang komponen kimia utamanya adalah hidrokarbon yang diperoleh melalui prospeksi. Berwarna hitam, plastis hingga cair, dan tidak larut dalam asam encer, basa, atau api, hidrokarbon ini sebagian besar larut dalam eter, benzena CS₂, dan kloroform. Ada beberapa jenis aspal yang dapat digunakan untuk mengaspal jalan raya, antara lain:

- a. Aspal alam, seperti aspal danau (lake asphalt), aspal gunung (lake asphalt) juga dikenal sebagai aspal batu, Sedangkan Aspal Gunung Asbuton (aspal batu Buton), endapan aspal alam terbesar di Indonesia, terletak di Pulau

Buton. Asbuton adalah batuan dengan kandungan bitumen yang terbentuk dari minyak yang mengalir melalui retakan di kerak bumi (Saodang, 2005).

- b. Aspal minyak adalah aspal buatan (sering digunakan sebagai bahan perkerasan jalan). Aspal yang diperoleh dari eksplorasi minyak bumi berbentuk padat atau semi padat (Saodang, 2005).
- c. Aspal minyak, sering dikenal sebagai aspal buatan, adalah bahan umum untuk pengaspalan jalan. Aspal minyak menurut Saodang (2005) adalah aspal padat atau semi padat yang berasal dari eksplorasi minyak bumi.

Bahan dasar aspal merupakan sumber aspal yang digunakan pada perkerasan jalan. Menurut Saodang (2005), peran aspal pada perkerasan jalan adalah mengikat butir agregat dan mengisi celah antara butiran dan pori agregat.

Di Indonesia, semen aspal dengan rasio penetrasi 60/70 dan 80/100 biasanya digunakan. Ketika pada lalu lintas padat di daerah panas maka digunakan aspal semen dengan penetrasi rendah, ketika ada lalu lintas terbatas di iklim dingin maka aspal semen penetrasi tinggi digunakan.

2.3.3 Produksi Campuran Aspal dan Pembuatannya

Standar data teknis aspal temperatur tinggi terdapat pada bagian 6.3.5. (aspal panas). Suhu di mana kepadatan aspal campuran panas yang diperlukan dihasilkan menentukan suhu pencampuran dan pemadatan (tekanan) aspal campuran panas. Pada Tabel 2.4, disebutkan kadar aspal yang sesuai (Revisi 2 Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

Spesifikasi data teknis untuk aspal suhu tinggi (aspal panas) dapat dilihat pada bagian 6.3.5. Temperatur dimana kepadatan aspal campuran panas yang diinginkan terbentuk adalah yang menentukan temperatur pencampuran dan pemadatan (tekanan) aspal. Nilai aspal yang sesuai tercantum dalam Tabel 2.4. (Revisi 2 Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018)

Tabel 2.4. Ketentuan Viskositas & Temperatur Aspal untuk Pencampuran & Pemasokan

No.	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal (Pa.s)	Perkiraan ¹⁾ Temperatur Aspal (°C)
			Type I
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,17 ± 0,02	155 ±1
2	Pemasokan benda uji Marshall	0,28 ± 0,03	145 ±1
3	Pencampuran, rentang temperatur sasaran	0,2 - 0,5	145 – 155
4	Menuangkan campuran beraspal dari alat pencampur ke dalam truk	± 0,5	135 – 150
5	Pemasokan ke Alat Penghampar	0,5 - 1,0	130 – 150
6	Pemasokan Awal (roda baja)	1 - 2	125 – 145
7	Pemasokan Antara (roda karet)	2 - 20	100 – 125
8	Pemasokan Akhir (roda baja)	< 20	> 95

Sumber : (Spesifikasi Bina Marga 2018 pada Seksi 6.3.5.1)

2.4 Beton Aspal Lapisan Pengikat (*AC Binder*)

Beton Aspal Lapisan Pengikat adalah beton aspal yang digunakan sebagai alas dan pengikat. Ini juga memiliki lapisan beton kaya bitumen aspal yang sekitar 5 sampai 6 % lebih tebal dari lapisan dasar (misalnya, ATB = substrat yang dirawat). lapisan dasar kerikil yang berfungsi sebagai komponen penahan beban lapisan jalan dan hanya mengandung sekitar 4,5 persen aspal. Persyaratan umum adalah kapasitas beban (beam effect, high value stability), kemampuan untuk mentransfer beban dari roda kendaraan ke lapisan di bawahnya, dan permukaan tahan air yang berarti air tidak dapat dengan mudah masuk ke dalam kendaraan melalui retakan atau lubang tanpa perbaikan segera pada lapisan bawah (Soehartono, 2015).

2.5 Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi dapat melewati dan menyelesaikan pencampuran agregat. Bahan pengisi harus mengikuti persentase berat agregat dan batas yang ditunjukkan pada Tabel 2.5. dan kandungan agregat campuran aspal dapat dihitung sebagai persentase berat agregat. Jarak gambaran dan proporsi campuran yang digunakan untuk menghitung volume total agregat gabungan pengenal harus memenuhi batas yang diberikan pada Tabel 2.6. Jika gradasi yang dihasilkan tidak memenuhi pada kesepakatan yang di cantumkan pada Tabel 2.6. Hasil gradasi dapat diperoleh dengan

pengawasan jika sifat campuran memenuhi persyaratan pada Tabel 6.3.3.1b. (Revisi 2 Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018).

Tabel 2.5. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
¾"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
½"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
⅜"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	8 - 12	8 - 11	8 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber : (Spesifikasi Bina Marga 2018 pada Seksi 6.3.2.3)

Tabel 2.6. Contoh Batasan Materi Bergradasi Yang Bercelah.

Ukuran Ayakan	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3	Alternatif 4
% lolos No.8	40	50	60	70
% lolos No.30	paling sedikit 32	paling sedikit 40	paling sedikit 48	paling sedikit 56
% kesenjangan	8 atau kurang	10 atau kurang	12 atau kurang	14 atau kurang

Sumber: (Spesifikasi Bina Marga 2018 pada Seksi 6.3.2.4)

Tabel 2.7. Kebutuhan Bahan Filler

Sifat Umum	Kadar Air	Max 1%
Gradasi	Gumpalan Partikel	Tidak Ada
	Bukan Saringan (mm)	% Lolos Saringan
	No. 30 (0,59 mm)	100
	No. 50 (0,279 mm)	90 - 100
	No. 100 (0,149 mm)	90 - 100
	No. 200 (0,074 mm)	65 - 100

Sumber: (Saodang, 2005)

2.6 Limbah

2.6.1 Limbah Fly Ash

Fly ash merupakan hasil sampingan dari pembakaran batu bara di pembangkit listrik. Campuran AC-BC Laston mempergunakan fly ash sebagai pengisi.

Limbah batu bara terakhir yang dikeluarkan dari ruang bakar disebut *fly ash* atau abu terbang. *Fly ash* adalah bubuk yang memiliki warna abu-abu muda. Oksidator anorganik yang disebut fly ash mengandung 58,20% silikon dioksida (SiO_2). Selain itu, *fly ash* mengandung karat pasif (P_2O_5), karbon, titanium oksida (TiO_2), magnesium oksida (MgO), sulfur trioksida (SO_3), kalsium oksida (CaO), aluminium oksida (Al_2O_3), dan besi oksida (Fe_2O_3). Sampah B3 mengandung *fly ash* yang memiliki kandungan logam berat yang tinggi (Dewi dkk, 2016).

ASTM (*American Standard Testing Methods*) atau juga disebutkan pada No. C618 (Spesifikasi Standar untuk Abu Layang Batubara Pozzolanik Alami Mentah atau Dikalsinasi untuk Digunakan sebagai Campuran Mineral dalam Beton Semen Portland), abu layang batubara dapat dikategorikan ke dalam dua kategori Kelas F dan Kelas C.

1. Kelas F

Batubara padat (bituminous) digunakan untuk membuat fly ash, yang memiliki kurang dari 10% CaO.

Kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$.

Yang terkandung adalah $\text{CaO} < 10\%$ (nilai terbesar yang ditetapkan dalam ASTM adalah 20%, sedangkan nilai terbesar yang ditetapkan dalam Canadian Standards Association (CSA) adalah 8%).

Kandungan karbon (C) 5% hingga 10%.

Abu terbang dari Kelas F tidak memiliki karakteristik unik, tetapi abu vulkanik (pozzolana) memilikinya. *Fly ash* rendah kalsium adalah nama lain dari *fly ash* Kelas F.

2. Kelas C

Pembakaran lignit atau abu batubara halus menghasilkan produksi abu terbang dengan nilai CaO lebih besar dari 10%.

Kandungan $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 > 50\%$

Kandungan CaO melebihi 10% (ASTM 20%, CSA menetapkan tipe CI angka 8 - 20%, $\text{CH} > 20\%$)

Kandungan karbon (C) sekitar 2%

Fly ash Kelas C memiliki karakteristik *pozzolanic* dan *gelling*. Karena kandungan CaO -nya yang tinggi. *Fly ash* Kelas C sering disebut sebagai *fly ash* berkalsium tinggi. Setelah terkena uap air atau air selama kurang lebih 45 menit, *fly ash* masih basah dan padat.

Komposisi kimia pada abu layang dianalisis menggunakan XRF dan ditunjukkan di bawah ini pada tabel 2.8. mengacu pada standar ASTM C618.

Tabel 2.8. Komposisi kimia abu terbang (oleh XRF, % berat)

No.	Parameter	Test Result Fly Ash
1	SiO ₂	49,23
2	Al ₂ O ₃	32,79
3	Fe ₂ O ₃	6,25
4	CaO	1,97
5	MgO	1,14
6	K ₂ O	0,34
7	Na ₂ O	0,42
8	SO ₃	2,29

Sumber : Konsorsium Riset Geopolimer di Indonesia, 2018



Gambar 2.2. Limbah *Fly Ash*

Tabel 2.9. Laporan Penelitian Analisis *Fly Ash, Los On Ignition, Relative Density, Total Sulphur, Karbon, dan Kadar air*

No	Parameter	Unit	Results	Standard Methods
	Ash Analysis (db) :			
1	SiO ₂	%	56,85	ASTM D 3682-06
2	Al ₂ O ₃	%	26,92	ASTM D 3682-06
3	Fe ₂ O ₃	%	6,54	ASTM D 3682-06
4	CaO	%	5,49	ASTM D 3682-06
5	MgO	%	1,27	ASTM D 3682-06
6	SO ₃	%	0,25	ASTM 5016
7	Na ₂ O	%	0,58	ASTM D 3682-06
8	K ₂ O	%	0,69	ASTM D 3682-06
9	Loss On Ignition (Lol) (adb)	%	3,39	ASTM D 7348-13
10	Relative Density (adb)	%	2,45	ASTM 1038.21
11	Total Sulphur (adb)	%	0,37	ASTM D 4239-14e2
12	Carbon (adb)	%	3,88	ASTM D 5373-16(A)
13	Total Moisture (adb)	%	0,82	ASTM D 3302M-17

Sumber : PLTU

2.6.2 Limbah *Bottom Ash*

Pada pengujian ini campuran AC-BC Laston diisi dengan limbah bottom ash (agregat halus).

Bottom ash adalah abu yang tertinggal setelah pembakaran batu bara di boiler Pembangkit Listrik Tenaga Uap PLTU). Abu dasar bersifat *pozzolan* dan berbentuk partikel kecil yang berdasarkan jenis tungku, *bottom ash* dibagi menjadi dua jenis yaitu *dry bottom ash* dan *wet bottom ash/boiler slag*. Bentuk fisik *bottom ash* dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Limbah *Bottom Ash*.

Bottom ash memiliki karakteristik fisik dan kimia yang sangat beragam yang dipengaruhi oleh jenis batubara yang digunakan, proses pembakaran yang digunakan, serta faktor lainnya.

1. Karakteristik Fisik

Karakteristik fisik abu dasar mencantumkan bentuk, warna, kenampakan, ukuran, berat jenis, berat kering dan daya serap abu dasar berdasarkan abu basah yang ditunjukkan pada Tabel 2.10. Berikut.

Tabel 2.10. Karakteristik fisik abu dasar (*Coal Bottom Ash/Boiler Slag - Material Description*, 2000).

Sifat Fisik <i>Bottom Ash</i>	<i>Wet</i>	<i>Dry</i>
Bentuk	Angular / Bersiku	Berbutir kecil / granular
Warna	Hitam	Abu – abu gelap
Tampilan	Keras, Mengkilap	Seperti pasir halus, sangat berpori
Ukuran (%lolos ayakan)	No. 4 (90 – 100%)	1,5-3/4 inc (100%)
	No. 10 (40 – 60%)	No.4 (50-90%)
	No. 40 (10%)	No.10 (10-60%)
	No. 200 (5%)	No.40 (0-10%)
Specif Gravity	2,3 – 2,9	2,1-2,7
Dry Unit Weight	960 – 1440 kg/m ³	720-1600 kg/m ³
Penyerapan	0,3 – 1,1 %	0,8-2,0%

2. Karakteristik Kimia

Fe, Ca, Si, Al, serta S, Mg, Na, dan unsur kimia lainnya membentuk sebagian besar susunan kimiawi abu dasar. Menurut penelitian Moulton, bangunan baja dapat menjadi korosif jika bersentuhan dengan kombinasi termasuk abu dasar karena salinitas dan pH yang rendah. PH rendah juga merupakan tanda konsentrasi *pyrite* (iron sulfida) yang tinggi, yang ditunjukkan dengan konsentrasi sulfat terlarut yang tinggi. Abu dasar yang diperoleh dari PLTU memiliki komposisi kimia sebagai berikut.

Tabel 2.11. Komposisi Kimia *Bottom Ash (Report of Analysis Sucofindo* pada PLTU).

No	Parameter	Unit	Results	Standard Methods
	Ash Analysis (db) :			
1	SiO ₂	%	57,40	ASTM D 3682-06
2	Al ₂ O ₃	%	27,51	ASTM D 3682-06
3	Fe ₂ O ₃	%	6,96	ASTM D 3682-06
4	CaO	%	3,73	ASTM D 3682-06
5	MgO	%	1,34	ASTM D 3682-06
6	SO ₃	%	0,22	ASTM 5016
7	N _{a2} O	%	0,49	ASTM D 3682-06
8	K ₂ O	%	0,45	ASTM D 3682-06
9	Loss On Ignition (Lol) (adb)	%	1,59	ASTM D 7348-13
10	Relative Density (adb)	%	2,63	ASTM 1038.21
11	Total Sulphur (adb)	%	0,02	ASTM D 4239-14e2
12	Carbon (adb)	%	2,26	ASTM D 5373-16(A)
13	Total Moisture (adb)	%	0,42	ASTM D 3302M-17

Sumber : PLTU

2.7 Karakteristik Campuran Aspal

Karakteristik campuran aspal berikut ini meliputi:

a) Stabilitas

Stabilitas adalah daya rekat yang diberikan oleh aspal, tahanan gaya geser atau interlocking dari komponen agregat (Saodang, 2005).

b) Daya Tahan (*Durability*)

Ketahanan campuran perkerasan terhadap beban lalu lintas dan efek cuaca diukur dengan kekuatan atau daya tahannya.

c) *Flexibility*

Kemampuan suatu material untuk mengikuti deformasi permukaan dan deformasi ke bawah tanpa retak akibat perubahan volume disebut fleksibilitas (Saodang, 2005).

d) Workabilitas

Hasil yang cocok campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga yang diantisipasi tercapai hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Penting untuk mengukur viskositas campuran, suhu pencampuran, dan teknik pemadatan untuk memenuhi persyaratan ini.

e) Ekonomis (*economic*)

Campuran dengan menggunakan bahan dan kombinasi bahan yang hemat biaya dan memenuhi standar yang ditetapkan.

2.8 Pengujian Bahan Perkerasan

Pengujian material untuk perkerasan lentur adalah sebagai berikut:

2.8.1 Bahan Aspal

Karakteristik aspal untuk perkerasan jalan diselidiki dalam sejumlah uji laboratorium. Berikut ini adalah beberapa tes untuk bahan aspal:

a. Tes Penetrasi

Tes penetrasi digunakan untuk menentukan seberapa keras atau lunak permukaan aspal dalam kondisi tertentu. Sampel aspal ditempatkan langsung di wadah tepat di bawah jarum penembus, dan hasil pengujian berada dalam sepersepuluh inci dari itu.

b. Tes Titik Lembek

Suhu di mana bola baja dengan berat tertentu menekan lapisan aspal yang tersuspensi dalam cincin dengan ukuran tertentu dikenal sebagai titik pelunakan, menyebabkan aspal memanas hingga mencapai titik di mana ia mencapai pelat bawah di bawah ring pada ketinggian tertentu. Tes ini dapat dilakukan untuk mengetahui temperatur dimana aspal mulai melunak dengan menggunakan instrumen *Ring and Ball*. Temperatur ini menjadi tolok ukur untuk mengetahui seberapa baik titik lembek aspal dapat bertahan pada temperatur permukaan saat ini.

c. Tes Titik Nyala dan Titik Bakar

Pengujian ini bertujuan untuk menetapkan suhu di mana aspal mulai terbakar dan menyala guna menetapkan batas aman pemanasan aspal. Titik nyala adalah batas suhu pemanasan di mana ketika api mendekat, titik di permukaan aspal menunjukkan nyala api singkat selama kurang dari lima detik. Sedangkan temperatur di mana nyala api dapat diamati setidaknya selama lima detik di satu lokasi pada permukaan aspal dikenal sebagai titik bakar (Saodang, 2005).

d. Tes Daktilitas

Pengujian durabilitas aspal bertujuan untuk mengetahui kelenturan atau plastisitas sebuah aspal yang dinyatakan dengan panjang maksimum aspal yang dapat ditekan sebelum runtuh. Tes aspal dengan kecepatan dan suhu tertentu digunakan untuk melakukan pengujian ini. Sifat kabut sangat membantu dalam menentukan seberapa tahan aspal terhadap retak. Aspal harus memiliki daya tahan yang cukup tinggi agar aspal tidak retak saat digunakan sebagai perkerasan jalan.

Jarak terbesar yang dapat ditarik antara cetakan yang mengandung aspal harus minimal 100 cm agar lulus tes ini. Elastisitas aspal meliputi:

- <100 cm = getas
- 100 – 200 cm = plastis
- >200 cm = Sangat plastik

e. Tes Berat Jenis Aspal

Berat aspal dibagi dengan berat air suling pada suhu tertentu dikenal sebagai berat jenis aspal. Nilai penetrasi dan suhu aspal itu sendiri memiliki pengaruh yang signifikan terhadap berat aspal. Berat jenis aspal dihitung dengan menggunakan rumus di bawah ini:

$$BJ = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \dots\dots\dots (2.1.)$$

Keterangan:

A = berat piknometer dengan penutup (gram)

B = berat piknometer air (gram)

C = berat piknometer berisi bitumen (gram)

D = berat piknometer berisi bitumen dan air (gram)

2.8.2 Bahan Agregat

Berikut ini adalah beberapa contoh percobaan laboratorium yang menggunakan bahan agregat untuk pengaspalan jalan:

a. Analisa Saringan

Analisis saringan adalah penentuan persentase berat butiran agregat yang melewati satu set saringan, setelah itu persentase yang diperoleh dibuat grafik pada diagram distribusi ukuran butir. Tujuan pengujian ini adalah untuk

menetapkan distribusi ukuran partikel (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Distribusi jumlah atau persentase kerikil diinginkan untuk secara bertahap mengembangkan agregat berkualitas tinggi untuk bahan paving.

b. Pengujian Abrasi Los Angeles

Tujuan dari pengujian ini menggunakan instrumen Los Angeles untuk mengukur ketahanan aus agregat kasar serta perbedaan persentase berat antara berat awal bahan dan berat akhirnya adalah gesekan.

Menurut SK SNI 2417 - 1991, keausan agregat termasuk dalam salah satu kategori berikut:

- Agregat yang diuji tidak layak digunakan sebagai bahan perkerasan jalan jika nilai keausannya lebih besar dari 40%.
- Agregat yang diuji layak digunakan pada material untuk pengaspalan jalan jika nilai keausannya kurang dari 40%.

c. Uji Kekuatan Dampak Agregat (*Impact Value*)

Pengujian ini mensimulasikan penggunaan mesin tumbuk pada agregat selama waktu yang telah ditentukan untuk menilai nilai kekuatan agregat terhadap benturan. Agregat yang telah dihancurkan ditimbang, kemudian diukur dengan berat awal.

Nilai dampak agregat inilah yang dibandingkan di sini (*Aggregate Impact Value (AIV)*).

Untuk mencari nilai *Aggregate Impact Value (AIV)* rumusnya adalah sebagai berikut:

$$AIV = B/A \times 100\% \dots\dots\dots (2.2.)$$

Keterangan:

- AIV : Kuat tumbukan agregat (%)
- A : Berat awal sampel (gr)
- B : Berat sampel lolos saringan 2,46 mm (gr)

2.9 Design Mix Formula (DMF)

Jumlah kadar aspal yang akan digunakan dalam DMF akan ditentukan menggunakan metode luas permukaan untuk menentukan komposisi yang dimaksudkan untuk aspal (*Surface Area Method*).

Pendekatan dengan metode ini didasarkan pada gagasan bahwa semua aspal akan sepenuhnya menutupi semua permukaan butiran agregat. Luas permukaan agregat ditentukan dengan metode perhitungan Bina Marga.

Di Indonesia, perhitungan yang mengikuti Revisi 1 Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 adalah yang paling sering dipakai. Berikut rumusnya:

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + C \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

- %CA = Persentase agregat tertahan #8
- %FA = Persentase agregat lolos #8 atau tertahan #200
- %Filler = Persentase agregat lolos #200
- C = Konstanta (AC = 0,5 – 1,0 dan HRS = 2,0 – 3,0)

2.10 Job Mix Formula (JMF)

Job Mix Formula dibagi menjadi dua bagian yaitu gradasi agregat yang diperoleh dengan mencampurkan dua atau lebih fraksi batuan, dan jumlah aspal yang akan ditambahkan ke dalam campuran (Saodang, 2005).

1. Metode Numerik

Metode Eliminasi Gauss-Jordan digunakan untuk menyelesaikan masalah dengan menggunakan pendekatan numerik. Matriks koefisien diubah menjadi matriks identitas menggunakan 5 variabel, yang dianggap sebagai sistem 5 persamaan dengan 5 bilangan bulat yang tidak diketahui, dalam metode numerik Gauss-Jordan. Kelima variabel tersebut adalah lima material yang tidak akan dia gunakan, yaitu pasir, filler, abu, dan batu pecah 1" dan 1/2". 5 persamaan, masing-masing berisi 5 angka yang tidak diketahui sebagai berikut:

- a. $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + a_{14}x_4 + a_{15}x_5 + a_{16}x_6 = b_1$
- b. $a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + a_{24}x_4 + a_{25}x_5 + a_{26}x_6 = b_2$
- c. $a_{31}x_1 + a_{32}x_2 + a_{33}x_3 + a_{34}x_4 + a_{35}x_5 + a_{36}x_6 = b_3$
- d. $a_{41}x_1 + a_{42}x_2 + a_{43}x_3 + a_{44}x_4 + a_{45}x_5 + a_{46}x_6 = b_4$
- e. $a_{51}x_1 + a_{52}x_2 + a_{53}x_3 + a_{54}x_4 + a_{55}x_5 + a_{56}x_6 = b_5$

Ketika dituliskan sebagai matriks, hasilnya sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.4.)$$

Langkah-langkah untuk penyelesaiannya adalah: **a11**

- 1) Baris pertama persamaan 2.5. dibagi dengan faktor pivot, yaitu:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ a_{51} & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.5.)$$

Semua elemen awal baris berikutnya diatur ke nol dengan:

- a) Perkalian persamaan pertama dikurangi dengan persamaan kedua dengan persamaan kedua dari elemen pertama, a_{21}
- b) Perkalian persamaan pertama dikurangi dengan persamaan ketiga dengan persamaan ketiga dari elemen pertama, a_{31}
- c) Perkalian persamaan pertama dikurangi dengan persamaan keempat dengan persamaan keempat dari elemen pertama, a_{41}
- d) Perkalian persamaan pertama dikurangi dengan persamaan kelima dengan persamaan kelima dari elemen pertama, a_{51}

Sistem persamaan yang dihasilkan oleh prosedur ini adalah sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ 0 & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.6.)$$

- 2) Tentukan a'_{22} sebagai elemen pivot dan baris kedua sebagai baris pivot. Ulangi proses yang diuraikan di atas untuk baris kedua, baris kedua terbagi menggunakan elemen pivot a'_{22} .

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ 0 & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ 0 & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ 0 & a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ 0 & a_{52} & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.7.)$$

Semua elemen kedua dari seluruh baris lainnya dihilangkan dengan cara berikut:

- a) Perkalian persamaan kedua dikurangi dengan persamaan pertama dengan persamaan pertama dari elemen kedua, a_{12}
- b) Perkalian persamaan kedua dikurangi dengan persamaan ketiga dengan persamaan ketiga dari elemen kedua, a_{32}
- c) Perkalian persamaan kedua dikurangi dengan persamaan keempat dengan persamaan keempat dari elemen kedua, a_{42}
- d) Perkalian persamaan kedua dikurangi dengan persamaan kelima dengan persamaan kelima dari elemen kedua, a_{52}

Operasi ini menghasilkan sistem persamaan berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & a_{12} & 0 & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ 0 & a_{22} & 1 & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ 0 & a_{32} & 0 & a_{33} & a_{34} & a_{35} \\ 0 & a_{42} & 0 & a_{43} & a_{44} & a_{45} \\ 0 & a_{52} & 0 & a_{53} & a_{54} & a_{55} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.8.)$$

Hasil akhir berupa matriks identitas setelah melalui berbagai perhitungan, sebagai berikut:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ b_4 \\ b_5 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (2.9.)$$

Nilai x_1, x_2, x_3, x_4 dan x_5 , dapat diperoleh hasil menggunakan persamaan 2.8.

2.11 Pengujian *Marshall*

Tes Marshall digunakan untuk menilai stabilitas dan ketahanan campuran agregat dan aspal terhadap lelehan dan aliran plastis. Hasil didefinisikan sebagai perubahan regangan atau tegangan paduan dari bahan tanpa tekanan ke bahan maksimum dan dinyatakan dalam milimeter atau 0.01". Parameter Pengujian *Marshall* sebagai berikut:

Tes Marshall digunakan untuk menilai stabilitas dan ketahanan campuran agregat dan aspal terhadap lelehan dan aliran plastik. Hasil yang diukur dalam milimeter atau 0,01, didefinisikan sebagai variasi regangan atau tegangan dalam paduan dari bahan tanpa tekanan ke bahan maksimum Berikut adalah spesifikasi Uji Marshall:

Beton aspal dibuat dengan menggabungkan agregat aspal, dan aditif secara seragam atau homogen pada suhu tertentu.

Parameter uji Marshall menunjukkan karakteristik campuran beton aspal sebagai berikut:

1) Kepadatan (*Marshall Density*)

Upaya pemadatan yang lebih tinggi akan menghasilkan rongga udara (VIM) yang lebih rendah dan rongga antara agregat mineral pada kadar aspal yang sama (VMA). Pekerjaan pemadatan yang direncanakan di lab perlu dipilih dengan memperhatikan pola lalu lintas di dunia nyata. Sebaliknya, jika pemadat laboratorium dibangun untuk lalu lintas padat tetapi kondisi lapangan sebenarnya biasanya lalu lintas rendah, rongga udara akhir akan lebih tinggi, memungkinkan air dan udara masuk dengan mudah

dan menyebabkan campuran mengeras dengan cepat sehingga menjadi rapuh dan retak dengan mudah. Selain itu daya rekat aspal berkurang, yang dapat mengakibatkan pemisahan butir dan geser.

2) Stabilitas *Marshall*

Ketika dinilai menggunakan teknik Marshall, stabilitas Marshall adalah beban tertinggi yang diperlukan untuk menyebabkan kegagalanntekan.

3) Kelelahan (*Flow*)

Selama uji stabilitas Marshall, sampel padat campuran perkerasan mengalami deformasi keseluruhan, diukur dalam milimeter (mm), sampai titik di mana beban berada pada titik tertinggi. Ini dikenal sebagai lelehan (*flow*).

4) Hasil Bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*)

biaya atau ukuran kapasitas campuran aspal untuk memadat. Salah satu atribut modulus kuat tekan atau kekakuan adalah Marshall Quotient.

5) Volume Rongga Terisi Aspal (VFA atau VFB)

VFA yang dinyatakan dalam persen adalah bagian dari rongga antara bahan agregat (VMA) yang diisi dengan aspal yang dapat digunakan.

Persyaratan VFA berusaha untuk mempertahankan daya tahan campuran aspal dengan memberikan batasan yang cukup.

Perencanaan campuran dapat dibantu oleh kriteria VFB dengan memberikan VFA yang dapat diterima. Proporsi rongga antara partikel agregat (VMA) yang diisi dengan aspal dikenal sebagai nilai "rongga udara yang diisi dengan aspal" (VFA). Menurut persamaan berikut, VFA, tidak termasuk aspal yang diresapi agregat, ditentukan:

$$VFA = \frac{100x(VMA-VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (2.10.)$$

6) Volume Rongga Antar Agregat (VMA)

Rongga antara agregat mineral (VMA), juga dikenal sebagai rongga udara (VIM) dan kadar aspal efektif, adalah volume ruang yang ada antara partikel agregat dari campuran aspal yang dipadatkan dan dinyatakan sebagai persentase dari keseluruhan volume benda uji. VMA dihitung

menggunakan berat jenis agregat curah (Bulk), dan dinyatakan sebagai bagian dari volume curah campuran padat. Ukuran maksimum agregat yang digunakan menentukan batas minimum VMAA. Ketika kandungan aspal bertambah, hubungan antara itu dan VMAA biasanya membentuk cekungan dengan nilai minimum.

Persamaan berikut digunakan untuk menentukan VMA:

$$100 - \frac{(100 - \text{kadar aspal terhadap campuran}) \times \text{Bulk Specific Gravity Campuran}}{\text{Bulk Specific Gravity Agregat}} \dots\dots (2.11.)$$

7) Volume Rongga Udara (VIM)

Volume total udara yang berfluktuasi di antara partikel agregat yang telah dilapisi aspal disebut VIM, dan dinyatakan sebagai persentase volume campuran.

Tujuan dari desain VIM adalah untuk menjaga jumlah penyesuaian kadar aspal yang direncanakan dalam kisaran yang ditentukan atau, dalam keadaan luar biasa, hingga batas bawah kisaran yang diperlukan saat digunakan dalam kondisi VIM. cobalah untuk mendapatkan campuran sedekat mungkin dengan temuan tes laboratorium. Volume rongga udara (VIM) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$100 - \frac{(100 \times \text{berat isi benda uji})}{\text{berat jenis maksimum campuran teoritis}} \dots\dots\dots (2.12.)$$

Tabel 2.12. Ketentuan mengenai ciri-ciri kombinasi laston (Divisi 6 Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

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

Sumber: (Spesifikasi Bina Marga 2018 pada Seksi 6.3.3.1c)



2.12 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

Tabel 2.13. Penelitian Terdahulu

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Muhammad Afif Faras	Pengaruh Pemanfaatan Material Sisa Pembakaran Batubara (<i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i>) Terhadap Laston AC-WC Menggunakan Metode <i>Marshall</i>	Pengolahan limbah batubara berupa <i>bottom ash</i> dan <i>fly ash</i> yang digunakan sebagai pengganti agregat halus dan <i>filler</i> sebesar 100% dari presentase DMF.	Meningkatkan mutu aspal beton (AC-WC) menggunakan limbah batubara.	Campuran <i>bottom ash</i> sebagai agregat halus meningkatkan kebutuhan aspal pada campuran lebih besar tetapi pada campuran mendapatkan nilai stabilitas dan nilai MQ yang menurun, sedangkan pada campuran <i>fly ash</i> menggantikan sebagai <i>filler</i> pada perkerasan meningkatkan nilai VIM, dan MQ.

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Nindya Adha Kurnia Dinin grum	Kinerja <i>Warm Mix Asphalt Flexible Pavement</i> Menggunakan <i>Fly Ash</i> dan <i>Bottom Ash</i> Pada Laston AC-BC	Penggunaan metode <i>warm mix asphalt</i> merupakan inovasi yang dapat mengurangi pemanasan global dan <i>exhaust gas emissions</i> . Penelitian ini menggunakan bahan eksperimen berupa campuran standar dengan penambahan zeolit, dan wax.	Zeolit digunakan untuk menghangatkan campuran aspal, dan pemanfaatan limbah sisa pembakaran <i>fly ash</i> dan <i>bottom ash</i> .	Kombinasi aspal AC-BC-wax yang dipanaskan dengan <i>fly ash</i> sebagai pengganti filler dan <i>bottom ash</i> sebagai pengganti pasir menghasilkan nilai VMA tertinggi sebesar 17,09 %, menunjukkan bahwa campuran yang diisi aspal banyak mengandung celah yang membuatnya tahan air dan tahan air. tahan terhadap bahan lain. udara dan air.

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Umrah Umar Mucitra	Analisa karakteristik Campuran Aspal Beton AC-WC Dengan Menggunakan Variasi Kadar <i>Filler Bottom Ash</i>	Pemanfaatan limbah batubara berupa <i>bottom ash</i> yang akan dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (<i>filler</i>) berupa <i>bottom ash</i> dengan variasi bahan pengisi sebesar 5%, 6%, 7%, 8%, dan 9%.	Campuran aspal beton (<i>laston</i>) yang digunakan sebagai penambah daya tahan lapis perkerasan jalan pada kerusakan lalu lintas.	Bahan pengisi (<i>filler</i>) <i>bottom ash</i> mempengaruhi karakteristik campuran aspal beton. Nilai stabilitas diperoleh seiring dengan banyaknya <i>filler bottom ash</i> yang digunakan dapat mengalami kenaikan pada batas optimum dan kemudian mengalami penurunan.

BAB III

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Penjelasan Umum

Pendekatan eksperimen digunakan dalam metodologi analisis penelitian ini. Dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dengan tujuan untuk memperoleh data yang dapat diolah dengan tujuan pengembangan limbah. Kegiatan penelitian ini menggunakan bahan non fungsi atau limbah dengan bahan dari batubara berupa *bottom ash* dan *fly ash* yang mana akan menjadi substitusi pengganti dan campuran dari agregat halus dan filler yang mana masing-masing campuran pada penelitian ini dilakukan dengan berdasarkan sistem pencampuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) dengan prosedur persyaratan pemeriksaan Bina Marga.

Skema penelitian dan pengujian merupakan rangkaian tahapan pengujian yang direncanakan secara metodis oleh peneliti agar segala sesuatu mulai dari awal proses penelitian hingga tahap pengumpulan data dan kesimpulan proposal dapat dilakukan dengan tepat sesuai dengan standar yang berlaku dan mudah dipahami.

Penelitian ini berupa pengujian terkait pada SNI. Jika ada prosedur yang tidak tercantum dalam SNI, maka digunakan prosedur lain yang umum seperti AASHTO, ASTM, dan prosedur lainnya.

3.2 Persiapan Penelitian

Pada penelitian ini pekerjaan pendahuluan meliputi persiapan bahan yang akan dilakukan berupa agregat, aspal dan bahan pengisi (filler). Kemudian pemeriksaan mutu bahan dan penyesuaian dengan spesifikasi yang ada. Lalu perencanaan campuran hingga terhadap pelaksanaan pengujian dengan alat uji Marshall.

3.3 Pengujian Agregat

Sebelum menggunakan agregat sebagai komponen dalam campuran beton aspal, terlebih dahulu harus dilakukan pengujian untuk mengetahui sifat fisik dan mekaniknya.

3.3.1 Pengujian Saringan Agregat

Pengujian ini mencari gradasi agregat yang dapat dicampur dengan aspal untuk menghasilkan gradasi campuran yang memenuhi kriteria. Berikut peralatan yang digunakan :

1. Timbangan dan neraca yang akurat hingga 0,2% dari berat benda uji.
2. Satu set saringan mulai yang terbesar sampai terkecil.
3. Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu.
4. Mesin pengguncang saringan
5. Alat pemisah
6. Baki
7. Dan peralatan uji yang lainnya

Pengujian benda uji yang harus disiapkan adalah sebagai berikut:

1. Agregat Kasar
2. Agregat Halus
3. Dan apa bila agregat berupa kombinasi maka agregat tersebut harus dipisahkan menjadi dua bagian dengan saringan no. 4

Berikut adalah cara pengujian dilakukan:

1. Sampai berat tetap stabil, spesimen dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C.
2. Saring objek uji melalui pengatur filter dengan ukuran filter terbesar yang ditetapkan di bagian atas. Mesin pengocok digunakan untuk mengocok filter selama 15 menit.
3. Timbang masing-masing berat jenis benda uji pada setiap saringan.

3.3.2 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Pada Agregat

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenisnya agregat kasar dan agregat halus pada kondisi SSD (kering permukaan jenuh), apparent (berat jenis semu), kering oven dan menentukan besarnya penyerapan air agregat tersebut. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Keranjang Kawat
2. Timbangan kapasitas 5 kg

3. Wadah air
4. oven yang dapat dikontrol suhunya
5. Alat pemisah
6. Filter nomor 4 (4,75mm)
7. Piknometer dengan kapasitas 500 ml
8. Kerucut terpancung
9. Batang penumbuk
10. Pengukur suhu
11. Bejana tempat air
12. Desikator

Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan agregat.
2. Dalam oven dengan suhu 110 °C, keringkan benda uji.
3. Benda uji harus didinginkan selama satu hingga tiga jam sebelum ditimbang hingga mendekati 0,5 gram (Bk)
4. Rendam spesimen selama 4 jam dalam air.
5. Setelah mengeluarkan benda uji dari air, keringkan butiran besar satu per satu dengan kain sampai tidak ada lagi lapisan air yang terserap di permukaannya.
6. Timbang benda uji permukaan jenuh (bj)
7. Tempatkan benda uji di baki, goyangkan batu untuk menghilangkan udara yang terperangkap, hitung beratnya dalam air (Ba), dan kemudian lakukan pembacaan suhu air untuk menyesuaikan perhitungan dengan suhu standar (25 C).

Butiran berat dan ringan terlihat dalam berbagai jenis campuran. Bahkan dengan kehati-hatian, bahan tersebut menunjukkan gravitasi spesifik yang bervariasi, yang memerlukan pengulangan pengujian untuk memperoleh nilai rata-rata yang memadai.

Perhitungannya

$$\text{Berat Jenis Kering Oven} = \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

$$\text{Berat Jenis SSD} = \frac{B_j}{B_j - B_a}$$

$$\text{Berat Jenis Apparent} = \frac{B_k}{B_k - B_a}$$

$$\text{Penyerapan Air} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$$

Keterangan:

B = Piknometer berisi air

B_k = Berat benda uji kering oven

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh

B_a = Berat benda uji permukaan jenuh dalam air

3.4 Pengujian Aspal

Pengujian penetrasi, daktilitas, dan aspal adalah bagian dari pengujian laboratorium.

3.4.1 Pengujian Penetrasi Aspal

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan protokol pengujian untuk mengukur tingkat penetrasi aspal. Berikut adalah alat-alat yang digunakan:

1. Alat penetrasi, penetrometer, yang dapat menggerakkan jarum turin naik tanpa gesekan dan dapat mengukur penetrasi 0,1 mm.
2. Pemegang jarum seberat 47,5 gram yang dapat dilepas dengan mudah dari alat penetrasi untuk peneraan.
3. Jarum penetrasi dibuat dari stainless steel mutu 440 C, atau HRC 54 sampai 60 dengan ukuran ujung jarum berbentuk kerucut terpancung
4. Cawan Silinder
5. Wadah yang membentuk bak perendaman harus memiliki volume minimal 10 liter dan dapat mentolerir suhu tertentu hingga $\pm 0,1^\circ\text{C}$.
6. Pelat bawah berlubang disertakan dengan bejana, dan ditempatkan 50 mm di atas dasar bejana dan setidaknya 100 mm di bawah garis air.
7. Reservoir air benda uji diposisikan di bawah instrumen penetrasi. Wadah ini cukup tinggi untuk merendam benda uji tanpa bergerak dan memiliki volume minimal 350 ml.

8. Stopwatch dengan skala pembagian kecil 0,1 detik atau kurang, atau kurang dari akurasi tinggi 0,1 detik, dapat digunakan untuk mengukur secara manual lama waktu yang diperlukan untuk mengukur penetrasi.
9. Termometer.

Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Tempatkan benda uji dalam wadah air kecil dan rendam dalam rendaman 25 °C selama 1 hingga 1,5 jam untuk benda uji kecil dan 1,5 hingga 2 jam untuk benda uji besar.
2. Periksa penahan jarum untuk memastikan pemasangan yang baik, kemudian bersihkan jarum dengan toquen penetrasi atau pelarut lain, keringkan jarum dengan handuk bersih, dan pasang jarum di penahan jarum.
3. Untuk mendapatkan beban $(100 \pm 0,1)$ gram, letakkan beban 50 gram pada jarum.
4. Pindahkan wadah air dan benda uji dari bak perendaman ke dasar alat penetrasi.
5. Turunkan jarum secara perlahan hingga menyentuh permukaan benda uji, kemudian atur angka 0 pada jam penetrometer agar penunjuk sesuai dengannya.
6. Lepas pemegang jarum sambil menjalankan stopwatch selama $(5 \pm 0,1)$ detik; jika pembacaan stopwatch melebihi (5 ± 1) detik, hasilnya tidak valid.
7. Hidupkan arloji penetrometer dan baca nomor penetrasi yang sesuai dengan penunjuk ke dial 0,1 mm terdekat.
8. Lepaskan jarum dari penahan jarum dan sisihkan alat penembus untuk tugas berikutnya.
9. Lakukan langkah 1–8 setidaknya tiga kali untuk benda uji yang sama, selama setiap titik pemeriksaan berjarak lebih dari 1 cm dari batas dinding.

3.4.2 Pengujian Daktilitas Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan besarnya daktilitas aspal sesuai prosedur pengujian yang telah di laksanakan, adapun peralatan yang digunakan adalah berikut ini:

1. Termometer
2. Kompor dan kettel
3. Cutter
4. Mesin uji
5. Cetakan daktilitas kuningan
6. Untuk melakukan pengujian benda uji, disediakan bak perendaman 10 liter dengan alas pelat berlubang yang terletak 5 cm dari bak rendam dilengkapi pelat alas berlubang yang dapat mempertahankan suhu tertentu selama pengujian dengan ketelitian 0,1 dan benda uji dapat direndam setidaknya 100 mm di bawah permukaan bak.

Berikut adalah prosedur pengujiannya:

1. Biarkan benda uji terendam dalam bak perendaman pada suhu 25 °C selama 85 hingga 95 menit sebelum melepaskannya dari pelat dasar dan sisi cetakan.
2. Tempatkan benda uji pada alat mesin dan tarik dengan kecepatan 50 mm/menit sampai patah. Perbedaan kecepatan kurang dari 5% masih diperbolehkan. Bila benda uji pecah, ukur jarak (dalam cm) antara penahan benda uji. Spesimen harus direndam dalam air sekurang-kurangnya 25 mm selama percobaan, dan suhu harus dijaga konstan.
3. Pengujian dianggap tidak normal jika benda uji mencapai dasar mesin uji atau mengapung di atas permukaan air. Untuk menghindari hal ini, berat jenis air harus diubah dengan menambahkan metil alkohol atau gliserin ke berat jenis benda uji. Jika sudah dilakukan tiga kali upaya dan tetap tidak dapat diterima, maka pengujian dinyatakan gagal.

3.4.3 Pengujian Titik Lembek Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan besarnya titik lembek pada aspal sesuai dengan prosedur pengujian yang di gunakan. Adapun alat yang di gunakan adalah sebagai berikut:

1. Termometer
2. Cincin kuningan
3. Bola baja diameter 9,53 mm, berat $3,50 \pm 0,05$ gram
4. Alat pengarah bola
5. Penjepit
6. Dudukan benda uji
7. Benjana gelas tahan pemanasan dengan diameter dalam 8,5cm dengan tinggi sekurang-kurangnya 12 cm dan kapasitas 800 ml.

Prosedur pengujiannya adalah sebagai berikut:

1. Pasangkan dan posisikan kedua benda uji pada dudukan, lalu atur *ball guide* di atas. atur semua peralatan di dalam bejana kaca.
2. Isi bejana dengan air suling baru pada suhu (5 ± 1) °C hingga ketinggian air bervariasi dari 101,6 mm hingga 108 mm.
3. Tempatkan termometer yang baik untuk pekerjaan ini di antara dua spesimen (sekitar 12,7 mm untuk setiap cincin), kemudian verifikasi dan sesuaikan celah antara permukaan pelat dan dasar spesimen hingga 25,4 mm.
4. Tempatkan bola baja bersuhu 5 °C di atas dan di tengah permukaan masing-masing benda uji dengan penjepit dengan cara memasang kembali ball guide. Pertahankan suhu pada $5^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 15 menit.
5. Panaskan bejana dengan kenaikan suhu 5 derajat Celcius setiap menit. Kecepatan pemanasan ini tidak boleh ditentukan dengan rata-rata kecepatan pemanasan di awal dan akhir pekerjaan ini. Variasi laju pemanasan tidak boleh lebih besar dari 0,5 °C selama tiga menit pertama.
6. Jika kecepatan pemanasan melebihi batas, tugas harus diulang dari awal.

3.5 Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal ideal dapat ditentukan dengan menggunakan rumus atau persamaan yang dikenal dengan perkiraan kadar aspal rencana (Pb) dari persamaan berikut ini:

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + k$$

Keterangan :

Pb = Kadar aspal rencana awal, adalah % terhadap berat campuran.

CA = Agregat kasar, adalah % terhadap agregat tertahan saringan no. 8

FA = Agregat halus, terhadap agregat lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200

FF = Bahan pengisi (bila diperlukan)

K = Konstanta untuk laston 0,5 - 1,0

Kadar aspal yang diperoleh dinulatkan mendekati angka 0,5% yang terdekat.

Misal dari perhitungan terdapat 5,3%, maka dibulatkan menjadi 5,5%.

3.6 Rencana Campuran (*Mix Design*)

Setelah dilakukan pemeriksaan terhadap agregat dan aspal dengan cara diatas, lalu dibuat sampel dengan dimensi dan berat tertentu. Komposisi dari agregat terhadap campuran dapat diketahui setelah mengadakan analisa dan digabungkan menurut perbandingan tertentu yang menghasilkan suatu agregat campuran. Pada tahapan ini akan diteliti pengaruh penggantian bottom ash terhadap campuran sebesar 5%, 6%, dan 8%.

Homogenitas campuran dapat diperoleh dengan melakukan langkah-langkah sebagai berikut:

1. Agregat kasar dan agrgat halus ditimbang sesuai dengan presentase yang telah ditentukan.
2. Panaskan dalam satu wadah agregat tersebut hingga mencapai suhu 160 °C.
3. Campurkan aspal yang sudah mencair pada suhu 120-150 °C diaduk lalu didiamkan sampai suhu 130 °C
4. Kemudian proses pemadatan dengan cara ditumbuk sebanyak 2x75 tumbukan
5. Dinginkan pada suhu ruangan selama 24 jam
6. Rendam kedalam water bath yang dipanaskan pada suhu 60 °C selama kurang lebih 30 menit, lalu dilakukannya uji Marshall.

3.7 Pengujian Benda Uji Menggunakan Alat *Marshall*

Alat uji marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguji atau proving ring yang berkapasitas 2500 kg. Cincin penguji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm dipersiapkan dilaboratorium dalam cetakan benda uji dengan menggunakan alat penumbuk dengan berat 4,356 kg atau 10 pound dan tinggi jatuh 45 cm atau 18 inci, dibebani dengan kapasitas 50 mm/menit.

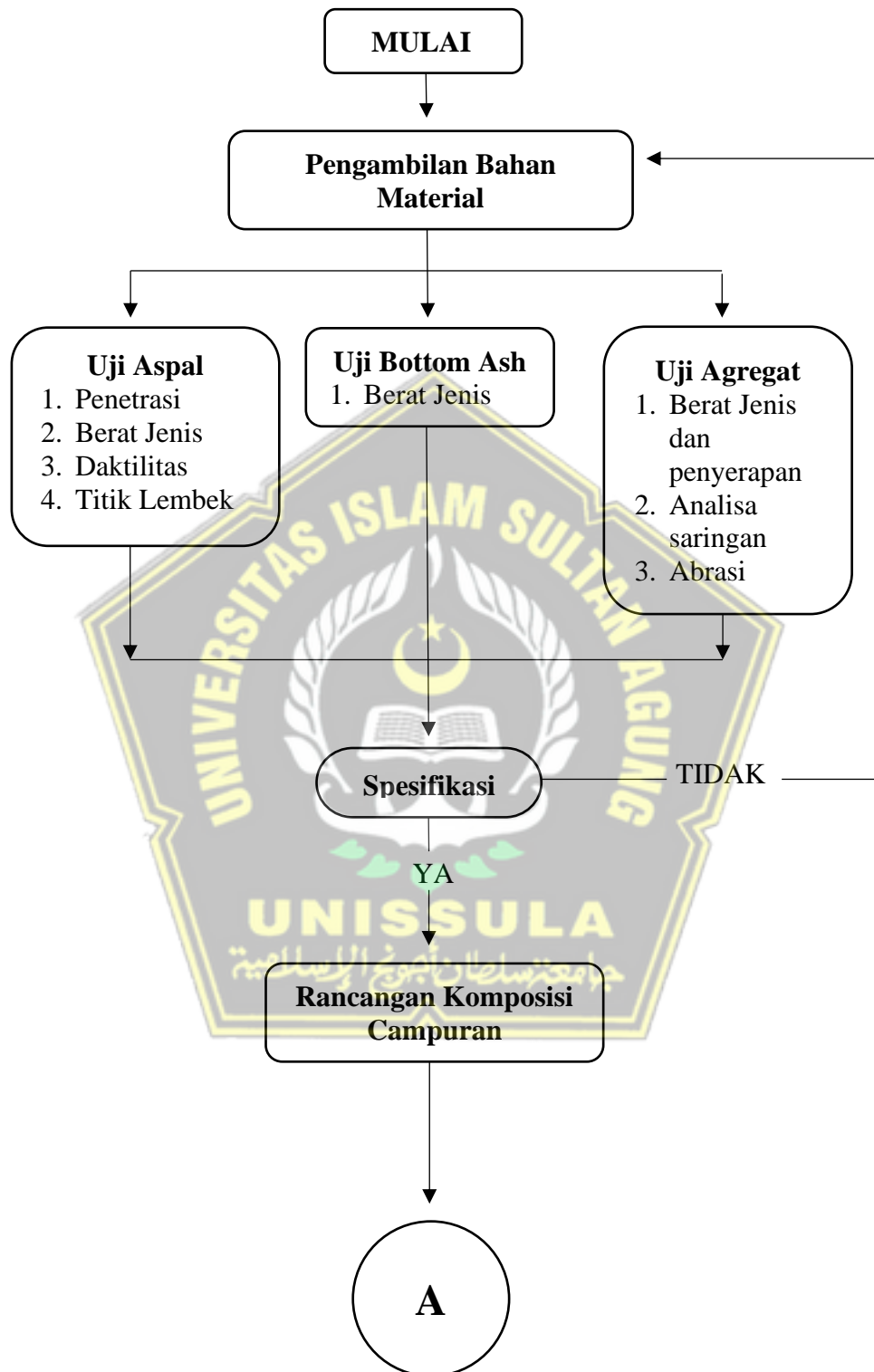
Untuk mendapatkan kadar campuran yang optimal uji Marshall ini digunakan terhadap serangkaian kobinasi benda uji dengan kandungan aspal yang bervariasi. Hasil benda uji dengan kadar aspal yang bervariasi diuji dan dianalisa untuk mendapatkan:

1. Kadar aspal dengan prosen rongga terhadap campuran.
2. Kadar aspal dengan kelelehan.
3. Kadar aspal dengan stabilitas.
4. Kadar aspal dengan Marshall Quetient.

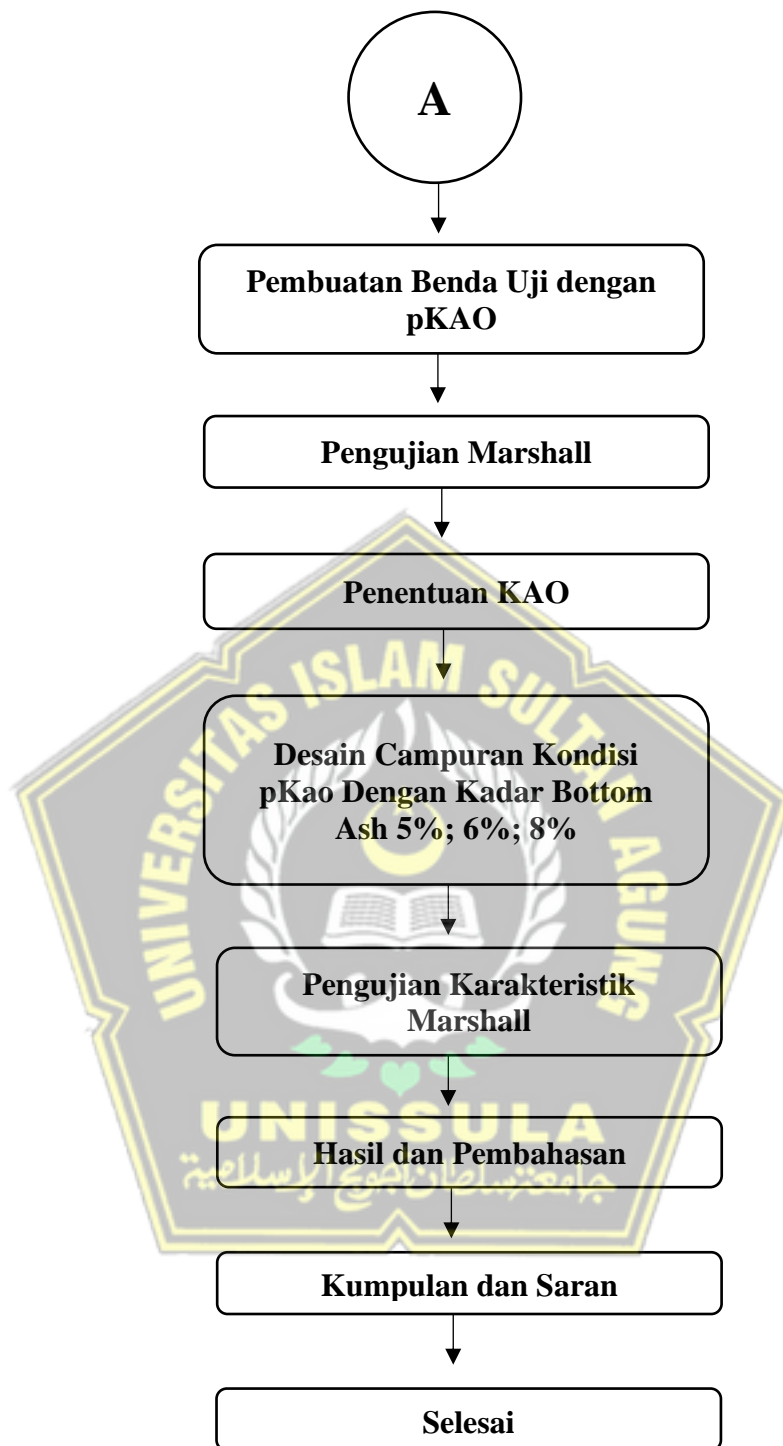


3.8 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir proses penelitian dapat dilihat pada bagian alir dibawah ini.



Gambar 3.1.a Diagram Alir Proses Penelitian



Gambar 3.1.b Diagram Alir Proses Penelitian

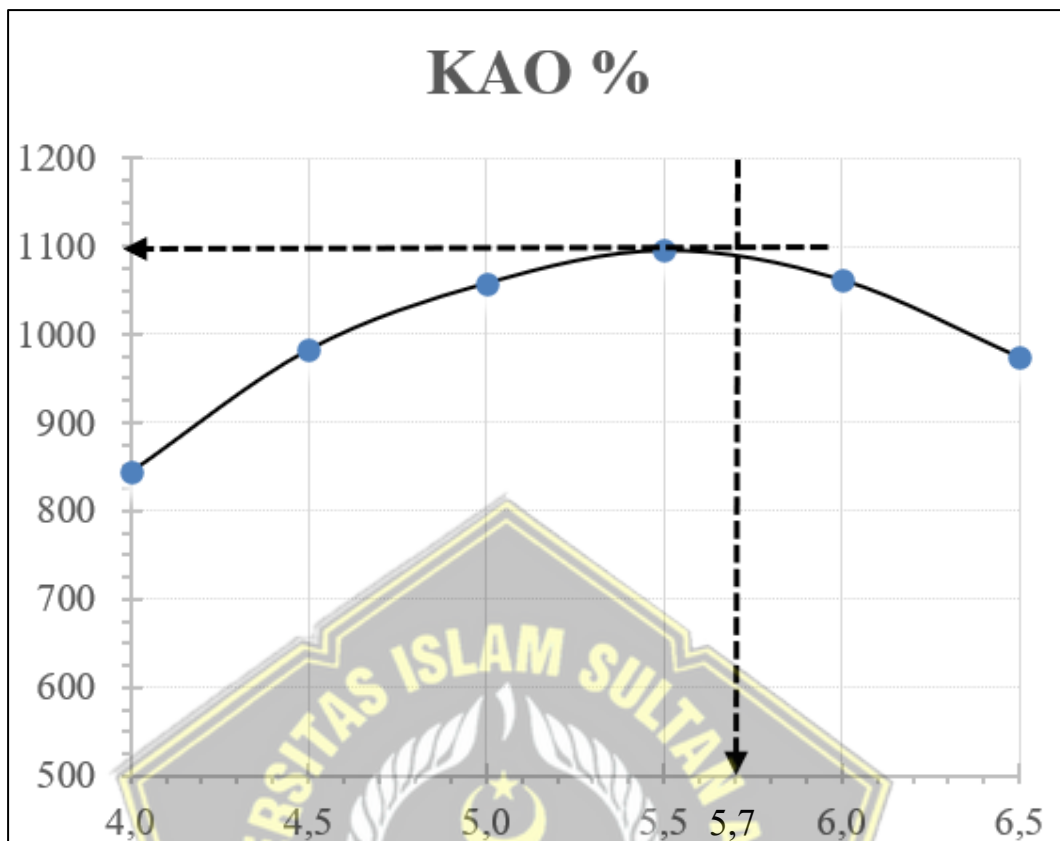
BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini merangkum temuan studi, yang meliputi pengujian laboratorium agregat halus, agregat kasar, penetrasi aspal 60/70, dan bahan pengganti agregat dalam kombinasi. menggunakan teknik uji *marshall*, dilakukan perbandingan perkerasan lentur AC-BC dengan kombinasi standar penetrasi aspal 60/70 dan campuran ditambah dengan *fly ash* dan *bottom ash* sebagai bahan pengganti agregat. Berikut hasil penelitian yang akan dibahas:

4.1 Hasil Penelitian Kadar Aspal Optimum

Perencanaan kadar aspal optimum dengan kadar aspal diantaranya 4%; 4,5%; 5%; 5,5%; 6%. Kemudian melakukan pengujian dengan memilih kadar aspal optimum dari 5 variasi tersebut dan diperuntukan untuk penentuan kadar aspal pada benda uji. Pengujian kadar aspal menggunakan 3 buah benda uji pada setiap variasi kadar aspal tersebut sehingga diperuntukan dengan jumlah 21 benda uji dari 7 variasi tersebut. Setelah dilakukannya penelitian pada masing masing benda uji dengan metode penelitian yang sama dengan pengujian sifat-sifat campuran beragam diantaranya *Bulk Density*, Rongga udara, Rongga udara PRD, Rongga dalam agregat, Rongga terisi aspal, Stabilitas marshall, kelelahan, dan *Mashall Qoutient*. Sehingga didapat data sebagaimana tabel berikut ini.



Grafik 4.1 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

Dari hasil grafik rekapitulasi Sifat-sifat Campuran aspal batas atas dan batas bawah dapat disimpulkan pula bahwa Kadar Aspal Optimum adalah 5,7 %.

4.2 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Komposisi aspal yang di rencanakan yaitu dengan cara mensubstitusi *Fly Ash* dengan kadar 0%, 50%, 60% dari total keseluruhan semen sedangkan untuk penggunaan *Bottom Ash* dari total keseluruhan pasir dengan kadar 0%, 50% dan 60%.

Tabel 4.1. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi Normal

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	37,3 %	447,6 gram
2	Pasir	5,0 %	60,0 gram
3	<i>Coarse Agregat 1"</i>	15,0 %	180,0 gram
4	<i>Coarse Agregat ½"</i>	36,0 %	432,0 gram
5	<i>Filler</i>	1,0 %	12,0 gram
6	Aspal	5,7 %	68,4 gram
		100,0 %	1200,0 gram

Tabel 4.2. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi Substisusi Pasir + *Fly Ash* 50% dan Abu Batu 50%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	18,65 %	223,8 gram
2	Pasir	5,0 %	60,0 gram
3	<i>Coarse Agregat 1"</i>	15,0 %	180,0 gram
4	<i>Coarse Agregat ½"</i>	36,0 %	432,0 gram
5	<i>Filler</i>	1,0 %	12,0 gram
6	Aspal	5,7 %	68,4 gram
7	<i>Fly Ash</i>	18,65 %	223,8 gram
		100,0 %	1200,0 gram

Tabel 4.3. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi Substisusi *Bottom Ash* 60% dan Pasir 40% + *Fly Ash* 50% dan Abu Batu 50%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	18,65 %	223,8 gram
2	Pasir	2 %	24,0 gram
3	<i>Coarse Agregat 1"</i>	15,0 %	180,0 gram
4	<i>Coarse Agregat ½"</i>	36,0 %	432,0 gram
5	<i>Filler</i>	1,0 %	12,0 gram
6	Aspal	5,7 %	68,4 gram
7	<i>Fly Ash</i>	18,65 %	223,8 gram
8	<i>Bottom Ash</i>	3 %	36,0 gram
		100,0 %	1200,0 gram

Tabel 4.4. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi Substisusi *Bottom Ash* 50% dan Pasir 50% + *Fly Ash* 50% dan Abu Batu 50%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	18,65 %	223,8 gram
2	Pasir	2,5 %	30,0 gram
3	<i>Coarse Agregat 1"</i>	15,0 %	180,0 gram
4	<i>Coarse Agregat ½"</i>	36,0 %	432,0 gram
5	<i>Filler</i>	1,0 %	12,0 gram
6	Aspal	5,7 %	68,4 gram
7	<i>Fly Ash</i>	18,65 %	223,8 gram
8	<i>Bottom Ash</i>	2,5 %	30,0 gram
		100,0 %	1200,0 gram

Tabel 4.5. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi Substisusi Abu Batu + *Bottom Ash* 50% dan Pasir 50%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	37,3 %	447,6 gram
2	Pasir	2,5 %	30,0 gram
3	<i>Coarse Agregat 1"</i>	15,0 %	180,0 gram
4	<i>Coarse Agregat ½"</i>	36,0 %	432,0 gram
5	<i>Filler</i>	1,0 %	12,0 gram
6	Aspal	5,7 %	68,4 gram
7	<i>Bottom Ash</i>	2,5 %	30,0 gram
		100,0 %	1200,0 gram

Tabel 4.6. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi Substisusi *Fly Ash* 60% dan Abu Batu 40% + *Bottom Ash* 50% dan Pasir 50%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	20,62 %	247,44 gram
2	Pasir	2,5 %	30,0 gram
3	<i>Coarse Agregat 1"</i>	15,0 %	180,0 gram
4	<i>Coarse Agregat ½"</i>	36,0 %	432,0 gram
5	<i>Filler</i>	1,0 %	12,0 gram
6	Aspal	5,7 %	68,4 gram
7	<i>Fly Ash</i>	22,38 %	268,56 gram
8	<i>Bottom Ash</i>	2,5 %	30,0 gram
		100,0 %	1200,0 gram

Tabel 4.7. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Komposisi Substisusi *Fly Ash* 60% dan Abu Batu 40% + *Bottom Ash* 60% dan Pasir 40%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	14,92 %	179,04 gram
2	Pasir	2,0 %	24,0 gram
3	<i>Coarse Agregat 1"</i>	15,0 %	180,0 gram
4	<i>Coarse Agregat ½"</i>	36,0 %	432,0 gram
5	<i>Filler</i>	1,0 %	12,0 gram
6	Aspal	5,7 %	68,4 gram
7	<i>Fly Ash</i>	22,38 %	268,56 gram
8	<i>Bottom Ash</i>	3,0 %	36,0 gram
		100,0 %	1200,0 gram

4.3 Pemeriksaan Gradasi Agregat.

Untuk menentukan gradasi agregat pada lapisan Campuran AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*), agregat kasar adalah batu pecah dengan ukuran maksimal 1, ½", agregat halus adalah campuran batu pecah dan pasir, dan bahan pengisi berupa abu batu, serta *fly ash* dan *bottom ash* sebagai pengganti pasir Untuk menghasilkan beton aspal yang dapat diterima, gradasi agregat halus harus sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang telah ditetapkan dengan acuan (SNI-ASTM-C136- 2012) Percobaan pencampuran agregat menghasilkan temuan rasio campuran agregat terhadap analisis pengayakan, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.9 - 4.12.

Tabel 4.8. Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar 1 inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	%Lolos Saringan
1"	25.40	100,00
¾	19.00	100,00
½	12.50	51,26
¾	9.50	27,62
NO. 4	4.75	0,26
NO.8	2.36	0,08

No. Saringan	Ukuran (mm)	%Lolos Saringan
NO.16	1.18	0,04
NO.30	0.600	0,02
NO.200	0.075	0,00
PAN	-	0,00

Dalam analisis ayakan terhadap agregat kasar, 51,26 persen agregat melewati ayakan ½” dan tertahan pada ayakan 3/8" atau 9,52 mm dengan ayakan 23,64 mesh. Untuk pendistribusian agregat sedang, agregat yang lolos ayakan 3/8" dan tertahan pada No. 25 persen dari total sampel analisis ayakan sedang ayakan 4 atau 4,76 mm, naik menjadi 8 persen.

Tabel 4.9. Hasil Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar ½ inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	%Lolos Saringan
1”	25.40	100,00
3/4”	19.00	100,0
1/2”	12.50	100,00
3/8”	9.50	45,95
NO.4	4.75	0,36
NO.8	2.36	0,00
NO.16	1.18	0,00
NO.30	0.600	0,00
NO.200	0.075	0,00
PAN	-	0,00

Pada Agregat ½ , analisis ayakan agregat kasar mengungkapkan bahwa hingga 100 persen agregat yang lolos ayakan ½” tertahan pada ayakan 3/8" atau 9,52 mm. Untuk pendistribusian agregat sedang, agregat yang lolos ayakan 3/8" dan tertahan pada No. 87,1 dari total sampel analisis ayakan sedang ayakan 4 atau 4,76 mm, naik menjadi 45,95 persen.

Tabel 4.10. Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus pasir (*Sand*).

No. Saringan	Ukuran (mm)	%Lolos Saringan
1"	25	100,00
3/4"	19	100,0
1/2"	12.5	100,00
3/8"	9.5	100,00
NO.4	4.75	100,00
NO.8	2.36	89,59
NO.16	1.18	79,80
NO.30	0.600	61,43
NO.50	0,300	46,94
NO.100	0,150	30,82
NO.200	0.075	10,00
PAN	-	0,00

Pada Agregat pasir , agregat yang lolos saringan 1/2" dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,52 mm dihitung hingga 100 persen agregat dalam analisis saringan. Sejauh menyangkut distribusi agregat sedang, hingga seratus persen dari total sampel analisis saringan sedang mengandung agregat yang tertahan pada saringan No. 4 atau 4,76 mm—hingga 100 persen. untuk membagi agregat halus antara masing- masing saringan.

Tabel 4.11. Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr).

No. Saringan	Ukuran (mm)	%Lolos Saringan
1"	25	100,00
3/4"	19	100,00
1/2"	12.5	100,00
3/8"	9.5	100,00
NO.4	4.75	67,60
NO.8	2.36	41,80
NO.16	1.18	24,80
NO.30	0.600	16,20

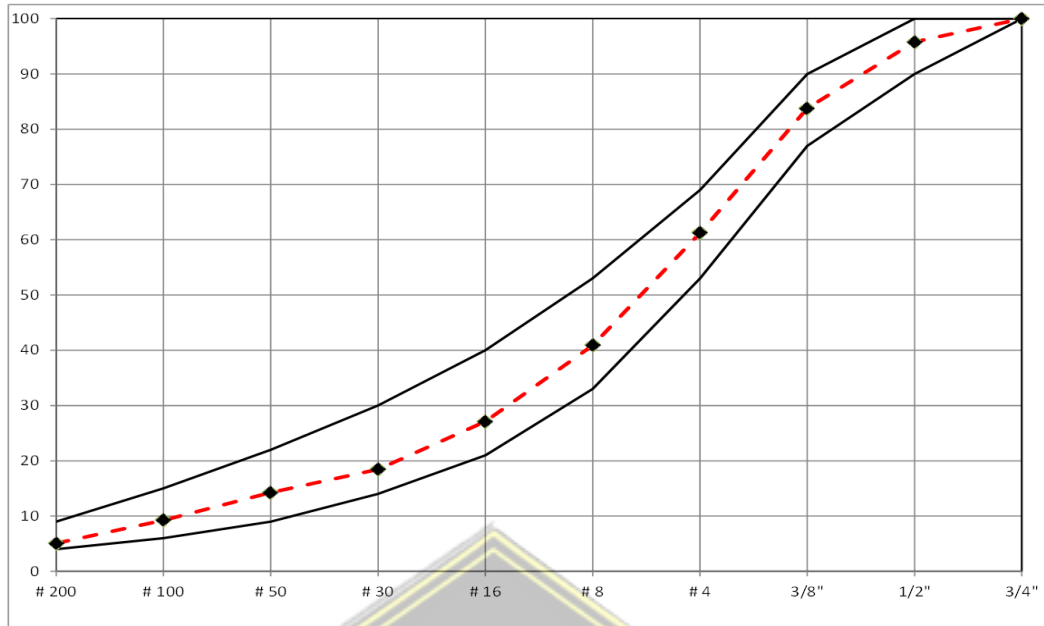
No. Saringan	Ukuran (mm)	%Lolos Saringan
NO.50	0,300	11,80
NO.100	0,150	6,80
NO.200	0.075	2,40
PAN	-	0,00

Untuk agregat halus terbagi disetiap saringan kecuali saringan No. 200 atau 200 mm yang tertahan sebanyak 2,5 %. Pada tabel Analisa Pembagian butiran semua material lolos saringan 1” sampai dengan saringan No.100 atau 100 mm kecuali pada saringan No. 200 sebanyak 97,7 %.

Tabel 4.12. Perhitungan Kombinasi Agregat

PERENCANAAN GRADASI CAMPURAN AC BINDER COURSE												
Inch		1”	¾”	½”	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 3/4”		100,00	100,00	71,93	25,96	1,57	0,83	0,28	0,27	0,27	0,26	0,26
Batu Pecah Max ½”		100,00	100,00	100,00	85,84	33,32	4,61	2,10	1,89	1,64	1,33	0,83
Abu Batu		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	77,95	49,24	32,12	24,47	16,10	8,01
Pasir		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	91,83	82,76	58,11	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
1	15,0%	15,00	15,00	10,79	3,89	0,23	0,12	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
½	36,0%	36,00	36,00	36,00	30,90	12,00	1,66	0,76	0,68	0,59	0,48	0,30
Abu Batu	43,0%	43,00	43,00	43,00	43,00	43,00	33,52	21,17	13,81	10,52	6,92	3,44
Pasir	5,0%	5,00	5,00	5,00	5,00	5,00	4,59	4,14	2,91	2,10	0,81	0,30
Filler Semen	1,0%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
Total Campuran	100%	100,00	100,00	95,79	83,80	61,23	40,89	27,11	18,44	14,25	9,24	5,07
Spesifikasi Gradasi												
Max		100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9
Min		100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4
Toleransi Komposisi												
Max		100,00		100,00	88,50	66,00	46,00	33,50	25,00	18,50	12,50	7,50
min		95,00		90,00	78,50	56,00	40,00	27,50	19,00	12,50	8,50	5,50
Luas Permukaan Agr : 5,64												

ketahui pada analisa saringan agregat kasar yaitusebanyak 100% merupakan agregat yang lolos pada saringan ½” dan tertahan pada saringan 3/8” atau 9,52 mm sebanyak 100 %. Untuk agregat medium, sebanyak 100% dari total sampel analisa saringan medium merupakan agregat lolos saringan 3/8” dan tertahan pada saringan No. 4 atau 4,76 mm sebanyak 100 %. Untuk agregathalus terbagi disetiap saringan.



Grafik 4.2. Kombinasi Agregat

4.4 Pehitungan Pada Kadar Aspal Rencana “*Design Mix Formula*” Lapisan AC-BC

Rumus Campuran Desain adalah metode untuk merancang komposisi aspal dari campuran aspal yang didasarkan pada Konstruksi Jalan Raya dan Bangunan No: 001 - 03/BM/2006, seperti yang digambarkan di bawah ini:

$$P_b = 0,035 (\% \text{ Course Aggregate}) + 0,045 (\% \text{ Fine Aggregate}) + 0,18 (\% \text{ Filler}) + \text{Konstanta} \dots \dots \dots (4.1)$$

Keterangan:

- P_b : Perkiraan kadar aspal
- Course Aggregate : Pecahan agregat kasar yang bertahan pada saringan no.8 dari total berat campuran
- Fine Aggregate : Agregat halus yang melewati saringan no.8 dan bertahan pada saringan no.200 dari total berat campuran
- Filler : bahan pengisi
- Konstanta : 0,5 – 1 untuk laston (Sukirman,1999).

Tabel 4.13. Titik kontrol (batas bawah dan atas) % gradasi tembus beton aspal bonding layer AC-BC (Spesifikasi Umum Bina.Marga, 2018 revisi 2)

Ukuran Saringan		Spesifikasi Laston AC-BC		
1"			100	
¾ "		10	90 – 100	0
½ "	CA _{min} = 70	15	75 – 90	10
3/8 "		9	66 – 82	8
No. 4		20	46 – 64	18
No. 8		16	30 – 49	15
<hr/>				
No. 16		12	18 – 38	11
<hr/>				
No. 30		6	12 – 28	10
No. 50	FA _{min} = 30	5	7 – 20	8
No. 100		2	5 – 13	7
No. 200		1	4 – 8	5

F_{min} = 4

F_{max} = 8

Dari tabel di atas dapat ditentukan data CA, FA, dan F yang digunakan untuk menghitung kadar aspal rencana.

Untuk nilai P_{min},

$$CA = 70$$

$$FA = 30$$

$$\text{Filler} = 4$$

Konstanta untuk laston 0,5 – 1,0. Pada perhitungan yang digunakan adalah 0,75 untuk konstanta.

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

$$P_{\min} = 0,035 (70) + 0,045 (35) + 0,18 (4) + 0,75$$

$$= 2,45 + 1,575 + 0,72 + 0,75$$

$$= 5,50 \%$$

Untuk nilai P_{max} ,

$$CA = 51$$

$$FA = 41$$

$$\text{Filler} = 8$$

Konstanta untuk laston 0,5 – 1,0. Pada perhitungan yang digunakan adalah 0,75 untuk konstanta.

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

$$P_{min} = 0,035 (51) + 0,045 (41) + 0,18 (8) + 0,75$$

$$= 1,785 + 1,845 + 1,44 + 0,75$$

$$= 5,82 \%$$

Maka dari perhitungan kadar aspal diatas mendapatkan hasil nilai kadar aspal rencana dengan rumusan berikut:

$$\begin{aligned} P_b &= \frac{P_{min} + P_{max}}{2} \\ &= \frac{5,50\% + 5,82\%}{2} \\ &= 5,66 \% \sim 5,7\% \end{aligned}$$

4.5 Pembuatan Benda Uji

Komposisi aspal proyeksi yang diperoleh dari perhitungan adalah 5,66%, yang dibulatkan menjadi 5,7%. Menurut teknik benda uji, benda uji harus disiapkan pada kadar aspal rencana, 0,5% dan 1% di bawah kadar aspal rencana, dan 0,5% dan 1% di atas kadar aspal rencana, dengan tiga benda uji untuk setiap kadar aspal rencana. Tabel 4.14 memperlihatkan jumlah benda uji yang akan dibuat.

Tabel 4.14. Komposisi pembuatan benda uji

Benda Uji	Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
	5,7	
	(%)	
Campuran Normal	3	3
Campuran Kombinasi Pasir + <i>Fly Ash</i> 50% dan Abu Batu 50%	3	3
Campuran Kombinasi <i>Bottom Ash</i> 60% dan Pasir 40% + <i>Fly Ash</i> 50% dan Abu Batu 50%	3	3
Campuran Kombinasi <i>Bottom Ash</i> 50% dan Pasir 50% + <i>Fly Ash</i> 50% dan Abu Batu 50%	3	3
Campuran Kombinasi Abu Batu + <i>Bottom Ash</i> 50% dan Pasir 50%	3	3
Campuran Kombinasi <i>Fly Ash</i> 60% dan Abu Batu 40% + <i>Bottom Ash</i> 50% dan Pasir 50%	3	3
Campuran Kombinasi <i>Fly Ash</i> 60% dan Abu Batu 40% + <i>Bottom Ash</i> 60% dan Pasir 40%	3	3
Total Benda Uji		21

Masing - masing setiap benda uji yaitu 3 buah benda uji dengan tujuan sebagai perbandingan setiap 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.

4.6. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM

Tabel 4.15. Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM (AASHTO – T.209 – 90)

NO	Uraian Pemeriksaan		Contoh												
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
1	Berat Sampel + Tempat	Gr													
2	Berat Tempat	Gr													
3	Berat Sampel (1-2)	Gr	1882,4	1876,6	1855,4	1963,9	1877,2	1835,9	1845,7	1859,3	1836,4	1825,9			
4	Berat Botol + Air	Gr	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2			
5	Berat Botol + Sampel + Air	Gr	3200,2	3194,2	3175,9	3242,5	3183,9	3159,0	3159,7	3167,5	3149,2	3140,3			
6	Berat Jenis (3/(3+4-5))	Gr/cc	2,526	2,522	2,502	2,506	2,485	2,484	2,467	2,466	2,45	2,442			
7	Suhu Air	°C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25			
8	Koreksi Suhu		1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000			
9	Berat Jenis Terkoreksi (6x8)	Gr/cc	2,528	2,522	2,502	2,506	2,485	2,484	2,467	2,466	2,450	2,442			
10	Rata - rata	Gr/cc	2,524		2,504		2,484		2,466		2,446				
11	Kadar Aspal	%	4%		4,5%		5%		5,5%		6%				

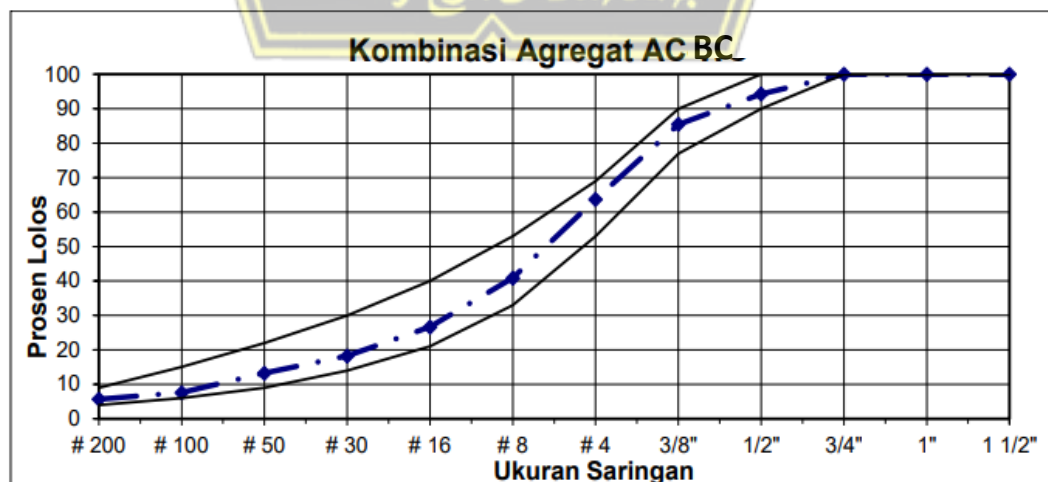
Pada Pemeriksaan berat jenis campuran aspal dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 4% ; 4,5 % ; 5% ; 5,5% dan 6% dengan berat jenis maksimum aspal adalah 2,524 gr / cc

4.7. Ekstraksi

Tabel 4.16. Hasil Gradasi Ekstraksi

Brt. Mineral (Gr) = 1373,1												
Uraian	Analisa saringan											
No. saringan	1 1/2"	1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Berat tertahan	1											
Kumulatif	2	0,0	0,0	0,0	94,7	221,1	493,0	828,0	1001,0	1127,3	1187,8	1296,2
% Tertahan	1											
Kumulatif	2	0,0	0,0	0,0	6,9	16,1	35,9	60,3	72,9	82,1	86,5	92,3
% Lolos	1											
Kumulatif	2	100,0	100,0	100,0	93,1	83,9	64,1	39,7	27,1	17,9	13,5	7,7
% lolos rata - rata		100,0	100,0	100,0	93,1	83,9	64,1	39,7	27,1	17,9	13,5	7,7
Batas Toleransi		100,0	100,0	100,0	99,0	89,8	66,9	42,0	27,5	18,7	13,6	7,8
Gradasi		100,0	100,0	100,0	89,6	81,2	60,5	39,6	25,9	17,7	12,8	7,4
JMF		100,0	100,0	100,0	94,3	85,5	63,7	40,9	26,7	18,2	13,2	7,6
Spesifikasi		100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0
		100,0	100,0	90,0	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0

Hasil gradasi ekstraksi menunjukkan sebanyak 100 % merupakan agregat yang lolos saringan 1/2", 1" dan 3,4". Gradasi dari masing-masing saringan tidak melewati dari spesifikasi teknis yang telah ditentukan pada saringan No. #200 dengan saringan lolos 5,6 % tidak melebihi batas spesifikasi teknis sebesar 4 % sampai dengan 9%.



Grafik 4.3. Grafik Gradasi Ekstraksi

Tabel 4.17. Baca Grafik Gradasi Ekstraksi

No. Saringan	Prosentase Lolos	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos	Batas Bawah	Batas Atas
# 200	5.6	4.0	9.0
# 100	7.7	6.0	15.0
# 50	13.5	9.0	22.0
# 30	17.9	14.0	30.0
# 16	27.1	21.0	40.0
# 8	39.7	33.0	53.0
# 4	64.1	53.0	69.0
3/8"	83.9	77.0	90.0
1/2"	93.1	90.0	100.0
3/4"	100.0	100.0	100.0
1"	100.0	100.0	100.0
1 1/2"	100.0	100.0	100.0

Pada tabel baca grafik gradasi Ekstraksi bahwa prosentase lolos saringan no. 200 atau 200 mm sampai dengan 1 1/2 " tidak melewati spesifikasi teknis baik dari batas atas maupun batas bawah sehingga diperkenankan untuk dipakai agregat tersebut.

4.8. Rekapitulasi Hasil Campuran Aspal

Tabel 4.18. Baca Grafik Gradasi Ekstraksi

Gradasi Material						
Sieve Size	Hasil Pemeriksaan			Toleransi	Spesifikasi	
	Agregat	Ekstrak	Gradasi		Min	Max
1"	100.0	100.0	100.0	± 5 %	100.0	100.0
3/4"	100.0	100.0	100.0	± 5 %	100.0	100.0
1/2"	94.3	93.1	94.3	± 5 %	90.0	100.0
3/8"	85.4	83.9	85.5	± 5 %	77.0	90.0
#4	64.1	64.1	63.7	± 5 %	53.0	69.0
#8	40.7	39.7	40.9	± 3 %	33.0	53.0

Gradasi Material						
Sieve Size	Hasil Pemeriksaan			Toleransi	Spesifikasi	
	Agregat	Ekstrak	Gradasi		Min	Max
#16	26.0	27.1	26.7	± 3 %	21.0	40.0
#30	17.8	17.9	18.2	± 3 %	14.0	30.0
#50	12.9	13.5	13.2	± 3 %	9.0	22.0
#100	7.4	7.7	7.6	± 2 %	6.0	15.0
#200	4.8	5.6	4.7	± 1 %	4.0	9.0

Dari Rekapitulasi Hasil Campuran Aspal dapat diperoleh gradasi pada saringan no. 200 atau 200 mm sebanyak 5,7% dan gradasi pada saringan 1” sebanyak 100% sehingga tidak melewati batas atas dan batas bawah dari spesifikasi teknis.

4.9. Gradasi Material Agregat

Tabel 4.19. Gradasi Material Agregat

Ukuran Saringan		Kombinasi Gradasi		Spesifikasi	Toleransi
mm	Inchi	Agregat	Ekstrak		
25.4	1”	100.00	100.00	100	}
19.1	¾”	100.00	100.00	100	
12.7	½”	93.96	92.53	90 – 100	} ± 5 %
9.5	3/8”	82.17	86.22	77 – 90	
4.75	# 4	59.15	62.14	53 – 69	}
2.38	# 8	38.27	38.74	33 – 53	
1.18	# 16	26.43	27.11	21 – 40	} ± 3 %
0.60	# 30	18.22	19.36	14 – 30	
0.30	# 50	13.08	12.98	9 – 22	}
0.15	# 100	7.44	8.10	6 – 15	
0.075	# 200	5.62	4.83	4 – 9	± 1 %

Dari Pengujian gradasi material Agregat yang dikombinasikan dengan gradasi ekstraksi di dapatkan ukuran saringan No. 200 atau 0,075 mm sebanyak 5,83 % pada gradasi Agregat dan sebanyak 5,62 % pada ekstraksi.

4.10. Rekapitulasi Sifat –sifat Campuran

Tabel 4.20. Gradasi Material Agregat

Uraian	Sifat-sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi
Berat Jenis Bulk (JSD)	2.347	-
Rongga Udara (PRD)	2.5	Min 2 %
Rongga Udara (VIM)	4.3	3.0 – 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	16.7	Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	74.00	Min 65 %
Stabilitas Marshall	1170	Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3.6	2.0 – 4.0
Marshall Quotient	300	-
Stabilitas Sisa Stlh Perendaman 24 Jam	91.83	Min 90 %
Kadar Aspal Optimum	4.8	-

Dari hasil rekapitulasi Sifat-sifat Campuran aspal dapat disimpulkan bahwa Stabilitas Marshall sebesar 1170 Kg, Kelelehan plastis sebesar 3,6 dan Kadar Aspal Optimum adalah 5,7 %.

4.11. Hasil Pemeriksaan *Marshall*

Apabila sudah dilakukan penentuan *job mix design* juga *design mix formula*, dan pembuatan benda uji sebanyak 21 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 pesyaratan dari Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2).

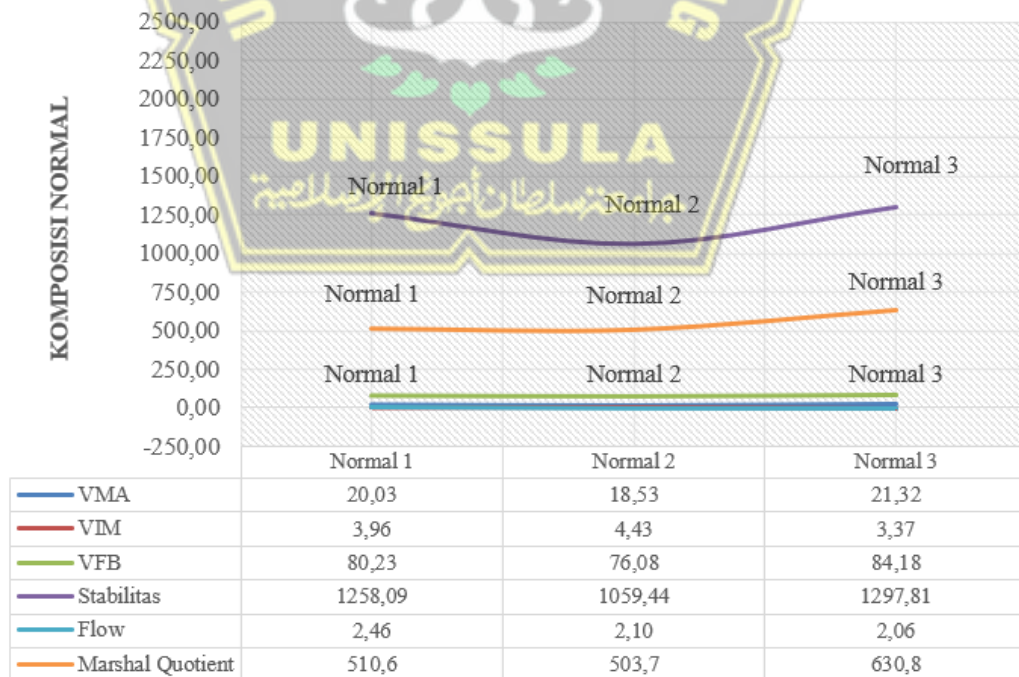
Untuk hasil yang didapatkan dari pengujian *Marshall* pada penelitian dibagi menjadi 7 komposisi, yaitu hasil pengujian *Marshall* untuk benda uji komposisi normal, benda uji kombinasi pasir + *bottom ash* 50%, benda uji kombinasi *fly ash* 50% + *bottom ash* 60%, benda uji kombinasi *fly ash* 50% + *bottom ash* 50%, benda uji kombinasi abu batu + *fly ash* 60%, benda uji kombinasi *bottom ash* 50% + *fly ash* 60%, benda uji kombinasi *bottom ash* 50% + *fly ash* 50% dengan masing – masing 3 benda uji per komposisi.

4.11.1. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi Normal

Tabel 4.21. Hasil Marshall Komposisi Normal

HASIL NORMAL															
BJ Aspal (T) :		1,039		BJ Efektif Total Agregat (Gse) :		2,662		BJ Total Agg (Gsb) :		2,616		Kalibrasi Proving Ring = 13,243 Kg			
no benda uji	% NORMAL	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp.(vm)	% rongga terisi aspal.(vfb)	stabilitas		kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		% berat total campuran (%)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - bjg) / gsb (%)	100 - (100 - bj) / h (%)	100 (k) / i (%)	strip	(kg)	(mm)	(kg/mm)
Normal 1	0%	5,7	1183,2	665,2	1175,0	519,8	2,219	2,310	20,03	3,96	80,23	95	1258,09	2,46	510,6
Rata-rata							2,219	2,310	20,03	3,96	80,23	95,00	1258,09	2,46	510,6
Normal 2	0%	5,7	1129,2	634,4	1134,0	499,8	2,260	2,365	18,53	4,43	76,08	80	1059,44	2,10	503,7
Rata-rata							2,260	2,365	18,53	4,43	76,08	80,00	1059,44	2,10	503,7
Normal 3	0%	5,7	1183,0	649,2	1182,0	532,8	2,183	2,259	21,32	3,37	84,18	98	1297,81	2,06	630,8
Rata-rata							2,183	2,259	21,32	3,37	84,18	98,00	1297,81	2,06	630,8

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji komposisi normal di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada grafik 4.4 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Grafik 4.4. Grafik Hasil Marshall Komposisi Normal

Dari Grafik yang diperoleh pada Grafik 4.4. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 20,03 untuk Normal 1, 18,53 untuk Normal 2, dan 21,32 untuk Normal 3.

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 : 3,96 untuk Normal 1, 4,43 untuk Normal 2, dan 3,37 untuk Normal 3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 80,23 untuk Normal 1, 76,08 untuk Normal 2, dan 84,18 untuk Normal 3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.4. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 1258,09 untuk Normal 1, 1059,44 untuk Normal 2, dan 1297,81 untuk Normal 3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,46 untuk Normal 1, 2,10 untuk Normal 2, dan 2,06 untuk Normal 3.

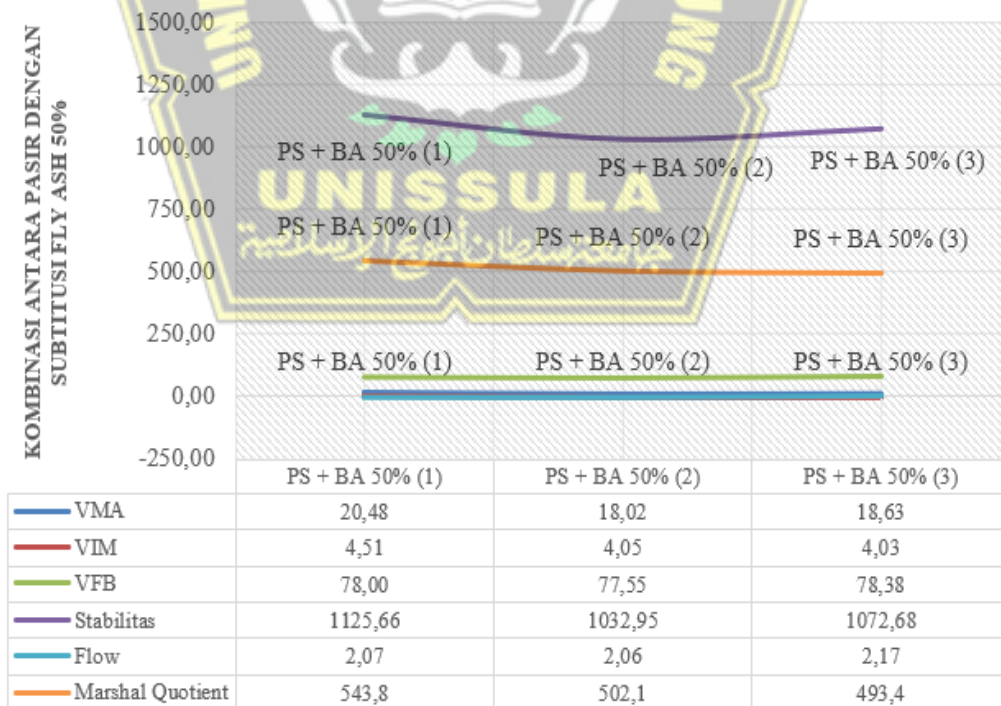
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.4. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 510,6 untuk Normal 1, 503,7 untuk Normal 2, dan 630,8 untuk Normal 3.

4.11.2. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Pasir + Fly Ash 50%

Tabel 4.22. Hasil Marshall Kombinasi Pasir + Fly Ash 50%

HASIL (Kombinasi Pasir + Fly Ash 50%)																			
BJ Aspal (T) :		1,039		BJ Elektrol Agregat (Gae):			2,662			BJ Total Agg (Gsb):			2,816			Kalibrasi Proving Ring =		13,243 Kg	
no benda uji	% BA	kadar aspal	berat di udara	berat dim air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp.(vim)	% rongga terisi aspal(vb)	stabilitas		kelelahan plasts (fow)	hasil bagi marshall (mq)				
												dibaca arloji	di sesuaikan						
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o				
		% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c/f	GMM	100 - (100 - b)g gab	100 - (100%) h	$\frac{100(i)}{i}$	(strip)	(kg)	(mm)	m/n				
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)				(kg/mm)				
PS + BA 50% (1)	50%	5,7	1125,0	649,0	1159,0	510,0	2,206	2,310	20,48	4,51	78,00	85	1125,66	2,07	543,8				
Rata-rata							2,206	2,310	20,48	4,51	78,00	85,00	1125,66	2,07	543,8				
PS + BA 50% (2)	50%	5,7	1174,8	671,4	1188,0	516,6	2,274	2,370	18,02	4,05	77,55	78	1032,95	2,06	502,1				
Rata-rata							2,274	2,370	18,02	4,05	77,55	78,00	1032,95	2,06	502,1				
PS + BA 50% (3)	50%	5,7	1167,0	662,0	1179,0	517,0	2,257	2,352	18,63	4,03	78,38	81	1072,68	2,17	493,4				
Rata-rata							2,257	2,352	18,63	4,03	78,38	81,00	1072,68	2,17	493,4				

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji komposisi Kombinasi Pasir + Bottom Ash 50% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada grafik 4.5 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Grafik 4.5. Hasil Marshall Kombinasi Pasir + Bottom Ash 50%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.5. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 20,48 untuk PS+BA 1, 18,02 untuk PS+BA 2, dan 18,63 untuk PS+BA 3.

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 : 4,51 untuk PS+BA 1, 4,05 untuk PS+BA 2, dan 4,03 untuk PS+BA 3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 78,00 untuk PS+BA 1, 77,55 untuk PS+BA 2, dan 78,38 untuk PS+BA 3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.5. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 1125,66 untuk PS+BA 1, 1032,95 untuk PS+BA 2, dan 1072,68 untuk PS+BA 3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,07 untuk PS+BA 1, 2,06 untuk PS+BA 2, dan 2,17 untuk PS+BA 3.

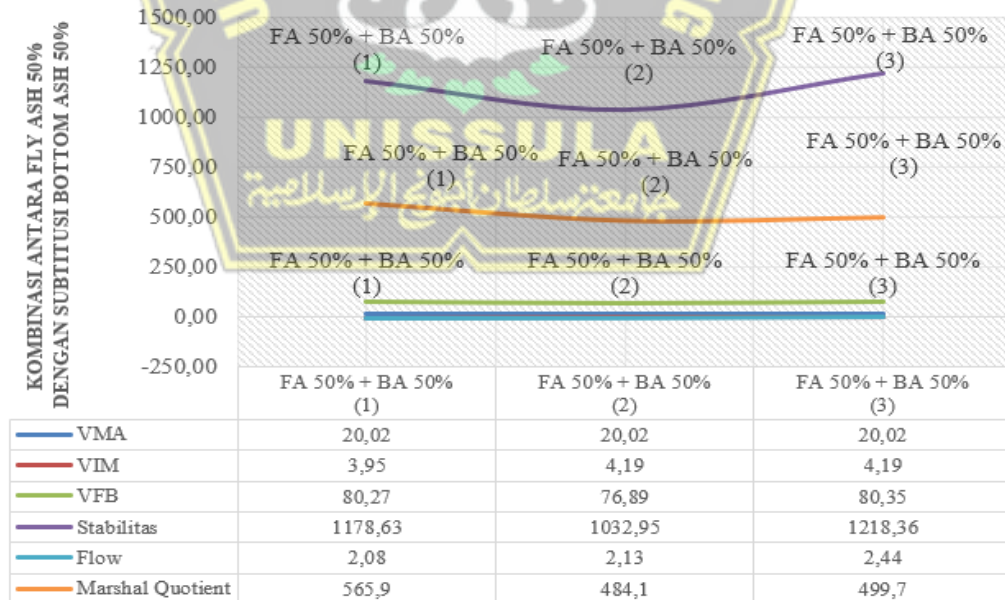
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.5. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 543,8 untuk PS+BA 1, 502,1 untuk PS+BA 2, dan 493,4 untuk PS+BA 3.

4.11.3. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 50%

Tabel 4.23. Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 50%

HASIL (Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 50%)																
BJ Aspal (T) :		1,039		BJ Ektf Total Agregat (Gae) :		2,662		BJ Total Agg (Gsb) :		2,616		Kalibrasi Proving Ring = 13,243 Kg				
no benda uji	% BA + FA	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (vma)	% rongga dalam camp (vm)	% rongga terisi aspal (vb)	stabilitas		kelelahan	hasil bagi marshall	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		% berat total campuran (%)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - bjg) / gsb (%)	100 - (100 - bj) / h (%)	100 (i) / i (%)	dibaca arloji (strip)	di sesuaikan (kg)	plasts (fow) (mm)	m / n (kg/mm)	
FA 50% + BA 50% (1)	50%+50%	5,7	1154,2	652,8	1173,0	520,2	2,219	2,310	20,02	3,95	80,27	89	1178,63	2,08	565,9	
Rata-rata							2,289	2,310	20,02	3,95	80,27	83,33	1178,63	2,08	565,9	
FA 50% + BA 50% (2)	50%+50%	5,7	1129,4	668,4	1185,8	497,4	2,271	2,370	18,15	4,19	76,89	78	1032,95	2,13	484,1	
Rata-rata							2,271	2,370	18,15	4,19	76,89	78,00	1032,95	2,13	484,1	
FA 50% + BA 50% (3)	50%+50%	5,7	1184,2	672,8	1186,2	513,4	2,288	2,352	18,26	3,59	80,35	92	1218,36	2,44	499,7	
Rata-rata							2,268	2,352	18,26	3,59	80,35	92,00	1218,36	2,44	499,7	

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji komposisi Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 50% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada grafik 4.6 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Grafik 4.6. Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 50%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.6. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 20,02 untuk FA+BA 1, 18,15 untuk FA+BA 2, dan 18,26 untuk FA+BA 3.

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 : 3,95 untuk FA+BA 1, 4,19 untuk FA+BA 2, dan 4,19 untuk FA+BA 3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 80,27 untuk FA+BA 1, 76,89 untuk FA+BA 2, dan 80,35 untuk FA+BA 3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.6. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 1178,63 untuk FA+BA 1, 1032,95 untuk FA+BA 2, dan 1218,36 untuk FA+BA 3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,08 untuk FA+BA 1, 2,13 untuk FA+BA 2, dan 2,44 untuk FA+BA 3.

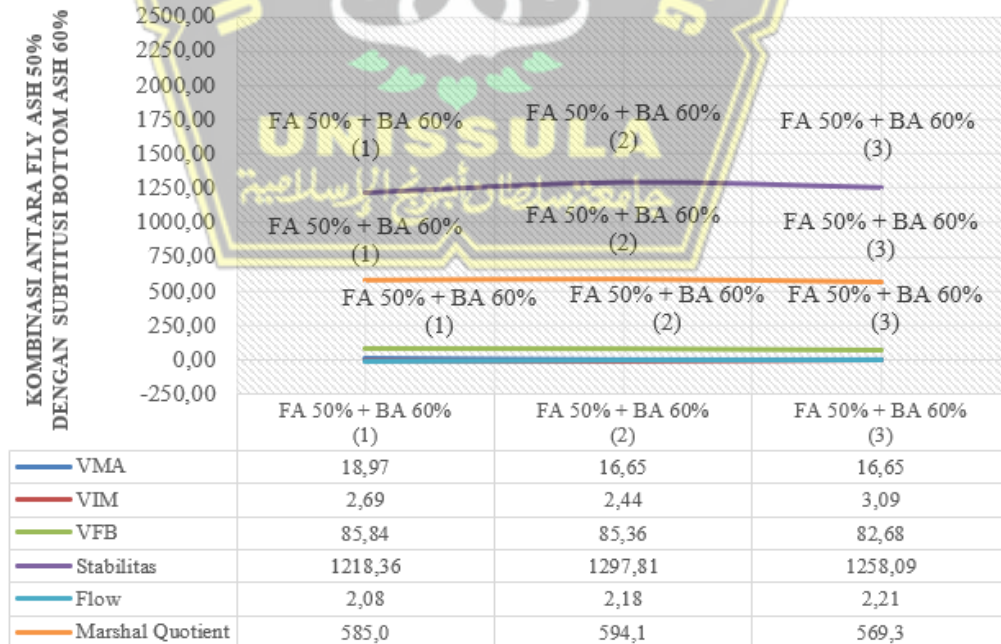
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.6. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 565,9 untuk FA+BA 1, 484,1 untuk FA+BA 2, dan 499,7 untuk FA+BA 3.

4.11.4. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 60%

Tabel 4.24. Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 60%

HASIL (Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 60%)																
BJ Aspal (T) :		1,039	BJ EbnktrTobi Agregat (Gae) :			2,662	BJ Total Agg (Gsb) :			2,616	Kalibrasi Proving Ring =					13,243 Kg
no benda uji	% BA + FA	kadar aspal	berat di udara	berat dim air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(vfb)	stabilitas		kelelahan plasts (fow)	hasil bagi marshall (m _q)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g gab	100 - (100)g h	100(h) i				m / n	
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
FA 50% + BA 60% (1)	60%+50%	5,7	1164,0	861,2	1179,0	517,8	2,248	2,310	18,97	2,69	85,84	92	1218,36	2,08	585,0	
Rata-rata							2,248	2,310	18,97	2,69	85,84	92,00	1218,36	2,08	585,0	
FA 50% + BA 60% (2)	60%+50%	5,7	1155,2	868,4	1189,0	499,6	2,312	2,370	16,65	2,44	85,36	98	1297,81	2,18	594,1	
Rata-rata							2,312	2,370	16,65	2,44	85,36	98,00	1297,81	2,18	594,1	
FA 50% + BA 60% (3)	60%+50%	5,7	1181,6	872,6	1191,0	518,4	2,279	2,352	17,84	3,09	82,68	95	1258,09	2,21	569,3	
Rata-rata							2,279	2,352	17,84	3,09	82,68	95,00	1258,09	2,21	569,3	

Setelah seluruh hasil data pengujian *Marshall* pada benda uji komposisi Kombinasi *Fly Ash 50% + Bottom Ash 60%* di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada grafik 4.7 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Grafik 4.7. Hasil Marshall Kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 60%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.7. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 18,97 untuk FA+BA 1, 16,65 untuk FA+BA 2, dan 16,65 untuk FA+BA 3.

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 : 2,69 untuk FA+BA 1, 2,44 untuk FA+BA 2, dan 3,09 untuk FA+BA 3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 85,84 untuk FA+BA 1, 85,36 untuk FA+BA 2, dan 82,68 untuk FA+BA 3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.7. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 1218,36 untuk FA+BA 1, 1297,81 untuk FA+BA 2, dan 1258,09 untuk FA+BA 3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,08 untuk FA+BA 1, 2,18 untuk FA+BA 2, dan 2,21 untuk FA+BA 3.

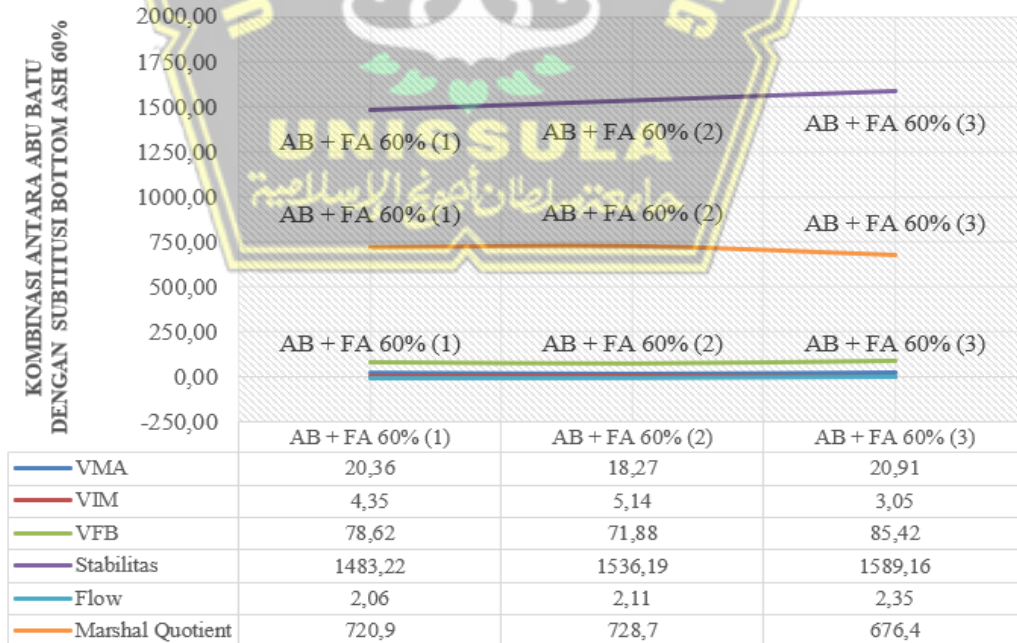
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.7. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 584,0 untuk FA+BA 1, 594,1 untuk FA+BA 2, dan 569,3 untuk FA+BA 3.

4.11.5. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Abu Batu + Bottom Ash 60%

Tabel 4.25. Hasil Marshall Kombinasi Abu Batu + Bottom Ash 60%

HASIL (Kombinasi Abu Batu + Bottom Ash 60%)															
BJ Aspal (T) : 1,039			BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2,662			BJ Total Agg (Gsb) : 2,616			Kalibrasi Proving Ring = 13,243 Kg						
no benda uji	% FA	kadar aspal	berat di udara	berat dim air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (vma)	% rongga dalam camp (vim)	% rongga terisi aspal (vfb)	stabilitas		kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
												dibaca arloji	di sesuaikan		
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	$100 - \frac{(100 - b)g}{gsb}$	$100 - \frac{(100 - j)h}{h}$	$\frac{100(i - i)}{i}$	(strip)	(kg)	(mm)	m / n	
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)				(kg/mm)	
AB + FA 60% (1)	60%	5,7	1168,8	667,0	1188,0	529,0	2,209	2,310	20,36	4,35	78,62	112	1483,22	2,06	720,9
Rata-rata							2,209	2,310	20,36	4,35	78,62	112,00	1483,22	2,06	720,9
AB + FA 60% (2)	60%	5,7	1164,2	661,5	1175,0	613,5	2,267	2,390	18,27	5,14	71,88	116	1536,19	2,11	728,7
Rata-rata							2,267	2,390	18,27	5,14	71,88	116,00	1536,19	2,11	728,7
AB + FA 60% (3)	60%	5,7	1167,2	648,0	1178,0	532,0	2,194	2,263	20,91	3,05	85,42	120	1589,16	2,35	676,4
Rata-rata							2,194	2,263	20,91	3,05	85,42	120,00	1589,16	2,35	676,4

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji komposisi Kombinasi Abu Batu + Fly Ash 60% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada grafik 4.8 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Grafik 4.8. Hasil Marshall Kombinasi Abu Batu + Bottom Ash 60%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.8. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 20,36 untuk AB+FA 1, 18,27 untuk AB+FA 2, dan 20,91 untuk AB+FA 3.

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 : 4,35 untuk AB+FA 1, 5,14 untuk AB+FA 2, dan 3,05 untuk AB+FA 3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 78,62 untuk AB+FA 1, 71,88 untuk AB+FA 2, dan 85,42 untuk AB+FA 3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.8. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 1483,22 untuk AB+FA 1, 1536,19 untuk AB+FA 2, dan 1589,16 untuk AB+FA 3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,06 untuk AB+FA 1, 2,11 untuk AB+FA 2, dan 2,35 untuk AB+FA 3.

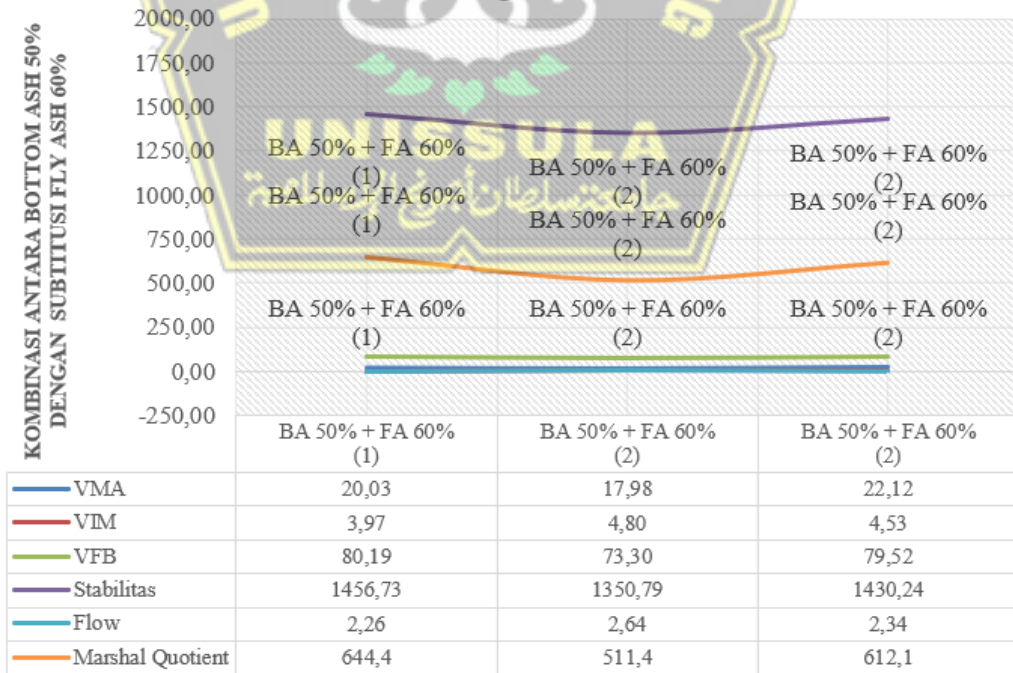
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.8. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 720,9 untuk AB+FA 1, 728,7 untuk AB+FA 2, dan 676,4 untuk AB+FA 3.

4.11.6. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Bottom Ash 50% + Fly Ash 60%

Tabel 4.26. Hasil Marshall Kombinasi Bottom Ash 50% + Fly Ash 60%

HASIL (Kombinasi Bottom Ash 50% + Fly Ash 60%)															
BJ Aspal (T) :		1,039		BJ Ektir Total Agregat (G _{se}) :		2,662		BJ Total Agg (G _{sb}) :		2,616		Kalibrasi Proving Ring = 13,243 Kg			
no benda uji	% BA + FA	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg. (v _{ma})	% rongga dalam camp. (v _{im})	% rongga terisi aspal (v _{fb})	stabilitas		kelelahan plastis (f _{ow})	hasil bagi marshall (m _q)
												dibaca arloji	di sesuaikan		
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	% berat total campuran (%)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	e - d	c/ f	GMM	100 - (100 - b)g / gsb (%)	100 - (100 - j)h / h (%)	100(i - i) / i (%)	(strip)	(kg)	(mm)	m / n (kg/mm)	
BA 50% + FA 60% (1)	50%+60%	5,7	1190,8	666,4	1193,2	536,8	2,218	2,310	20,03	3,97	80,19	110	1456,73	2,26	644,4
Rata-rata							2,218	2,310	20,03	3,97	80,19	110,00	1456,73	2,26	644,4
BA 50% + FA 60% (2)	50%+60%	5,7	1193,6	674,2	1198,8	524,6	2,275	2,390	17,98	4,80	73,30	102	1350,79	2,64	511,4
Rata-rata							2,275	2,390	17,98	4,80	73,30	102,00	1350,79	2,64	511,4
BA 50% + FA 60% (3)	50%+60%	5,7	1188,4	631,4	1172,2	540,8	2,181	2,263	22,12	4,53	79,52	108	1430,24	2,34	612,1
Rata-rata							2,181	2,263	22,12	4,53	79,52	108,00	1430,24	2,34	612,1

Setelah seluruh hasil data pengujian *Marshall* pada benda uji komposisi *Bottom Ash 50% + Fly Ash 60%* di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada grafik 4.9 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Grafik 4.9. Hasil Marshall Kombinasi Bottom Ash 50% + Fly Ash 60%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.9. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 20,03 untuk BA+FA 1, 17,89 untuk BA+FA 2, dan 22,12 untuk BA+FA 3.

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 : 3,97 untuk BA+FA 1, 4,80 untuk BA+FA 2, dan 4,53 untuk BA+FA 3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 80,19 untuk BA+FA 1, 73,30 untuk BA+FA 2, dan 79,52 untuk BA+FA 3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.9. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 1456,73 untuk BA+FA 1, 1350,79 untuk BA+FA 2, dan 1430,24 untuk BA+FA 3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,26 untuk BA+FA 1, 2,64 untuk BA+FA 2, dan 2,34 untuk BA+FA 3.

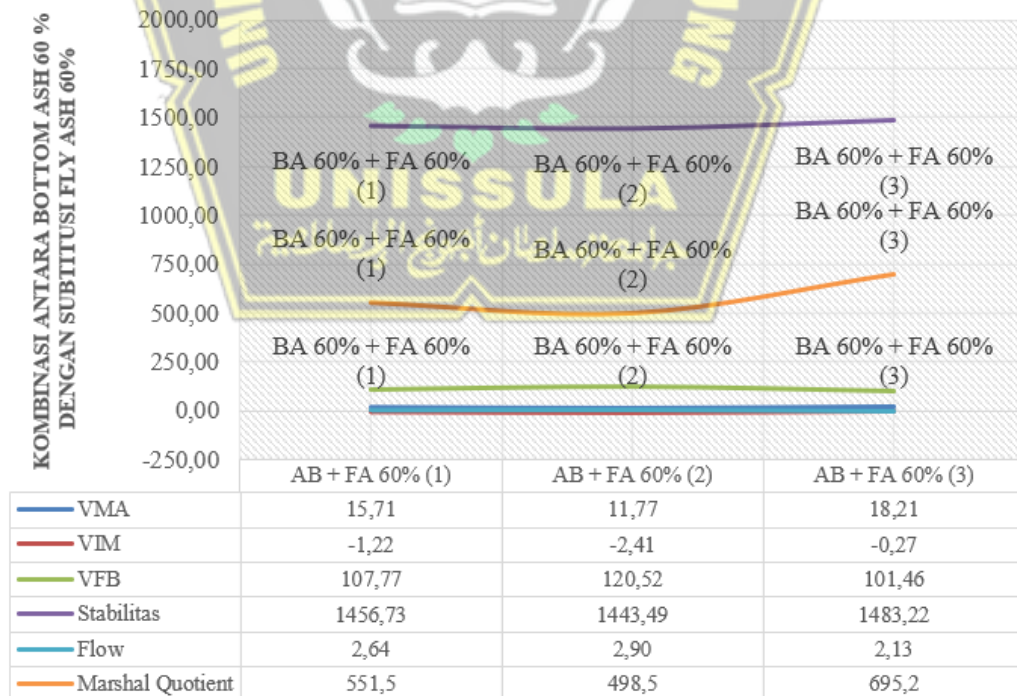
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.9. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 644,4 untuk BA+FA 1, 511,4 untuk BA+FA 2, dan 612,1 untuk BA+FA 3.

4.11.7. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Bottom Ash 60% + Fly Ash 60%

Tabel 4.27. Hasil Marshall Kombinasi Bottom Ash 60% + Fly Ash 60%

HASIL (Kombinasi Bottom Ash 60% + Fly Ash 60%)																			
BJ Aspal (T) :		1,039		BJ Efektif Total Agregat (Gae) :			2,962			BJ Total Agg (Gsb) :			2,616			Kalibrasi Proving Ring =		13,243 Kg	
no benda uji	% FA + BA	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(vb)	stabilitas		kelelahan (flow)	hasil bagi marshall (mq)				
												dibaca arloji	di sesuaikan						
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o					
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g / gsb	100 - (100)g / h	100(i) / i	(strip)	(kg)	(mm)	m / n					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)				(kg/mm)					
BA 60% + FA 60% (1)	60%+60%	5,7	1154,6	898,2	1192,0	493,8	2,338	2,310	15,71	-1,22	107,77	110	1456,73	2,64	551,5				
Rata-rata							2,338	2,310	15,71	-1,22	107,77	110,00	1456,73	2,64	551,5				
BA 60% + FA 60% (2)	60%+60%	5,7	1170,0	893,0	1171,0	478,0	2,448	2,390	11,77	-2,41	120,52	109	1443,49	2,90	498,5				
Rata-rata							2,448	2,390	11,77	-2,41	120,52	109,00	1443,49	2,90	498,5				
BA 60% + FA 60% (3)	60%+60%	5,7	1164,0	876,0	1189,0	513,0	2,269	2,263	18,21	-0,27	101,46	112	1483,22	2,13	695,2				
Rata-rata							2,269	2,263	18,21	-0,27	101,46	112,00	1483,22	2,13	695,2				

Setelah seluruh hasil data pengujian Marshall pada benda uji komposisi Kombinasi Bottom Ash 60% + Fly Ash 60% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada grafik 4.10 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Grafik 4.10. Hasil Marshall Kombinasi Bottom Ash 60% + Fly Ash 60%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.10. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 15,71 untuk BA+FA 1, 11,77 untuk BA+FA 2, dan 18,21 untuk BA+FA 3.

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 : -1,22 untuk BA+FA 1, -2,41 untuk BA+FA 2, dan -0,27 untuk BA+FA 3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 107,77 untuk BA+FA 1, 120,52 untuk BA+FA 2, dan 101,49 untuk BA+FA 3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.10. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 1456,73 untuk BA+FA 1, 1443,49 untuk BA+FA 2, dan 1483,22 untuk BA+FA 3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,64 untuk BA+FA 1, 2,90 untuk BA+FA 2, dan 2,19 untuk BA+FA 3.

Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.10. diatas, nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 551,5 untuk BA+FA 1, 498,5 untuk BA+FA 2, 69,52 untuk BA+FA 3.

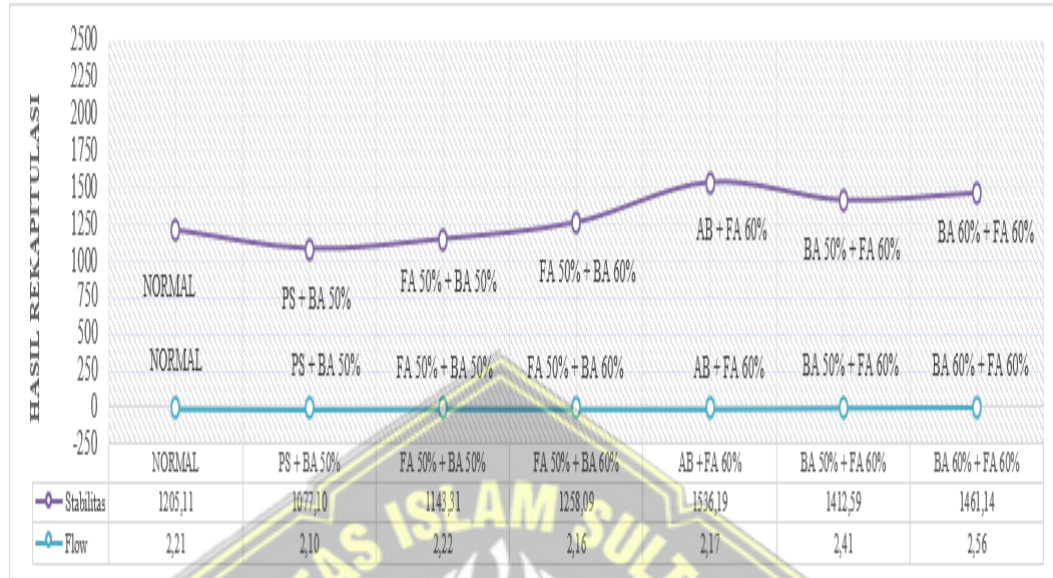
4.12. Hasil Rekapitulasi

Tabel 4.28. Hasil Rekapitulasi

HASIL REKAPITULASI																
BJ Aspal (T) : 1,039 BJ Efektif Total Agregat (Gse): 2,662 BJ Total Agg (Gsb): 2,616 Kalibrasi Proving Ring = 13,243 Kg																
nama benda uji	Kode	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(vtb)	stabilitas		kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)	
												dibaca arloji	di sesuaikan			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c/f	GMM	100 - b/g	100 - h	$\frac{100(i-h)}{i}$				m/n	
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
NORMAL	N		1148,5	646,3	1163,7	517,4	2,221	2,311	19,956	3,92	80,16	91,00	1205,11	2,21	548,39	417,78
PS + BA 50%	AA		1155,6	660,8	1175,3	514,5	2,246	2,344	19,047	4,19	77,98	81,33	1077,10	2,10	513,07	406,59
FA 50% + BA 50%	AB		1149,3	664,7	1175,0	510,3	2,252	2,344	18,809	3,91	79,17	86,33	1143,31	2,22	516,56	411,86
FA 50% + BA 60%	AC	5,7%	1166,9	667,7	1179,7	511,9	2,280	2,344	17,817	2,74	84,63	95,00	1258,09	2,16	582,80	428,78
AB + FA 60%	BA		1166,7	654,8	1179,7	524,8	2,224	2,321	19,847	4,18	78,64	116,00	1536,19	2,17	708,66	461,25
BA 50% + FA 60%	BB		1184,3	654,0	1188,1	534,1	2,218	2,321	20,046	4,43	77,67	106,67	1412,39	2,41	589,27	444,46
BA 60% + FA 60%	BC		1162,9	689,1	1184,0	494,9	2,352	2,321	15,230	-1,30	109,91	110,33	1461,14	2,36	581,71	447,32
NILAI TERTINGGI			1184,3	689,1	1188,1	534,1	2,35	2,34	20,046	4,43	109,91	116,00	1536,19	2,36	708,66	461,25
NILAI TENGAH			1162,9	660,8	1179,7	514,5	2,25	2,32	19,047	3,92	79,17	95,00	1258,09	2,21	581,71	428,78
NILAI TERENDAH			1148,5	646,3	1163,7	494,9	2,22	2,31	15,230	-1,30	77,67	81,33	1077,10	2,10	513,07	406,59

Pada tabel 4.28 diatas, yaitu tabel rekapitulasi disini merupakan seluruh hasil data pengujian dari semua komposisi benda uji yang yang sudah dibuat dan direkap dalam bentuk tabel, disini dari 7 komposisi sample benda uji nilai yang terbaik yaitu pada komposisi normal dengan hasil rata - rata 417,78, dilanjutkan dengan komposisi kombinasi pasir + Bottom Ash% dengan hasil rata – rata 406,59, selanjutnya komposisi kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 50% dengan hasil rata – rata 411,86, komposisi kombinasi Fly Ash 50% + Bottom Ash 60% dengan hasil rata – rata 428,78, komposisi kombinasi Abu Batu + Fly Ash 50% dengan hasil rata – rata 461,25, komposisi kombinasi Bottom Ash 50% + Fly Ash 50% dengan hasil rata – rata 444,46, komposisi kombinasi Bottom Ash 50 + Fly Ash 60% dengan hasil rata – rata 447,32, maka tahap yang selanjutnya yaitu dibuat kedalam bentuk

grafik rekapitulasi yang dapat dilihat pada grafik 4.11 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Grafik 4.11. Hasil Rekapitulasi



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dari pengujian yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang, dapat disimpulkan bahwa :

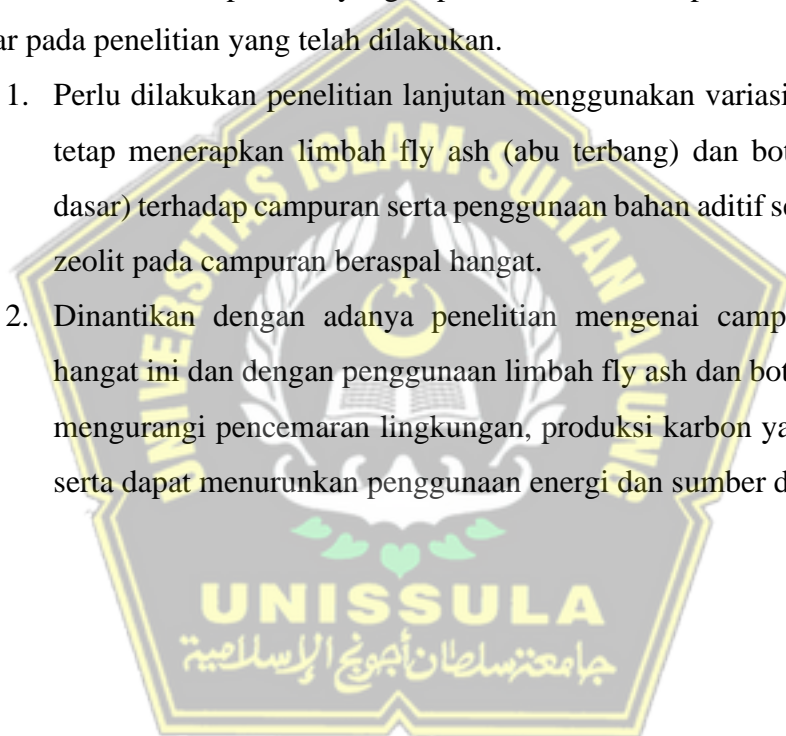
1. Berdasarkan hasil pengujian Marshall dan parameter Marshall, hasilnya menunjukkan bahwa nilai kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,7%. Pada komposisi normal dengan hasil VMA didapat sebesar 21,32%, hasil VIM didapat sebesar 4,43% dan untuk VFB mendapat hasil sebesar 84,13% sedangkan untuk hasil stabilitas 1297,811 kg/mm dan hasil flow 2,46 mm. Untuk MQ didapat hasil 630,8 kg/mm. Pada komposisi substitusi terbaik didapatkan pada komposisi abubatu dengan bottom ash 60% dan pasir 40% didapatkan hasil VMA didapat sebesar 20,91%, hasil VIM didapat sebesar 4,45% dan untuk VFB mendapat hasil sebesar 85,42% sedangkan untuk hasil stabilitas 1589,16 kg/mm dan hasil flow 2,35 mm. Untuk MQ didapat hasil 728,7 kg/mm. Dengan ini dapat ditarik kesimpulan bahwa hasil dari komposisi substitusi antara abu batu dengan bottom ash dapat nilai hasil yang lebih baik dari pada komposisi normal.
2. Untuk mendapatkan Job Mix Design (JMD) yang sesuai terhadap aspal Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) dengan material substitusi fly ash dan bottom ash. Pada campuran aspal normal disini komposisi hanya menggunakan campuran standar seperti yang sering kita lihat saat pembuatan aspal. Pada benda uji aspal kombinasi fly ash dan bottom ash disini komposisi hanya menggunakan campuran seperti pasir dengan substitusi fly ash 50% dan abubatu 50%, Selanjutnya pada benda uji aspal kombinasi fly ash dan bottom ash, komposisi menggunakan substitusi 60% bottom ash + 40% pasir dan fly ash 50% + abubatu 50%, Pada benda uji aspal kombinasi fly ash dan bottom ash, komposisi menggunakan substitusi 50% bottom ash + 50% pasir dan fly ash 50% + abubatu 50%, Untuk benda uji dengan komposisi abubatu hanya menggunakan substitusi bottom ash

50% dan pasir 50%, Selanjutnya pada benda uji aspal kombinasi fly ash dan bottom ash, komposisi menggunakan substitusi 60% fly ash + 40% abubatu dan bottom ash 50% + pasir 50%, Pada benda uji aspal kombinasi fly ash dan bottom ash, komposisi menggunakan substitusi 60% fly ash + 40% abubatu dan bottom ash 50% + pasir 50%, Untuk benda uji dengan komposisi substitusi 60% fly ash + 40% abubatu dan bottom ash 60% + pasir 40%, demikian lah Job Mix Design (JMD) pada penelitian kali ini.

5.2 Saran

Berikut ini ada beberapa saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut berdasar pada penelitian yang telah dilakukan.

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan menggunakan variasi aspal dengan tetap menerapkan limbah fly ash (abu terbang) dan bottom ash (abu dasar) terhadap campuran serta penggunaan bahan aditif seperti wax dan zeolit pada campuran beraspal hangat.
2. Dinantikan dengan adanya penelitian mengenai campuran beraspal hangat ini dan dengan penggunaan limbah fly ash dan bottom ash dapat mengurangi pencemaran lingkungan, produksi karbon yang berlebihan serta dapat menurunkan penggunaan energi dan sumber daya alam



DAFTAR PUSTAKA

- Anggara, F., Petrus, H. T. B. M., Besari, D. A. A., Manurung, H., & Saputra, F.Y.A. (2021) *Tinjauan Pustaka Karakteristik dan Potensi Pemanfaatan Fly Ash dan Bottom Ash (FABA)*.
- Diningrum, N. A. K., Pataras, M., & Kadarsa, E. (2021) *Kinerja Warm Mix Asphalt Flexible Pavement Menggunakan Fly Ash dan Bottom Ash PLTU Banjarsari Lahat (PT Bukit Asam) Pada Laston AC-BC*.
- FARAS, M. A., Pataras, M., & Kadarsa, E. (2020) 'Pengaruh Pemanfaatan Material Sisa Pembakaran Batubara (Fly Ash dan Bottom Ash) PLTU Banjarsari Kab.Lahat Terhadap Laston AC- WC Menggunakan Metode Marshall'.
- Haris Santoso, T., Basir, M., & Hendra Hermawan, O. (2020) *Pemanfaatan Limbah Bottom Ash Sebagai Bahan Campuran Agregat Halus Dengan Penambahan Tetes Tebu Pada Pembuatan Beton Terhadap Nilai Kuat Tekan Beton*.
- Hawari, F., & Lizar, L. (2021) 'Analisis Pengaruh Penggantian Filler Abu Sawit Fly Ash dan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Perkerasan Lentur (AC-WC)', 3.
- Indriani Santoso, Patrick Patrick, Andarias Andarias, & S.K.R. (2003) 'Pengaruh Penggunaan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton', 5.
- Indriyati, T. S., Malik, A., & Alwinda, Y. (2019) 'Kajian Pengaruh Pemanfaatan Limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Base Perkerasan Jalan', 13.
- Kartikasari, D., Sugeng, ; and Hartantyo, D. (2017) 'Penggantian Filler Dengan Fly Ash dan Serbuk Batu Bata Pada Campuran Aspal (AC-WC)', 1, pp. 35–44.
- Lizar (2017) *Analisis Pengaruh Perbedaan Sumber Fly Ash dan Bottom Ash Terhadap Karakteristik Perkerasan Lentur*.
- Putra, A. E., & Sholichin, I. (2021) 'Perbandingan Karakteristik Aspal Pertamina dengan Aspal Shell Sebagai Campuran Aspal Beton', 7.

- Rachman, F., Syammaun, T., & Heikal, F. (2019) '*Jurnal Teknik Sipil Pengaruh Limbah Batu Bara Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Pada Campuran Aspal Beton AC-WC*', 8.
- Rizky, N. (2021) '*Pengaruh Substitusi Styrofoam Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall*'.
- Samosir, F. A., Malik, A., & Alwinda, Y. (2021) '*Kajian Pemanfaatan Limbah FABA (Fly Ash dan Bottom Ash) Pada Konstruksi Lapisan Permukaan Jalan (Top Layer)*', 8.
- Setiobudi, A. (2018) '*Analisis Pembuatan Job Mix Formula Asphalt Concrete Binder Course (AC BC) di Pembangunan Jalan Tol Palembang -Simpang Indralaya (PALINDRA)*', 3(2).
- Sugeha, A. L. R., Eti, sulandari, & Rudi, S.S. (2018) '*Pemanfaatan Limbah Abu Batu Bara Sebagai Filler Pada Campuran Laston*'.
- Umrah, M.U. (2015) '*Analisa Karakteristik Campuran Aspal Beton AC- WC Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Bottom Ash*'.

