

TUGAS AKHIR

ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH ABU BATU (*FLY ASH*) DAN BAN BEKAS (*RECYCLE TIRE*)

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



Disusun Oleh :

Ardhyansyah

NIM : 30202100038

Muhammad Syaifullah Ariendy

NIM : 30202100150

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*
(AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH ABU BATU (*FLY ASH*)
DAN BAN BEKAS (*RECYCLE TIRE*)



Ardhyansyah
NIM : 30202100038



Muhammad Syaifullah Ariendy
NIM : 30202100150

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2025

Tim Penguji

1. **Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.**
NIDN: 0611118903
2. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**
NIDN: 0608067601

Tanda Tangan

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 : 34 / A.2 / SA – T / I / 2025

Pada hari ini tanggal, 30 Januari 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing :

Nama : Dr. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.

Jabatan Akademik : Lektor

Jabatan : Dosen Pembimbing

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

Ardhyansyah

NIM : 30202100038

Muhammad Syaifullah Ariendy

NIM : 30202100150

Judul : Analisis *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) Modifikasi Dengan Bahan Tambah Abu Batu (*Fly Ash*) dan Ban Bekas (*Recycle Tire*)

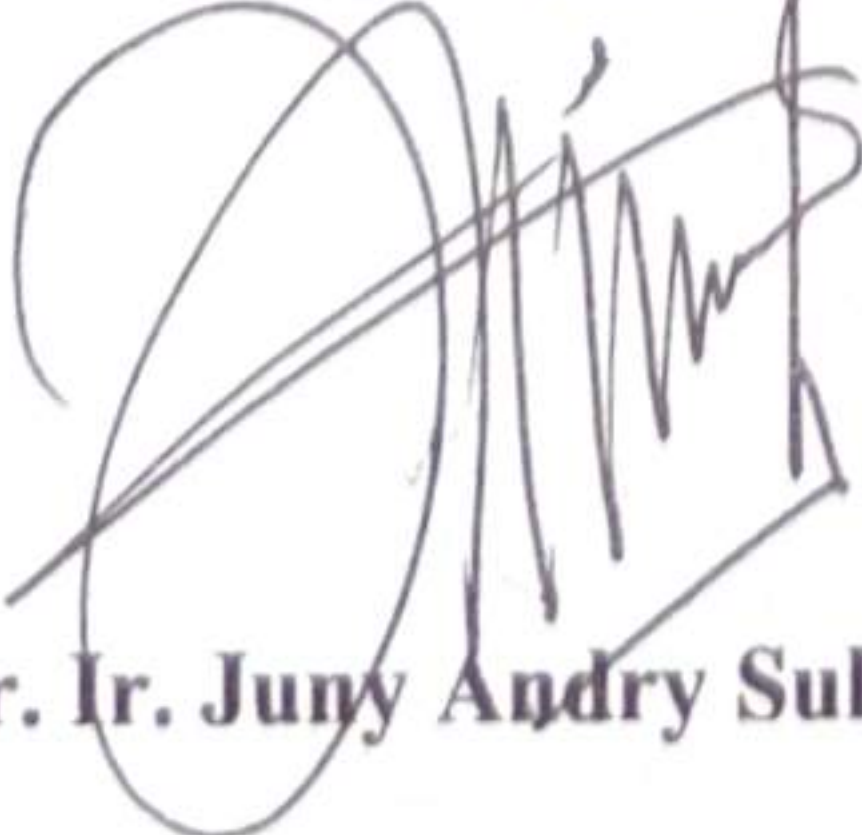
Dengan tahapan Sebagai Berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	30/10/2024	ACC
2	Seminar Proposal	26/11/2024	ACC
3	Pengumpulan Data	3/12/2024	ACC
4	Analisis Data	20/12/2024	ACC
5	Penyusunan Laporan	22/12/2024	ACC
6	Selesai Laporan	12/1/2025	ACC

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

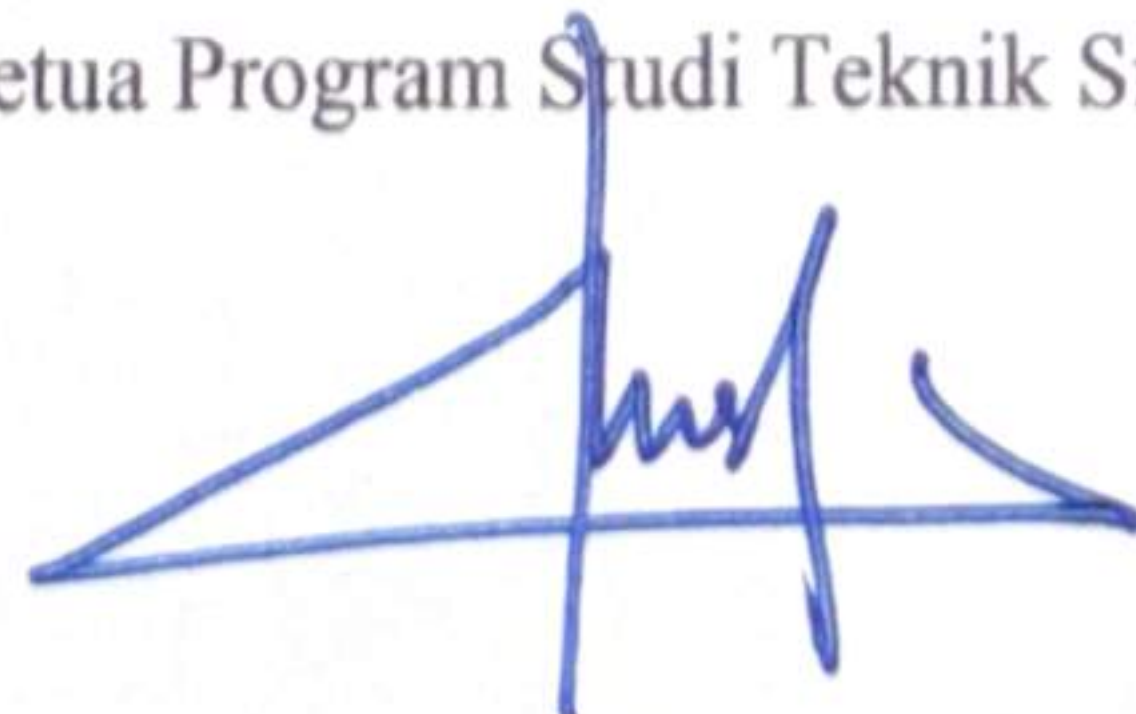
Mengetahui,

Dosen Pembimbing



Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT.

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Ardhyansyah
NIM : 30202100038
2. NAMA : Muhammad Syaifullah Ariendy
NIM : 30202100150

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH ABU BATU (*FLY ASH*) DAN BAN BEKAS (*RECYCLE TIRE*)

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, 2025

Yang membuat Pernyataan,



Ardhyansyah

NIM : 30202100038

Muhammad Syaifullah Ariendy

NIM : 30202100150

MOTTO

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

“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)

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبَثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ

“Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.” (QS. Al A’raf : 58)

مِنْهَا خَلَقْنَاكُمْ وَفِيهَا نُعِيدُكُمْ وَمِنْهَا نُخْرِجُكُمْ تَارَةً أُخْرَى

“ Dari bumilah Kami ciptakan kamu, dan ke dalamnya Kami akan mengembalikan kamu, dan daripadanya pula Kami akan mengeluarkan kamu sekali lagi.” (QS. At Taha : 55)

فَإِنْ لَمْ تَفْعَلُوا وَلَنْ تَفْعَلُوا فَاتَّقُوا النَّارَ الَّتِي وَقُودُهَا النَّاسُ وَالْحِجَارَةُ أُعِدَّتْ لِلْكَافِرِينَ

“Maka jika kamu tidak dapat membuat(nya) – dan pasti kamu tidak akan dapat membuat(nya), peliharalah dirimu dari neraka yang bahan bakarnya manusia dan batu, yang disediakan bagi orang-orang kafir” (QS. Al-Baqarah : 24)

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

“waktu itu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu”. (HR. Muslim)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, Serta Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Dengan ini, saya persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada :

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, Bapak dan Ibu yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moril maupun materil untuk selalu terikat dengan hukum syara' dan menjadi orang yang bahagia di dunia maupun di akhirat.
2. Adik-adikku tersayang yang memberikan dukungan serta semangat agar terus menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Juny Andry Sulistyo, ST., MT selaku dosen peinbimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Partner Skripsi saya sekaligus cs Muhammad Syaifullah Ariendy yang telah bekerja keras untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu Mas Daryanto dan teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
6. Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Unissula Angkatan 2021 dan Teman-teman saya di luar kampus yang turut memberikan semangat.
7. Teman Sekaligus Saudara Aliansi21 yang selalu memberi dorongan dan mendoakan untuk mengerjakan Tugas Akhir.
8. Sahabat Keluarga Pak Gik yang selalu memberikan support dan bantuan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

Ardhyansyah
NIM : 30202100038

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, Serta Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Dengan ini, saya persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada :

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, Bapak dan Ibu yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moril maupun materil untuk selalu terikat dengan hukum syara' dan menjadi orang yang bahagia di dunia maupun di akhirat.
2. Adik-adikku tersayang yang memberikan dukungan serta semangat agar terus menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Partner Skripsi saya sekaligus cs Ardhyansyah yang telah bekerja keras untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu Mas Daryanto dan teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
6. Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Unissula Angkatan 2021 dan Teman-teman saya di luar kampus yang turut memberikan semangat.
7. Teman Sekaligus Saudara Aliansi21 yang selalu memberi dorongan dan mendoakan untuk mengerjakan Tugas Akhir.
8. Sahabat Keluarga Pak Gik yang selalu memberikan support dan bantuan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

Muhammad Syaifullah Ariendy
NIM : 30202100150

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum 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 “Analisis *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan Bahan Tambah Abu Batu (*Fly Ash*) dan Ban Bekas (*Recycle Tire*)” guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung. Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penyusun memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua saya yang telah mendukung dan memberikan bantuan materil serta kasih sayang kepada saya.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT., selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
3. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan wawasan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menempuh Program Studi S-1 Teknik Sipil.

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 para pembaca.

Wassalamualaikum Wr.Wb

Semarang,

2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
ABSTRAK	xvii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan	3
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1. Pengertian Aspal (AC-WC)	5
2.2. Karakteristik Material dalam Aspal Beton.....	6
2.2.1. Aspal	6
2.2.2. Agregat.....	9
2.2.2.1. Agregat Kasar.....	9
2.2.2.2. Agregat Halus.....	10
2.2.3. Gradasi Agregat	11
2.2.4. Bahan Pengisi.....	12
2.2.5. <i>Fly Ash</i> Sebagai Substitusi Abu Batu.....	12
2.2.6. Ban Bekas (<i>Recycle Tire</i>) Sebagai Bahan Tambahan	14
2.2.7. Campuran Aspal Panas (<i>Hot Mix</i>).....	14
2.2.8. Campuran AC-WC.....	15
2.2.9. <i>Marshall Test</i>	16
2.2.10. Keaslian Tugas Akhir.....	19
 BAB III METODOLOGI.....	 24
3.1. Metode Pengujian.....	24
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	24
3.2.1. Bahan Penelitian	24
3.2.2. Peralatan Penelitian	25
3.3. Keperluan dan Analisis Data.....	26

3.3.1. Keperluan Data.....	26
3.3.2. Analisis Data	26
3.4. Tahap Rencana Penelitian	27
3.5. Pengumpulan Data	28
3.6. Prosedur Penyusunan Penelitian	29
3.7. Pemeriksaan Karakteristik Material	30
3.7.1. Pemeriksaan Karakteristik Material	30
3.7.2. Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal	31
3.8. Pembuatan Benda Uji Kadar Aspal	31
3.9. Rancangan Campuran Aspal Beton (<i>Job Mix Design</i>)	33
3.10. Prosedur Kerja.....	43
3.10.1. Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>).....	43
3.10.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji.....	43
3.10.3. Metode Pengujian Sampel	44
3.10.4. Pengujian <i>Stability</i> dan <i>Flow</i>	45
3.11. Metode Analisis	46
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	 48
4.1. Persiapan Material.....	48
4.2. Hasil Pengujian Agregat	49
4.2.1. Pengujian Agregat $\frac{3}{4}$	50
4.2.2. Pengujian Agregat $\frac{1}{2}$	50
4.2.3. Pengujian Abu Batu	51
4.2.4. Pengujian Pasir.....	51
4.2.5. Pengujian <i>Filler</i> Semen.....	52
4.2.6. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70	53
4.3. Hasil Perhitungan Kombinasi	54
4.4. Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal Komposisi Normal.....	56
4.5. Pengujian kadar Aspal dan Ekstrasi (SNI 03-3640-1994)	56
4.5.1. Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum	57
4.5.2. Ringkasan Hasil Pengujian AC – WC	59
4.6. Pembuatan Benda Uji.....	60
4.7. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi.....	61
4.8. Hasil Pemeriksaan <i>Marshall Test</i>	62
4.8.1. Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Modifikasi <i>Fly Ash</i> dan Ban Bekas	62
4.8.2. Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Fly Ash</i> 0% dan Ban Bekas 0%,2%,4%,6%)	65
4.8.3. Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Fly Ash</i> 2% dan Ban Bekas 0%,2%,4%,6%)	69
4.8.4. Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Fly Ash</i> 4% dan Ban Bekas 0%,2%,4%,6%)	73
4.8.5. Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Fly Ash</i> 6% dan Ban Bekas 0%,2%,4%,6%)	77
4.9. Ulasan Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Semua Variasi Bahan tambah	81

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	88
5.1. Kesimpulan	88
5.2. Saran.....	88

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Pengujian Aspal.....	8
Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar	10
Tabel 2.3. Persyaratan Agregat Halus.....	10
Tabel 2.4. Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal Beton.....	12
Tabel 2.5. Ketentuan Campuran Laston.....	16
Tabel 3.1. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kadar Aspal 4%	31
Tabel 3.2. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kadar Aspal 4,5% ..	32
Tabel 3.3. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kadar Aspal 5%	32
Tabel 3.4. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kadar Aspal 5,5% ..	32
Tabel 3.5. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kadar Aspal 6%	33
Tabel 3.6. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 0% dan Recycle Tire 0%.....	33
Tabel 3.7. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 0% dan Recycle Tire 2%.....	34
Tabel 3.8. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 0% dan Recycle Tire 4%.....	34
Tabel 3.9. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 0% dan Recycle Tire 6%.....	35
Tabel 3.10. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 2% dan Recycle Tire 0%	35
Tabel 3.11. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 2% dan Recycle Tire 2%	36
Tabel 3.12. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 2% dan Recycle Tire 4%	36
Tabel 3.13. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 2% dan Recycle Tire 6%	37
Tabel 3.14. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 4% dan Recycle Tire 0%	37
Tabel 3.15. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 4% dan Recycle Tire 2%	38
Tabel 3.16. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 4% dan Recycle Tire 4%	38
Tabel 3.17. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 4% dan Recycle Tire 6%	39
Tabel 3.18. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 6% dan Recycle Tire 0%	39
Tabel 3.19. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 6% dan Recycle Tire 2%	40
Tabel 3.20. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 6% dan Recycle Tire 4%	40
Tabel 3.21. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Fly Ash 6% dan Recycle Tire 6%	41
Tabel 3.22. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	42
Tabel 4.1. Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanik Agregat.....	49

Tabel 4.2. Hasil Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/AAS HTO T.27-88)	50
Tabel 4.3. Hasil Analisa Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/AAS HTO T.27-88)	50
Tabel 4.4. Hasil Analisa Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/AAS HTO T.27-88)	51
Tabel 4.5. Hasil Analisa Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/AAS HTO T.27-88)	52
Tabel 4.6. Hasil Analisa Analisa Pembagian Butiran (SNI 03-1968-1990/AAS HTO T.27-88)	52
Tabel 4.7. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Aspal Pertamina Pen 60/70	53
Tabel 4.8. Perhitungan Kombinasi Agregat.....	54
Tabel 4.9. Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan (SNI 03-1968-1990/AAS HTO T.27-88)	54
Tabel 4.10. Perhitungan Kombinasi Agregat.....	56
Tabel 4.11. Pengujian Ekstrasi.....	56
Tabel 4.12. Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	57
Tabel 4.13. Rencana Benda Uji.....	60
Tabel 4.14. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran GMM Pada Aspal Modifikasi	61
Tabel 4.15. Hasil <i>Marshall</i> Modifikasi.....	63
Tabel 4.16. Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Fly Ash</i> 0% dan Ban Bekas 0%,2%,4%, 6%	65
Tabel 4.17. Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Fly Ash</i> 2% dan Ban Bekas 0%,2%,4%, 6%	69
Tabel 4.18. Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Fly Ash</i> 4% dan Ban Bekas 0%,2%,4%, 6%	73
Tabel 4.19. Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Fly Ash</i> 6% dan Ban Bekas 0%,2%,4%, 6%	77
Tabel 4.20. Ulasan Uji <i>Marshall</i> Semua Variasi Bahan Tambah.....	81

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1. Gradasi Agregat	55
Grafik 4.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum	59
Grafik 4.3. Nilai VMA	65
Grafik 4.4. Nilai VIM	66
Grafik 4.5. Nilai VFA	66
Grafik 4.6. Nilai Stabilitas	67
Grafik 4.7. Nilai <i>Flow</i>	67
Grafik 4.8. Nilai MQ	68
Grafik 4.9. Nilai VMA	69
Grafik 4.10. Nilai VIM	70
Grafik 4.11. Nilai VFA	70
Grafik 4.12. Nilai Stabilitas	71
Grafik 4.13. Nilai <i>Flow</i>	71
Grafik 4.14. Nilai MQ	72
Grafik 4.15. Nilai VMA	73
Grafik 4.16. Nilai VIM	74
Grafik 4.17. Nilai VFA	74
Grafik 4.18. Nilai Stabilitas	75
Grafik 4.19. Nilai <i>Flow</i>	75
Grafik 4.20. Nilai MQ	76
Grafik 4.21. Nilai VMA	77
Grafik 4.22. Nilai VIM	78
Grafik 4.23. Nilai VFA	78
Grafik 4.24. Nilai Stabilitas	79
Grafik 4.25. Nilai <i>Flow</i>	79
Grafik 4.26. Nilai MQ	80
Grafik 4.27. Nilai VMA Semua Variasi Bahan Tambah	82
Grafik 4.28. Nilai VIM Semua Variasi Bahan Tambah	83
Grafik 4.29. Nilai VFA Semua Variasi Bahan Tambah	84
Grafik 4.30. Nilai Stabilitas Semua Variasi Bahan Tambah	85
Grafik 4.31. Nilai <i>Flow</i> Semua Variasi Bahan Tambah	86
Grafik 4.32. Nilai MQ Semua Variasi Bahan Tambah	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test.....	18
Gambar 4.1. Pengambilan Material	48
Gambar 4.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	58



**ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE
(AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH ABU BATU (FLY ASH)
DAN BAN BEKAS (RECYCLE TIRE)**

Abstrak

Seiring dengan bertambahnya jumlah pengendara motor, tingkat jumlah ban bekas (*recycle tire*) juga semakin tinggi. Untuk mengatasinya dalam dunia konstruksi dilakukan berbagai inovasi mengenai Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan bahan tambah. Abu batu (*fly ash*) digunakan sebagai alternatif bahan pengisi dan ban bekas (*recycle tire*) menjadi inovasi yang dikembangkan dalam pencampuran AC - WC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas dan *Job Mix Formula* terbaik.

Penelitian ini menentukan *Job Mix Design* dengan 63 sampel, mengukur berat sampel kondisi kering, dan *Saturated Surface-Dry* (SSD). Untuk mengetahui karakteristik bahan tambah dilakukan *Marshall Test*. Sampel direndam di *waterbath* pada suhu 60°C dan setelahnya dilakukan *Marshall Test* untuk mengukur stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFA dan MQ yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2).

Berdasarkan *Job Mix Design* komposisi terbaik ditemukan pada sampel 2 dengan penambahan abu batu (*fly ash*) 4% dan ban bekas (*recycle tire*) 4%, yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018 (revisi 2). Hasil uji *Marshall* terbaik ada pada variasi ini yaitu 4,32% untuk VIM; 15,5% untuk VMA; 72,12% untuk VFA; 1730 kg untuk stabilitas; 4 mm untuk *Flow* dan 426,92 kg/mm untuk MQ. Komposisi abu batu (*fly ash*) 6% dan ban bekas (*recycle tire*) 6% menunjukkan stabilitas tertinggi yaitu 1740 kg, yang memenuhi kriteria minimum stabilitas sebesar 800 kg.

Kata Kunci: AC-WC, *fly ash*, ban bekas, nilai *marshall*.

**ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE ANALYSIS
(AC-WC) WITH ADDED STONE ASH (FLY ASH)
AND USED TIRES (RECYCLE TIRE)**

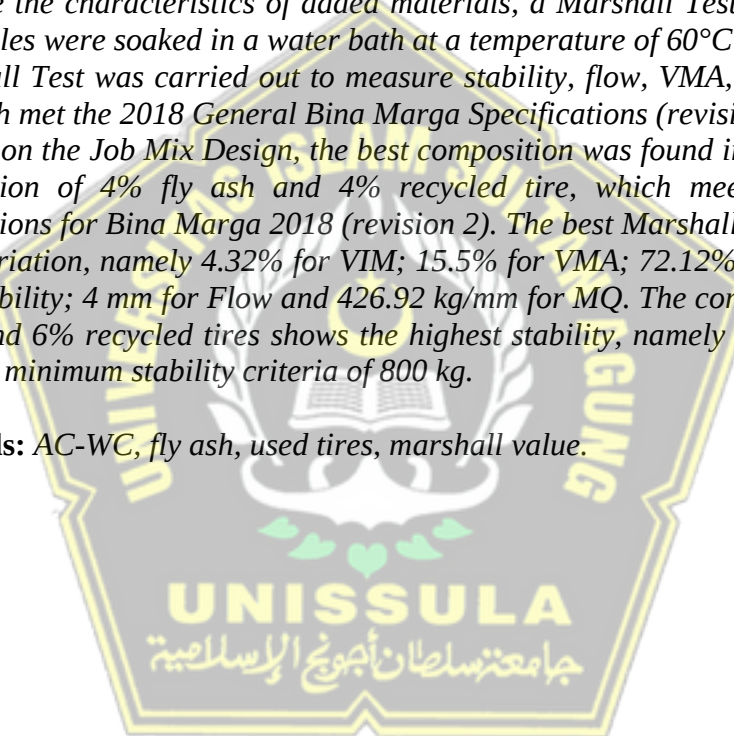
Abstrak

As the number of motorbike riders increases, the number of used tires (recycled tires) is also increasing. To overcome this, in the world of construction, various innovations have been carried out regarding the Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) with added materials. Stone ash (fly ash) is used as an alternative filling material and used tires (recycled tires) are an innovation developed in AC - WC mixing. This research aims to determine the stability and best Job Mix Formula.

This research determined the Job Mix Design with 63 samples, measuring the weight of the samples in dry conditions, and Saturated Surface-Dry (SSD). To determine the characteristics of added materials, a Marshall Test is carried out. The samples were soaked in a water bath at a temperature of 60°C and afterwards a Marshall Test was carried out to measure stability, flow, VMA, VIM, VFA and MQ which met the 2018 General Bina Marga Specifications (revision 2).

Based on the Job Mix Design, the best composition was found in sample 2 with the addition of 4% fly ash and 4% recycled tire, which meets the general specifications for Bina Marga 2018 (revision 2). The best Marshall test results are in this variation, namely 4.32% for VIM; 15.5% for VMA; 72.12% for VFA; 1730 kg for stability; 4 mm for Flow and 426.92 kg/mm for MQ. The composition of 6% fly ash and 6% recycled tires shows the highest stability, namely 1740 kg, which meets the minimum stability criteria of 800 kg.

Keywords: AC-WC, fly ash, used tires, marshall value.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Di era masa mendatang ini, pembangunan infrastruktur menjadi sebuah komponen utama pertumbuhan ekonomi. Namun demikian, proses konstruksi, termasuk pembangunan jalan, sering kali memiliki efek lingkungan yang signifikan. Sangat penting untuk menggunakan bahan konstruksi yang lebih ramah lingkungan karena limbah dan bahan-bahan tidak terpakai sering kali menyebabkan pencemaran dan penumpukan limbah.

Ban Bekas (*Recycle Tire*) menjadi bahan tambah di aspal juga semakin populer. menunjukkan bahwa memasukkan ban bekas (*recycle tire*) ditambahkan dalam campuran aspal menambahkan daya tahan aspal yang tahan terhadap deformasi dan retak, terutama di daerah yang sering terkena beban lalu lintas tinggi. Hal ini membuat jalan lebih awet dan mengurangi frekuensi pemeliharaan (Chin et al, 2018). Menyimpulkan bahwa karbon terdapat dalam serbuk karet dan ban bekas Karbon: 32,19%, Silikat: 1,6%, Sulfur: 2,13%, dan Karet: 64,04% (Setia, 2010).

Fly ash adalah limbah yang dihasilkan dari pembakaran batu bara yang sering dihasilkan dari pembangkit listrik, mereka menemukan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai dalam gabungan tambahan aspal tidak hanya memberikan dampak positif terhadap kekuatan tetapi juga memperbaiki sifat tahan terhadap air dan perubahan suhu (Hassani et al, 2018). *Fly ash* tersusun atas SiO_2 (silika), Al_2O_3 (alumina), Fe_2O_3 (besi oksida), karbon, kalsium, magnesium dan belerang. Jenis batu bara yang dibakar, teknik penyimpanan, penanganannya memengaruhi sifat kimia pada *fly ash* (Nurhayati et al, 2013).

Merupakan salah satu dari campuran aspal yang digunakan untuk menutup permukaan jalan adalah *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Mengatasi beban lalu lintas yang tinggi dan berbagai kondisi cuaca, kualitas dan ketahanan kombinasi ini sangat penting. Diharapkan bahwa campuran ini akan lebih baik dengan penambahan *fly ash* dan ban bekas, yang berarti jalan akan lebih tahan lama dan berkelanjutan.

Meskipun penggunaan *fly ash* dan ban bekas (*recycle tire*) dalam campuran aspal memiliki prospek yang menjanjikan, ada beberapa tantangan untuk melakukannya. Standar dan spesifikasi teknis, pengujian kualitas, dan persetujuan dari pihak terkait, seperti kontraktor dan pemerintah, adalah masalah-masalah tersebut. Oleh karena itu, penting bagi penelitian ini untuk menyediakan informasi dan analisis menyeluruh tentang sifat dan kinerja campuran aspal yang dibuat dengan kedua material ini.

Penelitian ini diharapkan akan membantu menciptakan teknologi material aspal yang lebih ramah lingkungan dan menjadi acuan bagi kebijakan pengelolaan limbah di industri konstruksi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya akan memecahkan masalah limbah tetapi juga akan membantu membangun infrastruktur yang lebih berkelanjutan.

1.2. Rumusan Masalah

Untuk menjawab pertanyaan yang muncul dari latar belakang di atas, maka penelitian ini akan mengkaji rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana stabilitas campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan komponen tambahan Abu Batu (*Fly Ash*) dan Ban Bekas (*Recycle Tire*).
2. Bagaimana analisis campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan bahan tambah Abu Batu (*Fly Ash*) dan Ban Bekas (*Recycle Tire*).

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan dengan permasalahan yang telah diidentifikasi, tujuan penelitian ini adalah :

1. Memahami stabilitas pencampuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC – WC) dengan bahan tambahan Abu Batu (*Fly Ash*) dan Ban Bekas (*Recycle Tire*).
2. Mendapatkan *Job Mix Formula* terbaik dari pencampuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC – WC) dengan bahan tambahan Abu Batu (*Fly Ash*) dan Ban Bekas (*Recycle Tire*).

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan menghasilkan beberapa manfaat, antara lain:

1. Memperluas pengetahuan di bidang Teknik Sipil, khususnya dalam pengembangan inovasi perkerasan jalan dengan penambahan Abu Batu (*Fly Ash*) dan Ban Bekas (*Recycle Tire*).
2. Diharapkan memberi tambahan ilmu pengetahuan yang baru dalam bidang Teknik sipil, khususnya dalam kaitannya terhadap perkerasan jalan, sehingga dapat memberikan Solusi terhadap permasalahan kualitas jalan dengan menggunakan bahan alternatif

1.5. Batasan Masalah

Studi tugas akhir ini mencakupi tentang komposisi benda uji *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan bahan tambah Abu Batu (*Fly Ash*) dan Ban Bekas (*Recycle Tire*), sehingga pengujiannya meliputi :

1. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Perkerasan Jalan yang dimiliki oleh Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Material berupa agregat, *Asphalt* Penetrasi 60/70, Abu Batu (*Fly Ash*) dan Ban Bekas (*Recycle Tire*).
3. Pembuatan benda uji terdiri dari masing-masing komposisi campuran *Asphalt*.
4. Pengujian menggunakan alat Marshall Test ini hanya dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Sultan Agung Semarang.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika disusun sebagai pedoman penulisan agar tetap terarah untuk mencapai tujuan penelitian sebagai berikut :

BAB 1 : PENDAHULUAN

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

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini bertujuan untuk memberikan landasan teoretis yang kuat bagi penelitian ini dengan merangkum hasil-hasil penelitian terdahulu dan mengembangkan kerangka berpikir yang relevan dengan permasalahan yang dikaji.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menyajikan secara rinci desain penelitian yang telah dilakukan, mencakup metode penelitian yang digunakan, teknik pengumpulan data, serta prosedur pengujian yang diterapkan. Disajikan pula penjelasan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam setiap tahap penelitian, mulai dari perencanaan hingga analisis data.

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 marshal dan akan didapat nilai kadar aspal optimal.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan menjelaskan secara ringkas hasil dari semua percobaan yang telah dilakukan. Kita akan melihat apakah hasil percobaan ini bisa diterapkan atau tidak, dan apakah bisa membantu mengurangi limbah. Selain itu, kita juga akan memberikan saran-saran untuk penelitian selanjutnya agar hasilnya bisa lebih baik lagi.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pengertian Aspal Beton (AC – WC)

Perkerasan jalan bebas hambatan merupakan bagian dari jalan bebas hambatan yang diaspal berlapis-lapis dengan struktur unik yang juga memiliki stabilitas, kekuatan dan ketebalan tertentu untuk mendistribusikan beban lalu lintas dan menyalurkannya dengan aman ke tanah dasar. Lapisan aspal letaknya diantara roda kendaraan dan lapisan tanah dasar yang mampu memberikan jenis bantuan kesarana transportasi dan ketika bantuan diberikan lapisan aspal tidak mengalami kerusakan serius. Agar aspal jalan sesuai dengan kualitas normalnya, informasi tentang ide perolehan dan penanganan bahan penyusun aspal jalan sangatlah mendasar. (Serli Carlina, 2013).

AC-WC (asphalt Concrete—wearing course), juga dinamakan aspal beton, adalah jenis perkerasan yang paling umum digunakan ketika membangun infrastruktur jalan. AC-WC adalah campuran agregat mineral, aspal, dan filler yang dicampur melalui proses pencampuran dan pemadatan untuk membentuk lapisan atas jalan. Karakter mekanisme yang baik meliputi ketahanan terhadap beban lalu lintas, kemampuan meredam getaran, dan ketahanan terhadap penurunan.

Menurut Bina Marga (2018), terdapat tiga lapisan pada lapis aspal beton (laston) salah satunya adalah lapisan lapis Aspal Beton (*Asphalt Concrete – Wearing Course*), AC – WC. Tiga lapis laston diantaranya: AC – WC, AC Lapis Antara (*AC – Binder Course*), dan AC Lapis Fondasi (*AC – Base*). Menurut Pusjatan (2019), campuran aspal yang merupakan kombinasi dari aspal dan agrerat disebut laston. Sebagai bahan pengikat aspal berfungsi sebagai lem antar partikel agregat, dan agregat berperan sebagai tulangan.

2.2. Karakteristik Material dalam Aspal Beton

2.2.1. Aspal

Aspal adalah material pengikat yang digunakan dalam konstruksi, terutama untuk perkerasan jalan. Ini dibuat oleh proses penyulingan minyak bumi dan memiliki sifat fisik dan kimia yang ideal dan membuatnya cocok untuk campuran beton aspal.

Aspal adalah material berwarna coklat tua atau hitam dengan bentuk padat hingga agak padat yang bergantung pada suhu. Saat digunakan untuk mencampur beton, aspal dipanaskan pada suhu ditetapkan untuk membuatnya lunak dan cair, yang memungkinkannya masuk ke pori-pori agregat dan membungkusnya. Saat suhu turun, aspal akan kembali mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya.

Pada konstruksi perkerasan jalan aspal berfungsi sebagai:

a. Bahan Pengikat

Aspal dapat membentuk lapisan kuat yang dapat menahan beban lalu lintas dan meredam tekanan dari kendaraan karena sifatnya yang lengket dan rekat yang memungkinkannya mengikat bersama berbagai material.

b. Bahan Pengisi

Aspal dapat digunakan sebagai pengisi untuk mengisi celah antara agregat mineral dalam bahan campuran aspal beton (AC). Ini meningkatkan kepadatan campuran dan meningkatkan kekuatan dan stabilitas perkerasan jalan.

Aspal yang baik harus memenuhi kriteria untuk melengkapi kedua fungsi aspal tersebut. Aspal yang baik harus memiliki adhesi dan kohesi yang baik antara partikel agregat, viskositas yang sesuai, kandungan bitumen yang ideal, tahan terhadap cuaca, Mampu menahan beban kendaraan dengan baik tanpa mengalami kerusakan yang signifikan, dan memberikan sifat tahan air pada perkerasan. Berdasarkan asal diperolehnya, terdapat 2 jenis aspal, yaitu :

a. Aspal alam

Bahan alam yang dihasilkan melalui proses alami di mana minyak bumi dan bahan organik lainnya diuraikan di bawah tekanan dan panas dalam jangka waktu yang

lama, menghasilkan bahan padat yang lengket dan rekat. Aspal alami ini biasanya ditemukan di danau atau gunung.

b. Aspal minyak

Dikenal sebagai bitumen minyak, aspal ini merupakan komponen kental yang ditemukan dalam minyak bumi mentah. Ini adalah salah satu komponen utama dalam pembentukan aspal alam dan juga digunakan sebagai bahan dasar dalam produksi aspal buatan manusia.

Pemeriksaan aspal antara lain terdiri dari :

a. Penetrasi

Pengujian penetrasi menggunakan alat penetrometer pada suhu 25°C dengan beban 100 gr selama 5 detik, dan dilakukan sebanyak 5 kali. Dari pengujian ini didapatkan nilai penetrasi.

b. Titik Lembek

Titik ini menunjukkan suhu di mana aspal mulai mengalami perubahan dari kondisi keras menjadi lebih lunak dan mengalir. Tujuan dari investigasi ini adalah untuk menentukan suhu sebagai akibat dari percepatan pemanasan tertentu, bola baja mendorong pelapisan aspal di dalam ring hingga aspal bertemu dengan bagian bawah pelat yang berada di bawah ring pada jarak satu (inci). Bola baja memiliki diameter 9,53 mm dan berat 3,45 hingga 3,55 gram. Untuk memastikan batas kekerasan aspal, pengujian ini diperlukan. Titik lembek diukur mulai dari suhu 5°C, yang merupakan suhu maksimum dimana kualitas termoplastik aspal dapat menyebabkan aspal menjadi kaku. Syarat titik lembek untuk aspal keras tipe penetrasi 60/70 adalah antara 48°C dan 58°C.

c. Titik Nyala

Suhu minimum dimana uap dari aspal dapat menyala ketika terkena sumber api. Pemeriksaan ini dilakukan untuk memastikan tingkat suhu di mana titik nyala pertama pada permukaan aspal terjadi serta suhu di mana nyala api pertama kali muncul di atasnya. Suhu tertinggi di mana aspal dapat dipanaskan sebelum terbakar dapat ditentukan dengan mengukur titik nyala dan titik bakar aspal.

d. Kehilangan Berat

Untuk mengetahui seberapa banyak berat aspal yang hilang akibat penguapan unsur-unsur penyusun aspal yang mudah menguap. Kehilangan berat aspal maksimum adalah 0,8% dari berat awal karena memanaskan aspal dalam oven dengan suhu 163°C selama 4,5-5 jam akan menyebabkan reaksi pada elemen penyusun aspal. Hal ini tidak diharapkan terjadi pada lapisan perkerasan lentur yang terbuat dari aspal.

e. Daktilitas Aspal

Ukuran kemampuan aspal untuk mengalami deformasi plastis tanpa mengalami keretakan saat diberi beban. Dengan kecepatan tarikan 5 cm/menit, pengujian ini bertujuan untuk menentukan jarak maksimum yang dapat ditarik pada cetakan berisi aspal sebelum pecah pada suhu 25°C. Aspal dengan penetrasi 60/70 harus memiliki nilai tarik minimal 100 cm.

f. Berat Jenis Aspal

Aspal pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sebagaimana mestinya dengan kondisi yang ada seperti pada tabel berikut :

Tabel 2.1. Spesifikasi Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25°C (0,1mm)	SNI 2456:2011	60-70
2.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 54
3.	Indeks Penetrasi	-	≥ -1,0
4.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5.	Titik Nyala	SNI 2433:2011	≥ 232
6.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
7.	Berat yang hilang	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6

Pada suhu ruang, aspal adalah material termoplastis yang berbentuk padat sampai agak padat. Sebagian besar interaksi fisika-kimia dalam aspal menghilang atau bahkan tidak ada sama sekali ketika dipanaskan. Bagian-bagian rantai molekul tunggal lebih mudah bergerak dalam kondisi ini. Akibatnya, kekakuan dan kekentalan rantai molekul menjadi lebih rendah.

2.2.2. Agregat

Agregat adalah mineral padat berukuran besar atau kecil dalam bentuk koloid atau fragmen, seperti kerikil, pasir, batu pecah halus, atau mineral lainnya yang berasal dari alam atau buatan. Agregat membentuk sebagian besar struktur perkerasan, mencakup 75% hingga 85% dari dasar persen massa atau 90% hingga 95% dari dasar persen berat. Oleh karena itu, kualitas trotoar dipengaruhi oleh sifat agregat dan hasil pencampurannya dengan bahan lain. . Tingkat, kebersihan, kekerasan, kekuatan komposit, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kapasitas penyerapan udara, berat jenis, dan daya lekat aspal adalah semua faktor yang mempengaruhi kualitas perkerasan jalan. Karena aspal lebih tipis, perkerasan dengan banyak pori-pori menjadi lebih parah . Nilai serapan agregat sendiri, yaitu perubahan berat agregat karena udara menyerap pori-pori bersama agregat saat kering,

dihitung dengan persamaan berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \dots \dots \dots (2.1)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{B_s}{B + B_s - B_t} \times 10\% \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

- B : Berat piknometer berisi air (gr)
- B_t : Berat piknometer berisi benda uji dan air (gr)
- B_s : Berat Sampel (gr)
- B_j : Berat sampel kering permukaan jenuh (gr)
- B_k : Berat sampel kering oven (gr)

2.2.2.1 Agregat Kasar

Bagian kasar dari campuran sampel tetap berada di saringan no. 4 (4,75 mm), tahan lama, keras, bersih, dan tidak basah serta bebas dari tanah liat dan bahan lain Dimana harus dalam kondisi tertentu. Fraksi kasar adalah batu pecah yang diproses dan di produksi dengan ukuran yang normal selaras dengan campuran yang dimaksud. (Banurea, 2020). Agregat kasar harus memiliki sudut yang dipersyaratkan, agregat kasar dimaknai dengan persentase berat agregat yang lebih

besar dari 4,75 mm dengan satu atau lebih permukaan datar pecah didasarkan pada pengujian menurut SNI 7619:2012. (Banurea, 2020).

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekokalan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
		magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 ^{*)}
		Lainnya		95/90 ^{**)}
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	SNI 8287: 2016 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber : Bina Marga 2020 revisi 2

2.2.2.2 Agregat Halus

Pasir bersih biasanya disaring sebagai kombinasi, dengan agregat halus tertinggal di saringan No. 200 setelah melewati saringan No. 4. (Banurea, 2020). Agregat yang tahan lama, keras dan bersih harus terhindar dari bahan organik dan lumpur. Butiran yang melewati saringan 40 tidak boleh plastis atau masih dalam ketahanan kelenturan, konvergensi butiran halus tidak dibatasi kecuali material yang lolos ayakan 200.

Tabel 2.3. Persyaratan Agregat Halus

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

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 perkerasan Aspal

2.2.3. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah faktor yang perlu diperhatikan pada penentuan stabilitas perkerasan. Jumlah rongga antar butir memengaruhi gradasi agregat dan kemudahan pelaksanaan serta penentuan stabilitas. Terdapat dua kategori gradasi agregat (Jenderal & Marga, 2018) :

a. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam, atau gradasi terbuka, adalah gradasi agregat yang memiliki ukuran hampir sama dan memiliki banyak ruang kosong antar agregat. Gradasi ini digunakan pada campuran beraspal yang porus atau memiliki permeabilitas tinggi, stabilitas rendah, dan berat ini yang kecil.

b. Gradasi rapat (*Dense Graded*)

Terdiri dari butiran agregat halus hingga kasar dengan jumlah yang sama, gradasi ini biasa disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Agregat yang bergradasi baik apabila nilainya memenuhi :

$$P = 100 (d/D)^{0.45}$$

Dimana :

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka

Lapisan perkerasan yang memiliki agregat gradasi rapat memiliki hasil uji stabilitas yang tinggi, bersifat drainase, tidak kedap air, tidak baik serta berat volum yang sangat besar.

c. Gradasi senjang (*Gap graded*)

Tidak memiliki fraksi agregat dan ukurannya tidak lengkap, serta berjumlah sedikit sekali merupakan gradasi senjang. Mutu yang dihasilkan oleh agregat gradasi senjang terletak diantara agregat bergradasi rapat

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal Beton

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Laston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
3/4"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
1/2"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
3/8"	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 2020 Revisi 2

2.2.4. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi adalah material yang melewati saringan No. 200 (0,075 mm) dan membentuk setidaknya 75% berat. Fungsi *Filler* adalah untuk mengisi lubang – lubang udara pada material, sehingga mengeraskan material aspal dan mengurangi sensitivitas suhu. Namun dosis *filler* harus dijaga dalam kisaran yang wajar. Jumlah *filler* yang berlebihan dapat membuat campuran menjadi rapuh dan memudahkan beban lalu lintas untuk menimbulkan retakan pada aspal. Pada suhu tinggi, campuran akan menjadi lembek jika kadar *filler* terlalu rendah.

2.2.5. *Fly Ash* sebagai Substitusi Abu Batu

Fly ash, limbah dari pembangkit listrik tenaga batu bara, ternyata memiliki potensi besar sebagai bahan bangunan. Kandungan silika dan alumina dalam *fly ash* memberikan sifat pengikat yang mirip dengan semen. Proses pengerasan *fly ash* melalui polimerisasi memungkinkan pemanfaatannya dalam berbagai aplikasi konstruksi. Penelitian sebelumnya oleh Subekti (2012) (Patil et al, 2013) (Bakri et al, 2012) telah mendukung potensi penggunaan *fly ash* ini.

Limbah ini dikonversi menjadi abu terbang dan abu dasar, dua jenis abu batu bara yang berbeda. 80% abu batu bara terdiri dari abu terbang. Abu terbang lebih ringan (ke abu-abuan) dan memiliki dimensi, yang lebih halus (<200mm) jika dibandingkan abu dasar. Abu terbang mengandung alumunium dan silika yang

tinggi, tetapi juga mengandung kalsium dan oksida besi, yang merupakan komponen lain yang penting. Kisaran berat jenisnya adalah 1,95 hingga 2,95 gr/cm². Abu terbang telah banyak digunakan sebagai campuran aspal yang komposisinya yakni aspal, bahan pengisi, dan agregat kasar dan halus di beberapa negara Eropa. Sementara itu, di Indonesia, hal ini belum digunakan secara luas (Syaiful dan S. Mulyawan, 2013). Oleh karena itu, penelitian mengenai penggunaannya abu terbang limbah dari pembakaran batu bara dilakukan guna menjadikannya sebagai alternatif material pada campuran aspal dan sebagai sarana untuk membantu terciptanya infrastruktur nasional yang berbasis teknologi hijau mulai ditekankan.

Sistem anorganik geopolimer menggunakan bahan padat. Bahan padat ini termasuk mineral alami seperti kaolin, tanah liat, mika, andalusit, spinel, serta abu terbang, asap silika, terak, abu sekam, lumpur merah, dan lainnya. Abu terbang diklasifikasikan sebagai bahan “pozzolone”, yang menunjukkan sifat silika atau aluminous, tidak memiliki komponen semen yang signifikan yang biasanya ada pada semen *Portland*. Melalui reaksi kimia dengan cairan alkali pada suhu tertentu, abu terbang dapat mengalami transformasi untuk memperoleh sifat yang mirip dengan semen. Komposisi *fly ash* terutama terdiri dari partikel dengan diameter mulai 1 hingga 150 mikrometer, yang berhasil melewati saringan 45 mikrometer. Berdasarkan ASTM C 618-05 (2003), *Fly ash* merupakan material halus yang didapatkan dari hasil pembakaran batu bara. Pernambahan *fly ash* pada campuran aspal memiliki banyak keunggulan baik untuk meningkatkan *workability*, dan memperbaiki *properties marshall* pada campuran.

Pada garis besar, *Fly ash* mengandung komponen kimia utama yang meliputi silika (SiO₂), alumina (Al₂O₃), dan besi oksida (Fe₂O₃). Komposisi kimia lainnya mencakup mangan (Mn₂O₃), titanium (TiO₃), alkali (Na₃O₃ K₃O), fosfor (P₃O₅), magnesium (MgO₃), sulfur (SO₃), dan kalsium oksida (CaO). ASTM C 618-05 mengklasifikasikan *fly ash* menjadi tiga kategori, yaitu N, F, dan C.

2.2.6. Ban Bekas (*Recycle Tire*) Sebagai Bahan Tambahan

Sebagai campuran aspal beton, ban dalam bekas telah terbukti meningkatkan kinerja perkerasan jalan, khususnya dalam hal ketahanan terhadap transmisi permanen yang dikarenakan oleh beban lalu lintas yang berulang. Fleksibilitas dan kekenyalan serbuk ban karet mampu meredam gaya geser yang timbul akibat beban lalu lintas, sehingga mengurangi terjadinya deformasi plastis pada permukaan jalan. Selain itu, penambahan serbuk ban karet juga memberikan kontribusi dalam meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap suhu ekstrem, baik suhu tinggi maupun suhu rendah, sehingga memperpanjang umur layanan perkerasan jalan. Ban bekas, sebagai material padat, memiliki sifat elastisitas dan fleksibilitas yang tinggi. Komposisi utama serbuk ban bekas terdiri dari bahan-bahan anorganik dengan struktur kimia yang kompleks dan tahan terhadap dekomposisi. Rantai molekul yang panjang dan rumit pada bahan-bahan ini memberikan ketahanan terhadap pembusukan. Serbuk ban bekas bisa meleleh jika dipanaskan dengan suhu tertentu dan memiliki nilai rekat pada keadaan tersebut. Kurniati (2004) dan Sugianto, G, 2008).

2.2.7. Campuran Aspal Panas (*Hot Mix*)

Campuran aspal panas (*hot mix asphalt*) adalah campuran aspal cair dan agregat (pasir, kerikil, dan batu pecah) yang dipanaskan pada dengan suhu tertentu, biasanya antara 150° hingga 180°C untuk memudahkan pengadukan dan penerapan. Karena sifatnya yang tahan lama, fleksibel, dan dapat menahan beban lalu lintas, campuran ini digunakan dalam pembuatan jalan raya, trotoar, atau permukaan jalan lainnya.

Kemampuannya untuk mencapai daya dukung dipengaruhi oleh gesekan dan kekompakan bagian yang digunakan dalam perkerasan jalan. Gesekan agregat dihasilkan oleh gaya gesek antara butiran dan gradasi dan kekuatan agregat. Agregat dengan karakteristik fisik yang kuat dan gradien yang rapat antar butirannya secara alami memiliki gesekan yang baik. Dalam hal kohesifitas, hal ini berasal dari sifat aspal yang digunakan. Akibatnya, kinerja campuran aspal sangat dipengaruhi oleh agregat dan aspal yang digunakan.

Campuran aspal panas dapat dibedakan menjadi beberapa jenis berdasarkan ukuran agregat dan tujuan penggunaannya, seperti AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) untuk lapisan permukaan jalan dan AC-BC (*Asphalt Concrete Base Course*) untuk lapisan dasar jalan.

2.2.8. Campuran AC - WC

Campuran AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) adalah jenis campuran aspal panas yang digunakan sebagai lapisan permukaan jalan. Lapisan ini memiliki fungsi utama untuk menahan beban lalu lintas, memberi permukaan jalan yang halus, dan melindungi lapisan dibawahnya dari kerusakan akibat cuaca dan beban kendaraan.

campuran aspal dan agregat, berfungsi untuk memberikan kenyamanan berkendara, melindungi lapisan bawah, serta memberikan ketahanan terhadap beban lalu lintas, cuaca, dan faktor eksternal lainnya. Dengan karakteristik fisik yang optimal dan proses aplikasi yang tepat, AC-WC mampu meningkatkan umur jalan dan kualitas permukaan jalan secara keseluruhan.

Suhu pencampuran yang ideal ditentukan oleh jenis aspal yang digunakan. Jika menggunakan aspal semen, proses ini disebut sebagai pembuatan beton aspal campuran panas karena suhu pencampurannya biasanya berkisar antara 145° hingga 155°C. Ungkapan “*Hotmix*” merujuk pada istilah ini.

Agregat dan aspal mewakili dua elemen pokok dalam komposisi campuran aspal. Meski demikian, bergantung pada metode dan Tingkat signifikasi dalam penyusunan perkerasan jalan, penggunaan agregat dan aspal dapat mengalami modifikasi. AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) adalah formulasi campuran aspal yang telah dikembangkan dan digunakan secara luas oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah. AC-WC adalah salah satu dari tiga jenis campuran lapis beton aspal, bersama dengan AC-BC dan AC-Base. Struktur agregat pada gradasi menerus mempunyai sedikit rongga pada campuran dibandingkan dengan campuran bergradasi senjang. Dikarenakan hal itu mengakibatkan pekanya campuran AC-WC terhadap variasi pada proporsi campuran.

AC–WC merupakan lapis permukaan atas dalam perkerasan jalan dan jika dibandingkan dengan jenis laston lainnya, AC-WC mempunyai tekstur yang paling halus.

Tabel 2.5 Ketentuan Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Atas	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tarbukan per bidang		75		112 ⁽¹⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%) ⁽²⁾	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		
Pelelehan (mm)	Min	2		
	Maks	4		
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽³⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan nominal (refusal) ⁽⁴⁾	Min	2		

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 perkerasan Aspal

2.2.9. Marshall Test

Marshall Test adalah salah satu metode yang digunakan dalam rekayasa jalan untuk mengukur kekuatan atau stabilitas campuran aspal terutama dalam konteks aspal panas. Alat uji Marshall merupakan alat pengujian yang dirancang khusus untuk mengevaluasi karakteristik mekanik campuran aspal. Dilengkapi dengan *proving ring* berkapasitas tinggi (2500 kg atau 5000 kg) yang dilengkapi dengan arloji pengukur untuk mengukur daya tahan atau stabilitas campuran. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan *flow meter* yang berfungsi untuk mengukur deformasi atau aliran plastis dari campuran aspal saat diberi beban. Prinsip kerja alat ini didasarkan pada metode yang pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall dan dikembangkan oleh U.S. Corps of Engineers. Hasil pengujian dengan alat ini umumnya mengacu pada standar seperti PC-0201-76, AASHTO T 245-74, atau ASTM D 1559-62T.

Berikut ini menunjukkan diperoleh data – data sebagai berikut :

- Nilai stabilitas yang dinyatakan dalam bilangan bulat menunjukkan seberapa kuat dan tahan suatu material terhadap pembentukan retakan atau alur (*ruting*). mengacu pada kemampuan campuran aspal untuk bertahan terhadap tekanan atau gaya yang diberikan, baik itu akibat beban lalu lintas maupun faktor

lingkungan seperti suhu ekstrem. Campuran aspal yang stabil tidak akan mengalami deformasi permanen.

- b. Kelelehan plastis (*flow*) yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch, *flow* juga dapat digunakan sebagai indikator terhadap lentur. tingkat pergerakan atau deformasi aspal yang terjadi ketika aspal dipanaskan pada suhu tertentu. Ketika suhu meningkat, viskositas aspal menurun, yang memungkinkan aspal mengalir atau mengalami deformasi. Flow ini mengukur sejauh mana aspal mengalir atau mencair pada suhu tertentu, yang menunjukkan sejauh mana aspal akan mampu mendistribusikan beban atau tekanan yang diterimanya.
- c. VIM ini merupakan parameter dalam evaluasi campuran aspal yang menggambarkan jumlah ruang kosong atau voids yang terdapat dalam campuran agregat mineral setelah dipadatkan, tetapi sebelum diisi dengan aspal. VIM mengukur seberapa banyak ruang kosong yang masih tersedia di antara partikel agregat dalam campuran aspal yang belum terisi oleh aspal.
- d. VMA merupakan persentase ruang kosong dalam campuran aspal yang dihasilkan dari percampuran agregat mineral dan aspal yang sudah dipadatkan. VMA mencerminkan kapasitas campuran untuk menahan volume aspal yang dapat memenuhi rongga dalam agregat. Semakin tinggi VMA, semakin banyak ruang kosong yang tersedia dalam campuran untuk mengakomodasi aspal, yang akan mempengaruhi kepadatan dan stabilitas campuran.
- e. VFA merupakan salah satu parameter penting dalam evaluasi campuran aspal (asphalt mixture). VFA menggambarkan persentase ruang kosong dalam campuran aspal yang telah terisi oleh aspal. Dengan kata lain, VFA mengindikasikan seberapa banyak ruang kosong di antara agregat yang telah terisi oleh aspal setelah campuran dipadatkan.

Untuk memperoleh kadar aspal ideal (KAO), dilakukan serangkaian percobaan dengan memvariasikan komposisi gradasi agregat yang terdiri dari batu pecah 10-15 mm, agregat limbah beton 5-10 mm, agregat halus 0-5 mm, dan fly ash sebagai filler. Setiap campuran dipadatkan dengan memberikan 75 kali tumbukan pada masing-masing sisi atas dan bawah untuk mencapai kepadatan yang optimal. Melalui analisis terhadap hasil uji coba tersebut, dapat ditentukan kadar aspal yang menghasilkan kinerja campuran aspal terbaik. Untuk pencampuran, agregat dan

bitumen dipadatkan hingga 280 centistokes (cst) dan dipanaskan adalah marsekal palu, Sampel tidak berhasil diuji pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan kecepatan pemuatan konstan 51 mm/menit. Bentuk silindernya memiliki tinggi 64 mm dan diameter 102 mm. Arus Marshall adalah amplitude deformasi yang terjadi pada objek, yang diuji sebelum hancur, dan stabilitas Marshall adalah beban maksimum yang mungkin dipertahankan specimen sebelum hancur. Hasil dari gagasan *Marshall*, ketahanan material terhadap deformasi diukur dalam hubungannya dengan stabilitas dan fluiditas. Selama – lamanya, seperti yang ditunjukkan



Gambar 2.1 *Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test*

Uji Marshall menentukan padatan, stabilitas, keelehan (*flow*), hasil Marshall (MQ), persentase kekosongan campuran (VIM), persentase rongga yang terisi aspal (VFA), dan persentase kosong (VMA) dalam total.

2.2.10. Keaslian Tugas Akhir

Telah terdapat penyelidikan sebelumnya yang memfokuskan pada teknologi dan inovasi dalam bidang perkerasan aspal. Meskipun demikian sejauh pengetahuan peneliti, belum ditemukan penelitian sebelumnya yang sebanding dengan penelitian yang kami lakukan. Penelitian sebelumnya antara lain :

NO	TAHUN	PENULIS	JUDUL	TUJUAN	METODE	HASIL
1	2023	Rizki Presetya Person	Performa Campuran Beraspal Laston AC-WC menggunakan Campuran Serbuk Ban bekas dan Karet Alam sebagai Bahan Tambah Melalui Proses Kering	Membandingkan dan menganalisis karakteristik dan nilai stabilitas.	Pada tahap pertama, pengujian pilot dilakukan dengan campuran serbuk ban bekas dan karet alam. Campuran ini digunakan untuk menggantikan sebagian aspal, tetapi mencampur dengan proses kering tetap digunakan.	Untuk variasi ketiga campuran beraspal, stabilitas sisa dari pengujian perendaman Marshall (Marshall Immersion) masih di atas 1000 kg. Nilai ini menurun seiring dengan banyaknya campuran serbuk ban bekas dan karet alam yang digunakan.

2	2016	I Nyoman Arya Thanaya, I Gusti Raka Puranto, I Nyoman Sapta Nugraha	Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks	Untuk mengetahui sifat campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) pada kadar aspal (KAO) yang ideal dengan lateks.	Agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar tertahan saringan 4,75 mm, agregat halus lolos saringan 4,75 mm tertahan saringan 0,075 mm, dan filler lolos saringan 0,075 mm.	Hasil pengujian setelah menambahkan lateks ke campuran AC WC menunjukkan bahwa campuran dengan kadar lateks sampai 8% dari total perekat memiliki nilai stabilitas tertinggi sebesar 1658,00 kg.
3	2020	Agus Riyanto, Ramdhani Deva Prasetya	Pengaruh Kadar <i>Filler Fly Ash</i> Dalam Campuran AC-WC Dengan	Mengetahui kadar yang digunakan untuk <i>fly ash</i> sebagai <i>filler</i> untuk pengganti pasir	Penelitian terdiri dari tahap persiapan, pengumpulan data, penentuan kadar	<i>Marshall Quotient (MQ)</i> sebesar 516,74 kg/mm, <i>Volume of Effective Asphalt</i>

			Pasir Pantai Takisung Sebagai Agregat Halus Ditinjau Dari Aspek Ketidakrataan Dan Properties Marshall	pantai. Memanfaatkan hasil dari limbah pembakaran batu bara PLTU.	aspal yang ideal, penentuan bahan pengisi yang ideal, analisis data, dan penyimpulan.	(VFA) sebesar 66,74%, <i>Volume of Mineral Aggregate</i> (VMA) sebesar 15,01%, <i>Void in Mineral Aggregate</i> (VIM) sebesar 4,99%, dan Stabilitas sebesar 1196,99 kg.
4	2019	Andi Afriaziz, Nusa Sebayang, Ester Priskasari	Pengaruh Penambahan Karet Alam Pada Campuran Aspal Beton Lapis Aus Dengan <i>Filler Fly Ash</i>	Meningkatkan performa campuran aspal beton (AC-WC) dengan menambahkan karet alam sebagai bahan modifikasi dan <i>fly ash</i> sebagai <i>filler</i> alternatif	Metode kering digunakan dalam penelitian ini. Artinya, karet alam dicampur dengan agregat yang dipanaskan sebelum ditambahkan asfalt atau bitumen panas.	Nilai stabilitas turun 26,4%, aliran turun 10,9%, VFA turun 3,1%, dan Marshall Quotient turun 14,5%. Sementara itu, nilai VIM turun 11,75% dan VMA turun 2,55%.

6	2023	Sulistyo JA	Perilaku Aspal <i>Wearing Course</i> Terhadap Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) dengan Bahan Tambah <i>Polyethylene</i> dan <i>Fine</i> Agregat Slag	Memperoleh Campuran Formula “Slag” Agregat Halus Lapis Aspal Beton Modifikasi yang menggunakan limbah plastik <i>Polyethylene</i> (PE) yang tahan air pasang dan tahan air banjir.	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di laboratorium bahan perkerasan dengan melakukan percobaan terhadap bahan baku aspal.	<i>Job Mix Formula</i> yang dapat digunakan pada (AC-WC) modifikasi adalah kombinasi aggregate slag 50% dan LDPE (<i>Low Density</i> <i>Polyethylene</i>) 6% sedangkan (AC-WC) modifikasi kadar aggregate slag 0% dan 100% dengan (LDPE) 0% 2% 4% 8% 10% dan 18%. Tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan karena tidak memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga karena nilai Void In Mineral (VIM) kurang dari 3% - 5%.
7	2020	Aldiansyah Amin, Syamsuriani	Analisis Karakteristik Campuran AC-WC	Untuk mengetahui bagaimana nilai karakteristik campuran	Penelitian dilakukan metode desain emperis, tahap	Nilai dengan penambahan limbah ban kendaraan, nilai kadar aspal ideal (KAO) adalah 6,40%.

			Dengan Penambahan Limbah Ban Dalam Kendaraan	AC-WC menggunakan bahan tambah limbah ban dalam kendaraan.	penelitian, pengumpulan data, dan analisis data.	
8	2025	Ardhyansyah, Muhammad Syaifullah Ariendy	Analisis <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i> (AC-WC) Dengan Bahan Tambah Abu Bابت (Fly Ash) Dan Ban Bekas (<i>Recycle Tire</i>)	Untuk mendapatkan <i>Job Mix Formula</i> terbaik dan Mengetahui pengaruh pencampuran AC - WC	Pada bab ini menguraikan rancangan penelitian yaitu membahas metode penelitian, pengumpulan data, dan juga pengujian – pengujian yang dilakukan dalam penelitian.	Hasil uji <i>Marshall</i> terbaik ada pada variasi ini yaitu 4,32% untuk VIM; 15,5% untuk VMA; 72,12% untuk VFA; 1730 kg untuk stabilitas; 4 mm untuk <i>Flow</i> dan 426,92 kg/mm untuk MQ.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Metode Pengujian

Terdapat beberapa item dalam penelitian yang dilakukan yaitu salah satunya dengan metode eksperimen, Metode eksperimen adalah strategi penelitian yang digunakan untuk memastikan dalam keadaan terkendali, dampak dari satu perlakuan terhadap perlakuan lainnya (Jaya et al., 2019). Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana perlakuan tertentu mempengaruhi subjek penelitian yang dikenal sebagai penelitian eksperimen.

Penelitian ini menggunakan metodologi data primer karena dilakukan secara eksperimen untuk menentukan benda uji yang paling tepat untuk penelitian lanjutan karena data diperoleh secara langsung. *American Society for Testing Materials* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) digunakan sebagai pedoman dalam proses pembuatan penelitian ini.

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1. Bahan Penelitian

Bahan - bahan yang digunakan untuk penelitian ini meliputi :

- a. Penggunaan agregat kasar dan halus, yang didapatkan dari AMP (Asphalt Mixing Plant) PT. Deltamarga Adytama, yang berlokasi di Jl. Raya Semarang - Batang No. 500 Pagedangan, Sembung, Kec. Banyuputih, Kabupaten Batang, Jawa Tengah 51271.
- b. Menggunakan bahan Aspal Pen 60/70.
- c. Menggunakan semen sebagai *filler*.
- d. Bahan yang digunakan sebagai substitusi abu batu adalah *Fly ash* yang didapatkan dari PT. Deltamarga Adytama.
- e. Ban Bekas (*Recycle Tire*) yang digunakan sebagai bahan tambah pada campuran didapatkan dari limbah di wilayah Kota Semarang.

3.2.2. Peralatan Penelitian

Alat yang digunakan penelitian berasal dari Laboratorium Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Berikut adalah peralatan yang digunakan :

1. Peralatan Pengujian Analisa Saringan

Peralatan untuk pengujian analisa saringan diantaranya yaitu :

- a. Saringan satu set 1½”, 1”, ¾”, ½ ”, ⅜” , no.4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200.
- b. Timbangan yang memiliki ketelitian 0, 1 gram dari berat benda uji.
- c. *Pan* dan *cover* (penutup).
- d. Oven dilengkapi pengatur suhu.
- e. Kuas, Wadah plastik dan sikat.

2. Peralatan Pengujian Berat Jenis

Untuk mendapatkan berat jenis efektif dari campuran aspal dilakukan uji berat jenis. Alat-alat yang digunakan dalam pengujian berat jenis pada agregat kasar dan agregat halus adalah sebagai berikut :

- a. Oven dengan pengaturan suhu.
- b. Saringan no.4 (4,75mm) dan No.8 (2,36mm).
- c. Timbangan yang memiliki ketelitian 0, 1 gram.

3. Peralatan Pengujian Abrasi Agregat

Sejumlah peralatan yang dipergunakan dalam melakukan pengujian terhadap agregat meliputi mesin *Los Angeles*, yang bertujuan menilai tingkat kerusakan akibat gesekan (abrasi), ayakan standar untuk mengevaluasi gradasi agregat, perangkat pengering untuk oven, timbangan, serta alat uji berat jenis yang mencakup piknometer, timbangan, dan pemanas. Selain itu, penggunaan bak perendaman dan tabung *Sand Equivalent* juga menjadi bagian dari proses pengujian.

4. Peralatan Pengujian Aspal

Untuk menguji aspal, ialah menggunakan timbangan, alat uji berat jenis, titik nyala, alat uji titik lembek, dan alat uji kelarutan.

5. Peralatan Pengujian Marshall

Seperangkat alat metode *Marshall* digunakan sebagai alat uji, yang meliputi :

- a. Alat tekan *Marshall* terdiri dari kepala penekan dengan bentuk lengkung, cincin penguji yang berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) dan dilengkapi dengan arloji pengukur kerekatan (*flowmeter*).
- b. Alat cetak sampel silinder dengan diameter 10,2 cm (4 inci) serta tinggi 7,5 cm (3 inci) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 inci) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- c. Penumbuk *Marshall* memiliki bentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci) dan berat 4,5 kg (10 lbs). Alat ini dirancang untuk jatuh bebas dari ketinggian 45,7 cm (18 inci) saat melakukan pengujian.
- d. *Ejector* untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- e. Bak perendaman digunakan untuk perendaman benda uji.
- f. Alat-alat penunjang seperti panci pencampur, kompor untuk pemanas, thermometer, kipas angin, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, sarung tangan karet, kaliper, kain lap, timbangan, spatula dan spidol guna menomori benda uji.

3.3. Keperluan dan Analisis Data

Sesudah semua tahap penelitian selesai, termasuk seluruh pemeriksaan sifat bahan dan karakteristik *Marshall* campuran kemudian penyajian analisis data dilakukan.

3.3.1. Keperluan Data

Keperluan data yang diperlukan berkaitan dengan sifat material dan sifat campuran *Marshall* yang ditentukan oleh hasil pengujian. Tujuan dari pengujian ini adalah mendapatkan informasi untuk menganalisis data pengujian, khususnya untuk mengetahui karakteristik *Marshall* dari jenis campuran aspal beton tertentu.

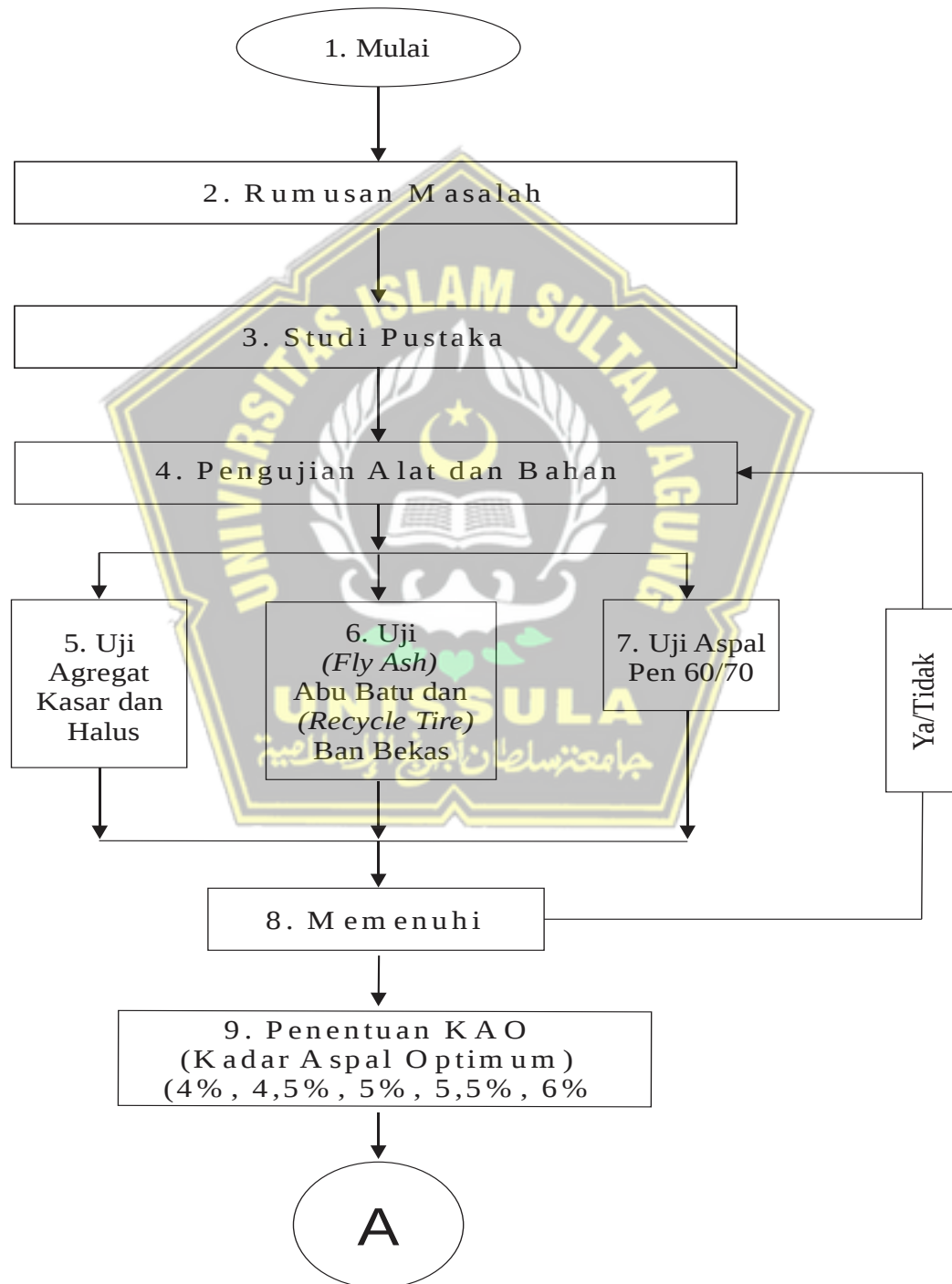
3.3.2. Analisis Data

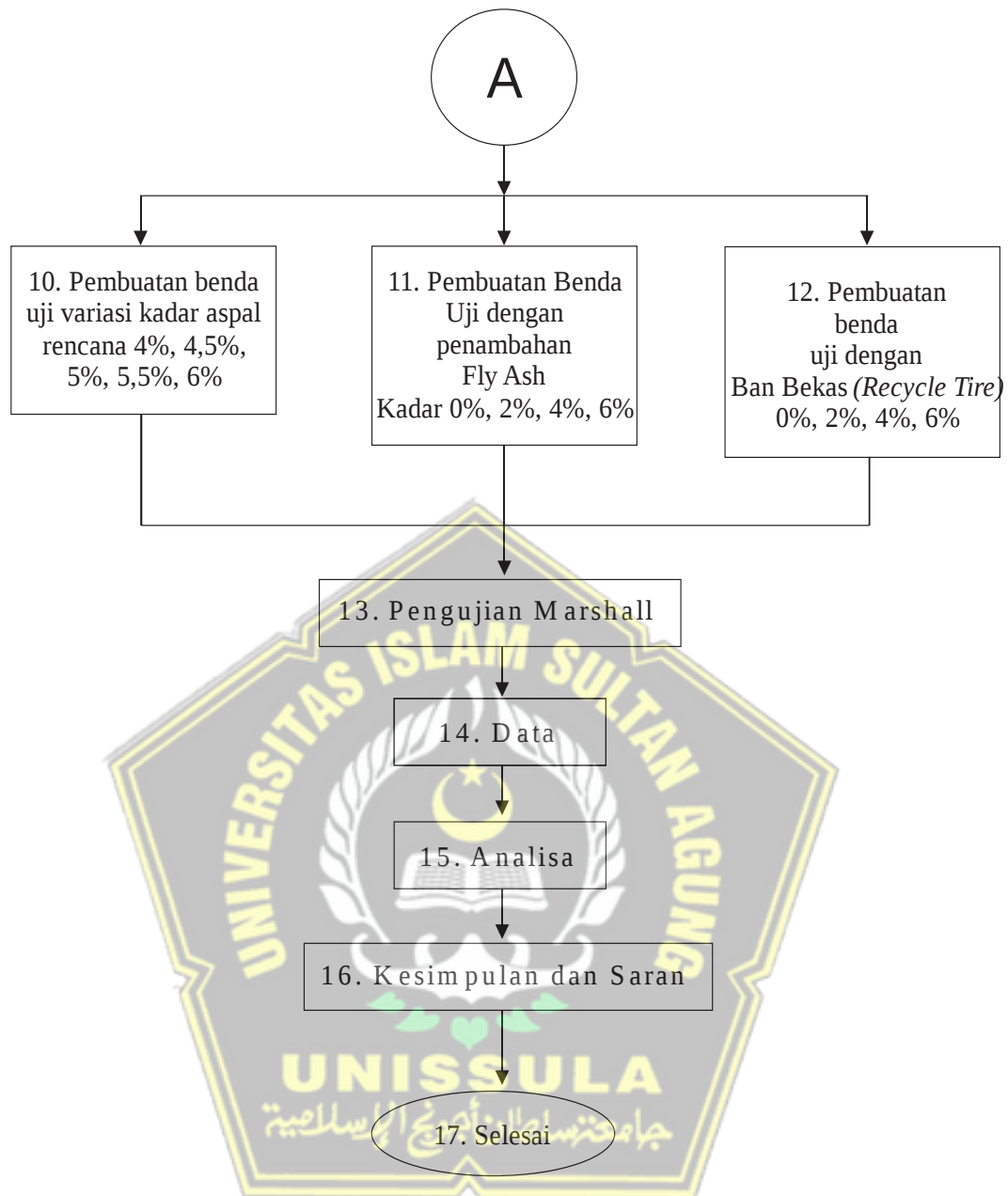
Pada Tahapan ini, seluruh data yang didapatkan dari hasil pemeriksaan dianalisa untuk mengevaluasi dampak dari percobaan. Ini termasuk mengidentifikasi

karakteristik *Marshall* dari jenis campuran beton aspal *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) yang digunakan.

3.4. Tahap Rencana Penelitian

Bagan alur penelitian berupa tahapan – tahapan yang dilakukan selama penelitian ini diuraikan pada :





Gambar 3.1. Bagan Alur Penelitian

3.5. Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan informasi yang dibutuhkan. Masing-masing memiliki karakteristik, kelebihan, dan kelemahan tertentu. Pengumpulan data yang dilaksanakan ada 2 :

1. Data sekunder, yaitu data yang sudah dilakukan pengujian oleh perusahaan di uji di balai pengujian material. Data sekunder yang digunakan merupakan aspal pertamina dengan nilai penetrasi 60/70.

2. Data primer, merupakan pendataan yang dilakukan terlebih dahulu sebuah penelitian di yang mana data primer tersebut adalah :
 - a. Berat jenis dari setiap agregat
 - b. Analisa saringan
 - c. Karakteristik marshal

3.6. Prosedur Penyusunan Penelitian

Berikut adalah ringkasan dari tahapan pelaksanaan :

1. Persiapan penyediaan alat-alat dan bahan yang diperlukan.
2. Menguji agregat dari sifat mekanis dan fisik.
3. Merancang campuran AC-WC sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018.
4. Mencari Kadar Aspal Optimum dan Variasi Komposisi *Fly Ash* yang digunakan 0%, 2%, 4%, 6%, dan Ban Bekas (*Recycle Tire*) 0%, 2% , 4%, 6%.
5. Membuat benda uji.
6. Menguji benda uji dengan *Marshall Test* untuk mendapatkan nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFA, MQ.
7. Analisa dan Pembahasan
Menganalisa benda uji dari campuran *Fly Ash* dan Ban Bekas (*Recycle Tire*) melalui pengujian *Marshall Test* dan didapatkan parameter nilai (*Stability, Flow*, VIM, VMA, VFA, MO).
8. Kesimpulan dan Saran
Setelah semua pengujian telah dilakukan akan didapatkan hasil analisa dan pembahasan yang diuraikan oleh peneliti sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran. Nilai dari percobaan di laboratorium baik dari uji material hingga dengan pengujian sampel yang telah dibuat, kemudian nilai yang didapat tersebut dianalisa dan ditunjukkan dalam bentuk grafik dan tabel terhadap tiap parameter nilai karakteristik *marshall* (*Stability, Flow*, VIM, VMA, VA, MO).

3.7. Pemeriksaan Karakteristik Material

Didalam penelitian ini ada beberapa pemeriksaan karakteristik pada material, yaitu sebagai berikut :

3.7.1. Pemeriksaan Karakteristik Material

Guna mendapatkan lapisan beton aspal AC-WC dengan agregat yang memiliki konsistensi dan kualitas yang optimal, beberapa langkah penting harus diambil, sebagai berikut :

1. Penyaringan agregat kasar dan halus dilakukan dengan menerapkan analisis saringan sesuai prosedur yang mengacu pada AASHTO T47-82 atau SNI 03-1968-1990.
2. Pedoman terkait kategori-kategori perhitungan agregat dipatuhi, mengacu pada formulir referensi AASHTO T85-74 atau SNI 1969-2008.
3. Kategorisasi penanganan agregat dilakukan melalui studi yang mematuhi prosedur sesuai dengan pedoman AASHTO T84-74 atau SNI 1970-2008.
4. Evaluasi sifat campuran dilaksanakan menggunakan metode uji marshall dengan mengikuti prosedur evaluasi yang tertuang dalam SNI-06-2489-1991.
5. Teknik penggabungan rongga udara dan bobot isi dalam agregat menjadi perhatian utama.
6. Langkah-langkah untuk menghitung jumlah total bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075) dilakukan dengan mengacu pada formulir pemeriksaan yang sesuai dengan SNI 03-4142-1996.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus dengan memakai saringan.

- a. Ambil cukup sampel material untuk butir material secara merata. Timbang sampel material yang akan digunakan, lalu dikeringkan dengan oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai beratnya tetap.
- b. Menyusun saringan pada mesin pengguncang yang paling bawah adalah pan selanjutnya saringan dengan lubang terkecil dan seterusnya sampai saringan dengan lubang yang terbesar. Saringan diguncang manual atau dengan mesin pengguncang selama 15 menit.

- c. Tunggu selama 5 menit agar memberi kesempatan debu-debu mengendap.
Berat yang tertahan pada masing-masing saringan ditimbang.
- d. Setelah proses penyaringan dihitung persentase berat uji yang tertahan pada setiap saringan.

3.7.2. Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal JAP-57. Pengujian yang dilakukan terhadap sifat fisik aspal meliputi:

- a. Analisa pengujian penetrasi aspal.
- b. Analisa pengujian titik lembek.
- c. Analisa pengujian titik nyala dan titik bakar.
- d. Analisa pengujian daktilitas.
- e. Analisa pengujian berat jenis bitumen.

3.8. Pembuatan Benda Uji dengan Kadar Aspal

Komposisi aspal normal yang di rencanakan menggunakan kadar 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Pembuatan benda uji nantinya akan digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum yang nantinya akan digunakan mada campuran aspal modifikasi. Campuran normal tanpa bahan *fly ash* dan ban bekas (*recycle tire*) akan dibuat masing-masing adalah 3 buah dengan total semua benda uji adalah 15 buah dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 3.1. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kadar Aspal 4%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44%	528 g
2	Medium Aggregate $\frac{3}{4}$ "	12%	144 g
3	Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$ "	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,00%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	4,00%	48 g
Total		1248 g	

Tabel 3.2. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kadar Aspal 4,5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44%	528 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	12%	144 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	<i>Filler</i>	1,00%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	4,50%	54 g
Total		1254 g	

Tabel 3.3. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kadar Aspal 5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44%	528 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	12%	144 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	<i>Filler</i>	1,00%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	5,00%	60 g
Total		1260 g	

Tabel 3.4 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kadar Aspal 5,5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44%	528 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	12%	144 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	<i>Filler</i>	1,00%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	5,50%	66 g
Total		1266 g	

Tabel 3.5. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kadar Aspal 6%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44%	528 g
2	Medium Aggregate $\frac{3}{4}$ "	12%	144 g
3	Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$ "	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,00%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	6,00%	72 g
Total		1272 g	

3.9. Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*)

Komposisi campuran aspal modifikasi menggunakan aspal 5,8% yang direncanakan menggunakan bahan tambah *fly ash* (substitusi abu batu) dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6% dan ban karet (*recycle tire*) dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6%. Dan masing-masing variasi yang dibuat yaitu 3 buah benda uji dengan total keseluruhan aspal modifikasi adalah 48 benda uji.

Tabel 3.6. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 0% dan Recycle Tire 0%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Aggregate $\frac{3}{4}$ "	25%	300 g
3	Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$ "	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		100%	1200 g
Keterangan Bahan Tambah:			
	<i>fly ash</i>	0%	0 g
Keterangan Bahan Tambah:			
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	0%	0 g
Total			
		100%	1200 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.7. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 0% dan Recycle Tire 2%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		100%	1200 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	0%	0 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	2%	1,4 g
Total		102%	1201,4 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.8. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 0% dan Recycle Tire 4%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		100%	1200 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	0%	0 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	4%	2,8 g
Total		104%	1202,8 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.9. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 0% dan Recycle Tire 6%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		100%	1200 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	0%	0 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	6%	4,2 g
Total		106%	1204,2 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.10. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 2% dan Recycle Tire 0%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	38%	456 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		98%	1176 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	2%	1,4 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	0%	0 g
Total		100%	1177,4 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.11. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 2% dan Recycle Tire 2%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	38%	456 g
2	Medium Aggregate $\frac{3}{4}$ "	25%	300 g
3	Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$ "	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		98%	1176 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	fly ash	2%	1,4 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (recycle tire)	2%	1,4 g
Total		102%	1178,8 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.12. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 2% dan Recycle Tire 4%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	38%	456 g
2	Medium Aggregate $\frac{3}{4}$ "	25%	300 g
3	Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$ "	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		98%	1176 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	fly ash	2%	1,4 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (recycle tire)	4%	2,8 g
Total		104%	1180,2 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.13. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 2% dan Recycle Tire 6%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	38%	456 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		98%	1176 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	2%	1,4 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	6%	4,2 g
Total		106%	1181,6 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.14. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 4% dan Recycle Tire 0%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	36%	432 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		96%	1152 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	4%	2,8 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	0%	0 g
Total		100%	1154,8 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.15. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 4% dan Recycle Tire 2%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	36%	432 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		96%	1152 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	4%	2,8 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	2%	1,4 g
Total		102%	1156,2 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.16. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 4% dan Recycle Tire 4%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	36%	432 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		96%	1152 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	4%	2,8 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	4%	2,8 g
Total		104%	1157,6 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.17. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 4% dan Recycle Tire 6%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	36%	432 g
2	<i>Medium Aggregate</i> $\frac{3}{4}$ ''	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate</i> $\frac{1}{2}$ ''	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		96%	1152 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	4%	2,8 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	6%	4,2 g
Total		106%	1159 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.18. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 6% dan Recycle Tire 0%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	34%	408 g
2	<i>Medium Aggregate</i> $\frac{3}{4}$ ''	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate</i> $\frac{1}{2}$ ''	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		94%	1128 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	6%	4,2 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	0%	0 g
Total		100%	1132,2 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.19. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 6% dan Recycle Tire 2%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	34%	408 g
2	<i>Medium Aggregate</i> $\frac{3}{4}$ ''	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate</i> $\frac{1}{2}$ ''	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		94%	1128 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	6%	4,2 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	2%	1,4 g
Total		102%	1133,6 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.20. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 6% dan Recycle Tire 4%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	34%	408 g
2	<i>Medium Aggregate</i> $\frac{3}{4}$ ''	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate</i> $\frac{1}{2}$ ''	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		94%	1128 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	6%	4,2 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	4%	2,8 g
Total		104%	1135 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3.21. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan
Fly Ash 6% dan Recycle Tire 6%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	34%	408 g
2	<i>Medium Aggregate ¾"</i>	25%	300 g
3	<i>Coarse Aggregate ½"</i>	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,20%	14 g
6	Aspal	5,80%	70 g
		94%	1128 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	<i>fly ash</i>	6%	4,2 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	ban bekas (<i>recycle tire</i>)	6%	4,2 g
Total		106%	1136,4 g
Jumlah Sampel		3	

Perancangan dan pembuatan benda uji yang akan digunakan untuk penelitian dengan metode *Marshall*. Setelah semua material penyusun campuran aspal, termasuk agregat kasar dan halus dan aspal pen 60/70 telah diuji dan memenuhi spesifikasi. Selanjutnya pengujian *Marshall* sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, dan ASTM D-2042-76).

Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan setiap benda uji, dimana jika salah satu benda uji ada yang tidak memenuhi spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 6 dan 2 benda uji lainnya memenuhi spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 6 maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.

Tabel 3.22. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Nama Sampel	Medium Aggregate $\frac{3}{4}$ "		Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$ "		Aspal		Abu Batu		fly ash		recycle tire		Pasir		Filler		Total Agregat		Jumlah Sampel
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	
F0B0	300	25	300	25	69.6	5.8	480	40	0.00	0	0.00	0	36	3	14.4	1.2	1200	100	3
F0B2	300	25	300	25	69.6	5.8	480	40	0.00	0	0.00	0	36	3	14.4	1.2	1200	100	3
F0B4	300	25	300	25	69.6	5.8	480	40	0.00	0	0.00	0	36	3	14.4	1.2	1200	100	3
F0B6	300	25	300	25	69.6	5.8	480	40	0.00	0	0.00	0	36	3	14.4	1.2	1200	100	3
F2B0	300	25	300	25	69.6	5.8	456	38	1.39	2	1.39	2	36	3	14.4	1.2	1224	102	3
F2B2	300	25	300	25	69.6	5.8	456	38	1.39	2	1.39	2	36	3	14.4	1.2	1224	102	3
F2B4	300	25	300	25	69.6	5.8	456	38	1.39	2	1.39	2	36	3	14.4	1.2	1224	102	3
F2B6	300	25	300	25	69.6	5.8	456	38	1.39	2	1.39	2	36	3	14.4	1.2	1224	102	3
F4B0	300	25	300	25	69.6	5.8	432	36	2.78	4	2.78	4	36	3	14.4	1.2	1248	104	3
F4B2	300	25	300	25	69.6	5.8	432	36	2.78	4	2.78	4	36	3	14.4	1.2	1248	104	3
F4B4	300	25	300	25	69.6	5.8	432	36	2.78	4	2.78	4	36	3	14.4	1.2	1248	104	3
F4B6	300	25	300	25	69.6	5.8	432	36	2.78	4	2.78	4	36	3	14.4	1.2	1248	104	3
F6B0	300	25	300	25	69.6	5.8	408	34	4.18	6	4.18	6	36	3	14.4	1.2	1272	106	3
F6B2	300	25	300	25	69.6	5.8	408	34	4.18	6	4.18	6	36	3	14.4	1.2	1272	106	3
F6B4	300	25	300	25	69.6	5.8	408	34	4.18	6	4.18	6	36	3	14.4	1.2	1272	106	3
F6B6	300	25	300	25	69.6	5.8	408	34	4.18	6	4.18	6	36	3	14.4	1.2	1272	106	3
JUMLAH SAMPEL MENGGUNAKAN BAHAN TAMBAH																			48
Sampel (KAO) Dengan Kadar Aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%																			
JUMLAH SAMPEL (KAO)																			15
TOTAL SAMPEL																			63

3.10. Prosedur Kerja

Didalam penelitian ini terdapat prosedur yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa setiap tahap penelitian dapat diterapkan dengan benar dan efisien, yaitu sebagai berikut :

3.10.1. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Tahapan perancangan AC-WC mencakup dua aspek penting: komposisi agregat dalam campuran dan jumlah sampel uji yang akan digunakan untuk pengujian. Dalam penelitian ini, gradasi menerus, yang disebut sebagai gradasi ideal, digunakan sebagai gradasi agregat dalam desain lapis aus beton aspal, atau lapis perantara Laston/AC-WC. Sebelum dicampur, setiap fraksi total diayak dan diperiksa. Proporsi agregat halus (FA) dan agregat kasar (CA) menentukan komposisi campuran agregat.

3.10.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian. Kemudian menentukan persentase masing-masing material yang digunakan agar mempermudah dalam proses pencampuran dan melakukan penimbangan secara kumulatif agar didapatkan komposisi campuran yang benar.
2. Memisahkan setiap agregat ke dalam fraksi yang telah ditentukan dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan.
3. Pencampuran benda uji
 - Total dari setiap benda uji dibutuhkan agregat dan aspal seberat ± 1200 gram yang mana akan dibuat benda uji dengan tinggi sekitar $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$ ($2,5 \pm 0,05 \text{ inc}$).
 - Memanaskan agregat sampai suhu 150°C .
 - Menuang aspal yang sudah mencapai tingkat kelelehan sebanyak yang diperlukan ke agregat yang sudah dipanaskan, lalu aduk dengan cepat sampai agregat tercampur aspal dengan merata.
4. Pemadatan benda uji
 - Sebelum digunakan untuk membuat sampel, cetakan dibersihkan dan dipanaskan pada suhu antara 90°C hingga 150°C .
 - Meletakkan cetakan pada atas landasan pemadat dan tahan menggunakan

pemegang cetakan.

- Menyiapkan dasar cetakan dengan melapisinya menggunakan kertas saring atau kertas penghisap.
- Memasukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan padatkan dengan menusuk-nusuk campuran menggunakan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali sekeliling pinggirannya dan 10 kali bagian tengahnya.
- Letakkan kertas saring atau kertas penghisap yang sesuai dengan ukuran cetakan pada atas permukaan benda uji.
- Proses pemadatan dilakukan dengan memberikan 75 kali tumbukan pada masing-masing sisi sampel (atas dan bawah), dengan suhu pemadatan yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan.
- Setelah kira-kira temperatur sudah tidak terlalu panas, keluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan alat *Extruder* dan letakkan benda uji pada permukaan yang rata serta beri tanda pengenal untuk setiap benda uji lalu biarkan selama 24 jam pada temperatur ruang.

3.10.3. Metode Pengujian Sampel

Prosedur pengujian benda uji *Marshall test* harus sesuai dengan prosedur RSNI M-01-2003.

1. Alat uji Marshall merupakan alat uji listrik yang memiliki kekuatan 220 volt dan dirancang untuk memberikan beban pada sampel untuk uji *semi circular testing head* dengan kecepatan konstan 51 mm (2 inci) permenit. Untuk mengukur stabilitas pada beban pengujian tertinggi, alat ini dilengkapi dengan proving ring dengan arloji tekan. Selain itu, dilengkapi dengan *flow meter*, atau arloji kelelahan, yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kelelahan pada beban pengujian yang paling tinggi.
2. *Water Bath* merupakan perangkat yang dirancang untuk mempertahankan suhu minimal 20°C. Alat ini memiliki kedalaman 150 mm (6 inci) serta dilengkapi rak bawah setinggi 50 mm untuk menopang sampel.
3. *Thermometer* berfungsi untuk mengukur temperatur air dalam *water bath* yang dapat mencapai suhu maksimal sekitar 200°C

Setelah pengujian Marshall selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan perhitungan untuk menentukan:

- *Marshall Quotient*, adalah *ratio* antara nilai stabilitas dan kelelehan
- Berat volume benda uji
- Volume pori dalam benda uji (VIM)
- Volume antar agregat dalam benda uji (VMA)
- Volume antar agregat yang terisi oleh aspal (VFB)
- Tebal selimut aspal

Pengujian *stability* dan *flow* dilaksanakan dengan menggunakan alat uji *Marshall* sebagai berikut:

3.10.4. Pengujian *Stability* dan *Flow*

1. Merendam selama 30-40 menit benda uji kedalam air dengan temperatur tetap $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
2. Dalam konteks pemeliharaan peralatan pengujian, telah dilakukan pembersihan menyeluruh pada permukaan internal dari *testing head*. Adalah penting untuk mempertahankan suhu operasional dalam kisaran 21°C hingga 37°C , dan penggunaan bak air direkomendasikan sebagai salah satu metode untuk menjaga kisaran suhu ini. Untuk memastikan pengoperasian yang lancar, *guide road* telah dilumasi menggunakan minyak dengan viskositas rendah, yang memfasilitasi pelepasan bagian atas *head* dengan mudah tanpa risiko terhambat atau terjepit. Terdapat juga langkah-langkah pemeriksaan yang harus diikuti untuk instrumen pengukur beban, yaitu *proving ring*. Penting untuk memeriksa dan memastikan bahwa dial pada *proving ring* diatur sedemikian rupa sehingga jarum penunjuk berada pada angka nol ketika tidak ada beban yang diterapkan, hal ini untuk menjamin akurasi pengukuran yang konsisten.
3. Setelah proses perendaman dalam water bath selesai, sampel dipindahkan ke bagian tengah bawah test head. Flow meter diletakkan di atasnya tanpa bantuan guide road, lalu jarum petunjuk diatur ulang ke posisi nol.
4. Memasang bagian atas alat penekan *Marshall Test* di atas sampel dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*.

5. Dalam prosedur ini, selongsong arloji harus dipegang secara stabil di bagian atas kepala penekan. Kemudian, arloji yang digunakan untuk mengukur lelehan (*Flow*) perlu dipasang pada salah satu batang pemandu. Langkah penting berikutnya adalah menyesuaikan posisi jarum pada arloji tersebut sehingga menunjuk pada angka nol, yang merupakan langkah kritis untuk memastikan pengukuran awal yang akurat.
6. Sebelum dilakukan pembebanan, kepala penekan yang membawa benda uji dinaikkan sampai menyentuh alas cincin penguji.
7. Pastikan jarum arloji tekan ada pada angka nol.
8. Terapkan pembebanan pada spesimen secara stabil pada kecepatan sekitar 50,8 mm per menit sampai pembebanan maksimum diperoleh. Kemudian, seperti yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk tekanan, kurangi pembebanan dan catat pembebanan maksimum (stabilitas) yang dicapai. Jika ketebalan benda uji kurang dari 63,5 mm, faktor pengali harus diterapkan untuk menyesuaikan beban.
9. Amati dan catat suhu saat jarum penunjuk mencapai titik tertinggi pada saat beban mencapai maksimum. Setelah itu, bersihkan alat dan akhiri pengujian.

3.11. Metode Analisis

Penelitian ini menerapkan pendekatan eksperimental di laboratorium perkerasan jalan untuk menguji bahan baku aspal dan agregat. Tahapan penelitian ini terdiri dari 6 tahap utama seperti yang dijelaskan oleh Indriani Santoso (2013).

Tahap I : Dalam mempersiapkan penelitian ini, beberapa langkah telah dilakukan, yaitu:

1. Menyiapkan bahan seperti agregat, aspal.
2. Menyiapkan peralatan.
3. Menyiapkan formular pengujian dan mengolah hasil pengujian.

Tahap II : Pemeriksaan bahan

Pengujian yang dilakukan terhadap agregat mencakup:

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

Tahap III : Perancangan campuran (*mix design*) pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (*mix design*) dan pembuatan benda uji menggunakan kadar aspal 5,8% dengan penambahan *fly ash* (substitusi dari abu batu) dengan presentase 0%, 2%, 4%, 6% serta ban bekas (*recycle tire*) dengan presentase 0%, 2%, 4%, 6% untuk menentukan kadar aspal optimum.

Tahap IV : Melakukan pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO). Pada tahap ini benda uji dengan variasi yang berbeda dilakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan data *stability* dan *flow*. Sebelum itu, benda uji telah ditimbang berat kering, berat SSD dan berat sampel dalam air.

Tahap V : Kemudian dilakukan pengujian dan Analisa *Marshall* untuk mengetahui *stability*, *flow*, VIM, VMA, VFA, MQ.

Tahap VI : Setelah dilakukan analisis terhadap seluruh data pemeriksaan agregat, aspal, dan campuran beton aspal dilakukan, didapatkan Kesimpulan dari seluruh rangkaian pengujian yang dilakukan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Persiapan Material

Penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian langkah sistematis, antara lain pembuatan sampel uji, melakukan percobaan laboratorium, menyiapkan bahan penelitian, dan mengevaluasi komposisi aspal. Pada tahap penyediaan bahan baku dilakukan persiapan agregat batu pecah diambil dari PT. Deltamarga Adytama, Jl. Raya Semarang - Batang No. 500 Pagedangan, Sembung, Kec. Banyuputih, Kabupaten Batang, Jawa Tengah 51271.

Fly ash yang diambil dari PLTU Tanjung Jati Jepara, bitumen pulih dari PT. Deltamarga Adyatama Kudus dan tanggul terpilih dari kawasan Kapung, Kecamatan Tulisharjo, Kabupaten Grobogan dan Kalisari, Semarang, kemudian dilakukan uji perbandingan. Seluruh proses pembuatan benda uji dan sifat material, pengujian aspal dan pengujian marshall dilaksanakan di Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4.1. Pengambilan Material

4.2. Hasil Pengujian Agregat

Pengujian terhadap agregat kasar dalam penelitian ini mencakup berbagai parameter fisik dan mekanik, meliputi bentuk partikel, ketahanan terhadap abrasi (diukur menggunakan mesin Los Angeles), kemampuan berikatan dengan aspal, tingkat ketajaman sudut partikel (angularitas), persentase partikel yang mudah pecah, distribusi ukuran partikel (gradasi), berat jenis, kadar air, dan kandungan material lolos saringan No. 200. Selain itu, dilakukan pula pengujian *sand equivalent* untuk menilai kualitas agregat secara keseluruhan.

Hasil pengujian agregat pada **Tabel 4.1.** dengan melihat perbandingan berdasarkan dari spesifikasi pemeriksaan jalan NO. 01/MN/BM/1976 Bina Marga.

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat Kasar				
1	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	7,64%	Memenuhi
2	Material lolos saringan no 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,34%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh aggregate Agregat kasar $\frac{1}{2}$ Agregat kasar $\frac{3}{4}$	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	0,675% 1,267%	Memenuhi
4	Berat jenis (bulk specific gravity) Agregat kasar $\frac{3}{4}$ Agregat kasar $\frac{1}{2}$	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%	2,632% 2,915%	Memenuhi
A	Agregat Halus				
1	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1992	Maks. 15%	11,56%	Memenuhi
2	Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%	46,97%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat Agregat halus (pasir) Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	2,145% 2,873%	Memenuhi
4	Berat jenis (bulk specific gravity) Agregat halus (pasir) Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%	2,604% 4,985%	Memenuhi

Tabel 4.1. Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

Berdasarkan hasil **Tabel 4.1.** material agregat yang berasal dari (AMP) PT. Deltamarga Adytama, Jl. Raya Semarang - Batang Setelah dilakukan pengujian hasilnya semua material memenuhi persyaratan spesifikasi 2018, maka agregat dapat digunakan sebagai campuran aspal AC-WC. Untuk filler yang digunakan adalah material semen *Portland* (PC).

4.2.1. Pengujian Agregat $\frac{3}{4}$

Colarsel Agregat atau agregat kasar yang lolos saringan $1\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ dan tertahan mulai dari saringan $\frac{1}{2}$ sampai dengan saringan #200, yang dilihat pada **Tabel 4.2.**

Tabel 4.2. Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

PERCOBAAN 1					PERCOBAAN 2					rata-rata
UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	
SIEVE SIZE		gr	%	%	SIEVE SIZE		gr	%	%	
inch	mm				inch	mm				
1 1/2"	37.5				1 1/2"	37.5				
1"	25.0	0			1"	25.0				
3/4"	19.0	0	-	100.00	3/4"	19.0	-	-	-	100.00
1/2"	12.5	1960	65.33	34.67	1/2"	12.5	1,950	65.00	35.00	34.83
3/8"	9.5	958	31.93	2.73	3/8"	9.5	964	32.13	2.87	2.80
# 4	4.75	57	1.90	0.83	# 4	4.75	59	1.97	0.90	0.87
# 8	2.36	12	0.40	0.43	# 8	2.36	14	0.47	0.43	0.43
# 16	1.15	2	0.07	0.37	# 16	1.15	2	0.07	0.37	0.37
# 30	0.6	5	0.17	0.20	# 30	0.6	5	0.17	0.20	0.20
# 50	0.3	4	0.13	0.07	# 50	0.3	3	0.10	0.10	0.08
#100	0.15	1	0.03	0.03	#100	0.15	2	0.07	0.03	0.03
# 200	0.075	1	0.03	-	# 200	0.075	1	0.03	-	-
Weight Of Sample (gr)		3,000			Weight Of Sample (gr)		3,000			

4.2.2. Pengujian Agregat $\frac{1}{2}$

Medium Agregat atau agregat halus yang lolos saringan $1\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ dan tertahan mulai dari saringan $\frac{3}{8}$ sampai dengan saringan #200, yang dilihat pada **Tabel 4.3.**

Tabel 4.3. Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

PERCOBAAN 1						PERCOBAAN 2						rata-rata
UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		KOMULATIF	LOLOS	UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		KOMULATIF	LOLOS	
SIEVE SIZE		gr	%	%	%	SIEVE SIZE		gr	%	%	%	
inch	mm					inch	mm					
11/2"	37.5					11/2"	37.5					-
1"	25.0					1"	25.0					-
3/4"	19.0		-		100.00	3/4"	19.0		-		100.00	100.00
1/2"	12.5	4	0.13		100.00	1/2"	12.5	6	0.20		100.00	100.00
3/8"	9.5	1015	33.88	33.88	66.12	3/8"	9.5	1,000	33.29	33.29	66.71	66.42
# 4	4.75	1740	58.08	91.96	8.04	# 4	4.75	1,755	58.42	91.71	8.29	8.17
# 8	2.36	227	7.58	99.53	0.47	# 8	2.36	230	7.66	99.37	0.63	0.55
# 16	1.15	3	0.10	99.63	0.37	# 16	1.15	4	0.13	99.50	0.50	0.43
# 30	0.6	3	0.10	99.73	0.27	# 30	0.6	4	0.13	99.63	0.37	0.32
# 50	0.3	2	0.07	99.80	0.20	# 50	0.3	3	0.10	99.73	0.27	0.23
#100	0.15	1	0.03	99.83	0.17	#100	0.15	1	0.03	99.77	0.23	0.20
# 200	0.075	1	0.03	99.86	0.14	# 200	0.075	1	0.03	99.80	0.20	0.17
Weight Of Sample (gr)		2,996				Weight Of Sample (gr)		3,004				

4.2.3. Pengujian Abu Batu

Agregat halus yang lolos saringan 1 ½ - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8, yang terdiri dari abu batu ada pada **Tabel 4.4.** berikut,

Tabel 4.4. Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

PERCOBAAN 1					PERCOBAAN 2							
UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		KOMULATIF	LOLOS	UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		KOMULATIF	LOLOS	rata-rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	%	SIEVE SIZE		gr	%	%	%	
inch	mm					inch	mm					
11/2"	37.5					11/2"	37.5					
1"	25.0					1"	25.0					
3/4"	19.0				100.00	3/4"	19.0				100.00	100.00
1/2"	12.5				100.00	1/2"	12.5				100.00	100.00
3/8"	9.5				100.00	3/8"	9.5				100.00	100.00
# 4	4.75	9	0.91	0.91	99.09	# 4	4.75	10	1.02	1.02	98.98	99.03
# 8	2.36	345	35.03	35.94	64.06	# 8	2.36	343	34.89	35.91	64.09	64.08
# 16	1.15	274	27.82	63.76	36.24	# 16	1.15	272	27.67	63.58	36.42	36.33
# 30	0.6	165	16.75	80.51	19.49	# 30	0.6	166	16.89	80.47	19.53	19.51
# 50	0.3	56	5.69	86.19	13.81	# 50	0.3	56	5.70	86.16	13.84	13.82
#100	0.15	63	6.40	92.59	7.41	#100	0.15	62	6.31	92.47	7.53	7.47
# 200	0.075	73	7.41	100.00	-	# 200	0.075	74	7.53	100.00		
PAN												
Weight Of Sample (gr)		985				Weight Of Sample (gr)		983				

4.2.4. Pengujian Pasir

Pada pengujian pasir menggunakan beberapa saringan mulai dari saringan 11/2" sampai saringan No. 200. Pasir merupakan agregat halus yang lolos saringan 1 ½ - No. 30 dan tertahan mulai dari saringan No. 50 yang ada pada **Tabel 4.5.** berikut,

Tabel 4.5. Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

PERCOBAAN 1					PERCOBAAN 2					rata-rata
UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	
SIEVE SIZE		gr	%	%	SIEVE SIZE		gr	%	%	
inch	mm				inch	mm				
1 1/2"	37.5				1 1/2"	37.5				
1"	25.0				1"	25.0				
3/4"	19.0			100.00	3/4"	19.0			100.00	100.00
1/2"	12.5			100.00	1/2"	12.5			100.00	100.00
3/8"	9.5			100.00	3/8"	9.5			100.00	100.00
# 4	4.75			100.00	# 4	4.75			100.00	100.00
# 8	2.36	12	2.40	97.60	# 8	2.36	7	1.40	98.60	98.10
# 16	1.15	100	20.00	77.60	# 16	1.15	71	14.20	84.40	81.00
# 30	0.6	149	29.80	47.80	# 30	0.6	135	27.00	57.40	52.60
# 50	0.3	114	22.80	25.00	# 50	0.3	138	27.60	29.80	27.40
#100	0.15	105	21.00	4.00	#100	0.15	121	24.20	5.60	4.80
# 200	0.075	16	3.20	0.80	# 200	0.075	26	5.20	0.40	0.60
PAN		4	0.80				2	0.40		
Weight Of Sample (gr)		500			Weight Of Sample (gr)		500			

4.2.5. Pengujian *Filler* Semen

Pada pengujian *Filler* Semen menggunakan beberapa saringan mulai dari saringan 1 1/2" sampai saringan No. 200. *Filler* merupakan agregat halus yang lolos saringan 1 1/2" - No. 100 dan tertahan mulai dari saringan No. 200 ada pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.6. Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/AASHTO T27-88)

PERCOBAAN 1					PERCOBAAN 2					Rata -
UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	
SIEVE SIZE		gr	%	%	SIEVE SIZE		gr	%	%	Rata Lolos
inch	mm				inch	mm				%
11/2"	37.5	0.0	0.0	100.00	11/2"	37.5	0.0	0.0	100.00	100.00
1"	25.0	0.0	0.0	100.00	1"	25.0	0.0	0.0	100.00	100.00
3/4"	19.0	0.0	0.0	100.00	3/4"	19.0	0.0	0.0	100.00	100.00
1/2"	12.5	0.0	0.0	100.00	1/2"	12.5	0.0	0.0	100.00	100.00
3/8"	9.5	0.0	0.0	100.00	3/8"	9.5	0.0	0.0	100.00	100.00
# 4	4.75	0.0	0.0	100.00	# 4	4.75	0.0	0.0	100.00	100.00
# 8	2.36	0.0	0.0	100.00	# 8	2.36	0.0	0.0	100.00	100.00
# 16	1.15	0.0	0.0	100.00	# 16	1.15	0.0	0.0	100.00	100.00
# 30	0.6	0.0	0.0	100.00	# 30	0.6	0.0	0.0	100.00	100.00
# 50	0.3	0.0	0.0	100.00	# 50	0.3	0.0	0.0	100.00	100.00
#100	0.15	0.0	0.0	100.00	#100	0.15	0.0	0.0	100.00	100.00
# 200	0.075	1.6	1.62	98.38	# 200	0.075	2.0	2.02	97.98	98.18
Weight Of Sample (gr)		99			Weight Of Sample (gr)		99			

Berdasarkan **Tabel 4.6**. Sebagian besar partikel agregat halus lolos melalui semua saringan, kecuali saringan No. 200 yang hanya menahan 2,02% dari total

berat sampel. Pada tabel Analisa Pembagian Butiran jenis material *Filler* Semen semua material lolos saringan 1” sampai dengan saringan No. 100 kecuali pada saringan No. 200 sebanyak 97,98 %.

4.2.6. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70

Dalam penelitian ini, Aspal Pen 60/70, yang juga terkenal dengan sebutan aspal Pertamina, menjadi fokus utama. Untuk aspal polimer ini, lima aspek khusus diperiksa: penetrasi, massa jenis aspal, titik lembek, kekentalan, serta titik nyala. Parameter-parameter tersebut merupakan indikator penting dari karakteristik campuran aspal polimer yang akan diaplikasikan dalam pembuatan perkerasan lentur. Berdasarkan standar spesifikasi yang tercantum dalam dokumentasi Bina Marga No. 01/MN/BM/1976, hasil analisis terhadap aspal ini disajikan secara rinci dalam **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal PEN 60/70		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
			Min	Max			
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	SNI-06-2456-1991	Memenuhi
2	Titik lembek 5°C (Ring and Ball Test)	°C	48	58	51,55	SNI-06-2434-1991	Memenuhi
3	Titik nyala (Cleaveland Open Cup)	°C	Min. 200	-	314	SNI-06-2433-1991	Memenuhi
4	Daktalitas		Min. 100	-	151,5	SNI-06-2432-1991	Memenuhi
5	Berat jenis	%	Min. 1,0	-	1034	SNI-06-2432-1991	Memenuhi

Dalam konteks proses pencampuran aspal polimer, faktor-faktor seperti suhu pencampuran, kapasitas alat mixer, serta durasi pengadukan berperan penting. Penelitian berjudul "*Evaluation And Optimization Of The Engineering Properties*

Of Polymer - Modified Asphalt" oleh J.S. Chen, M.C. Liao, dan H.H. Tsai pada tahun 2012, mengungkapkan bahwa pencampuran aspal polimer umumnya dilakukan dalam rentang waktu dua sampai tiga jam. Proses ini berlangsung pada suhu antara 150 hingga 170 derajat Celcius dan menggunakan *mixer* dengan kecepatan 2000 rotasi per menit.

4.3. Hasil Perhitungan Kombinasi

Kombinasi agregat adalah penggabungan dari masing – masing agregat yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ dan tertahan mulai dari saringan ukuran $\frac{1}{2}$ sampai dengan #200, yang terdiri dari batu pecah $\frac{1}{2}$, batu pecah $\frac{3}{4}$, abu batu, aspal, pasir dan *filler*. Dari tiap material memiliki presentase yang berbeda sesuai dengan hasil analisa saringan dan kombinasi yang dibuat. Untuk lebih jelasnya terdapat di **Tabel 4.8**.

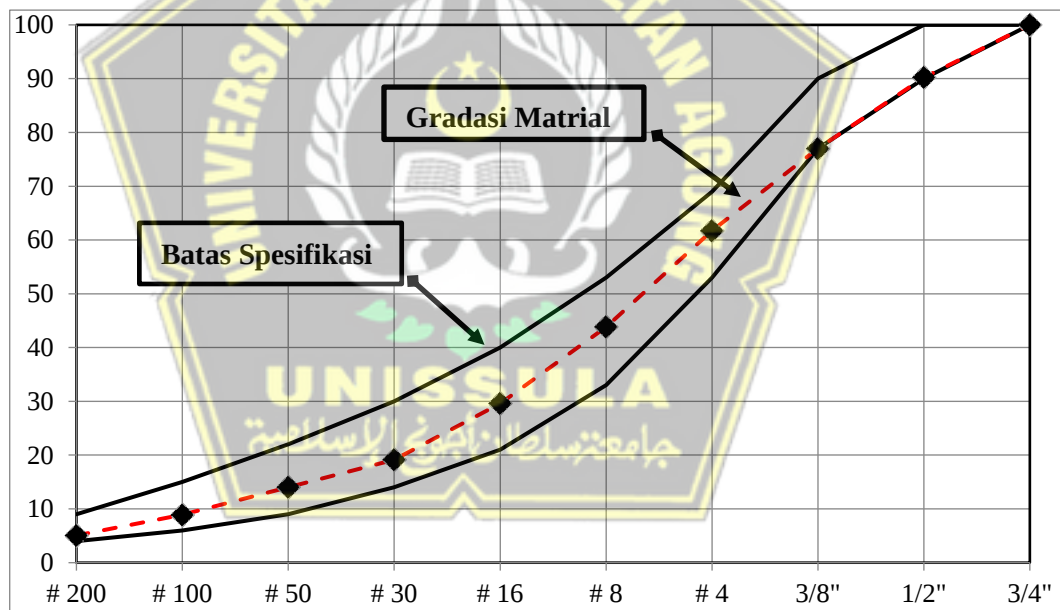
Tabel 4.8. Perhitungan Kombinasi Agregat
(SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

Uraian													
Inch			1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
mm			25	19	12.7	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Data Material													
Batu Pecah Max 3/4'		100.00	100.00	34.83	2.80	0.87	0.43	0.37	0.20	0.08	0.03	0.00	
Batu Pecah Max 1/2'		100.00	100.00	100.00	66.42	8.17	0.55	0.43	0.32	0.23	0.20	0.00	
Abu Batu		100.00	100.00	100.00	100.00	99.03	64.08	36.33	19.51	13.82	7.47	0.00	
Pasir		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.10	81.00	52.60	27.40	4.80	0.60	
Filler Semen		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	
Batu Pecah Max 3/4'	15.0%	15.00	15.00	5.23	0.42	0.13	0.06	0.06	0.03	0.01	0.00	0.00	
Batu Pecah Max 1/2'	25.0%	25.00	25.00	25.00	16.60	2.04	0.14	0.11	0.08	0.06	0.05	0.00	
Abu Batu	45.0%	45.00	45.00	45.00	45.00	44.57	28.83	16.35	8.78	6.22	3.36	0.00	
Pasir	10.0%	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	9.81	8.10	5.26	2.74	0.48	0.06	
Filler Semen	5.0%	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	
Total Campuran	100%	100.00	100.00	90.23	77.02	61.74	43.85	29.61	19.15	14.03	8.90	5.06	
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				90.00	78.50	56.00	40.00	27.50	19.00	12.50	8.50	5.50	
Luas Permukaan Agregat	:	7.81											

Tabel 4.9. Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan
(SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

No. Saringan	Presentase Lolos	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos	Batas Bawah	Batas Atas
# 200	9	5.06	7.5
# 100	15	8.9	12.5
# 50	22	14.03	18.5
# 30	30	19.15	25
# 16	40	29.61	33.5
# 8	53	43.85	46
# 4	69	61.74	66
3/8"	90	77.02	88.5

Dari **Tabel 4.9.** hasil dari kombinasi agregat dengan total campuran gradasi agregat tiap saringan tidak boleh melebihi batas maksimal dan minimal dari spesifikasi gradasi yang telah ditetapkan.



Penggabungan agregat, yang memiliki persentase lolos melalui saringan nomor 200 hingga 3/4 inci, harus diatur sedemikian rupa agar tidak melampaui batas minimal dan maksimal yang telah ditentukan untuk setiap ukuran agregat terayak, sebagaimana diilustrasikan pada **Grafik 4.1.** Apabila agregat tersebut melebihi batas minimal atau maksimal yang ditetapkan, maka tidak boleh digunakan sebagai material pengisi dalam Aspal Concrete - *Wearing Course* (AC-WC).

4.4. Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal Komposisi Normal

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal normal ada 5 variasi kadar aspal yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%, dengan benda uji Maximum specific gravity (GMM) sebanyak 2 buah.

Tabel 4.10. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum Komposisi Normal

No.	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		gr	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368
2	Berat Botol		gr	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767
3	Berat Contoh	(1 - 2)	gr	601	601	601	601	601	601	601	601	601	601
4	Berat Botol+Contoh+Air(batas kalibera		gr	2,489	2,236	2,500	2,239	2,235	2,238	2,230	2,233	2,228	2,221
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)		gr	1,888	1,886	1,899	1,896	1,893	1,896	1,890	1,893	1,874	1,867
6	Berat air	(4 - 5)	gr	1,121	350	1,132	343	867	342	862	340	860	354
7	Volume contoh	(3 - 6)	gr	- 520	251	- 531	258	- 266	259	- 261	261	- 259	247
8	Max Specific Gravity (Gmm (3 : 7)		gr/cc	1.156	2.393	1.132	2.329	2.259	2.320	2.303	2.303	2.320	2.433
9	Temperatur air T °C		gr	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		gr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm (8 x 10)		gr/cc	1.156	2.393	1.132	2.329	2.259	2.320	2.303	2.303	2.320	2.433
Rata - rata GMM				1.774		1.731		2.290		2.303		2.377	
Variasi Kadar Aspal %				4.00%		4.50%		5.00%		5.50%		6.00%	

Berdasarkan hasil dari **Tabel 4.10.** pemeriksaan berat jenis campuran aspal normal dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%, dengan berat jenis maksimum aspal adalah 1,774 gr/cc.

4.5. Pengujian Kadar Aspal dan Ekstrasi (SNI 03-3640-1994)

Kadar aspal merupakan besaran yang menunjukkan banyaknya aspal yang terdapat dalam campuran beraspal, dan dapat ditentukan dengan cara mengekstrak aspal menggunakan alat refluks ekstraktor. Dengan melakukan pengujian ini, kita dapat mengetahui kadar aspal dalam campuran aspal sesuai dengan metode yang telah ditetapkan.

Tabel 4.11. Pengujian Ekstrasi

No	URAIAN PEMERIKSAAN	Rumus	Benda Uji I	Satuan
A	Berat Pan + Cawan		1056	gr
B	Berat Material + Pan Sebelum		5574	gr
C	Berat Material + Pan Sesudah		5350	gr
D	Berat Sebelum Ekstrasi	(B - A)	4518	gr
E	Berat Sesudah Ekstrasi	(C - A)	4294	gr
F	Berat Kertas Filter		38	gr
G	Berat Total Mineral	(C - A - F)	4256	gr
H	Berat Aspal Dalam Campuran	(D - G)	262	gr
I	Persen Aspal Dalam Campuran	(H/ D x 100)	5.80	%

Berdasarkan **Tabel 4.11.** hasil dari pengujian kadar aspal dan ekstrasi digunakan sebagai penentuan kadar aspal optimum sebesar 5,80% untuk campuran modifikasi *fly ash* sebagai pengganti pasir. Hasil ini dianggap memenuhi dikarenakan nilai KAO tersebut telah memenuhi syarat karakteristik *marshall* sesuai dengan spesifikasi bina marga 2018 revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi.

4.5.1. Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

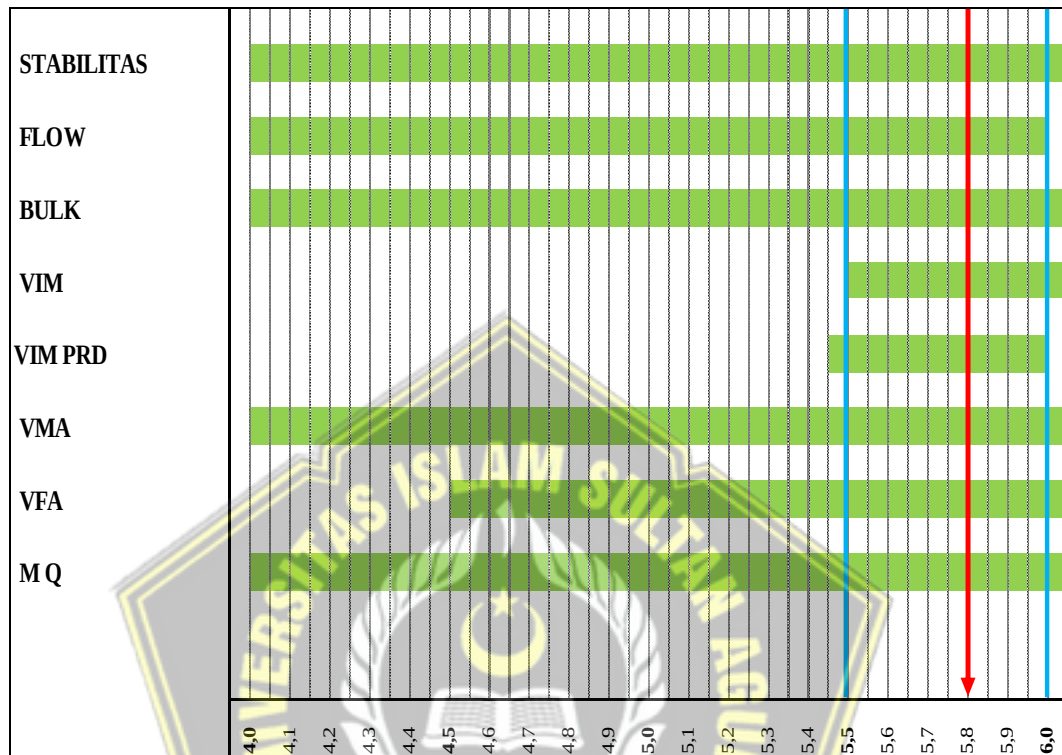
Didalam penelitian ini, kadar aspal optimum (KAO) ditetapkan pada nilai-nilai 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%, sesuai dengan enam kriteria esensial yang diuraikan dalam standar bina marga. Parameter-parameter yang diacu dalam menentukan KAO ini meliputi: stabilitas, aliran (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), volume rongga yang diisi aspal (VFA), volume rongga dalam campuran (VIM), serta volume rongga dalam agregat (VMA).

Tabel 4.12. Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

K. Marshall	VIM	VMA	VFA	STABILITAS	FLOW	MQ	BULK
4%	7.83	12.18	35.71	588.12	2.10	280.05	2.382
	8.60	12.92	33.44	765.85	8.10	94.55	2.362
	9.90	14.15	30.04	606.90	6.20	97.89	2.329
rata - rata	8.78	13.08	33.06	653.62	5.47	157.50	2.36
4.50%	10.39	15.07	31.06	635.80	4.20	151.38	2.316
	7.99	12.79	37.53	411.83	8.20	50.22	2.378
	11.47	16.09	28.71	1127.10	5.20	216.75	2.288
rata - rata	9.95	14.65	32.43	724.91	5.87	139.45	2.33
5%	8.87	14.08	37.00	780.30	6.40	121.92	2.355
	8.43	13.67	38.33	202.30	2.80	72.25	2.366
	12.27	17.29	29.03	1170.45	5.00	234.09	2.267
rata - rata	9.86	15.01	34.79	717.68	4.73	142.75	2.33
5.50%	10.59	16.14	34.39	679.15	6.40	106.12	2.311
	15.54	20.79	25.25	693.60	6.10	113.70	2.183
	13.34	18.73	28.78	491.30	4.20	116.98	2.240
rata - rata	13.16	18.55	29.47	621.35	5.57	112.27	2.24
6%	7.51	13.71	45.22	823.65	3.40	242.25	2.390
	6.40	12.68	49.53	881.45	1.80	489.69	2.419
	9.47	15.54	39.06	809.20	9.80	82.57	2.340
rata - rata	7.79	13.98	44.60	838.10	5.00	271.51	2.38

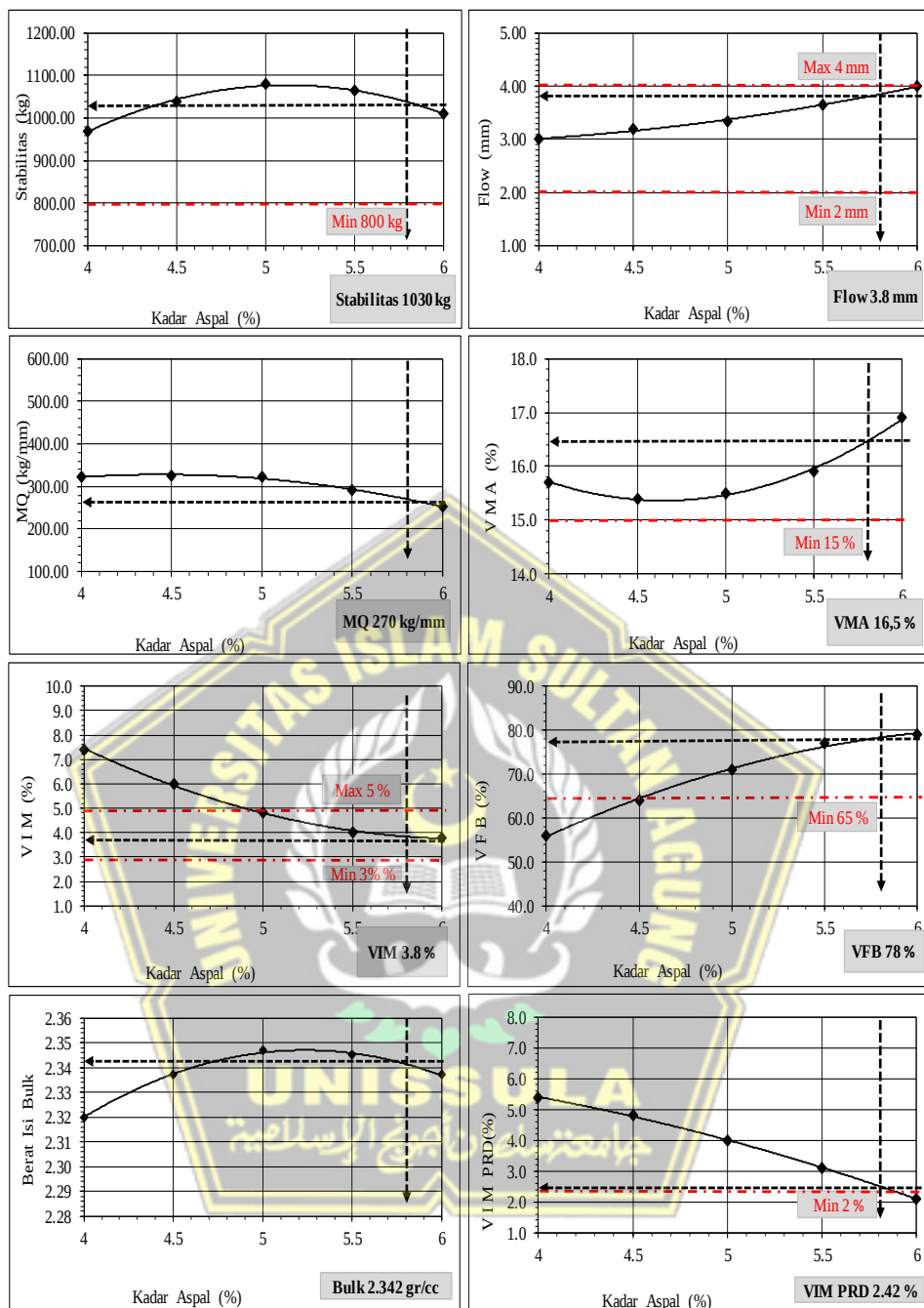
Berdasarkan **Tabel 4.12.** hasil pengujian untuk penentuan kadar aspal optimum diperoleh pada kadar aspal 5,8% sedangkan untuk kadar aspal efektif pada

kadar 5,5% dan 6%. Hal tersebut berdasarkan nilai rongga udara (VIM) dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *marshall* diatas yang memenuhi spesifikasi binamarga dengan nilai 3.00 – 5.00.



Gambar 4.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari Grafik berikut menunjukan bahwa hasil dari *Bulk Density*, VIM, VMA, Stabilitas, VFA, Flow, MQ, dan VIMPRD memiliki hasil kadar aspal optimum 5,8%.



Grafik 4.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum

4.5.2. Ringkasan Hasil Pengujian AC – WC

Setelah didapatkan presentase dari setiap fraksi agregat dan aspal maka ditentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas mold yang ada.

Contoh untuk campuran AC – WC sebagai berikut :

- Kadar aspal = 5,8%
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = 5,8% x 1200 = 69,6 gr
- Berat total agregat = (100 – 5,8)% x 1200 = 1130,4 gr
- *Coarse Agg.* (1/2') = 25% x 1200 gr = 300 gr
- *Medium Agg.* (3/8') = 25% x 1200 gr = 300 gr
- Pasir = 40% x 1200 gr = 480 gr
- Abu batu = 3% x 1200 = 36 gr
- *Filler* = 1,2% x 1200 = 14,4 gr
- Total agregat = 1130,4 gr

4.6. Pembuatan Benda Uji

Dari hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) didapatkan hasil kadar aspal terpilih sebesar 5,8% dan dengan modifikasi *fly ash* (substitusi abu batu) dan tanah (substitusi pasir). Terdapat 16 variasi dengan setiap variasi dibuat sebanyak 3 benda uji, sehingga benda yang dihasilkan sebanyak 48 sampel.

Tabel 4.13. Rencana Benda Uji

No.	Variasi	Benda Uji
1	F0B3 (<i>Fly ash</i> 0%, Ban Bekas 3%)	3
2	F0B2 (<i>Fly ash</i> 0%, Ban Bekas 2%)	3
3	F0B1 (<i>Fly ash</i> 0%, Ban Bekas 1%)	3
4	F0B0 (<i>Fly ash</i> 0%, Ban Bekas 0%)	3
5	F2B3 (<i>Fly ash</i> 2%, Ban Bekas 3%)	3
6	F2B2 (<i>Fly ash</i> 2%, Ban Bekas 2%)	3
7	F2B1 (<i>Fly ash</i> 2%, Ban Bekas 1%)	3
8	F2B0 (<i>Fly ash</i> 2%, Ban Bekas 0%)	3
9	F4B3 (<i>Fly ash</i> 4%, Ban Bekas 3%)	3
10	F4B2 (<i>Fly ash</i> 4%, Ban Bekas 2%)	3
11	F4B1 (<i>Fly ash</i> 4%, Ban Bekas 1%)	3
12	F4B0 (<i>Fly ash</i> 4%, Ban Bekas 0%)	3
13	F6B3 (<i>Fly ash</i> 6%, Ban Bekas 3%)	3
14	F6B2 (<i>Fly ash</i> 6%, Ban Bekas 2%)	3
15	F6B1 (<i>Fly ash</i> 6%, Ban Bekas 1%)	3
16	F6B0 (<i>Fly ash</i> 6%, Ban Bekas 0%)	3
TOTAL SAMPEL		48

Pada pembuatan benda uji setiap variasi dibuat 3 buah sampel untuk perbandingan apabila salah satu sampel ada yang tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 revisi 2 dan 2 sampel lainnya memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka dapat dibandingkan hasilnya dari ketiga sampel tersebut.

4.7. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi 16 variasi *fly ash* dan Ban Bekas dengan benda uji *Maximum specific gravity* (GMM) sebanyak 2 buah untuk masing – masing variasi.

Tabel 4.14. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran GMM Pada Aspal Modifikasi

No.	modifikasi	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)											
		Kadar Aspal 5,8%											
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365
2	Berat Botol	Grm	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Contoh	Grm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2152	2143	2149	2148	2144	2146	2145	2142	2143	2151	2148
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804
6	Berat air	Grm	348	339	345	344	340	342	341	338	339	347	344
7	Volume contoh	Grm	252	261	255	256	260	258	259	262	261	253	256
8	Max Specific Gravity (Gmm)	Grm / cc	2,381	2,299	2,353	2,344	2,308	2,326	2,317	2,290	2,299	2,372	2,344
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	Grm / cc	2,381	2,299	2,353	2,344	2,308	2,326	2,317	2,290	2,299	2,372	2,344
Rata - rata GMM			2,340		2,348		2,317		2,303		2,335		2,348
Variasi Kadar MODIFIKASI %			F0B0		F0B2		F0B4		F0B6		F2B0		F2B2

No.	modifikasi	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)											
		Kadar Aspal 5,8%											
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365
2	Berat Botol	Grm	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Contoh	Grm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2148	2149	2140	2152	2151	2149	2149	2147	2151	2150	2146
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804
6	Berat air	Grm	344	345	336	348	347	345	345	343	347	346	342
7	Volume contoh	Grm	256	255	264	252	253	255	255	257	253	254	258
8	Max Specific Gravity (Gmm)	Grm / cc	2,344	2,353	2,273	2,381	2,372	2,353	2,353	2,335	2,372	2,362	2,326
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	Grm / cc	2,344	2,353	2,273	2,381	2,372	2,353	2,353	2,335	2,372	2,362	2,326
Rata - rata GMM			2,348		2,327		2,362		2,344		2,367		2,335
Variasi Kadar MODIFIKASI %			F2B2		F2B4		F2B6		F4B0		F4B2		F4B4

No.	modifikasi	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)											
		Kadar Aspal 5,8%											
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365	1,365
2	Berat Botol	Grm	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Contoh	Grm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2146	2148	2148	2150	2141	2146	2149	2152	2150	2144	2146
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804	1,804
6	Berat air	Grm	342	344	344	346	337	342	345	348	346	348	340
7	Volume contoh	Grm	258	256	256	254	263	258	255	252	254	252	260
8	Max Specific Gravity (Gmm)	Grm / cc	2,326	2,344	2,344	2,362	2,281	2,326	2,353	2,381	2,362	2,381	2,308
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	Grm / cc	2,326	2,344	2,344	2,362	2,281	2,326	2,353	2,381	2,362	2,381	2,308
Rata - rata GMM			2,335		2,353		2,303		2,367		2,372		2,317
Variasi Kadar MODIFIKASI %			F4B4		F4B6		F6B0		F6B2		F6B4		F6B6

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi dengan 16 variasi fly ash dan ban bekas dengan berat maksimum aspal adalah 2,340 gr/cc.

4.8. Hasil Pemeriksaan *Marshall Test*

Setelah melaksanakan formula campuran rancangan dan desain campuran untuk pekerjaan, penelitian ini melibatkan pembuatan 48 sampel uji aspal. Selanjutnya Tiap sampel diukur beratnya dalam tiga kondisi berbeda: saat kering, setelah perendaman selama 24 jam, dan dalam kondisi Saturated Surface-Dry (SSD). Proses perendaman ini dilakukan dalam waterbath (pemanasan sampel dengan merendamnya dalam air yang sudah dipanaskan) pada suhu 60°C selama 30 menit, sebelum pengukuran berat berikutnya dilakukan. Untuk mendapatkan data mengenai stabilitas dan flow (kelelehan) sampel aspal, semua sampel yang telah direndam dalam waterbath perlu segera diuji dengan menggunakan alat uji Marshall.

Pemeriksaan Marshall dilakukan dengan tujuan untuk mengukur parameter-parameter berikut: stabilitas, flow, MQ (Marshall Quotient), VMA (Void in Mineral Aggregates), VIM (Void in Mix), dan VFA (Void Filled Asphalt). Tabel yang disajikan di bawah ini menyediakan ringkasan hasil dari Uji Marshall tersebut. Tabel ini juga termasuk grafik yang menampilkan nilai-nilai untuk semua parameter Uji Marshall, termasuk VMA, VIM, VFA, stabilitas, flow, dan MQ. Hasil-hasil ini sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2).

4.8.1. Hasil Pengujian *Marshall Test* Modifikasi *Fly Ash* dan Ban Bekas

Hasil pengujian marshall untuk benda uji komposisi modifikasi *fly ash* (substitusi abu batu) dan ban bekas dengan 16 variasi dan setiap variasi ada 3 benda uji. Dengan perolehan nilai marshall dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4.15. Hasil Marshall Modifikasi

Pengujian (Komposisi Normal)															
BJ Aspal (T) :		1.033		BJ Efektif Total Agregat (Gse) :			2.642		BJ Total Agg (Gsb) :		3.527		Kalibrasi Proving Ring :		9.871 Kg
no		kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda		aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji								camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfa)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-i)				
		total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100 *g)	i				m / n
		campuran							gsb	h					
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
FOB0	1	5.8%	1165.0	654.0	1172.0	518.0	2.249	2.340	15	3.88	73.97	78	769.938	4.50	171.10
FOB0	2	5.8%	1151.0	637.0	1154.0	517.0	2.226	2.340	15.78	4.85	69.23	88	868.648	4.60	188.84
FOB0	3	5.8%	1190.0	659.0	1194.0	535.0	2.224	2.340	15.86	4.94	68.84	103	1016.713	5.75	176.82
Rata-rata		5.8%					2.233	2.340	15.519	4.560	70.683		885.09967	4.95	178.92
FOB2	1	5.8%	1165.0	644.0	1163.0	519.0	2.245	2.348	15.08	4.41	70.74	91	898.261	8.70	103.25
FOB2	2	5.8%	1135.0	617.0	1123.0	506.0	2.243	2.348	15.15	4.48	70.40	98	967.358	4.40	219.85
FOB2	3	5.8%	1142.0	635.0	1145.0	510.0	2.239	2.348	15.29	4.65	69.61	93	918.003	2.40	382.50
Rata-rata		5.8%					2.242	2.348	15.174	4.514	70.252		927.874	5.167	235.2012
FOB4	1	5.8%	1112.0	602.0	1107.0	505.0	2.202	2.317	16.70	4.95	70.36	126	1243.746	6.70	185.63
FOB4	2	5.8%	1157.0	623.0	1143.0	520.0	2.225	2.317	15.83	3.96	75.01	134	1322.714	5.48	241.37
FOB4	3	5.8%	1196.0	670.0	1213.0	543.0	2.203	2.317	16.68	4.92	70.48	147	1451.037	4.48	323.89
Rata-rata		5.8%					2.210	2.317	16.402	4.609	71.951		1339.1657	5.553	250.299
FOB6	1	5.8%	1137.0	659.0	1173.0	514.0	2.212	2.303	16.32	3.96	75.72	128	1263.488	6.10	207.13
FOB6	2	5.8%	1103.0	672.0	1169.0	497.0	2.219	2.303	16.04	3.65	77.26	124	1224.004	4.54	269.60
FOB6	3	5.8%	1134.0	629.0	1143.0	514.0	2.206	2.303	16.54	4.22	74.51	84	829.164	4.43	187.17
Rata-rata		5.8%					2.213	2.303	16.301	3.942	75.829		1105.552	5.023	221.3013

Pengujian (Komposisi Normal)															
BJ Aspal (T) :		1.033		BJ Efektif Total Agregat (Gse) :			2.642		BJ Total Agg (Gsb) :		3.527		Kalibrasi Proving Ring :		9.871 Kg
no		kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda		aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji								camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfa)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-i)				
		total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100 *g)	i				m / n
		campuran							gsb	h					
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
F2B0	1	5.8%	1010.0	625.0	1075.0	450.0	2.244	2.335	15	3.89	74.25	131	1293.101	3.50	369.46
F2B0	2	5.8%	1147.0	645.0	1157.0	512.0	2.240	2.335	15.25	4.07	73.34	132	1302.972	5.00	260.59
F2B0	3	5.8%	1122.0	669.0	1169.0	500.0	2.244	2.335	15.11	3.91	74.16	126	1243.746	3.80	327.30
Rata-rata		5.8%					2.243	2.335	15.152	3.953	73.916		1279.9397	4.1	319.12
F2B2	1	5.8%	1102.0	635.0	1128.0	493.0	2.235	2.348	15.44	4.81	68.82	144	1421.424	4.50	315.87
F2B2	2	5.8%	1100.0	638.0	1128.0	490.0	2.245	2.348	15.08	4.41	70.78	128	1263.488	4.00	315.87
F2B2	3	5.8%	1139.0	655.0	1162.0	507.0	2.247	2.348	15.01	4.33	71.13	141	1391.811	5.00	278.36
Rata-rata		5.8%					2.242	2.348	15.177	4.518	70.244		1358.9077	4.500	303.3687
F2B4	1	5.8%	1167.0	655.0	1175.0	520.0	2.244	2.327	15.10	3.55	76.49	146	1441.166	4.70	306.63
F2B4	2	5.8%	1020.0	632.0	1090.0	458.0	2.227	2.327	15.75	4.29	72.78	141	1391.811	6.00	231.97
F2B4	3	5.8%	1070.0	655.0	1131.0	476.0	2.248	2.327	14.96	3.39	77.33	136	1342.456	6.20	216.53
Rata-rata		5.8%					2.240	2.327	15.272	3.743	75.532		1391.811	5.633	251.7082
F2B6	1	5.8%	1134.0	665.0	1170.0	505.0	2.246	2.362	15.05	4.94	67.18	92	908.132	5.00	181.63
F2B6	2	5.8%	1080.0	633.0	1114.0	481.0	2.245	2.362	15.06	4.95	67.14	105	1036.455	5.70	181.83
F2B6	3	5.8%	1111.0	635.0	1130.0	495.0	2.244	2.362	15.09	4.99	66.96	120	1184.52	4.00	296.13
Rata-rata		5.8%					2.245	2.362	15.069	4.959	67.093		1043.0357	4.900	219.8635

Pengujian (Komposisi Normal)																	
BJ Aspal (T) :		1.033				BJ Efektif Total Agregat (Gse) :		2.642		BJ Total Agg (Gsb) :		3.527		Kalibrasi Proving Ring :		9.871 Kg	
no		kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi		
benda		aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall		
uji								camp. Agg	agg(vma)	camp(vim)	aspal(vfa)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)		
		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		
		% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)						
		total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m / n		
		campuran							gsb	h							
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)		
F4B0	1	5.8%	1050.0	642.0	1110.0	468.0	2.244	2.344	15.13	4.27	71.74	163	1608.973	4.80	335.20		
F4B0	2	5.8%	1057.0	598.0	1070.0	472.0	2.239	2.344	15.28	4.45	70.86	136	1342.456	5.70	235.52		
F4B0	3	5.8%	1080.0	618.0	1100.0	482.0	2.241	2.344	15.24	4.40	71.12	168	1658.328	4.00	414.58		
Rata-rata		5.8%					2.241	2.344	15.216	4.376	71.242		1536.5857	4.833333	328.4344		
F4B2	1	5.8%	1075.0	619.0	1097.0	478.0	2.249	2.367	14.92	4.98	66.62	141	1391.811	5.00	278.36		
F4B2	2	5.8%	1085.0	640.0	1123.0	483.0	2.246	2.367	15.02	5.09	66.11	156	1539.876	4.50	342.19		
F4B2	3	5.8%	1069.0	605.0	1081.0	476.0	2.246	2.367	15.04	5.12	65.99	98	967.358	6.80	142.26		
Rata-rata		5.8%					2.247	2.367	14.995	5.063	66.239		1299.6817	5.433333	254.2718		
F4B4	1	5.8%	1023.0	602.0	1061.0	459.0	2.229	2.335	15.69	4.54	71.08	151	1490.521	5.00	298.10		
F4B4	2	5.8%	1070.0	619.0	1098.0	479.0	2.234	2.335	15.50	4.32	72.12	173	1707.683	4.00	426.92		
F4B4	3	5.8%	1070.0	619.0	1097.0	478.0	2.238	2.335	15.32	4.12	73.11	144	1421.424	4.80	296.13		
Rata-rata		5.8%					2.234	2.335	15.501	4.325	72.106		1539.876	4.6	340.385		
F4B6	1	5.8%	1030.0	610.0	1070.0	460.0	2.239	2.353	15.29	4.84	68.37	144	1421.424	4.80	296.13		
F4B6	2	5.8%	1033.0	614.0	1075.0	461.0	2.241	2.353	15.23	4.77	68.70	109	1075.939	6.00	179.32		
F4B6	3	5.8%	1052.0	612.0	1082.0	470.0	2.238	2.353	15.33	4.87	68.20	143	1411.553	5.20	271.45		
Rata-rata		5.8%					2.239	2.353	15.284	4.827	68.421		1302.972	5.333333	248.9686		

Pengujian (Komposisi Normal)																
BJ Aspal (T) :		1.033		BJ Efektif Total Agregat (Gse) :			2.642		BJ Total Agg (Gsb) :		3.527		Kalibrasi Proving Ring :		9.871 Kg	
no		kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi	
benda		aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall	
uji								camp. Agg	agg(vma)	camp(vim)	aspal(vfa)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)	
		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)					
		total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100* g)	i				m / n	
		campuran							gsb	h						
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
F6B0	4	5.8%	1048.0	616.0	1087.0	471.0	2.225	2.303	15.83	3.40	78.49	121	1194.391	5.20	229.69	
F6B0	5	5.8%	1044.0	615.0	1088.0	473.0	2.207	2.303	16.50	4.18	74.67	140	1381.94	5.00	276.39	
F6B0	6	5.8%	1052.0	617.0	1097.0	480.0	2.192	2.303	17.09	4.85	71.60	138	1362.198	6.00	227.03	
Rata-rata		5.8%					2.208	2.303	16.474	4.146	74.920		1312.843	5.4	244.3705	
F6B2	7	5.8%	1069.0	615.0	1092.0	477.0	2.241	2.367	15.22	5.32	65.07	136	1342.456	4.00	335.61	
F6B2	8	5.8%	1074.0	616.0	1098.0	482.0	2.228	2.367	15.71	5.86	62.69	126	1243.746	5.80	214.44	
F6B2	9	5.8%	1015.0	617.0	1069.0	452.0	2.246	2.367	15.05	5.13	65.93	131	1293.101	5.00	258.62	
Rata-rata		5.8%					2.238	2.367	15.326	5.435	64.561		1293.101	4.933333	269.5577	
F6B4	10	5.8%	1028.0	616.0	1076.0	460.0	2.235	2.372	15.46	5.77	62.69	145	1431.295	5.00	286.26	
F6B4	11	5.8%	1042.0	614.0	1080.0	466.0	2.236	2.372	15.41	5.71	62.92	153	1510.263	6.00	251.71	
F6B4	12	5.8%	1065.0	615.0	1089.0	474.0	2.247	2.372	15.00	5.26	64.94	148	1460.908	5.70	256.30	
Rata-rata		5.8%					2.239	2.372	15.291	5.581	63.516		1467.4887	5.566667	264.7564	
F6B6	12.6429	5.8%	1085.0	616.0	1102.0	486.0	2.233	2.317	15.55	3.63	76.64	153	1510.263	6.20	243.59	
F6B6	13.4286	5.8%	1118.0	615.0	1122.0	507.0	2.205	2.317	16.58	4.81	70.97	174	1717.554	4.50	381.68	
F6B6	14.2143	5.8%	1064.0	615.0	1098.0	483.0	2.203	2.317	16.67	4.91	70.54	126	1243.746	5.60	222.10	
Rata-rata							2.214	2.317	16.264	4.451	72.717		1490.521	5.433333	282.4557	

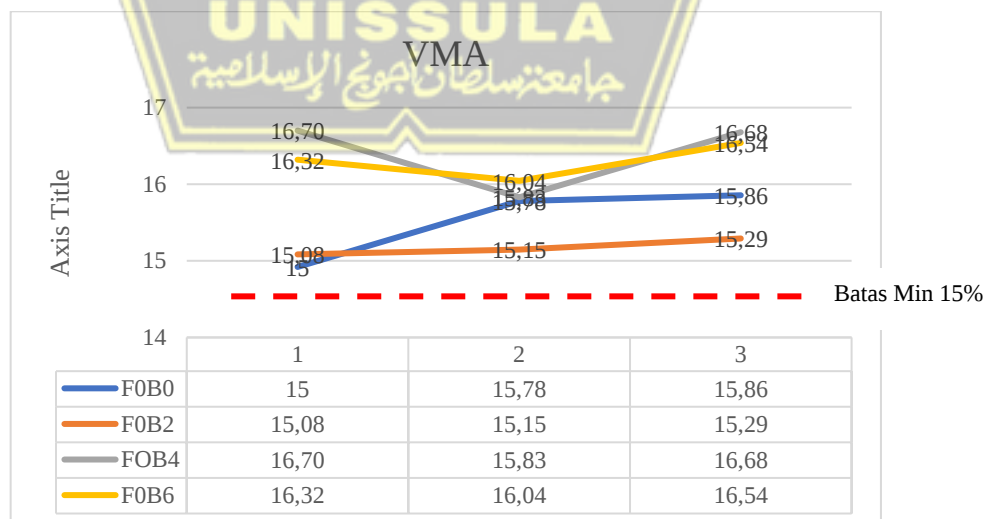
Dari **Tabel 4.15**. Hasil menunjukkan pengujian marshall bervariasi sesuai dengan presentase komposisinya. Untuk hasil parameter dapat dilihat dari grafik berikut,

4.8.2. Hasil Pengujian *Marshall Test Variasi (Fly Ash 0% dan Ban Bekas 0%,2%, 4%, 6%)*

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan *fly ash* 0% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6% dilihat pada **Table 4.16**.

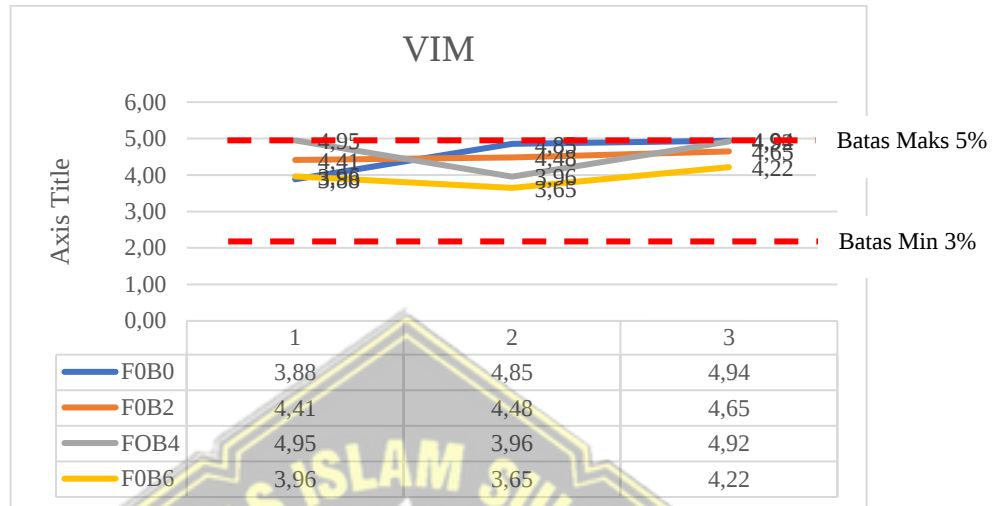
Tabel 4.16. Hasil *Marshall Test Variasi*
(*Fly Ash* 0% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%)

Variasi	Benda	Fly Ash	Ban Bekas	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
	Uji	%	%	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
F0B0	1	0	0	3.88	14.92	73.97	780	4.5	171.0973
	2	0	0	4.85	15.78	69.23	880	4.6	188.8365
	3	0	0	4.94	15.86	68.84	1030	5.75	176.8197
F0B2	1	0	2	4.41	15.08	70.74	910	8.7	103.2484
	2	0	2	4.48	15.15	70.40	980	4.4	219.8541
	3	0	2	4.65	15.29	69.61	930	2.4	382.5013
F0B4	1	0	4	4.95	16.70	70.36	1260	6.7	185.6337
	2	0	4	3.96	15.83	75.01	1340	5.48	241.3712
	3	0	4	4.92	16.68	70.48	1470	4.48	323.8922
F0B6	1	0	6	3.96	16.32	75.72	1280	6.1	207.1292
	2	0	6	3.65	16.04	77.26	1240	4.54	269.6044
	3	0	6	4.22	16.54	74.51	840	4.43	187.1702
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-



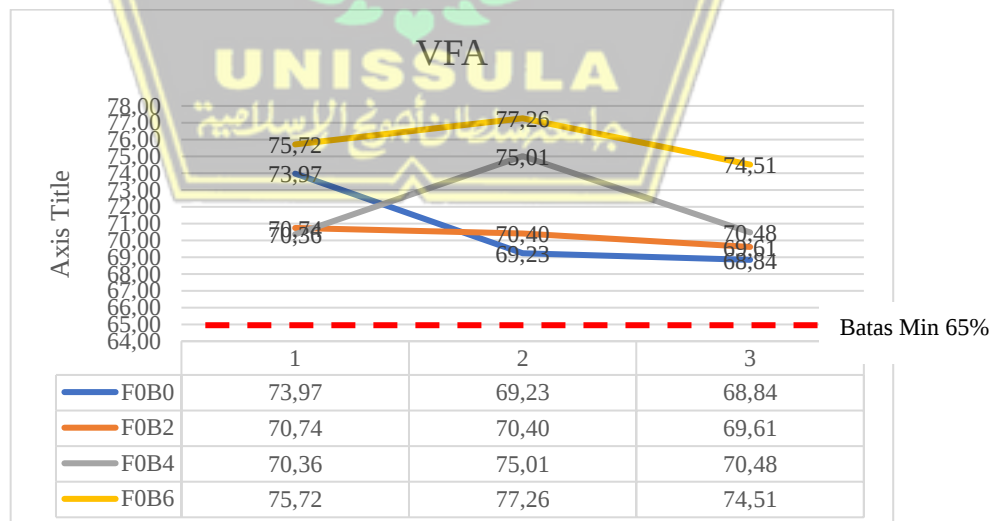
Grafik 4.3. Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.3.** pada variasi *fly ash* 0% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



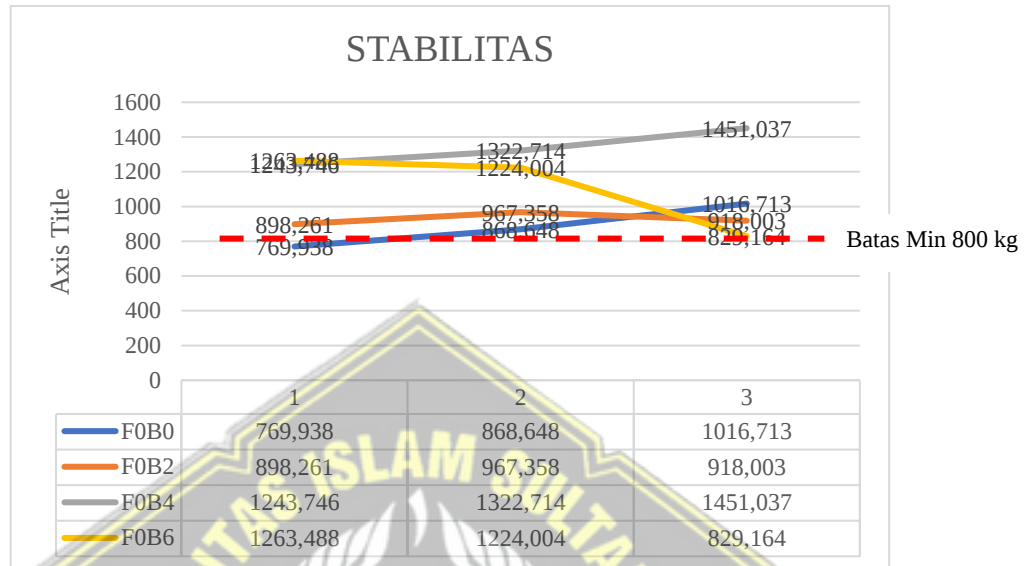
Grafik 4.4. Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.4.** pada variasi *fly ash* 0% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VIM) yaitu minimal 3% dan maksimal 5%.



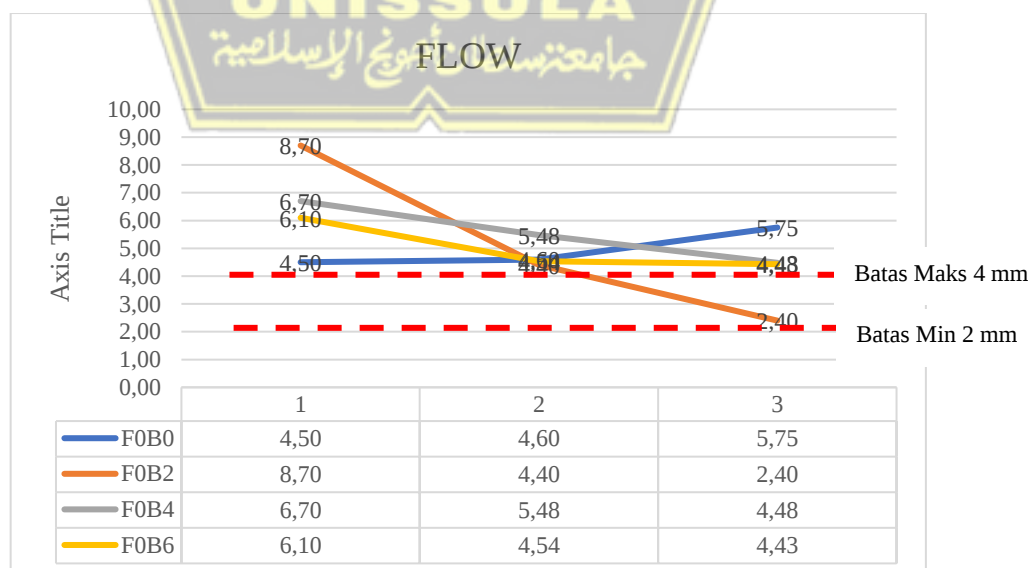
Grafik 4.5. Nilai VFA

Berdasarkan **Grafik 4.5.** pada variasi *fly ash* 0% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VFA) yaitu minimal 65%.



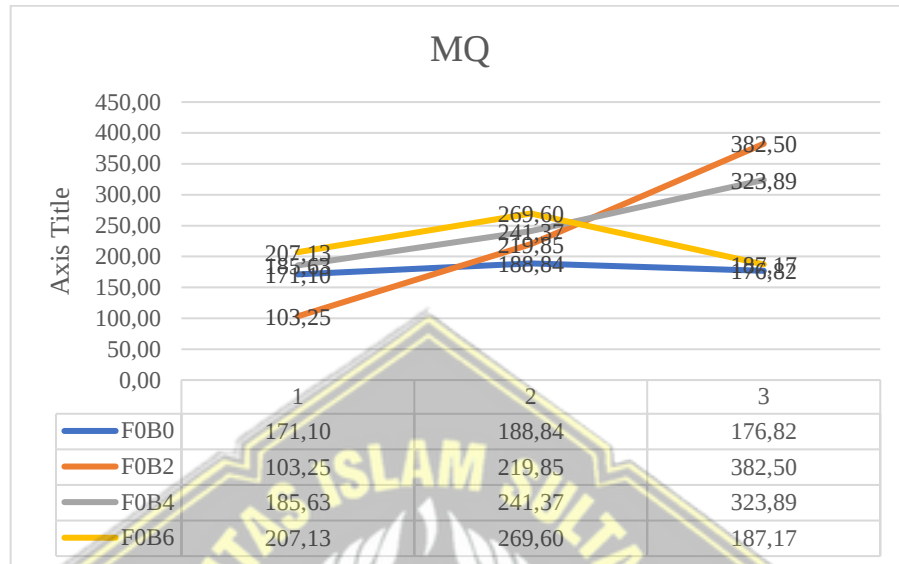
Grafik 4.6. Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.6.** pada variasi *fly ash* 0% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg.



Grafik 4.7. Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.7.** pada variasi *fly ash* 0% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai keelehan yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



Grafik 4.8. Nilai MQ

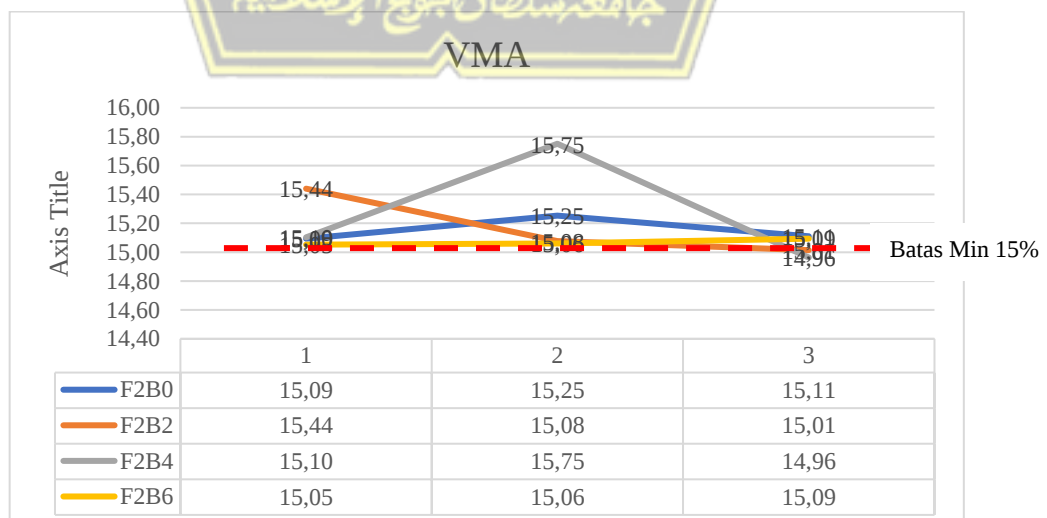
Berdasarkan **Grafik 4.8.** pada variasi *fly ash* 0% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai marshall.

4.8.3. Hasil Pengujian *Marshall Test* Variasi (*Fly Ash* 2% dan Ban Bekas 0%,2%, 4%, 6%)

Hasil variasi dengan fly ash 2% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6% bisa dilihat pada **Tabel 4.17**. Berikut :

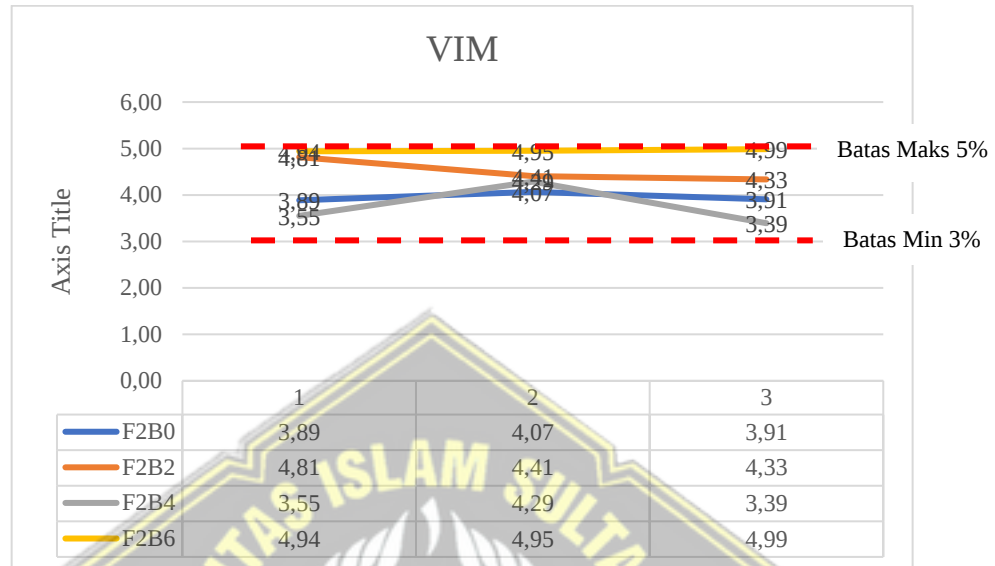
Tabel 4.17. Hasil *Marshall Test* Variasi
(*Fly Ash* 2% Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%)

Variasi	Benda	Fly Ash	Ban Bekas	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
	Uji	%	%	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
F2B0	1	2	0	3.89	15.09	74.25	1310	3.5	369.4574
	2	2	0	4.07	15.25	73.34	1320	5	260.5944
	3	2	0	3.91	15.11	74.16	1260	3.8	327.3016
F2B2	1	2	2	4.81	15.44	68.82	1440	4.5	315.872
	2	2	2	4.41	15.08	70.78	1280	4	315.872
	3	2	2	4.33	15.01	71.13	1410	5	278.3622
F2B4	1	2	4	3.55	15.10	76.49	1460	4.7	306.6311
	2	2	4	4.29	15.75	72.78	1410	6	231.9685
	3	2	4	3.39	14.96	77.33	1360	6.2	216.5252
F2B6	1	2	6	4.94	15.05	67.18	920	5	181.6264
	2	2	6	4.95	15.06	67.14	1050	5.7	181.8342
	3	2	6	4.99	15.09	66.96	1200	4	296.13
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-



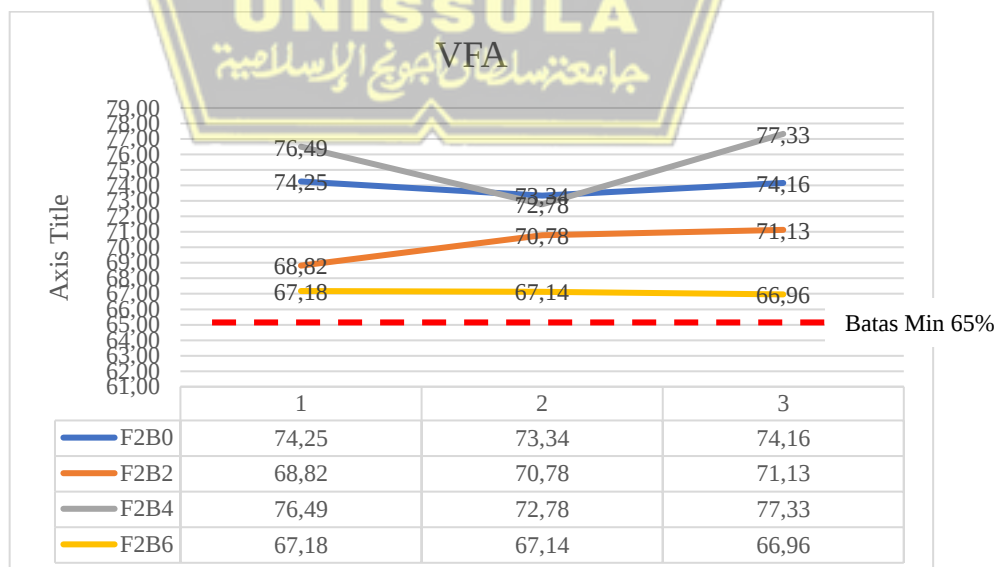
Grafik 4.9. Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.9.** pada variasi *fly ash* 2% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



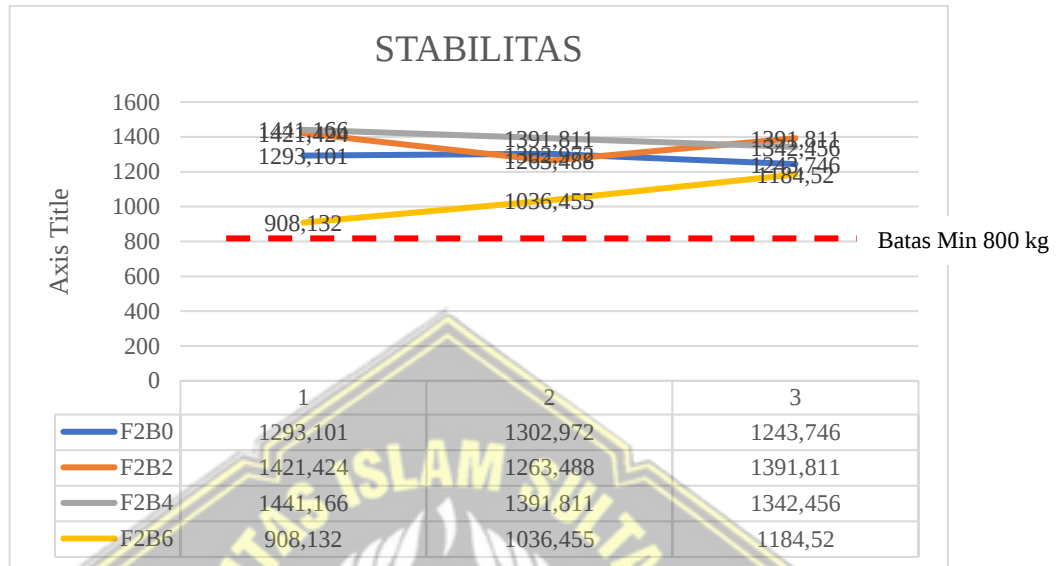
Grafik 4.10. Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.10.** pada variasi *fly ash* 2% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VIM) yaitu minimal 3% dan maksimal 5%



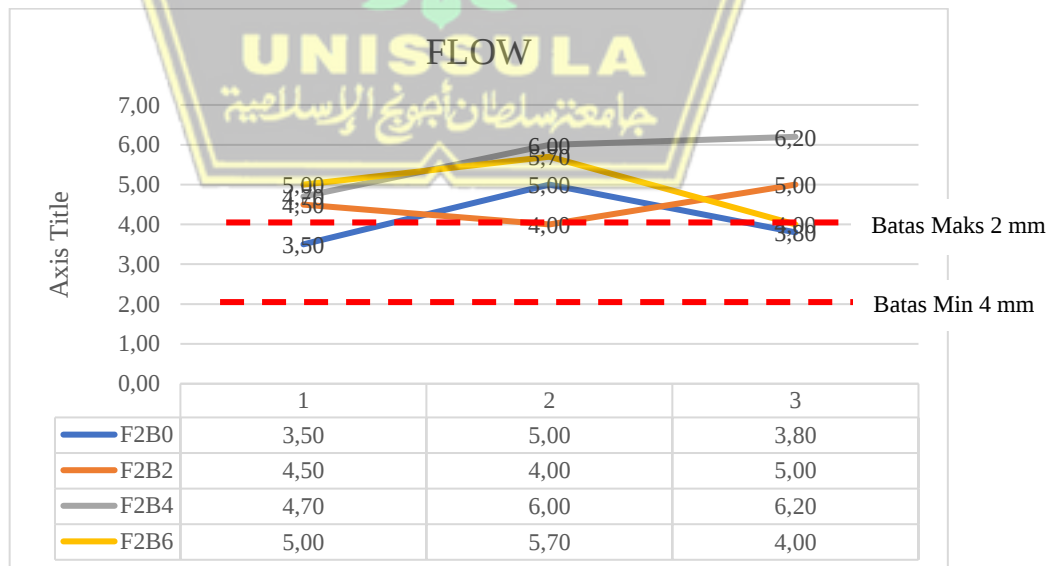
Grafik 4.11. Nilai VFA

Berdasarkan **Grafik 4.11.** pada variasi *fly ash* 2% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VFA) yaitu minimal 65%.



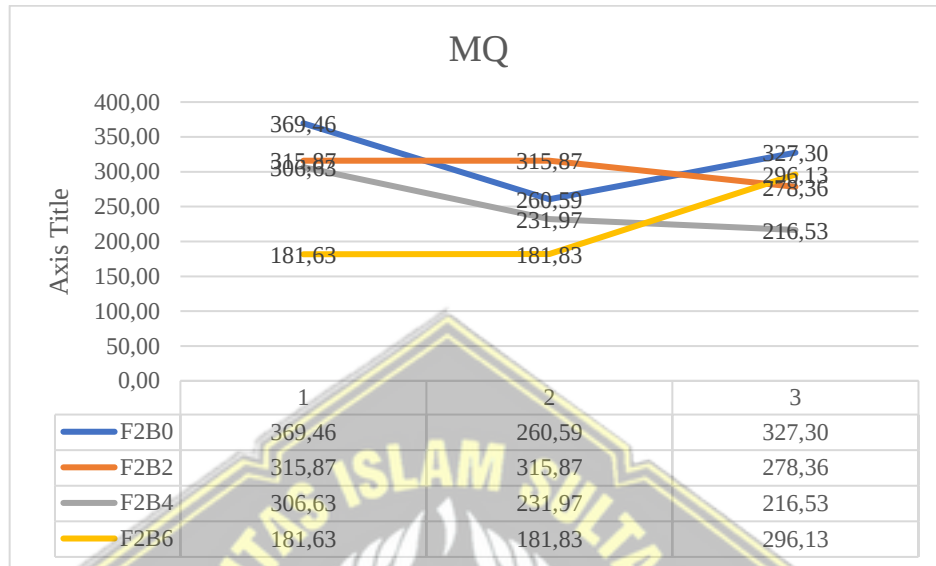
Grafik 4.12. Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.12.** pada variasi *fly ash* 2% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg.



Grafik 4.13. Nilai *Flow*

Berdasarkan **Grafik 4.13.** pada variasi *fly ash* 2% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai keelehan yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



Grafik 4.14. Nilai MQ

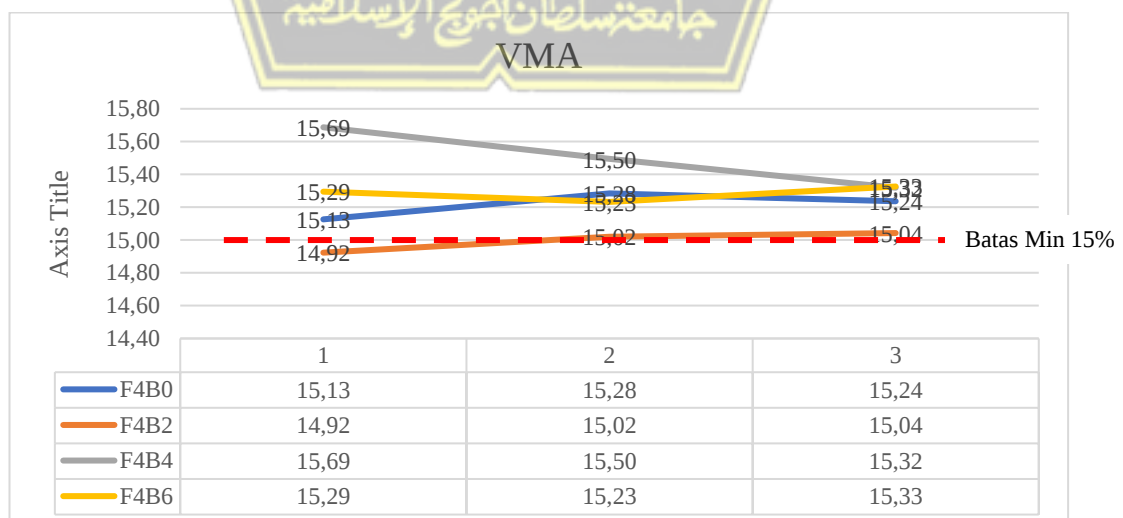
Berdasarkan **Grafik 4.14.** pada variasi *fly ash* 2% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai marshall.

4.8.4. Hasil Pengujian *Marshall Test* Variasi (*Fly Ash* 4% dan Ban Bekas 0%,2%, 4%, 6%)

Hasil variasi dengan fly ash 4% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, -% bisa dilihat pada **Tabel 4.18.** Berikut :

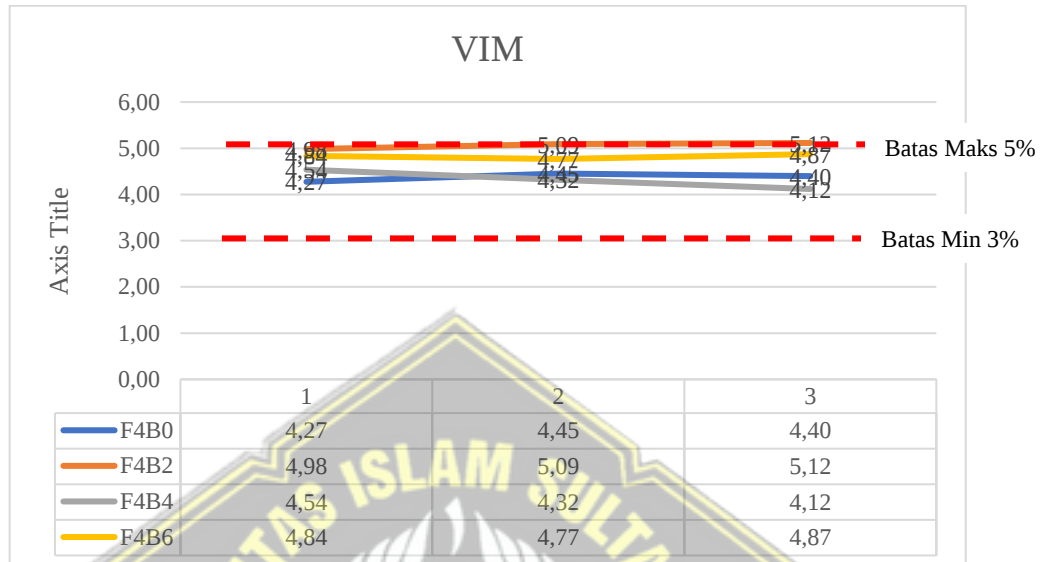
Tabel 4.18. Hasil *Marshall Test* Variasi
(*Fly Ash* 4% Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%)

Variasi	Benda	Fly Ash	Ban Bekas	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
	Uji	%	%	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
F4B0	1	4	0	4.274965	15.12612	71.73786	1630	4.8	335.2027
	2	4	0	4.453435	15.28436	70.86279	1360	5.7	235.5186
	3	4	0	4.399799	15.2368	71.12386	1680	4	414.582
F4B2	1	4	2	4.982064	14.92319	66.61529	1410	5	278.3622
	2	4	2	5.090949	15.02068	66.10708	1560	4.5	342.1947
	3	4	2	5.11539	15.04257	65.9939	980	6.8	142.2585
F4B4	1	4	4	4.536304	15.68719	71.08275	1510	5	298.1042
	2	4	4	4.319472	15.49568	72.12467	1730	4	426.9208
	3	4	4	4.119304	15.3189	73.10966	1440	4.8	296.13
F4B6	1	4	6	4.83842	15.29481	68.36561	1440	4.8	296.13
	2	4	6	4.768276	15.23237	68.69644	1090	6	179.3232
	3	4	6	4.873803	15.32631	68.19975	1430	5.2	271.4525
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-



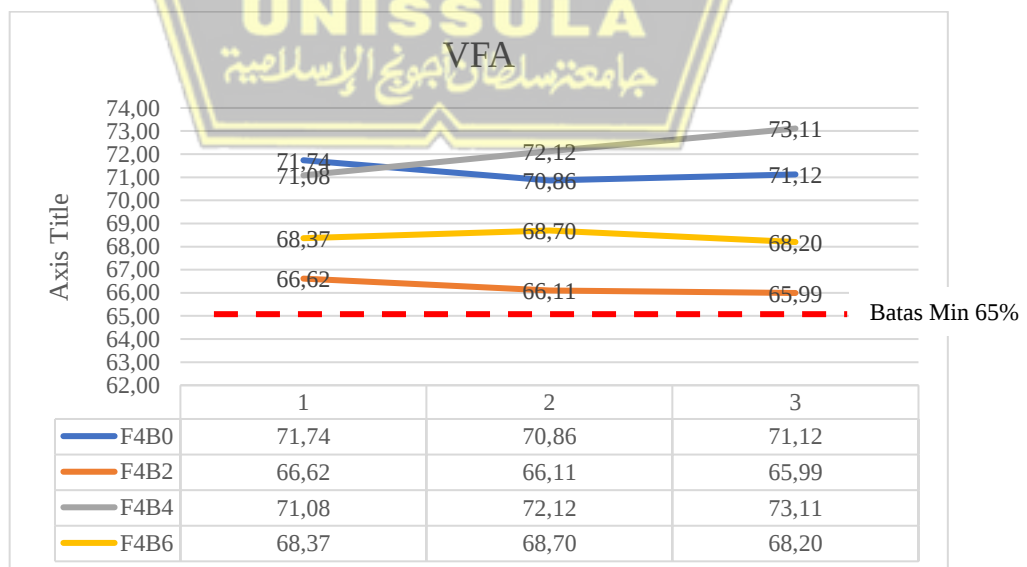
Grafik 4.15. Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.15.** pada variasi *fly ash* 4% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



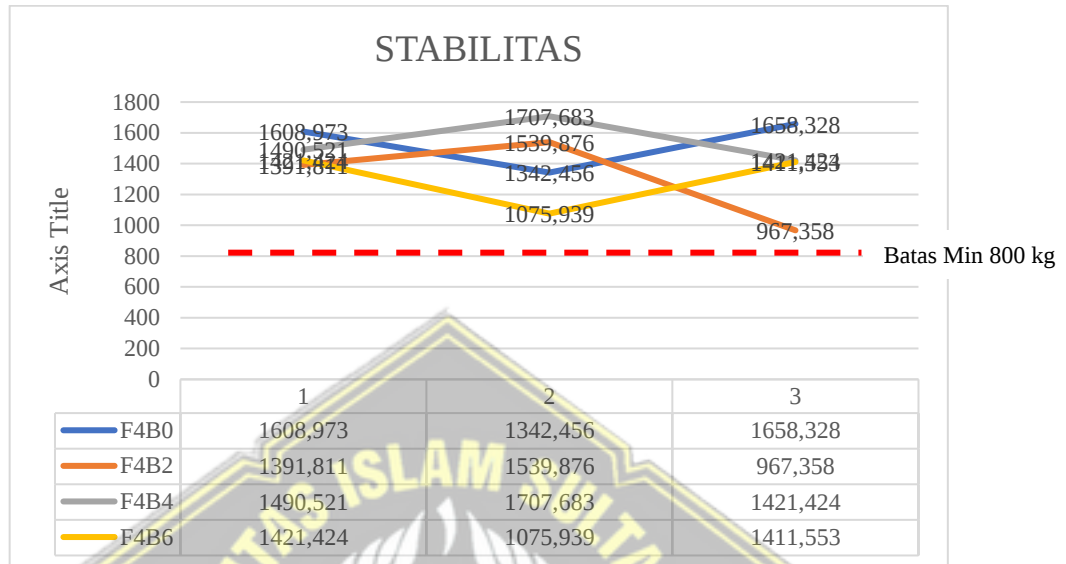
Grafik 4.16. Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.16.** pada variasi *fly ash* 4% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VIM) yaitu minimal 3% dan maksimal 5%



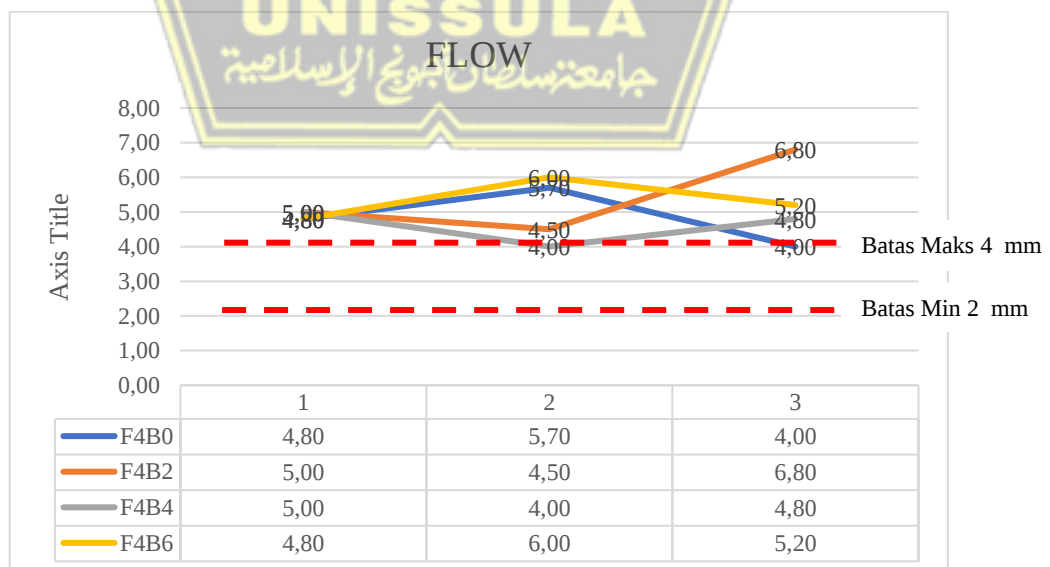
Grafik 4.17. Nilai VFA

Berdasarkan **Grafik 4.17.** pada variasi *fly ash* 4% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VFA) yaitu minimal 65%.



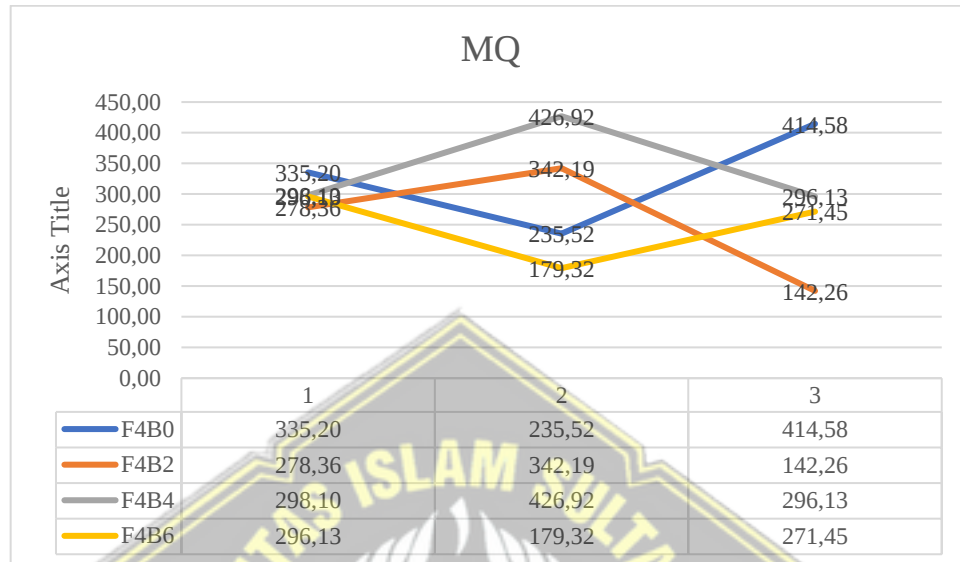
Grafik 4.18. Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.18.** pada variasi *fly ash* 4% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg.



Grafik 4.19. Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.19.** pada variasi *fly ash* 4% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai keelehan yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



Grafik 4.20. Nilai MQ

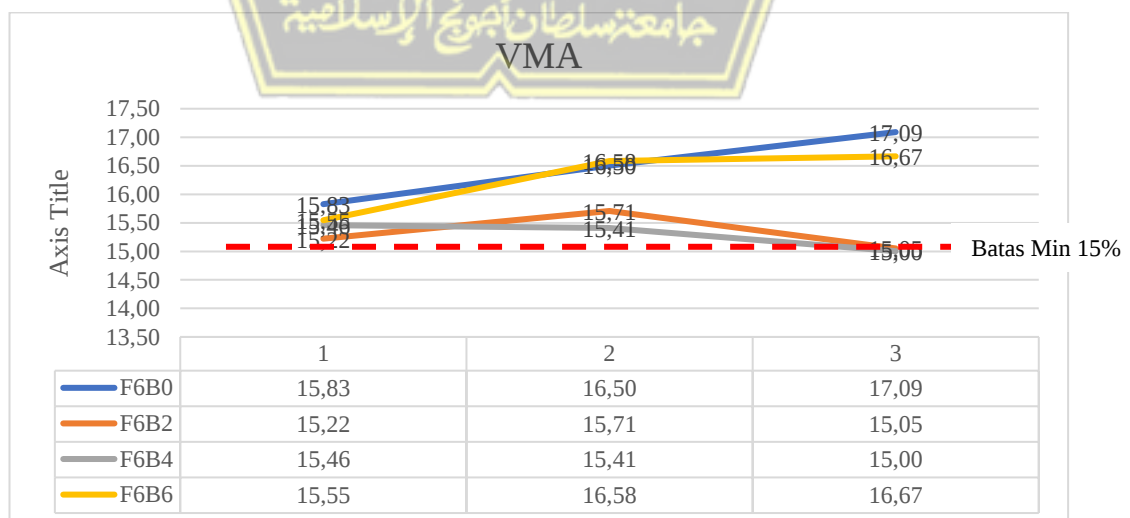
Berdasarkan **Grafik 4.20.** pada variasi *fly ash* 4% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai marshall.

4.8.5. Hasil Pengujian *Marshall Test Variasi (Fly Ash 6% dan Ban Bekas 0%,2%, 4%, 6%)*

Hasil variasi dengan fly ash 6% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, -% bisa dilihat pada **Tabel 4.19.** Berikut :

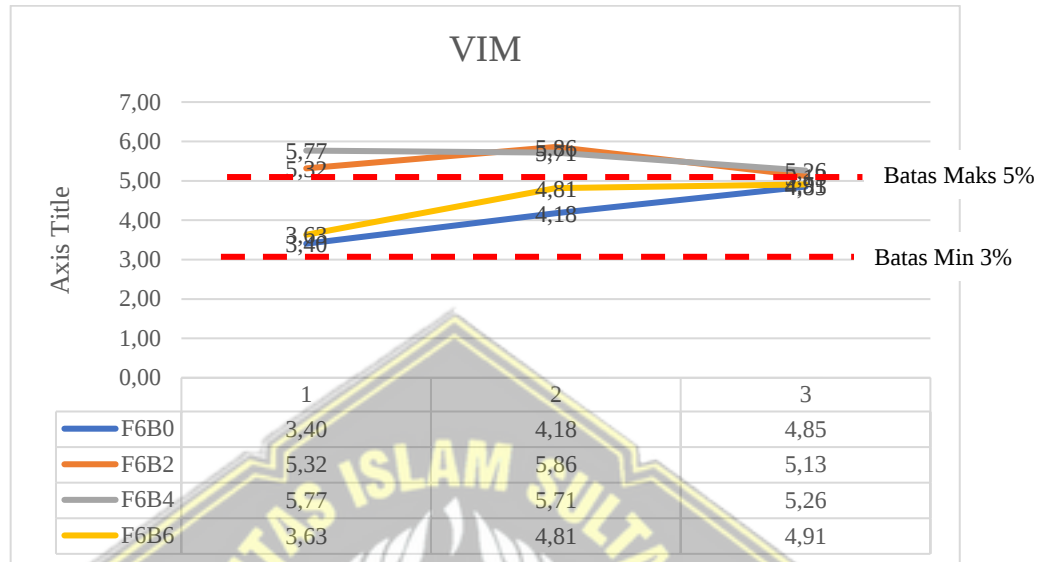
Tabel 4.19. Hasil *Marshall Test Variasi (Fly Ash 6% Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%)*

Variasi	Benda	Fly Ash	Ban Bekas	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
	Uji	%	%	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
F6B0	4	6	0	3.40	15.83	78.49	1210	5.2	229.6906
	5	6	0	4.18	16.50	74.67	1400	5	276.388
	6	6	0	4.85	17.09	71.60	1380	6	227.033
F6B2	7	6	2	5.32	15.22	65.07	1360	4	335.614
	8	6	2	5.86	15.71	62.69	1260	5.8	214.439
	9	6	2	5.13	15.05	65.93	1310	5	258.6202
F6B4	10	6	4	5.77	15.46	62.69	1450	5	286.259
	11	6	4	5.71	15.41	62.92	1530	6	251.7105
	12	6	4	5.26	15.00	64.94	1480	5.7	256.2996
F6B6	13	6	6	3.63	15.55	76.64	1530	6.2	243.5908
	14	6	6	4.81	16.58	70.97	1740	4.5	381.6787
	15	6	6	4.91	16.67	70.54	1260	5.6	222.0975
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-



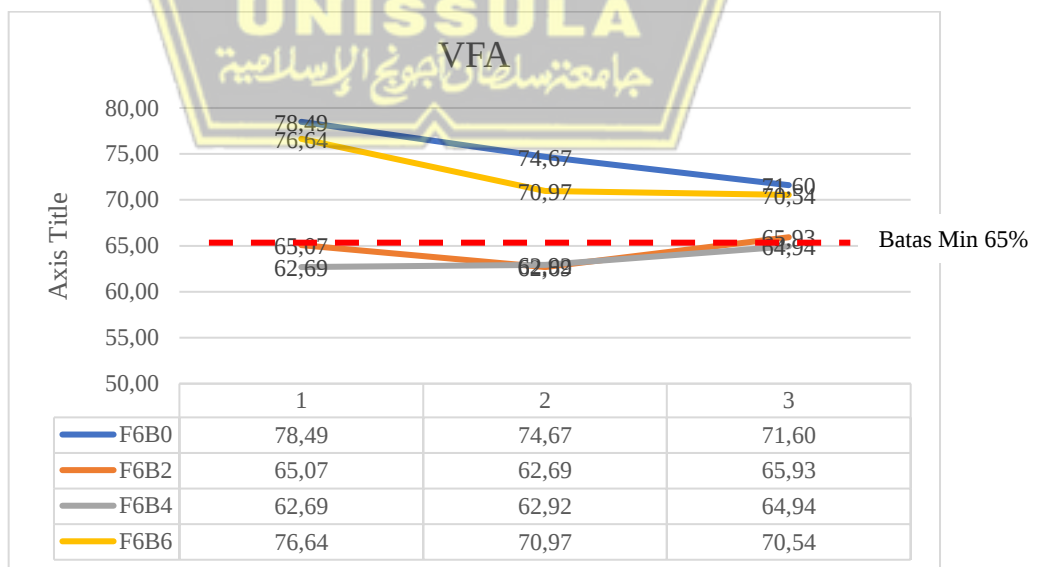
Grafik 4.21. Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.21.** pada variasi *fly ash* 6% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



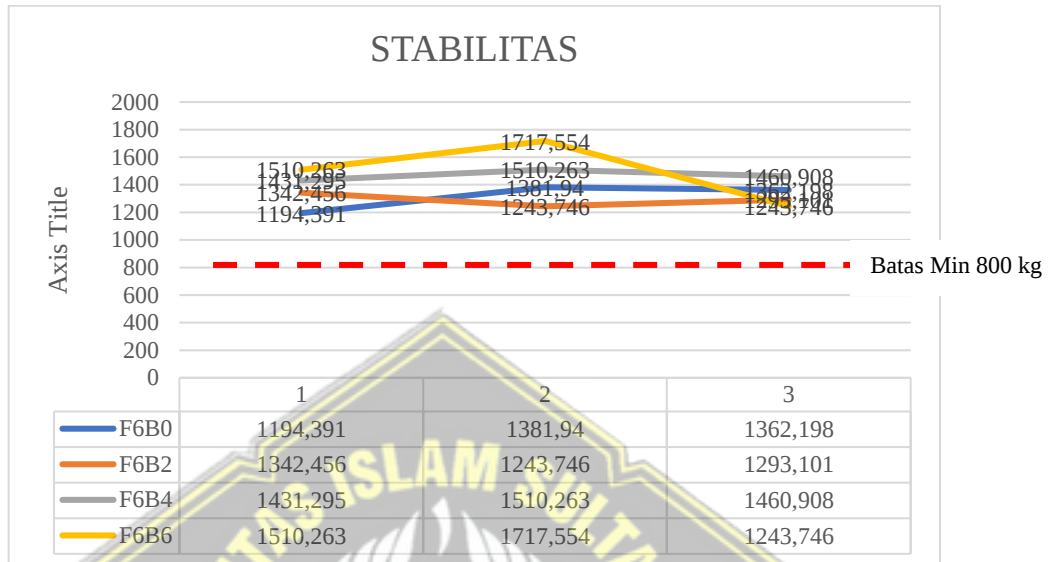
Grafik 4.22. Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.22.** pada variasi *fly ash* 6% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VIM) yaitu minimal 3% dan maksimal 5%



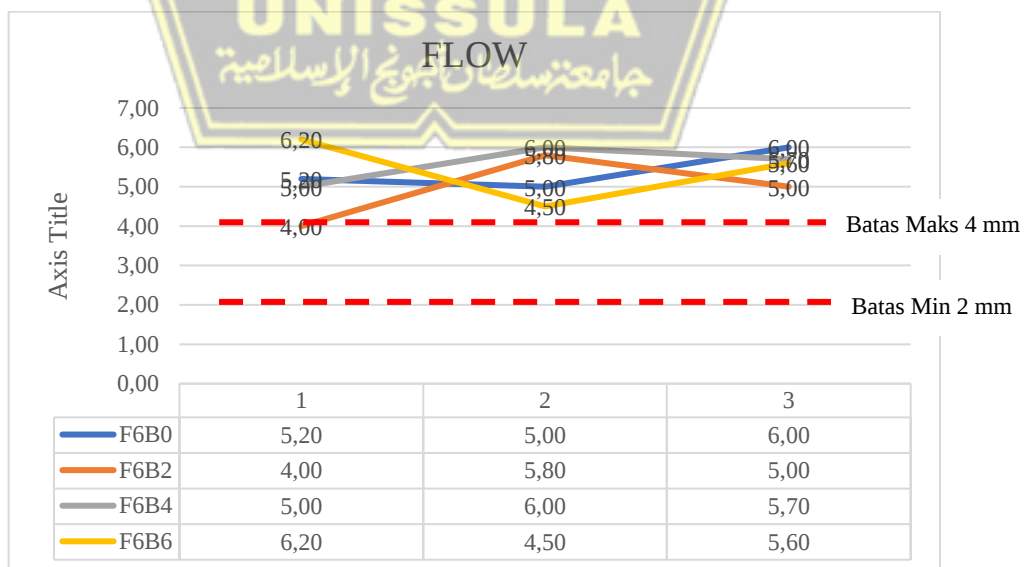
Grafik 4.23. Nilai VFA

Berdasarkan **Grafik 4.22.** pada variasi *fly ash* 6% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VFA) yaitu minimal 65%.



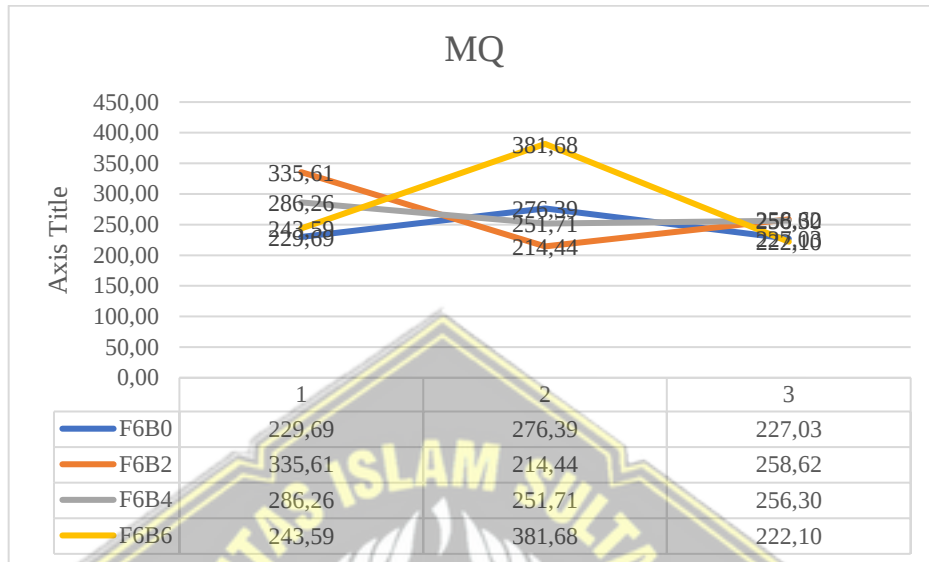
Grafik 4.24. Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.22.** pada variasi *fly ash* 6% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg.



Grafik 4.25. Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.23.** pada variasi *fly ash* 6% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai keelehan yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



Grafik 4.26. Nilai MQ

Berdasarkan **Grafik 4.24.** pada variasi *fly ash* 6% dan Ban Bekas 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai marshall.

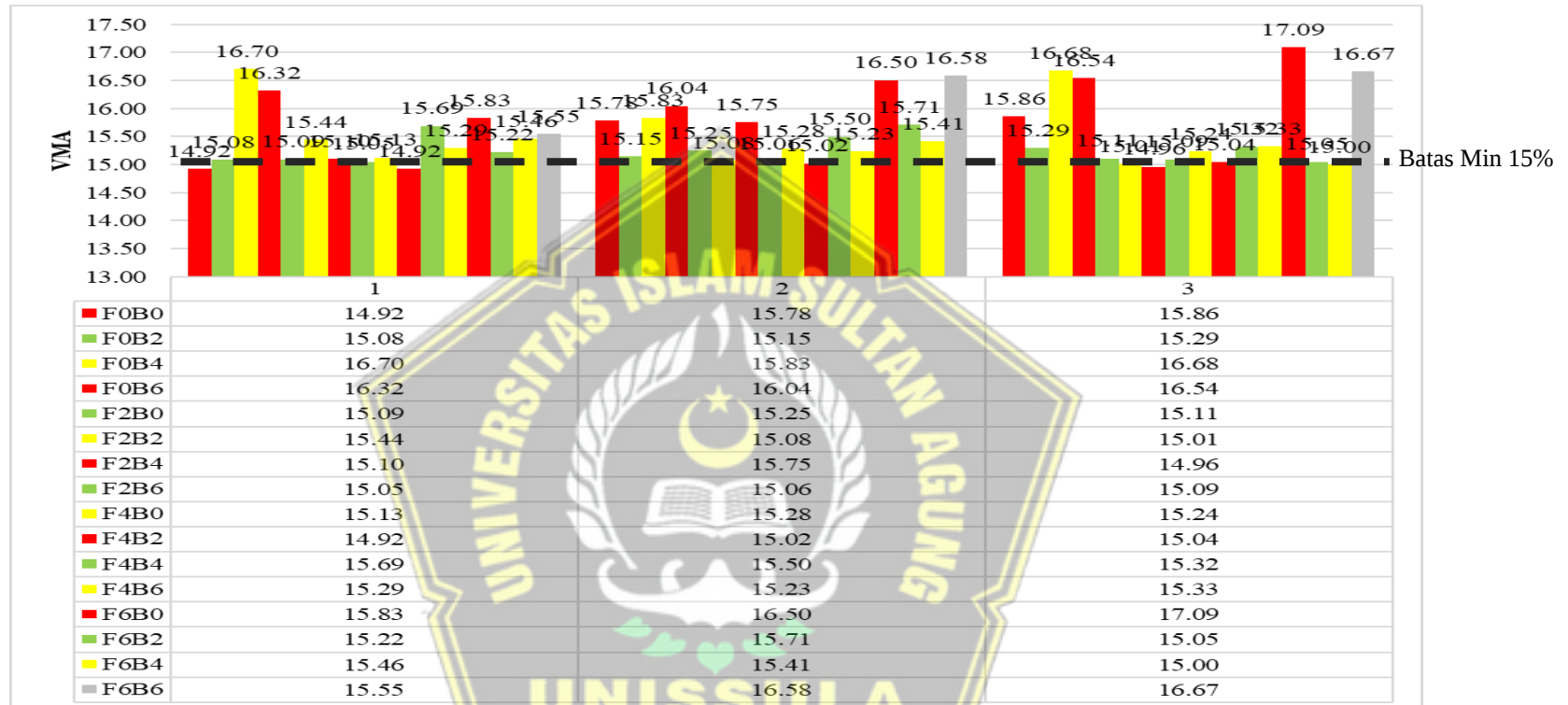
4.9. Ulasan Hasil Pengujian *Marshall Test* Semua Variasi Bahan Tambah

Demikian hasil pengujian *Marshall Test* untuk semua komposisi aspal modifikasi pada semua variasi *fly ash* dan ban bekas bisa dilihat pada **Tabel 4.20**.

Tabel 4.20. Ulasan Uji *Marshall* Semua Variasi Bahan Tambah

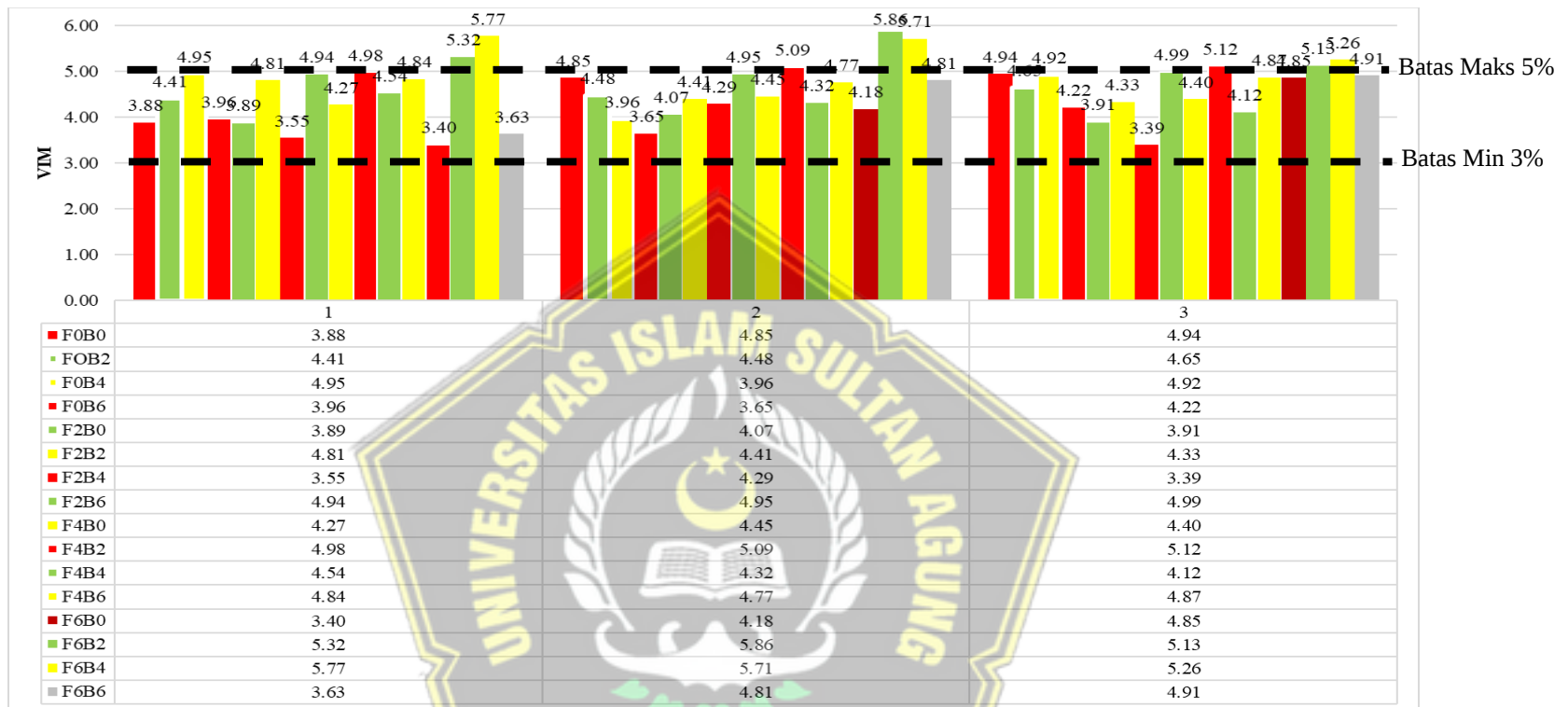
Variasi	Benda Uji	Fly Ash %	Ban Bekas %	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
				VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
F0B0	1	0	0	3.88	14.92	73.97	780.00	4.50	171.10
	2	0	0	4.85	15.78	69.23	880.00	4.60	188.84
	3	0	0	4.94	15.86	68.84	1030.00	5.75	176.82
F0B2	1	0	2	4.41	15.08	70.74	910.00	8.70	103.25
	2	0	2	4.48	15.15	70.40	980.00	4.40	219.85
	3	0	2	4.65	15.29	69.61	930.00	2.40	382.50
F0B4	1	0	4	4.95	16.70	70.36	1260.00	6.70	185.63
	2	0	4	3.96	15.83	75.01	1340.00	5.48	241.37
	3	0	4	4.92	16.68	70.48	1470.00	4.48	323.89
F0B6	1	0	6	3.96	16.32	75.72	1280.00	6.10	207.13
	2	0	6	3.65	16.04	77.26	1240.00	4.54	269.60
	3	0	6	4.22	16.54	74.51	840.00	4.43	187.17
F2B0	1	2	0	3.89	15.09	74.25	1310.00	3.50	369.46
	2	2	0	4.07	15.25	73.34	1320.00	5.00	260.59
	3	2	0	3.91	15.11	74.16	1260.00	3.80	327.30
F2B2	1	2	2	4.81	15.44	68.82	1440.00	4.50	315.87
	2	2	2	4.41	15.08	70.78	1280.00	4.00	315.87
	3	2	2	4.33	15.01	71.13	1410.00	5.00	278.36
F2B4	1	2	4	3.55	15.10	76.49	1460.00	4.70	306.63
	2	2	4	4.29	15.75	72.78	1410.00	6.00	231.97
	3	2	4	3.39	14.96	77.33	1360.00	6.20	216.53
F2B6	1	2	6	4.94	15.05	67.18	920.00	5.00	181.63
	2	2	6	4.95	15.06	67.14	1050.00	5.70	181.83
	3	2	6	4.99	15.09	66.96	1200.00	4.00	296.13
F4B0	1	4	0	4.27	15.13	71.74	1630.00	4.80	335.20
	2	4	0	4.45	15.28	70.86	1360.00	5.70	235.52
	3	4	0	4.40	15.24	71.12	1680.00	4.00	414.58
F4B2	1	4	2	4.98	14.92	66.62	1410.00	5.00	278.36
	2	4	2	5.09	15.02	66.11	1560.00	4.50	342.19
	3	4	2	5.12	15.04	65.99	980.00	6.80	142.26
F4B4	1	4	4	4.54	15.69	71.08	1510.00	5.00	298.10
	2	4	4	4.32	15.50	72.12	1730.00	4.00	426.92
	3	4	4	4.12	15.32	73.11	1440.00	4.80	296.13
F4B6	1	4	6	4.84	15.29	68.37	1440.00	4.80	296.13
	2	4	6	4.77	15.23	68.70	1090.00	6.00	179.32
	3	4	6	4.87	15.33	68.20	1430.00	5.20	271.45
F6B0	4	6	0	3.40	15.83	78.49	1210.00	5.20	229.69
	5	6	0	4.18	16.50	74.67	1400.00	5.00	276.39
	6	6	0	4.85	17.09	71.60	1380.00	6.00	227.03
F6B2	7	6	2	5.32	15.22	65.07	1360.00	4.00	335.61
	8	6	2	5.86	15.71	62.69	1260.00	5.80	214.44
	9	6	2	5.13	15.05	65.93	1310.00	5.00	258.62
F6B4	10	6	4	5.77	15.46	62.69	1450.00	5.00	286.26
	11	6	4	5.71	15.41	62.92	1530.00	6.00	251.71
	12	6	4	5.26	15.00	64.94	1480.00	5.70	256.30
F6B6	13	6	6	3.63	15.55	76.64	1530.00	6.20	243.59
	14	6	6	4.81	16.58	70.97	1740.00	4.50	381.68
	15	6	6	4.91	16.67	70.54	1260.00	5.60	222.10
BATASAN	Min Max	-	-	3% 5%	15% -	65% -	800 kg -	2 mm 4 mm	-

Grafik Pengujian Marshall Test Seluruh Variasi Bahan Tambah



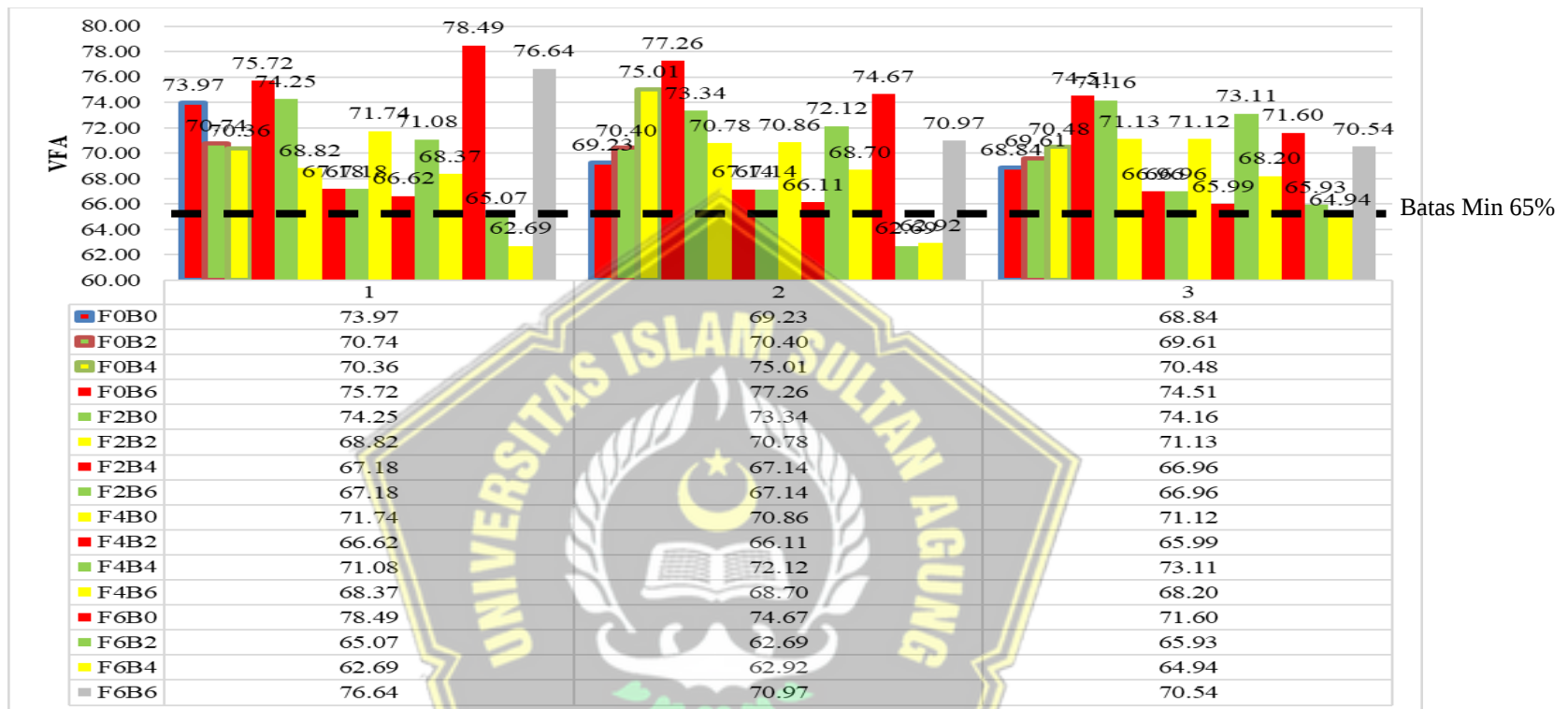
Grafik 4.27. Nilai VMA Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.27.** diatas nilai VMA dari hasil pengujian Marshall semua rata- rata sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai VMA dengan nilai minimal 15%.



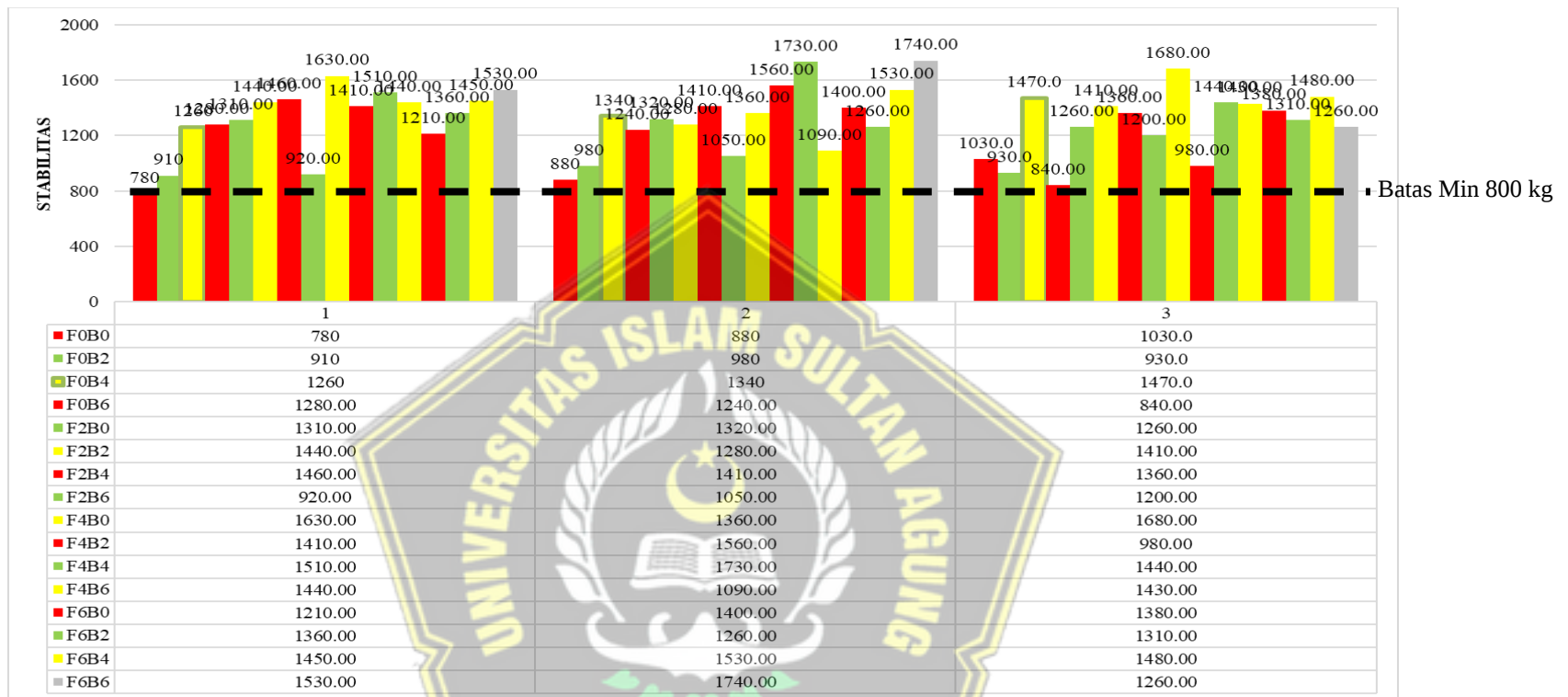
Grafik 4.28. Nilai VIM Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.28.** diatas nilai VIM dari hasil pengujian Marshall semua sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai VIM dengan nilai minimal 3% dan maksimim 5%.



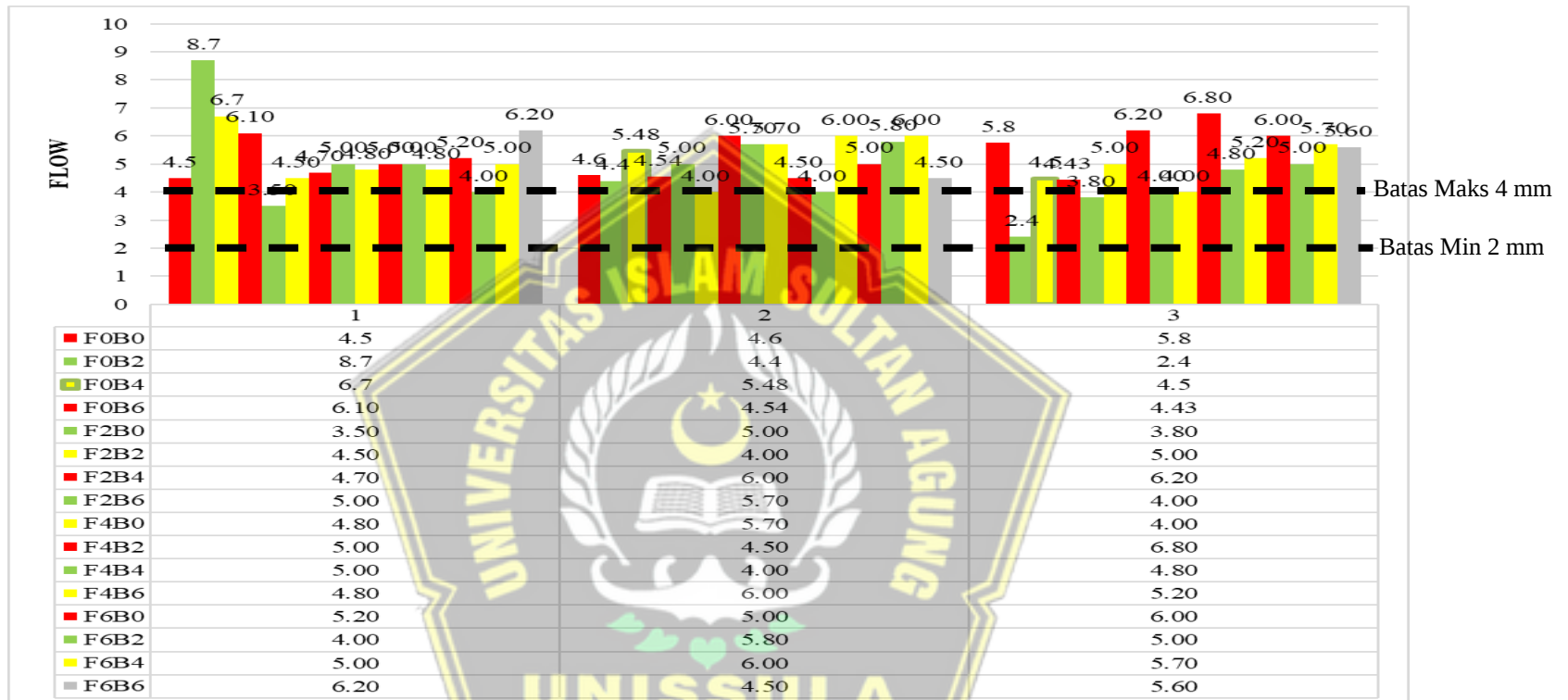
Grafik 4.29. Nilai VFA Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.29.** diatas nilai VFA dari hasil pengujian Marshall hampir semua sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai VFA dengan nilai minimal 65%.



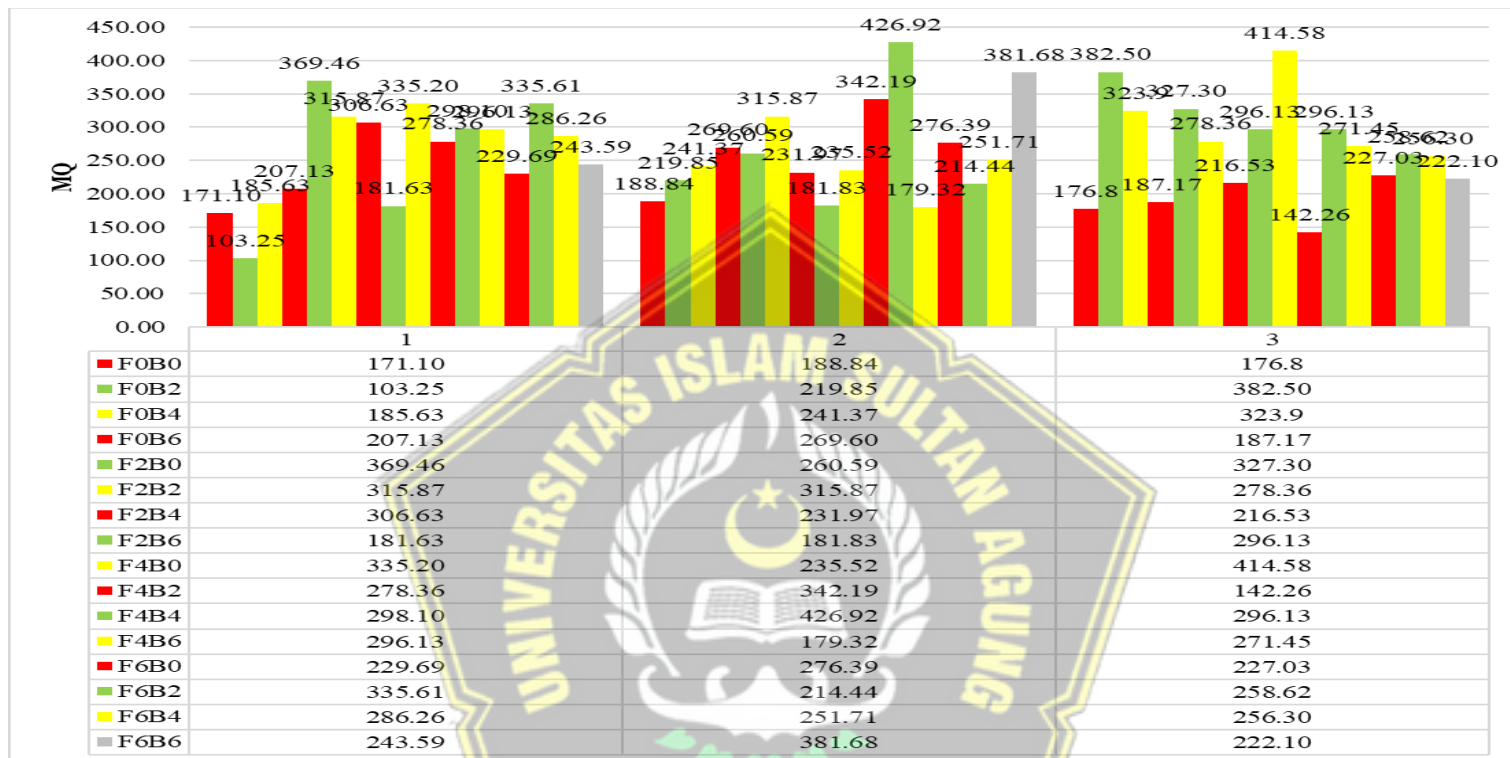
Grafik 4.30. Nilai Stabilitas Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.30.** diatas nilai Stabilitas dari hasil pengujian Marshall rata - rata semua sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai Stabilitas dengan nilai minimal 800 kg.



Grafik 4.31. Nilai Flow Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.31.** diatas nilai Flow dari hasil pengujian Marshall semua sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai Stabilitas dengan nilai minimal 2 mm dan maksimal 4mm.



Grafik 4.32. Nilai MQ Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.32.** diatas nilai MQ dari hasil pengujian Marshall semua sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai MQ.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan dan hasil pada bab-bab sebelumnya, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pengujian *Marshall* untuk nilai stabilitas terbaik diperoleh dari sampel 2 komposisi *fly ash* 6% dan ban bekas 6% dengan hasil 1740 kg, pada komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal stabilitas yaitu 800 kg.
2. Hasil Job Mix Desain terbaik menggunakan penambahan *fly ash* dan ban bekas untuk perkerasan jalan diperoleh dari komposisi *fly ash* 4% dan ban bekas 4%. Pada sampel 2, bahwasanya komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi) dengan nilai rongga udaran (VIM) 4,32%, nilai rongga agregat (VMA) 15,5%, nilai rongga terisi aspal (VFA) 72,12%, Stabilitas 1730 kg, Kelelehan (*Flow*) 4 mm, *Marshall Quention* (MQ) 426,92 kg/mm.

5.2. Saran

Melalui penelitian ini dapat diambil beberapa saran agar hasil yang didapatkan lebih akurat dan sesuai dengan apa yang diharapkan pada penelitian berikutnya, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan :

1. Memperhatikan kondisi ruangan laboratorium agar lebih tertata serta menjaga kebersihan sekitar.
2. Analisa saringan material harus dilakukan secara merata/detail.
3. Penumbukan sampel benda uji dengan mesin *compactor* harus lebih diperhatikan agar lebih akurat.
4. Ketika pengujian *Marshall Test* disarankan untuk menggunakan alat perekam digital agar hasil pembacaan stabilitas dan kelelehan dapat dibaca secara akurat.
5. Untuk pemeriksaan alat laboratorium dilakukan secara berkala agar tidak terjadi kendala ketika penelitian berlangsung.

Saran yang dapat dipertimbangkan untuk kemajuan penelitian berikutnya. yaitu :

1. Menggunakan jenis pengujian lain pada benda uji permeabilitas dan uji perendama untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap air secara merata.
2. Perlu menindaklanjuti penelitian lebih lanjut untuk modifikasi variasi *fly ash* dan ban bekas.
3. Perlu dilakukan penerapan penghamparan di lapangan untuk menyesuaikan dan mendapatkan hasil fisik yang maksimal pada campuran modifikasi *Asphalt Concrete Wearing Course*.



DAFTAR PUSTAKA

- Agus Riyanto, Ramdhani Deva Prasetya. (2020). Pengaruh Kadar *Filler Fly Ash* Dalam Campuran AC-WC Dengan Pasir Pantai Takisung Sebagai Agregat Halus Ditinjau Dari Aspek Ketidakrataan Dan Properties Marshall. *Department of Civil Engineering, Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Vol. 13 No. 2
- Aldiansyah Amin, Syamsuriani. (2020). Analisis Karakteristik Campuran AC-WC Dengan Penambahan Limbah Ban Dalam Kendaraan. *Jurusan Teknik Sipil Negeri Ujung Pandang*.
- Anas Tahir. (2009). Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar *Filler* Abu Terbang Batu Bara. *Jurnal Sipil Mesin Arsitektur Elektro*, 2009, 256-278.
- Andi Afriaziz, Nusa Sebayang, Ester Priskasari. (2019). Pengaruh Penambahan Karet Alam Pada Campuran Aspal Beton Lapis Atas Dengan *Filler Fly Ash*. *Student Journal GELAGAR Vol. 1 No. 1 2019 Program Studi Teknik Sipil S1, ITN MALANG*.
- Darma Prabudi, Kosim. (2015). Pengaruh Kinerja Penambahan Karet Ban Bekas Sebagai Substitusi Pengganti Campuran Beraspal Daur Ulang Pada Lapis Permukaan Atas. *Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya Vol 12 No 2 2015*.
- Dedy Asmaroni, Ahmad Fatoni, Alfita Yusriyah. (2023). Pengaruh penggunaan Aspal Plastik Recycle dan Aspal Pen 60/70 Pada Campuran Aspal Panas AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) Menggunakan Agregat Lokal Madura Terhadap Karakteristik Marshall. *Teknik Sipil Universitas Madura Vol 6 No 2 2023*.
- Dego Yusa Ali. (2010). Pemanfaatan Lateks Karet Alam Sebagai Bahan Pemodelifikasi Aspal Untuk Meningkatkan Mutu Perkerasan Jalan Aspal. *Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor*.
- Delli, N. R., Susi, R., Dona, R. S., & Muhammad, A. (2022). Penambahan Fly Ash Batu Bara PLTU Sebagai Filler Aspal AC WC. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Tamansiswa Palembang, Volume 7 (4)*.

Fikri, H., Subagja, A., dan Manurung, ASD., (2019), Karakteristik Aspal Modifikasi dengan penambahan Limbah Botol Plastik Polyethylene Terephthalate (PET), Proceeding 10 th Industrial Research Workshop and National Seminar. Politeknik Negeri Bandung.

Heronimus, L., Stefanus, T. B., David, W., & Widja, S. (2019). Pengaruh Subtitusi Sebagian Agregat Halus Dengan Abu Batu Dan Penambahan Fly Ash Terhadap Kuat Tekan Beton. *Jurnal Teknik Sipil Unika Soegijapranata Semarang, Volume 3(1)*.

I Nyoman Arya Thanaya, I Gusti Raka Puranto, I Nyoman Sapta Nugraha. (2016). Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks. *Teknik Sipil Universitas Udayana Denpasar*.

Irwanto, TJ., dan Asmaroni, D. (2019), Pemanfaatan Material Lokal Dan Produk Samping Industri Sebagai Agregat Batu Pecah Dan Filler terhadap Kinerja Marshall pada Campuran Panas Aspal Beton Lapis Permukaan Aus (ACWC), *Ge-STRAM: Jurnal Perencanaan dan Rekayasa Sipil Vol. 2 No. 1. 2019. Universitas Dr. Soetomo Surabaya*.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018, Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan No. 02/SE/Db/2018., Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.

Marpaung, A., Setiadi, B. H., Sipil, J. T., Teknik, F., Diponegoro, U., & Agregat, G. (2017). Evluasi Gradasi Agregat Pada Campuran AC-WC. 6, 1–11.

Masahiro Mesias. (2022). Analisa Pengaruh Penggunaan Filler Pada Perkerasan Jalan (AC-WC) Terhadap Nilai Marshall. *Teknik Sipil Universitas Medan Area*.

Oktaviastuti, B., & Leliana, A. (2020). Pengaruh Bahan Tambah Serbuk Ban Bekas Permukaan Atas. 12(2), 62–67.

Prastanto, H., dkk. (2018). Sifat Fisika Aspal Modifikasi Karet Alam pada Berbagai Jenis dan Dosis Lateks Karet Alam. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan.

Rizki Presetya Person. (2023). Performa Campuran Beraspal Laston AC-WC menggunakan Campuran Serbuk Ban bekas dan Karet Alam sebagai Bahan Tambah Melalui Proses Kering. *Program Studi Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya*.

Sulistyo J. A., (2023). Perilaku Aspal *Wearing Course* Terhadap Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) Dengan Bahan Tambah Polythylene dan Fine Agregat Slag.

Simanjuntak E. Studi Pengaruh Penggunaan Variasi Filler Semen, Serbuk entonit, Dan Fly ash Batu bara Terhadap Karakteristik Campuran Beton Lapis Pondasi Atas (AC-BASE). Skripsi, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, 2013.

Karlina, S. (2013). Beton Aspal Campuran Panas. *Journal Of Chemical Information And Modeling*, 53(9).

Sugianto, G. (2008, February), (Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas.) *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*.

Ardhyansyah, Muhammad Syaifullah Ariendy. (2025). Analisis *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* Dengan Bahan Tambah Abu Bantu (*Fly Ash*) Dan Ban Bekas (*Recycle Tire*). Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Agung Semarang.