

TUGAS AKHIR

**ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*
(AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN SERBUK KAYU (*WOOD
POWDER*) DAN LIMBAH OLI (*WASTE OIL*)**

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



Disusun Oleh :

**Iqbal Ramadhan
NIM : 30202100103**

**Aliffian Oktafa Ardana
NIM : 30202100026**

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE
(AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN SERBUK KAYU (WOOD
POWDER) DAN LIMBAH OLI (WASTE OIL)

Diajukan oleh :



Iqbal Ramadhan
NIM : 30202100103



Aliffian Oktafa Ardana
NIM : 30202100026

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 14 Mei 2025

Tim Penguji :

1. **Ir. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.**

NIDN : 0605016802

2. **Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T.**

NIDN : 0608067601

Tanda Tangan

Tanggal : 14 Mei 2025

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 : 07 / A.2 / SA – T / III / 2025

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

Nama : Ir. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.

Jabatan Akademik : Lektor Kepala

Jabatan : Dosen Pembimbing

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

Iqbal Ramadhan

NIM : 30202100103

Aliffian Oktafa Ardana

NIM : 302021000026

Judul : Analisis *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) Dengan Penambahan Serbuk Kayu (*Wood Powder*) dan Limbah Oli (*Waste Oil*)

Dengan tahapan Sebagai Berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	9/10/2024	ACC
2	Seminar Proposal	7/1/2025	ACC
3	Pengumpulan Data	8/1/2025	ACC
4	Analisis Data	20/1/2025	ACC
5	Penyusunan Laporan	5/2/2025	ACC
6	Selesai Laporan	23/4/2025	ACC

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

Mengetahui,

Dosen Pembimbing



Ir. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D.

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Iqbal Ramadhan
NIM : 30202100103
2. NAMA : Aliffian Oktafa Ardana
NIM : 30202100026

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

*ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN
PENAMBAHAN SERBUK KAYU (WOOD POWDER) DAN LIMBAH OLI
(WASTE OIL)*

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, April 2025

Yang membuat Pernyataan,

Iqbal Ramadhan

NIM : 30202100103

Aliffian Oktafa Ardana

NIM : 30202100026

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Iqbal Ramadhan
NIM : 30202100103
2. NAMA : Aliffian Oktafa Ardana
NIM : 30202100026

JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN SERBUK KAYU (*WOOD POWDER*) DAN LIMBAH OLI (*WASTE OIL*)

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, April 2025

Yang membuat Pernyataan,

Iqbal Ramadhan

NIM : 30202100103

Aliffian Oktafa Ardana

NIM : 30202100026

MOTTO

نُتِمَ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمُ 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 يَخْرِجُ نَبَاتَهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبِثَ 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 لَّمْ 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 Poniran dan Ibu Alm. Hat Fatimah yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moral maupun materil untuk selalu terikat dengan hukum syara' dan menjadi orang yang bahagia di dunia maupun di akhirat.
2. Seluruh keluarga tersayang yang memberikan dukungan serta semangat agar terus menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Ir. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D. 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 Aliffian Oktafa Ardana 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 Sekaligus Saudara Aliansi21 yang selalu memberi dorongan dan mendoakan untuk mengerjakan Tugas Akhir.
7. Sahabat Keluarga teman-teman SMA yang berada di semarang yang selalu memberikan support dan bantuan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

Iqbal Ramadhan
NIM : 30202100103

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 Hardono dan Ibu Martiningsih yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moral 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. Ir. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D. 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 Iqbal Ramadhan 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. Saudara saya Mbak Swania, Dio, Arief, Bintang, Sisien, Mas Topan yang selalu memberikan support dan hiburan dalam mengerjakan Tugas Akhir.
7. Teman Sekaligus Saudara Aliansi21 yang selalu memberi dorongan dan mendoakan untuk mengerjakan Tugas Akhir.
8. Sahabat saya Namira, Sofia, Adel, Mutia, Yogi yang selalu memberikan support dan bantuan dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.

Aliffian Oktafa Ardana
NIM : 30202100026

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 Serbuk Kayu (*Wood Powder*) dan Limbah Oli (*Waste Oil*)” 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 Ir. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing 2 yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
6. 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, April 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
MOTTO	v
PERSEMBAHAN.....	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiv
Abstrak.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Pendahuluan	5
2.2. Karakteristik Material dalam Perkerasan Jalan Aspal Beton	6
2.2.1. Aspal	6
2.2.2. Sifat Mekanik Aspal.....	10
2.2.3. Agregat.....	10
2.2.3.1. Agregat Halus.....	11
2.2.3.2. Agregat Kasar.....	12
2.2.4. Gradasi Agregat.....	13
2.2.5. <i>FILLER</i>	14
2.2.6. Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>) sebagai bahan tambah.....	15
2.2.7. Sifat Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	15
2.2.8. Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>) sebagai bahan tambah	15

2.2.9.	Sifat Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	16
2.2.10.	Campuran Aspal Panas (<i>Hot Mix</i>).....	16
2.2.11.	Campuran Aspal AC-WC (<i>Asphalt Course Wearing Course</i>)	16
2.2.12.	<i>Marhsall Test</i>	17
2.2.13.	Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan <i>Marshall Test</i>	18
2.3.	Penelitian Terdahulu yang Sejenis.....	19
BAB III METODOLOGI		22
3.1.	Metode Penelitian.....	22
3.2.	Lokasi Penelitian	22
3.3.	Bahan dan Peralatan Penelitian	22
3.3.1.	Bahan Penelitian.....	22
3.3.2.	Peralatan Penelitian.....	23
3.4.	Keperluan dan Analisis Data	24
3.4.1.	Keperluan Data.....	24
3.4.2.	Analisis Data	24
3.5.	Tahap Rencana Penelitian.....	25
3.6.	Pengumpulan Data.....	27
3.7.	Prosedur Penyusunan Penelitian	27
3.8.	Pemeriksaan Karakteristik Material	28
3.8.1.	Pemeriksaan Karakteristik Material	28
3.8.2.	Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal.....	29
3.9.	Pembuatan Benda Uji dengan Kadar Aspal.....	29
3.10.	Rancangan Campuran Aspal Beton (<i>Job Mix Design</i>).....	31
3.11.	Prosedur Kerja	42
3.11.1.	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>).....	42
3.11.2.	Tahapan Pembuatan Benda Uji	42
3.11.3.	Metode Pengujian Sampel.....	43
3.11.4.	Pengujian <i>stability</i> dan <i>flow</i>	44
3.12.	Metode Analisis	45
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		47
4.1.	Persiapan Material	47
4.2.	Pengujian Agregat	48
4.2.1.	Pengujian Agregat $^{3/4}$	49
4.2.2.	Pengujian Agregat $^{1/2}$	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 Ekstraksi (SNI 03-3640-1994).....	56
4.5.1.	Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum	57
4.5.2.	Ringkasan Hasil Pengujian AC-WC	60
4.6.	Pembuatan Benda Uji.....	61
4.7.	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi	62
4.8.	Hasil Pemeriksaan <i>Marshall Test</i>	63
4.8.1.	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Modifikasi <i>Wood Powder</i> dan <i>Waste Oil</i> . 63	
4.8.2.	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Wood Powder</i> 0% dan <i>Waste Oil</i> 0%, 2%, 4%, 6%).....	66
4.8.3.	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Wood Powder</i> 0% dan <i>Waste Oil</i> 0%, 2%, 4%, 6%).....	70
4.8.4.	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Wood Powder</i> 4% dan <i>Waste Oil</i> 0%, 2%, 4%, dan 6%)	73
4.8.5.	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Variasi (<i>Wood Powder</i> 6% dan <i>Waste Oil</i> 0%, 2%, 4%, dan 6%)	77
4.9.	Ulasan Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Semua Variasi Bahan Tambah...	81
4.10.	Hasil Kesimpulan yang didapatkan	82
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		90
5.1.	Kesimpulan.....	90
5.2.	Saran.....	90
DAFTAR PUSTAKA.....		92
LAMPIRAN.....		95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perkerasan Lentur	5
Gambar 2. 2 Perkerasan Aspal Beton	6
Gambar 2. 3 Marhsall Compaction Hammer dan Alat Marhsall Test	19
Gambar 3. 1 Bagan Alur Penelitian	26
Gambar 4. 1 Pengambilan Material di PT. Deltamarga Adytama	47
Gambar 4. 2 Pengambilan Material Serbuk Kayu di Meubel.....	48
Gambar 4. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum	59
Gambar 4. 4 Gambar Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum	60
Gambar 4. 5 Grafik Nilai VMA variasi wood powder 0% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.	66
Gambar 4. 6 Gambar Grafik Nilai VIM variasi wood powder 0% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.	67
Gambar 4. 7 Gambar Grafik VFA variasi wood powder 0% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.....	67
Gambar 4. 8 Grafik Nilai Stabilitas variasi wood powder 0% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.....	68
Gambar 4. 9 Grafik Nilai Flow variasi wood powder 0% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.	68
Gambar 4. 10 Grafik Nilai MQ variasi wood powder 0% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.	69
Gambar 4. 11 Grafik Nilai VMA variasi wood powder 2% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	70
Gambar 4. 12 Grafik Nilai VIM variasi wood powder 2% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	71
Gambar 4. 13 Grafik Nilai VFA variasi wood powder 2% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	71
Gambar 4. 14 Grafik Nilai Stabilitas variasi wood powder 2% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.....	72
Gambar 4. 15 Grafik Nilai Flow variasi wood powder 2% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	72
Gambar 4. 16 Grafik Nilai MQ variasi wood powder 2% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.	73
Gambar 4. 17 Grafik Nilai VMA variasi wood powder 4% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	74
Gambar 4. 18 Grafik Nilai VIM variasi wood powder 4% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	74
Gambar 4. 19 Grafik Nilai VFA variasi wood powder 4% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	75
Gambar 4. 20 Grafik Nilai Stabilitas variasi wood powder 4% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.....	75
Gambar 4. 21 Grafik Nilai Flow variasi wood powder 4% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	76

Gambar 4. 22 Grafik Nilai MQ variasi wood powder 4% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	76
Gambar 4. 23 Grafik Nilai VMA variasi wood powder 6% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	77
Gambar 4. 24 Grafik Nilai VIM variasi wood powder 6% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	78
Gambar 4. 25 Grafik Nilai VFA variasi wood powder 6% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	78
Gambar 4. 26 Grafik Nilai Stabilitas variasi wood powder 6% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	79
Gambar 4. 27 Grafik Nilai Flow variasi wood powder 6% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	79
Gambar 4. 28 Grafik Nilai MQ variasi wood powder 6% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%	80
Gambar 4. 29 Tabel Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) Ketentuan Campuran (AC-WC)	82
Gambar 4. 30 Grafik Nilai VMA Semua Variasi Bahan Tambah	83
Gambar 4. 31 Nilai VIM Semua Variasi Bahan Tambah	84
Gambar 4. 32 Grafik Nilai VFA Semua Variasi Bahan Tambah	85
Gambar 4. 33 Grafik Nilai Stabilitas Semua Variasi Bahan Tambah	86
Gambar 4. 34 Grafik nilai Flow Semua Variasi Bahan Tambah	87
Gambar 4. 35 Grafik Nilai MQ Semua Variasi Bahan Tambah	88



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Spesifikasi Bina Marga Nilai Penetrasi Aspal 60/70	10
Tabel 2. 2 Syarat Agregat Halus	12
Tabel 2. 3 Syarat Agregat Kasar	13
Tabel 2. 4 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal Beton.....	14
Tabel 2. 5 Ketentuan Campuran Laston.....	17
Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu yang Sejenis	19
Tabel 3. 1 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Kadar Aspal 4%.....	30
Tabel 3. 2 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Kadar Aspal 4,5 %.....	30
Tabel 3. 3 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Kadar Aspal 5 %.....	30
Tabel 3. 4 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Kadar Aspal 5,5 %.....	31
Tabel 3. 5 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Kadar Aspal 6 %.....	31
Tabel 3. 6 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 0 % dan Waste Oil 0 %.....	32
Tabel 3. 7 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 0 % dan Waste Oil 2 %.....	32
Tabel 3. 8 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 0 % dan Waste Oil 4 %.....	33
Tabel 3. 9 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 0 % dan Waste Oil 6 %.....	33
Tabel 3. 10 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 2 % dan Waste Oil 0 %.....	34
Tabel 3. 11 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 2 % dan Waste Oil 2 %.....	34
Tabel 3. 12 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 2 % dan Waste Oil 4 %.....	35
Tabel 3. 13 Rancangan Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan wood powder 2 % dan Waste Oil 6 %.....	35
Tabel 3. 14 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 4 % dan Waste Oil 0 %.....	36
Tabel 3. 15 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 4 % dan Waste Oil 2 %.....	36
Tabel 3. 16 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 4 % dan Waste Oil 4 %.....	37
Tabel 3. 17 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 4 % dan Waste Oil 6 %.....	37
Tabel 3. 18 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 6 % dan Waste Oil 0 %.....	38
Tabel 3. 19 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 6 % dan Waste Oil 2 %.....	38
Tabel 3. 20 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 6 % dan Waste Oil 4 %.....	39
Tabel 3. 21 Rancangan Aspal (Job Mix Design) dengan wood powder 6 % dan Waste Oil 6 %.....	39
Tabel 3. 22 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	41
Tabel 4. 1 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat	48

Tabel 4. 2 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	50
Tabel 4. 3 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	50
Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	51
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	52
Tabel 4. 6 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	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.....	55
Tabel 4. 10 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum Komposisi Normal	56
Tabel 4. 11 Pengujian Ekstraksi.....	57
Tabel 4. 12 Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	58
Tabel 4. 13 Rencana Benda Uji	61
Tabel 4. 14 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran GMM Pada Aspal Modifikasi.....	62
Tabel 4. 15 Hasil Marshall Modifikasi	64
Tabel 4. 16 Hasil Marshall Test Variasi (SK 0% dan LO 0%, 2%, 4%, dan 6%)	66
Tabel 4. 17 Hasil Marshall Test Variasi (wood powder 2% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%.)	70
Tabel 4. 18 Hasil Marshall Test Variasi (wood powder 4% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%)	73
Tabel 4. 19 Hasil Marshall Test variasi (wood powder 6% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%)	77
Tabel 4. 20 Ulasan Uji Marshall Test semua variasi bahan tambah	81



ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*
(AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN SERBUK KAYU (*WOOD POWDER*)
DAN LIMBAH OLI (*WASTE OIL*)

Abstrak

Mengingat iklim di Indonesia yang tropis, jalan aspal di negara ini memerlukan perawatan dan pemeliharaan untuk mengatasi kerusakan, retak, lubang, dan keausan. Dengan melihat kondisi iklim dan masalah tersebut kami melakukan inovasi sehingga memberikan nilai tambah secara kualitatif dan ekonomis. Objek yang akan kami teliti menggunakan (AC-WC) dengan menambahkan serbuk kayu dan limbah oli.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan Job Mix Design dengan komposisi optimal dan mendapatkan nilai stabilitas dari (AC-WC) dengan menambahkan *wood powder* dan *waste oil*. Uji Marshall dilakukan untuk mengukur stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, dan MQ yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2).

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mendapatkan hasil pengujian Marshall untuk nilai stabilitas terbaik diperoleh dari sampel 2 komposisi wood powder 0% dan waste oil 2% dengan hasil 3158 kg, dan untuk hasil Job Mix Desain terbaik diperoleh dari komposisi wood powder 6% dan waste oil 0%. Pada sampel 2, dengan nilai rongga udara (VIM) 3,92%, nilai rongga agregat (VMA) 15,7%, nilai rongga terisi aspal (VFA) 75,12%, Stabilitas 2694 kg, Kelelehan (Flow) 3,5 mm, Marshall Qution (MQ) 769,94 kg/mm.

Kata kunci : *Wood powder*; *Waste oil*; Nilai Marshall; Job Mix Formula; AC-WC

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Salah satu moda transportasi darat yang paling banyak digunakan oleh masyarakat adalah transportasi melalui jalan raya. Dengan melihat negara Indonesia merupakan negara yang besar, jalan raya menjadi suatu penghubung antara wilayah satu dengan lainnya. Peran jalan raya sangat vital sebagai jalur perdagangan dan mobilitas perekonomian. Disamping itu juga jalan raya dapat menjadi peran penting sebagai mobilitas kendaraan darat. Jalan raya juga dapat memangkas waktu jarak tempuh menjadi lebih efisien. Dengan melihat padatnya penduduk di Indonesia, maka jalan raya sangat berperan penting memberikan akses ke pelayanan publik. Disisi lain dapat mendukung pertumbuhan ekonomi dan aksesibilitas ke berbagai wilayah.

Mengingat iklim di Indonesia yang tropis, jalan aspal di negara ini memerlukan perawatan dan pemeliharaan untuk mengatasi kerusakan, retak, lubang, dan keausan. Dengan melihat kondisi iklim dan masalah tersebut maka perlunya perawatan dan pemilihan khusus. Disamping itu perlunya inovasi pada pencampuran jenis aspal yang digunakan pada jalan raya tersebut. Dengan kondisi demikian mendorong kami untuk melakukan inovasi sehingga memberikan nilai tambah secara kualitatif dan ekonomis dengan menambahkan wood powder dan waste oil.

Penelitian yang kami lakukan merupakan kuantitatif bertujuan menghasilkan temuan yang berlaku secara umum. Penelitian kuantitatif menggunakan metode kuesioner dan eksperimen. Objek yang akan kami teliti menggunakan (AC-WC) dengan campuran serbuk kayu dan limbah oli. Penambahan serbuk kayu dan limbah oli diharapkan dapat meningkatkan performa campuran aspal. Diharapkan dapat menghasilkan kualitas aspal yang tahan lama dan memiliki daya rekat yang diharapkan.

Wood powder partikel paling halus yang berasal dari pengolahan kayu, seperti pemahatan, pemotongan, dan pengamplasan. Serbuk ini terbentuk hampir seperti

debu dan menjadi limbah dalam proses produksi kayu. Serbuk kayu berasal dari jenis kayu keras seperti jati, oak, dan kayu lunak seperti pinus, dan cemara. Penggunaan serbuk kayu ini dapat membantu mengurangi jumlah limbah kayu yang dibuang dan meningkatkan daur ulang dalam industri konstruksi.

Waste oil merupakan kategori Limbah bahan berbahaya dan beracun (B3) mengandung senyawa kimia yang bersifat toksik, mudah meledak, mudah terbakar, reaktif, atau berbahaya bagi makhluk hidup dan lingkungan diantaranya hidrokarbon, senyawa karbon dan hidrogen, sulfur, dan sisa bahan baku magnesium, nikel, dan besi. Waste oil ini sebagai bahan baku untuk menghasilkan bitumen yang digunakan sebagai perekat aspal. Limbah jenis ini sangat sulit untuk diuraikan dan berbahaya jika dibuang sembarangan.

Walaupun wood powder dan waste oil sebagai campuran aspal ini diharapkan menjadi potensi menjanjikan, terdapat tantangan dalam pengaplikasiannya. Tantangan tersebut meliputi standar spesifikasi teknis, dan pengujian kualitas. Penelitian ini penting untuk memberikan data dan analisis yang mendalam mengenai sifat dan kinerja campuran aspal yang menggunakan kedua material ini.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana stabilitas aspal terhadap penambahan Serbuk Kayu (*wood powder*) dan Limbah Oli (*waste oil*) pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan menggunakan *Marshall Test* ?
2. Bagaimana analisis campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan bahan tambah Serbuk Kayu (*Wood Powder*) dan Limbah Oli (*Waste Oil*) yaitu dengan mencari komposisi yang paling optimal ?

1.3. Tujuan

1. Mengetahui stabilitas aspal dalam pencampuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC – WC) dengan bahan tambahan Serbuk kayu (*Wood Powder*) dan Limbah Oli (*Waste Oil*).

2. Mendapatkan Job Mix dengan komposisi paling optimal dari pencampuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC – WC) dengan bahan tambah Serbuk Kayu (*Wood Powder*) dan Limbah Oli (*Waste Oil*).

1.4. Manfaat Penelitian

- a. Dalam penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat untuk dijadikan sebagai sumber informasi dalam menganalisa stabilitas, densitas, dan porositas dari perkerasan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan pencampuran waste oil dan wood powder.
- b. Peneliti berharap dapat memperluas pengetahuan dan wawasan di bidang teknik sipil, pada bidang perkerasan jalan dengan menggunakan waste oil yang dikategorikan limbah b3.

1.5. Batasan Masalah

Penelitian tugas akhir ini hanya meliputi tentang komposisi benda uji *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan bahan tambah wood powder dan waste oil sehingga pengujiannya meliputi :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Material berupa agregat, Aspal Penetrasi 60/70, Wood powder dan waste oil.
3. Pembuatan Benda uji terdiri dari masing-masing komposisi campuran Aspal.
4. Pengujian menggunakan alat Marshall Test ini hanya dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam pembuatan Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini menguraikan beberapa aspek penting sebagai dasar penyusunan Tugas Akhir, aspek-aspek tersebut meliputi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

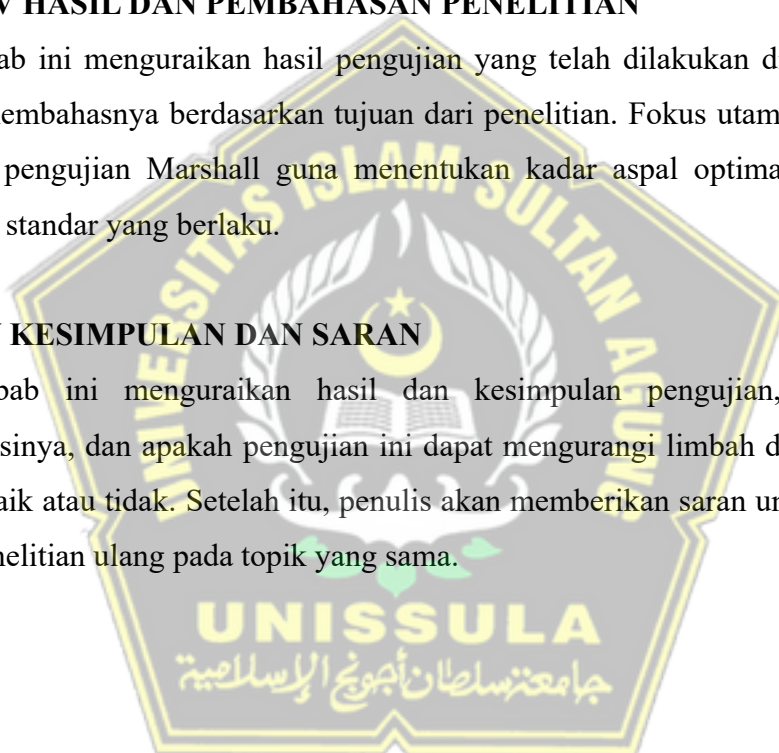
Pada bab ini menguraikan rancangan penelitian dan prosedur penelitian yang dilaksanakan, yaitu membahas metode penelitian, pengumpulan data, dan juga pengujian-pengujian yang dilakukan dalam penelitian.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan hasil pengujian yang telah dilakukan di laboratorium serta membahasnya berdasarkan tujuan dari penelitian. Fokus utama pembahasan adalah pengujian Marshall guna menentukan kadar aspal optimal yang sesuai dengan standar yang berlaku.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini menguraikan hasil dan kesimpulan pengujian, menentukan relevansinya, dan apakah pengujian ini dapat mengurangi limbah dan berdampak lebih baik atau tidak. Setelah itu, penulis akan memberikan saran untuk perbaikan dan penelitian ulang pada topik yang sama.



BAB II

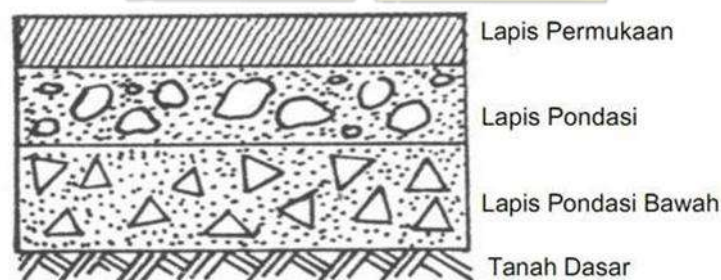
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Pendahuluan

Jalan raya pada umumnya menggunakan perkerasan jalan sebagai pondasi utama terhadap perkuatan jalan tersebut. Pada perkerasan ini yang sering digunakan adalah *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC), yaitu merupakan aspal dengan campuran aspal, batu split, pasir, abu batu, dan semen. Pada campuran ini menjadikan aspal memiliki karakteristik mekanis yang baik, seperti ketahanan terhadap beban-beban lalu lintas, kemampuan meredam getaran, dan fleksibilitas dalam mengatasi deformasi.

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 pondasi (*AC-Base*). Menurut Pusjatan (2019), campuran aspal yang merupakan kombinasi dari agregat dan aspal disebut laston. Sebagai bahan pengikat aspal berperan sebagai lem antar partikel agregat, dan agregat berperan sebagai tulangan.

Perkerasan jalan dengan aspal menjadi bahan pengikat biasa disebut perkerasan lentur. Perkerasan ini sering digunakan untuk lalu lintas ringan ataupun sedang. Perkerasan ini terdiri dari beberapa lapisan. Ini termasuk lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi (*base course*), lapis pondasi bawah (*sub base course*).

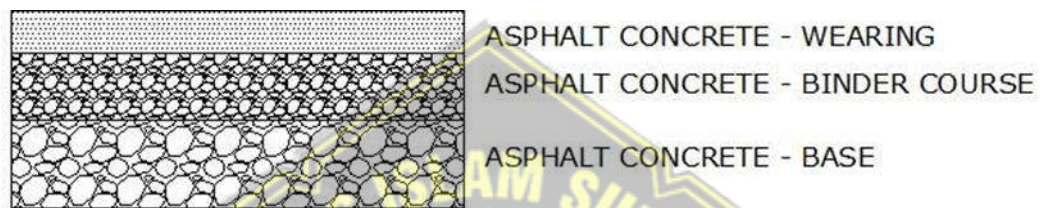


Gambar 2. 1 Perkerasan Lentur

Menurut Bina Marga (2018), Lapisan Aspal Beton (Laston) terdapat 3 (tiga) lapisan Laston yang digunakan pada perkerasan jalan yaitu lapis permukaan (*Asphalt Concrete-Wearing Course/AC-WC*), lapis pondasi (*Asphalt Concrete-*

Binder Course/AC-BC) dan lapis pondasi bawah (Asphalt Concrete-Base/AC-Base). Pada ketiga Laston ini mempunyai ketebalan minimumnya masing-masing, AC-WC dengan ketebalan minimum 4 cm, AC-BC dengan ketebalan minimum 6 cm dan AC-Base dengan ketebalan minimum 7,5 cm.

Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) adalah salah satu jenis perkerasan jalan yang sangat populer pada pembangunan infrastruktur jalan. AC- WC merupakan campuran dari beberapa material yaitu agregat kasar, agregat halus, aspal dan filler yang nantinya akan dicampur dan dipadatkan untuk membentuk lapisan atas pada perkerasan jalan.



Gambar 2. 2 Perkerasan Aspal Beton

2.2. Karakteristik Material dalam Perkerasan Jalan Aspal Beton

2.2.1. Aspal

Bitumen atau aspal merupakan bahan hidrokarbon berwarna hitam yang bersifat perekat, kedap air, dan viskoelastik. Sifat viskoelastik pada aspal memungkinkan material ini menahan aliran geser serta mengalami regangan secara linier, bersifat elastis saat ditekan, dan mampu kembali ke bentuk semula setelah beban atau tekanan dihilangkan, aspal juga bisa menjadi cair dan lunak ketika dipanaskan dan juga akan memadat kembali saat didinginkan. Disamping itu aspal merupakan senyawa kompleks yang terdiri dari komponen utama hidrokarbon dan sejumlah kecil atom, tidak hanya itu aspal juga mengandung beberapa unsur lain, seperti karbon (82-88%), hidrogen (8-11%), oksigen (0-1,5%), belerang (0-6%), dan nitrogen (0-1%).

Pada konstruksi Perkerasan Jalan, Aspal berfungsi sebagai :

a. Bahan Pengikat

Bahan pengikat ini adalah bahan yang berfungsi menjadi perekat antar agregat dan material-material yang berbeda. Dari fungsi tersebut dapat memberikan kekuatan, stabilitas, integritas *structural*. Disamping itu bahan pengikat menjamin mengurangi resiko pecahnya material-material tersebut.

b. Bahan Pengisi

Bahan pengisi ini dapat mengisi rongga antar agregat kasar dan halus yang terdiri dari partikel mineral berbutir halus yang disebut sebagai debu mineral atau debu batuan.

Agar dapat melengkapi kedua fungsi aspal tersebut, maka aspal harus memenuhi kriteria aspal yang baik. Aspal yang baik, memiliki sifat adhesi dan kohesi antara partikel agregat yang baik, viskositas yang sesuai, memiliki kandungan bitumen yang optimal, tahan terhadap cuaca, dapat menahan banyaknya beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan yang signifikan, serta memberikan sifat tahan air pada perkerasan.

Terdapat 2 jenis aspal diantaranya :

a. Aspal Alam

Aspal alam berasal langsung dari alam tanpa melalui proses pengolahan yang kompleks. Aspal ini terbentuk melalui proses alami dari penguraian minyak bumi dan material organik lainnya. Aspal alam ini menghasilkan bahan padat yang memiliki sifat lengket dan rekat, aspal alam ini biasanya terdapat di gunung-gunung ataupun danau.

b. Aspal Minyak

Aspal minyak adalah bahan yang berasal dari sisa-sisa minyak bumi mentah yang dihasilkan dari proses destilasi. Aspal 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. Pengujian Penetrasi

Pengujian penetrasi dilakukan dengan alat penetrometer pada suhu 25 °C dengan beban 100 gram selama 5 detik. Pengujian ini dilakukan lima kali. Hasilnya menunjukkan nilai penetrasi.

b. Pengujian Titik Lembek

Titik ini menunjukkan suhu dimana aspal mulai mengalami perubahan dari kondisi keras menjadi lebih lunak dan mengalir. Tujuan dari investigasi ini adalah untuk menentukan suhu sebagai akibat dari percepatan pemasanasan tertentu, bola baja menekan aspal di dalam ring sampai aspal bertemu dengan bagian bawah pelat 1 inch di bawah ring. 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. Persyaratan titik lembek untuk aspal keras tipe penetrasi 60/70 adalah antara 48°C dan 58°C.

c. Pengujian Titik Nyala

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan suhu pada saat titik nyala awal pada permukaan aspal terjadi dan suhu saat nyala api pertama kali timbul di atasnya. Suhu minimum dimana uap dari aspal dapat menyala ketika terkena sumber api. Suhu maksimum dimana aspal dapat dipanaskan sebelum terbakar dapat ditentukan dengan mengukur titik nyala dan titik bakar aspal.

d. Pengujian Kehilangan Berat

Pada pengujian ini bertujuan untuk menilai stabilitas termal aspal dan mengetahui seberapa banyak bahan volatil yang hilang saat aspal dipanaskan. Maksimal kehilangan berat aspal adalah 0,8%. dari berat awal karena memanaskan aspal dalam oven dengan suhu 163°C selama 4,5 sampai 5 jam akan menyebabkan reaksi pada elemen penyusun aspal. Hal ini tidak diharapkan terjadi pada lapisan perkerasan lentur yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, karena dapat mengurangi kinerja dan umur perkerasan.

e. Pengujian Daktilitas

Pengujian ini menguji aspal untuk mengalami deformasi plastis tanpa mengalami keretakan saat diberi beban. Pengujian daktilitas biasanya mengikuti standar seperti

ASTM D113. Dalam pengujian ini, sampel aspal diletakkan dalam alat daktilitas dan diregangkan pada suhu konstan (pada suhu 25°C) dengan kecepatan tertentu hingga aspal putus. Aspal dengan penetrasi 60/70 harus memiliki nilai tarik minimal 100 cm.

f. Pengujian Berat Jenis

Pada pengujian ini menggunakan metode untuk mengukur kepadatan atau massa jenis aspal, yang merupakan perbandingan masa dan volume aspal pada suhu tertentu. Persyaratan yang ditentukan untuk berat jenis aspal adalah 1 gr/cc.

Salah satu jenis aspal keras atau panas (juga dikenal sebagai aspal semen, atau AC) adalah aspal minyak. Aspal ini digunakan dalam bentuk cair dan dipanaskan dan membeku pada suhu kamar (diantara 250 dan 300°C). Tergantung pada cara pembuatannya dan jenis minyak bumi yang digunakan, ada berbagai jenis semen aspal. Semen aspal dapat dikategorikan berdasarkan viskositas atau nilai penetrasi, yang mengukur kekerasannya pada suhu 250°C.

Nilai penetrasi untuk aspal semen di Indonesia aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan :

- AC Pen 40/50 adalah AC (nilai penetrasi antara 40-50)
- AC Pen 60/70 adalah AC (nilai penetrasi antara 60-70)
- AC Pen 84/100 adalah AC (nilai penetrasi antara 84-100)
- AC Pen 120/150 adalah AC (nilai penetrasi antara 120-150)
- AC Pen 200/300 adalah AC (nilai penetrasi antara 200-300)

Tabel 2. 1 Spesifikasi Bina Marga Nilai Penetrasi Aspal 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I	Tipe II
			Aspal Pen.60-70	Aspal Modifikasi Elastomer
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456-2011	60-70	Min.40
2	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48	≥ 54
3	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥100	≥100
4	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥232	≥232
5	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥99	≥99
6	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥1,0	≥1,0
7	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤0,8	≤0,8
8	Viskositas Kinematis 135 °C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥300	≤ 3000

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 3

Catatan :

1. Menggunakan metode SNI 2490-2008, dilakukan ekstraksi pada hasil pengujian untuk bahan pengikat (bitumen). Sedangkan untuk seluruh bahan pengikat dan kandungan mineral dilakukan uji kelarutan dan gradasi mineral.
2. Apabila sifat-sifat elastomeric ataupun yang lainnya memiliki pengaruh pada akurasi pengujian aspal, maka pabrik dari produksi bahan pengikat tipe II dapat meminta metode pengujian alternatif viskositas.
3. Uji Viskositas tipe I dengan temperatur 100°C dan 160°C untuk tipe I dan tipe II diuji dengan temperatur 100°C dan 170°C.

2.2.2. Sifat Mekanik Aspal

Sifat mekanik aspal membuatnya elastis jika dibebani dengan cepat. Namun, jika dibebani dalam jangka waktu yang lebih lama, aspal menjadi plastis (*viscous*). tahan terhadap kerusakan, tahan terhadap kelelahan, dan tahan terhadap beban. Dengan waktu, hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) berubah..

2.2.3. Agregat

Agregat ialah bahan granular yang digunakan dalam campuran beton, aspal, dan material konstruksi lainnya. Agregat memberikan stabilitas, kekuatan, dan sifat mekanis lainnya pada perkerasan. Agregat berfungsi sebagai bahan pengisi dalam campuran dan memiliki dampak signifikan terhadap sifat fisik dan mekanis aspal.

Agregat terbagi menjadi 2 jenis, agregat halus (misalnya pasir) dan agregat kasar (misalnya kerikil dan batu pecah).

Faktor-faktor seperti jenis konstruksi, gradasi, ukuran maksimum, kebersihan daya tahan, bentuk, tekstur, daya rekat agregat terhadap aspal, dan berat jenis harus dipertimbangkan saat memilih agregat. Untuk membangun jalan ini, diameter agregat yang digunakan berkisar antara 19 mm hingga 0,075 mm, atau agregat yang lolos ayakan nomor 200 hingga 2.

Banyaknya pori dalam agregat adalah salah satu faktor yang memengaruhi sifat fisik agregat, sehingga aspal yang terserap pada agregat membuat aspal menjadi lebih tipis. Pori dalam agregat dibedakan menjadi 2 jenis, pori tertutup yang tidak dapat menyerap air dan pori terbuka yang dapat menyerap air.

Nilai penyerapan adalah perubahan pada berat agregat yang semula kering dan pada kondisi basah karena adanya penyerapan air, dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \quad 45$$

Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{B_s}{B + B_s} \times 10\% \quad 45$$

Keterangan :

B : Berat piknometer berisi air (gr)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air (gr)

Bs : Berat Sampel (gr)

Bj : Berat Sampel Kering Permukaan Jenuh

Bk : Berat Sampel Kering (dikeringkan dalam oven)

2.2.3.1. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang butirannya lebih kecil dari saringan no.8 (2,36 mm). Dengan membentuk struktur yang saling mengunci antar butir, agregat dapat memperkuat kestabilan campuran. Agregat halus juga mengisi celah-celah diantara butiran. Zat ini terbuat dari pasir alam, batu pecah, atau kombinasi keduanya.

Persyaratan umum untuk agregat halus sesuai dengan ketentuan Divisi 6 Bina Marga Tahun 2010 (Direktorat Jendral 2018).

Berikut dapat dilihat pada **tabel 2.2** untuk syarat agregat halus lainnya menurut Spesifikasi Bina Marga.

Tabel 2. 2 Syarat 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

2.2.3.2. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan campuran yang tertahan oleh saringan no. 4 (4,75 mm) yang dikerjakan secara lepas, basah, awet, keras, dan bersih dari lempung atau bahan lain yang tidak diinginkan. Agregat kasar harus berasal dari batu pecah dan dibuat dalam ukuran nominal sesuai jenis yang direncanakan. Agregat kasar dengan bentuk butiran membulat lebih mudah dipadatkan tetapi kestabilannya lebih rendah, sedangkan agregat kasar dengan bentuk butiran bersudut lebih sulit dipadatkan tetapi kestabilannya lebih tinggi. Apabila digunakan sebagai gabungan lapisan aus, agregat kasar harus tahan terhadap abrasi. (Direktorat Jendral 2018).

Tabel 2. 3 Syarat Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekckalan 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 : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.2.4. Gradasi Agregat

Faktor terpenting dalam menentukan stabilitas perkerasan jalan adalah melalui gradasi agregat. Ukuran rongga antar butiran ditentukan melalui gradasi agregat, hal ini memengaruhi stabilitas dan flow campuran. Jenis gradasi agregat. (Jendral dan Marga 2018).

a. Gradasi Seragam

Gradasi seragam adalah gradasi dengan sedikit agregat halus dan banyak rongga kosong antar agregat, gradasi seragam disebut gradasi terbuka (open graded).

b. Gradasi Rapat

Gradasi rapat, juga dikenal sebagai gradasi menerus atau gradasi baik, adalah ketika ada jumlah agregat kasar dan halus dengan butiran berukuran yang sama. Setelah lolos dari setiap lapis sesuai dengan persyaratan dan persentase yang ditentukan, agregat dapat dianggap baik.

c. Gradasi Senjang

Gradasi senjang adalah gradasi fraksi agregat yang sangat sedikit dan tidak memiliki ukuran yang lengkap. Dari agregat bergradasi senjang ini menghasilkan kualitas lapisan perkerasan yang terletak di antara agregat bergradasi seragam dan bergradasi padat.

Langkah berikutnya adalah penentuan gradasi agregat untuk campuran. Penggunaan gradasi agregat untuk Campuran yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah campuran aspal panas yang disebut Hot Rolledshit untuk lapisan *wearing course*. dengan spesifikasi umum 2010 revisi 3 pada tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal Beton

Ayakan Ukuran		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran				
		AC -WC (Dense)	AC - BC (Dense)	AC -Base (Dense)	SMA (Gap)	VTO (Gap)
(mm)	Inchi/No.	%	%	%	%	%
37,5	1,5			100		
25	1		100	90-100		
19	3/4	100	90-100	73-90	100	
12,5	1/2	90-100	71-90	55-76	90-100	100
9,5	3/8	72-90	58-80	45-66	50-80	75-100
4,75	No. 4	43-63	37-56	28-39	20-35	35-55
2,36	No. 8	28-39	23-34	19-27	16-24	20-35
1,18	No. 16	19-25	15-22	12-18	-	
0,6	No. 30	13-19	10-17	7-14	-	-
0,3	No. 50	9-15	7-14	5-12	-	-
0,15	No.100	6-13	5-11	4,5-9	-	-
0,075	No. 200	4-10	4-8	3-7	4-11	2-8

Sumber : Spesifikasi bina Marga 2010 Revisi 3

2.2.5. FILLER

Filler ialah campuran untuk aspal yang berbahan halus guna meningkatkan sifat teknisnya, seperti kekuatan, stabilitas, dan daya tahan. Bahan halus yang dimaksud memiliki ukuran partikel sangat kecil, yaitu kurang dari 0,075 mm (lolos saringan no. 200). Material yang digunakan pada filler aspal adalah abu batu, semen portland, kapur, *fly ash* (abu terbang), dan *slag* (limbah hasil peleburan logam). Jika penggunaan filler dengan jumlah berlebihan maka dapat membuat campuran menjadi rapuh dan menimbulkan keretakan pada aspal. Fungsi filler itu sendiri dapat meningkatkan kepadatan pada campuran aspal, mengurangi jumlah celah udara pada campuran aspal, menambah stabilitas dan ketahanan campuran terhadap deformasi. Jumlah filler yang ideal berada diantara 0,6 dan 1,2 yang juga dikenal Proporsi Debu untuk persentase filler terhadap kandungan aspal dalam campuran. Pada suhu tinggi, campuran akan menjadi lembek jika kadar filler terlalu rendah. Selain itu, filler dapat dikatakan bagus jika bebas dari cairan terutama air yang tidak

lebih dari 1% atau bisa dikatakan harus kering dan bebas dari kotoran atau komponen lain yang tidak diinginkan.

2.2.6. Limbah Oli (*Waste Oil*) sebagai bahan tambah

Limbah oli (*waste oil*) ialah limbah yang merupakan sisa dari penggunaan minyak pelumas pada mesin kendaraan bermotor, akan tetapi masih bisa diaplikasikan dan memiliki nilai yang bermanfaat. Limbah oli (*waste oil*) memiliki sifat fisik yang dapat dipertimbangkan sebagai aditif dalam campuran aspal seperti kandungan karbon dan hidrokarbon yang dapat meningkatkan fleksibilitas dan mengurangi kekakuan pada suhu rendah, selanjutnya limbah oli ini memiliki titik didih yang tinggi karena mengandung residu hidrokarbon berat dengan demikian membuat stabil pada suhu tinggi saat proses pencampuran dan penghamparan aspal, selain itu memiliki kekentalan lebih rendah dibandingkan aspal murni sehingga memudahkan pencampuran pada material aspal dan meningkatkan kelancaran pada pencampuran aspal.

2.2.7. Sifat Limbah Oli (*Waste Oil*)

Limbah oli (*Waste oil*) mempunyai sifat yang dipengaruhi oleh viskositas, titik didih, dan kandungan senyawa kimianya. Seperti kekentalan dan titik nyala, selanjutnya menentukan penggunaannya dalam proses daur ulang atau modifikasi, misalnya sebagai bahan pengencer aspal dalam campuran perkerasan jalan. Dengan demikian dalam aplikasi tertentu, sifat-sifat ini menentukan keefektifannya sebagai bahan aditif.

2.2.8. Serbuk Kayu (*Wood Powder*) sebagai bahan tambah

Serbuk kayu ialah limbah yang bisa didapatkan dari proses pengamplasan, dan penggergajian kayu. Serbuk kayu ini terdiri dari partikel-partikel kecil dan halus dengan ukuran yang bervariasi. Serbuk yang digunakan adalah yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Serbuk kayu memiliki sifat dekomposisi sehingga dalam suhu tinggi penggunaannya perlu dibatasi agar mencegah perubahan sifat campuran aspal. Namun serbuk kayu merupakan bahan organik yang ramah lingkungan dibandingkan filler berbasis mineral, maka dari itu dapat mengurangi kebutuhan filler mineral yang lebih mahal. Serbuk kayu juga dapat meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat untuk meningkatkan daya rekat pada aspal. Penggunaan limbah serbuk kayu dapat membantu menekan biaya produksi.

2.2.9. Sifat Serbuk Kayu (*Wood Powder*)

Serbuk kayu (*Wood Powder*) yang dicampurkan ke dalam aspal dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen dan kemampuan menyerap energi. Berdasarkan hal tersebut disebabkan oleh karakter serbuk kayu yang memiliki daya serap tinggi sehingga mampu mendistribusikan tekanan secara merata. Sifatnya seperti ringan dan berpori memungkinkan campuran aspal memiliki stabilitas yang lebih baik.

2.2.10. Campuran Aspal Panas (*Hot Mix*)

Campuran aspal panas (*Hot Mix Asphalt*) adalah material konstruksi jalan itu dibuat dengan mencampurkan agregat (kasar, halus, dan *filler*). Untuk memastikan campuran aspal berfungsi dengan baik dapat diperhatikan karakteristiknya seperti, ketahanan leleh, stabilitas, kekesatan, durabilitas, dan fleksibilitas. Proses pembuatan campuran aspal panas dilakukan pada suhu yang sangat tinggi yaitu berkisar dari suhu 145°C sampai 150°C untuk memudahkan pengadukan dan penerapan.

2.2.11. Campuran Aspal AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*)

Jalan raya dibangun dengan kombinasi agregat dan aspal tanpa penambahan bahan tambahan, dikenal sebagai beton aspal. Campuran aspal AC-WC adalah tipe campuran aspal heat used for the surface layer atau lapisan atas jalan. Aspal AC-WC dibuat dengan mencampurkan aspal menggunakan agregat kasar dan halus pada suhu tinggi, sehingga menghasilkan campuran yang dapat menahan beban lalu lintas yang berat, kuat, dan tahan lama. Proses pembuatan campuran aspal panas dilakukan pada suhu yang sangat tinggi yaitu berkisar dari suhu 145°C sampai 150°C untuk memudahkan pengadukan dan penerapan.

Dalam pembuatan campuran aspal agregat dan aspal adalah dua elemen utama yang saling berinteraksi untuk membentuk campuran yang digunakan untuk konstruksi jalan, pelapisan permukaan jalan dan aplikasi lainnya. AC-WC merupakan lapisan permukaan atas dalam perkerasan jalan dan jika dibandingkan dengan jenis laston lainnya, AC-WC mempunyai tekstur yang paling halus. Struktur agregat pada gradasi menerus mempunyai sedikit rongga pada campuran dibandingkan dengan campuran bergradasi gap. Karena menyebabkan campuran AC-WC sensitif

terhadap variasi proporsi campuran. Berikut ini adalah persyaratan campuran laston terdapat pada tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Ketentuan Campuran Laston

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

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.2.12. *Marhsall Test*

Marshall test ialah standar uji yang digunakan untuk campuran aspal panas dengan ukuran agregat maksimum 25 mm (ASTM D 1559). Marshall Test adalah alat tekanan yang dilengkapi dengan *profing ring* (cincin uji) dengan kapasitas 2500 kg atau 5000 ton, cincin penguji ini akan dilengkapi dengan arloji ukur yang berguna untuk mengukur kestabilan campuran, sedangkan arloji kelelehan (*flow meter*) berfungsi untuk mengukur plastis (*flow*). Menurut Marshall (1939) Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kestabilan dan aliran campuran aspal dengan cara mengevaluasi kemampuan campuran untuk menahan beban dan deformasi pada suhu tertentu. Menurut Khattak dan Nazir (2009) menjelaskan bahwa Marshall Test mengukur 2 parameter utama : Stabilitas dan aliran.

Hasil pemeriksaan marshall dilakukan dengan menggunakan prosedur PC-0201-76, AASHTO T 245-74 atau ASTM D 1559 – 62T. Berikut ini menunjukkan diperoleh data-data sebagai berikut :

- Stabilitas yang dinyatakan dalam bidang bilangan bulat, maka stabilitas ini menunjukkan kekuatan dan ketahanan terhadap terjadinya alur (*rutting*)

- b. Kelelahan plastis (*flow*) dinyatakan dalam milimeter atau 0,01 inci, aliran juga dapat digunakan sebagai indikator terhadap lentur.
- c. VIM adalah persentase rongga dalam campuran dan dinyatakan dalam angka desimal dengan 1 digit setelah koma. VIM juga merupakan indikator daya tahan.
- d. VMA adalah persentase rongga yang terkumpul dan dinyatakan dalam angka bulat, jadi VMA sama dengan VIM, yang juga merupakan indikator daya tahan.

2.2.13. Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan *Marshall Test*

Kadar aspal optimum dicapai pada titik dimana nilai stabilitas tertinggi tercapai dengan mempertimbangkan keausan yang rendah. Penentuan kadar aspal ini sangat penting untuk memastikan performa campuran aspal yang optimal dalam jangka panjang, baik untuk ketahanan terhadap beban lalu lintas maupun cuaca ekstrim. Sukirman (1999). Kadar aspal optimum adalah persentase aspal dalam campuran yang memberikan nilai stabilitas tertinggi dan aliran yang masih dalam batas yang dapat diterima. Penentuan kadar aspal dilakukan dengan menguji berbagai variasi kadar aspal dalam campuran dan mengamati perubahan stabilitas dan aliran pada suhu 60°C. Marshall (1939) Bruce Marshall.

Marshall Quotient (MQ), suatu penilaian terhadap ketahanan material terhadap deformasi permanen, dihitung dengan membandingkan stabilitas dan flow. Ilustrasi pada gambar 2.1 dibawah ini menggambarkan sebagian dari perangkat uji marshall.



Gambar 2. 3 Marhsall Compaction

Hammer dan Alat Marhsall Test

Sumber : Dokumentasi Penulis

2.3. Penelitian Terdahulu yang Sejenis

Penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa penambahan limbah oli (*waste oil*) dan serbuk kayu (*wood powder*) pada aspal dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap kondisi suhu ekstrim. Kajian analisis ini menjadi dasar dalam pengembangan bahan aspal yang lebih baik untuk pembuatan jalan di Indonesia yang akan dilintasi kendaraan-kendaraan bermuatan berat. Dimana beberapa penelitian terdahulu tercantum di tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Kartika Indah Sari and Yusrizal Lubis (2019)	PENGUNAAN OLI BEKAS SEBAGAI BAHAN TAMBAH TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL PADA DAUR ULANG OLI BEKAS	Metode Pengujian Marshall	- oli bekas 1%, 2%, 3% <i>Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)</i>	Dengan meningkatkan variasi campuran dari aspal normal yang sudah dikenal sebelumnya, nilai stabilitas akan meningkat.

Deddy Marteano (2003)	Evaluasi Kinerja Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> dengan menggunakan <i>Filler Abu Sisa Pengerjaan Kayu</i>	Metode Pengujian Marshall	• Aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8% • Filler Abu Grajen	Penambahan dan juga penggantian filler dengan menggunakan abu grajen dapat menyebabkan menurunnya nilai kepadatan
Ahmad Hanif Wildansyah (2020)	PENGARUH OLI BEKAS SEBAGAI BAHAN PEREMAJA ASPAL DAUR ULANG TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN SPLIT MASTIC ASPHALT (SMA) 0/11 DENGAN SERAT IJUK	Metode Pengujian Marshall	• Aspal Pertamina Pen 60/70 • Oli Bekas • Agregat Kasar • Agregat Halus	Nilai yang dihasilkan selama pengujian tidak memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk penggunaan kembali material RAP secara langsung; oleh karena itu, penggunaan kembali material tersebut harus diperbarui untuk mengembalikan sifat awal bahan.
Aldiansyah Amin, Syamsuriani (2020)	Analisis Karakteristik Campuran AC-WC Dengan Penambahan Limbah Ban Dalam Kendaraan	Penelitian dilakukan metode desain emperis, tahap penelitian, pengumpulan data, dan analisis data.	• Limbah Ban Dalam • Agregat Kasar • Agregat Halus • <i>Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)</i>	Dengan penambahan limbah ban kendaraan, nilai kadar aspal ideal (KAO) adalah 6.40% untuk campuran AC-WC.

Rizki Presetya Person (2023)	Performa Campuran Beraspal Laston AC-WC menggunakan Campuran Serbuk Ban bekas dan Karet Alam sebagai Bahan Tambah Melalui Proses Kering	Tahap awal adalah pengujian pilot, campuran serbuk ban bekas dan karet alam tersebut digunakan sebagai pengganti sebagian aspal namun tetap memakai metode pencampuran dengan proses kering (dry mix).	• Agregat Kasar • Agregat Halus • <i>Asphalt Concrete – Wearing Course</i> (AC-WC) • Serbuk Ban Bekas	Untuk ketiga variasi campuran beraspal, stabilitas sisa dari pengujian perendaman Marshall (Marshall Immersion) masih di atas 1000 kg. Nilai ini menurun seiring dengan jumlah campuran serbuk ban bekas dan karet alam yang digunakan.
Aliffian Oktafa Ardana, Iqbal Ramadhan	ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN SERBUK KAYU (WOOD POWDER) DAN LIMBAH OLI (WASTE OIL)	Untuk mendapatkan Job Mix Formula terbaik dan Mengetahui pengaruh pencampuran AC - WC	• Aspal Pen 60/70 • Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>) • Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>) • Agregat Kasar • Agregat Halus	

BAB III

METODOLOGI

3.1. Metode Penelitian

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). Menurut definisi yang diberikan oleh ahli tersebut, penelitian eksperimen adalah jenis penelitian yang dilakukan dengan tujuan mengetahui bagaimana perlakuan berdampak pada subjek penelitian.

Penelitian yang dilakukan ini merupakan penelitian yang menggunakan metodologi data primer karena dilakukan secara eksperimen untuk mendapatkan hasil dari benda uji yang paling tepat untuk selanjutnya dilakukan penelitian, karena data diperoleh secara langsung. Dalam penelitian ini digunakan American Society for Testing of Materials (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai pedoman dalam proses pembuatannya.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini meliputi tahap produksi benda uji, pengujian sampel dan pengujian Marshall yang dilakukan di laboratorium jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.3.1. Bahan Penelitian

Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Penggunaan agregat kasar, agregat halus, yang diperoleh dari AMP (Asphalt Mixing Plant) PT. Deltamarga Adytama, Jl. Raya Semarang - Batang No. 500 Pagedangan, Sembung, Kecamatan Banyuputih, Kabupaten Batang, Jawa Tengah 51271.
- b. Menggunakan bahan Aspal Pen 60/70.
- c. Menggunakan semen sebagai filler.
- d. Bahan yang digunakan sebagai bahan tambah serbuk kayu (*wood powder*) yang didapatkan dari meubel kayu CV. Rizky Berkah.

- e. Oli bekas (*Waste Oil*) yang digunakan sebagai bahan tambah pada campuran didapatkan dari oli bekas kendaraan yang kami gunakan.

3.3.2. Peralatan Penelitian

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

1. Peralatan Uji Analisis 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 dengan pengatur suhu.
- e. Kuas, Wadah plastik dan sikat.

2. Peralatan Uji Berat Jenis

Untuk mencapai berat jenis yang optimal dari campuran aspal dilakukan uji berat jenis. Berikut ini adalah peralatan yang digunakan untuk menguji berat jenis agregat kasar dan halus :

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

3. Peralatan Uji Abrasi Agregat

Peralatan yang digunakan untuk menguji agregat termasuk mesin Los Angeles yang digunakan untuk mengukur tingkat abrasi, ayakan standar yang digunakan untuk mengukur gradasi agregat, perangkat pengering untuk oven, timbangan, dan alat uji berat jenis seperti piknometer, timbangan, dan pemanas. Pengujian juga melibatkan penggunaan bak perendaman dan tabung pasir setara..

4. Peralatan Uji Aspal

Peralatan pengujian aspal meliputi; alat uji kelarutan, timbangan dan piknometer yang merupakan alat uji dari berat jenis , alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji titik lembek, dan alat untuk menguji kelarutan.

5. Peralatan Uji 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 flowmeter, sebuah perangkat yang mengukur kerekatan.
- b. Alat untuk mencetak benda uji berbentuk silinder memiliki 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. Untuk Marshall standar, penumbuk manual ini memiliki permukaan silinder rata dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci), berat 4,5 kg (10 lbs), dan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inci).
- d. Ejector untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- e. Bak perendaman digunakan untuk perendaman benda uji.
- f. Alat - alat pendukung termasuk kompor pemanas, panci pencampur, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaus tangan anti panas, sarung tangan karet, kain lap, kaliper, spatula, timbangan, dan spidol untuk menandai benda uji.

3.4. Keperluan dan Analisis Data

Setelah proses penelitian selesai, yang mencakup seluruh pengujian sifat bahan dan karakteristik Marshall campuran, analisis data dilakukan.

3.4.1. 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 beberapa jenis campuran aspal beton.

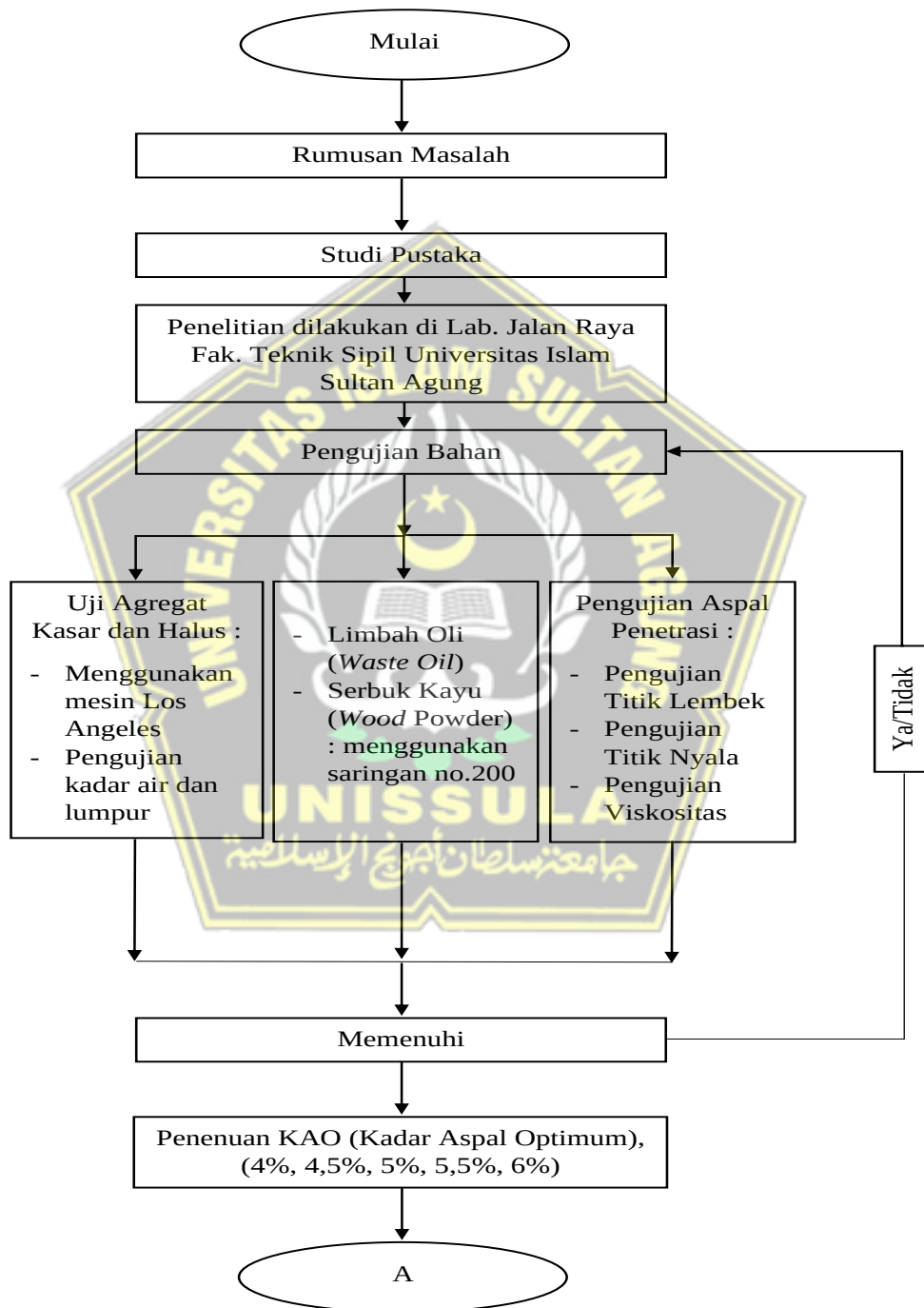
3.4.2. Analisis Data

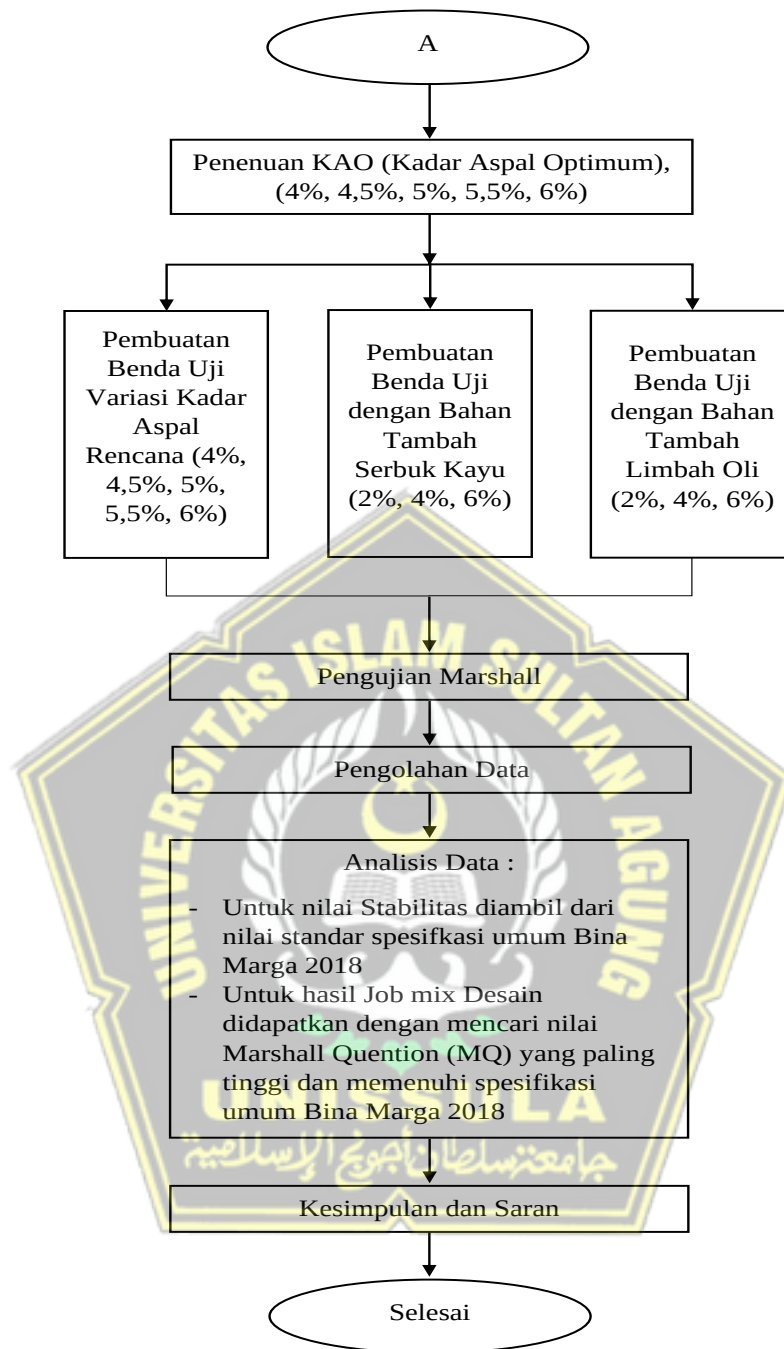
Pada Tahapan ini, seluruh data yang didapatkan dari hasil pemeriksaan dianalisa untuk mengevaluasi dampak dari percobaan. Ini termasuk

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

3.5. Tahap Rencana Penelitian

Diagram alir penelitian berupa tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan pada penelitian ini dijelaskan pada :





Gambar 3. 1 Bagan Alur Penelitian

3.6. Pengumpulan Data

Untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan. Masing-masing memiliki karakteristik, kelebihan, dan kelemahan tertentu. Terdapat 2 jenis pengumpulan data yaitu :

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

3.7. 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 serbuk kayu (*wood powder*) yang digunakan 0%, 2%, 4%, 6%, dan Limbah Oli (*waste oil*) 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 Serbuk Kayu (*wood powder*) dan Limbah Oli (*waste oil*) 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 terhadap sampel yang telah dibuat, kemudian nilai yang diperoleh dianalisa dan ditampilkan dalam bentuk grafik dan tabel untuk setiap parameter nilai karakteristik Marshall. (*Stability, Flow, VIM, VMA, VA, MO*).

3.8. Pemeriksaan Karakteristik Material

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

3.8.1. 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 mengetahui pembagian butiran agregat kasar, agregat sedang dan agregat halus dengan menggunakan 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. Susun saringan-saringan tersebut pada mesing pengguncang dengan

bagian paling bawah adalah pan kemudian saringan dengan lubang terkecil, dan seterusnya hingga saringan dengan lubang terbesar. Saringan-saringan tersebut diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

- c. Biarkan selama lima menit agar debu mengendap. Timbangan dilakukan untuk mengetahui berat yang tertahan pada masing-masing saringan. Persentase berat uji yang tertahan pada setiap saringan dihitung setelah proses penyaringan selesai.

3.8.2. Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal JAP-57. Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan antara lain:

- 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.

3.9. 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 tambah serbuk kayu dan limbah Oli akan dibuat masing-masing adalah 3 buah dengan total keseluruhan benda uji adalah 15 buah dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3. 1 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Kadar Aspal 4%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44%	528 g
2	<i>Medium Aggregate $\frac{3}{4}$"</i>	12%	144 g
3	<i>Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$"</i>	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	<i>Filler</i>	1,0%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	4,0%	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 $\frac{3}{4}$"</i>	12%	144 g
3	<i>Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$"</i>	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	<i>Filler</i>	1,0%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	4,5%	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 $\frac{3}{4}$"</i>	12%	144 g
3	<i>Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$"</i>	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	<i>Filler</i>	1,0%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	5,0%	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 $\frac{3}{4}$"</i>	12%	144 g
3	<i>Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$"</i>	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	<i>Filler</i>	1,0%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	5,5%	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	<i>Medium Aggregate $\frac{3}{4}$"</i>	12%	144 g
3	<i>Coarse Aggregate $\frac{1}{2}$"</i>	40%	480 g
4	Pasir	3%	36 g
5	<i>Filler</i>	1,0%	12 g
		100%	1200 g
Keterangan Aspal			
6	Aspal	6,0%	72 g
Total		1272 g	

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

Komposisi campuran aspal modifikasi menggunakan aspal 5,8% yang direncanakan menggunakan bahan tambah serbuk kayu (*wood powder*) dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6% dan limbah oli (*waste oil*) 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 Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 0 % dan *Waste Oil* 0 %

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 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
		100%	1200 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	0%	g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	0%	g
	Total	100%	1200 g
	Jumlah Sampel		3

Tabel 3. 7 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 0 % dan *Waste Oil* 2 %

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 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
		100%	1200 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	0%	g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	2%	1 g
	Total	102%	1201 g
	Jumlah Sampel		3

Tabel 3. 8 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 0 % dan *Waste Oil* 4 %

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 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
		100%	1200 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	0%	g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	4%	3 g
Total		104%	1203 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 9 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 0 % dan *Waste Oil* 6 %

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 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
		100%	1200 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	0%	g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	6%	4 g
Total		106%	1204 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 10 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 2 % dan *Waste Oil* 0 %

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	38%	456 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
		98%	1176 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	2%	1 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	0%	g
Total		100%	1177 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 11 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 2 % dan *Waste Oil* 2 %

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	38%	456 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
		98%	1176 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	2%	1 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	2%	1 g
Total		102%	1178 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 12 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 2 % dan *Waste Oil* 4 %

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	38%	456 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
		98%	1176 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	2%	1 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	4%	3 g
Total		104%	1180 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 13 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 2 % dan *Waste Oil* 6 %

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	38%	456 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
		98%	1176 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	2%	1 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	6%	4 g
Total		106%	1181 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 14 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 4 % dan *Waste Oil* 0 %

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:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	4%	3 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	0%	g
Total		100%	1155 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 15 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 4 % dan *Waste Oil* 2 %

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:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	4%	3 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	2%	1 g
Total		102%	1156 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 16 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 4 % dan *Waste Oil* 4 %

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:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	4%	3 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	4%	3 g
Total		104%	1158 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 17 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 4 % dan *Waste Oil* 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:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	4%	3 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	6%	4 g
Total		106%	1159 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 18 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 6 % dan *Waste Oil* 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:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	6%	4 g
	Keterangan Bahan Tambah:		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	0%	g
Total		100%	1132 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 19 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 6 % dan *Waste Oil* 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:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	6%	4 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	2%	1 g
Total		102%	1133 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 20 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 6 % dan *Waste Oil* 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:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	6%	4 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	4%	3 g
Total		104%	1135 g
Jumlah Sampel		3	

Tabel 3. 21 Rancangan Aspal (*Job Mix Design*) dengan *wood powder* 6 % dan *Waste Oil* 6 %

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:		
	Serbuk Kayu (<i>Wood Powder</i>)	6%	4 g
	Keterangan Bahan Tambah :		
	Limbah Oli (<i>Waste Oil</i>)	6%	4 g
Total		106%	1136 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).

Setiap benda uji yaitu 3 benda uji untuk pembanding masing-masing benda uji, dimana apabila salah satu benda uji tidak memenuhi syarat 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 Perhitungam Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Nama Sampel	<i>Medium Aggregate</i> $\frac{3}{4}$ "		<i>Coarse Aggregate</i> $\frac{1}{2}$ "		Aspal		Abu Batu		Serbuk Kayu (Wood Powder)		Limbah Oli (Waste Oil)		Pasir		Filler		Total Agregat		Jumlah Sampel
	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	(g)	(%)	
SK0 LO0	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
SK0 LO2	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
SK0 LO4	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
SK0 LO6	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
SK2 LO0	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
SK4 LO0	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
SK6 LO0	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
SK2 LO2	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
SK2 LO4	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
SK2 LO6	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
SK4 LO2	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
SK4 LO4	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
SK4 LO6	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
SK6 LO2	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
SK6 LO4	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
SK6 LO6	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 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%																			
JUMLAH SAMPEL (KAO)																			15
TOTAL SAMPEL																			63

Sumber : Data Penelitian 2025

3.11. Prosedur Kerja

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

3.11.1. Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Komposisi agregat dalam campuran, dan jumlah sampel uji yang akan digunakan untuk pengujian merupakan elemen integral dalam tahapan perancangan AC-WC. Dalam desain lapis aus beton aspal, atau yang dikenal sebagai lapis perantara Laston/AC-WC, gradasi menerus, yang disebut sebagai gradasi ideal, digunakan sebagai gradasi agregat dalam penelitian ini. Sebelum dicampur, setiap fraksi agregat diayak dan dianalisis. Komposisi campuran agregat ditetapkan oleh proporsi antara agregat halus (FA) dan agregat kasar (CA).

3.11.2. Tahapan Pembuatan Benda Uji

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan pada penelitian. Kemudian menentukan persentase masing-masing material yang digunakan agar mempermudah dalam proses mencampur dan menimbang secara kumulatif agar didapatkan komposisi campuran yang terbaik.
2. Memisahkan setiap agregat menjadi fraksi-fraksi yang telah ditentukan melalui penyaringan dan penimbangan.
3. Pencampuran benda uji
 - Total agregat dan aspal yang dibutuhkan untuk tiap benda uji adalah ± 1200 gram, dimana benda uji tersebut akan dibuat dengan tinggi kurang lebih $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$ ($2,5 \pm 0,05 \text{ inc}$).
 - Memanaskan agregat sampai suhu 150°C .
 - Tuangkan aspal yang sudah cair secukupnya ke dalam agregat yang sudah dipanaskan, kemudian aduk dengan cepat hingga agregat tercampur rata dengan aspal.
4. Pemadatan benda uji
 - Bersihkan peralatan dari cetakan yang akan digunakan untuk membuat

- benda uji dan panaskan hingga mencapai suhu antara 90 °C – 150 °C.
- Letakkan cetakan pada platform pemadatan dan tahan menggunakan penahan cetakan.
 - Tempatkan kertas saring atau kertas penyerap sesuai dengan ukuran dasar cetakan.
 - Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan padatkan dengan cara menusuk-nusuk campuran menggunakan spatula yang dipanaskan sebanyak 15 kali pada bagian pinggir dan 10 kali pada bagian tengah.
 - Letakkan kertas saring atau kertas penyerap yang sesuai dengan ukuran cetakan pada permukaan benda uji.
 - Padatkan campuran tersebut menggunakan suhu yang disesuaikan dengan viskositas aspal yang digunakan dengan jumlah tumbukan sebanyak 75 kali untuk sisi atas dan 75 kali untuk sisi bawah.
 - Setelah suhu tidak terlalu panas lagi, keluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan *extruder* dan letakkan benda uji pada permukaan datar dan berikan tanda identifikasi untuk setiap benda uji, kemudian biarkan selama 24 jam pada suhu ruangan.

3.11.3. Metode Pengujian Sampel

Prosedur pengujian sampel *Marshall test* harus sesuai dengan tata cara yang ditentukan oleh RSNI M-01-2003.

1. Alat uji Marshall merupakan peralatan uji kelistrikan yang memiliki kekuatan 220 volt dan dirancang untuk memberi beban pada sampel uji *semi circular testing head* dengan kecepatan konstan 51 milimeter (2 inci) permenit. Untuk mengukur stabilitas pada beban uji tertinggi, pada alat ini terdapat *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*, sebuah alat dengan pengaturan suhu minimum 20 derajat celcius dan memiliki kedalaman 150 milimeter atau (6 inci) dengan rak bawah 50 milimeter.

3. *Thermometer*, alat pengukur suhu air dalam *water bath* yang dapat menahan suhu sampai ± 200 derajat celcius.

Setelah dilakukan uji Marshall selesai, untuk proses selanjutnya yaitu perhitungan untuk menentukan :

- *Marshall Quotient*, adalah *ratio* antara nilai *stability* dan *flow*
- Bobot kapasitas volume benda uji
- Volume pori dalam benda uji (VIM)
- Volume antara agregat dalam benda uji (VMA)
- Volume antara agregat yang terisi oleh aspal (VFB)
- Ketebalan selimut lapis aspal

3.11.4. Pengujian *stability* dan *flow*

Pengujian stabilitas dan kelelahan dilakukan dengan menggunakan alat uji Marshall seperti yang bisa dipahami di bawah ini:

1. Benda uji direndam didalam air selama 30-40 menit dengan suhu tetap 60 derajat celcius.
2. Pada 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 di angka nol ketika tidak ada beban yang diterapkan, hal ini untuk menjamin akurasi pengukuran yang konsisten.

3. Setelah merendam sampel dalam *water bath*, letakkan sampel di tengah bagian bawah kepala uji. Jarum indikator dinolkan dan pengukur aliran diletakkan di atas tanpa *guide road*.
4. Memposisikan bagian atas alat penekan Marshall Test di atas sampel dan posisikan secara keseluruhan ke 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 pembebanan dilakukan, kepala penekan dan benda uji harus dinaikkan sampai dasar cincin penguji menyentuhnya.
7. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
8. Lakukan pemberian beban pada spesimen secara stabil pada kecepatan sekitar 50,8 milimeter per menit sehingga pemberian beban tertinggi diperoleh. Kemudian, sebagaimana yang diperlihatkan oleh jarum penunjuk tekanan, kurangi pemberian beban dan catat pembebanan maksimal (*stability*) yang didapatkan. Jika ketebalan benda uji kurang dari 63,5 mm, faktor pengali harus diterapkan untuk menyesuaikan beban.
9. Pada saat pembebanan maksimum tercapai, catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan. Bersihkan alat dan lakukan penyelesaian .

3.12. Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di Laboratorium Perkerasan Jalan dengan melakukan percobaan pada bahan baku aspal dan agregat. Proses penelitian dilakukan dalam 6 tahap sebagai berikut (Indriani Santoso, 2013) :

Tahap I : Berikut ini adalah beberapa persiapan yang dilakukan untuk penelitian ini :

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

Tahap II : Pengecekan bahan

Pengecekan agregat yang dilaksanakan mencakup

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

Tahap III : Pada tahap ini, perancangan campuran (*mix design*) dan pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan kadar aspal. 5,8% dengan bahan tambah serbuk kayu (*wood powder*) dengan presentase 0%, 2%, 4%, 6% serta limbah oli (*waste oil*) dengan presentase 0%, 2%, 4%, 6% untuk menentukan kadar aspal optimum.

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

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

Tahap VI : Setelah menganalisi semua 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 beberapa proses sistematis, diantaranya ialah pengambilan material sebagai bahan baku pembuatan sampel, menyiapkan bahan penelitian, pembuatan sampel uji yang telah ditentukan, dan mengevaluasi komposisi bahan uji. Pada tahap penyediaan bahan baku dilakukan persiapan agregat batu pecah, dan abu batu dari PT. Deltamarga Adytama, Jl. Raya Semarang – Batang No. 500 Pagedangan, Sembung, Kec. Banyuputih, Kabupaten Batang, Jawa Tengah 51271.

Untuk material serbuk kayu diambil dari (nama Meubel) dan untuk oli bekas didapatkan dari oli bekas pemakaian pribadi. Seluruh proses penelitian seperti pembuatan benda uji dan sifat material, pengujian aspal dan pengujian marshall dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4. 1 Pengambilan Material di PT. Deltamarga Adytama

Sumber : www.google.com



Gambar 4. 2 Pengambilan Material Serbuk Kayu di Meubel

Sumber : google.maps

4.2. Pengujian Agregat

Pengujian agregat kasar meliputi bentuk, abrasi dengan mesin Los Angeles, kelekatan agregat terhadap aspal, angularitas dan butiran mudah pecah, gradasi agregat, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semua, penyerapan, material lolos saringan no.200, partikel pipih dan lonjong, dan *sand equivalent*.

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

Tabel 4. 1 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

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

Berdasarkan hasil **Tabel 4.1** material agregat yang berasal dari (AMP) PT. Deltamarga Adytama, Jl. Raya Semarang - Batang, setelah dilakukan pengujian hasilnya 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 dapat 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		KOMULATIF	LOLOS	UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		KOMULATIF	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	100.00
1/2"	12.5	1960	65.33	65.33	34.67	1/2"	12.5	1,950	65.00	65.00	35.00	34.83
3/8"	9.5	958	31.93	97.27	2.73	3/8"	9.5	964	32.13	97.13	2.87	2.80
# 4	4.75	57	1.90	99.17	0.83	# 4	4.75	59	1.97	99.10	0.90	0.87
# 8	2.36	12	0.40	99.57	0.43	# 8	2.36	14	0.47	99.57	0.43	0.43
# 16	1.15	2	0.07	99.63	0.37	# 16	1.15	2	0.07	99.63	0.37	0.37
# 30	0.6	5	0.17	99.80	0.20	# 30	0.6	5	0.17	99.80	0.20	0.20
# 50	0.3	4	0.13	99.93	0.07	# 50	0.3	3	0.10	99.90	0.10	0.08
#100	0.15	1	0.03	99.97	0.03	#100	0.15	2	0.07	99.97	0.03	0.03
# 200	0.075	1	0.03	100.00	-	# 200	0.075	1	0.03	100.00	-	
Weight Of Sample (gr)		3,000				Weight Of Sample (gr)		3,000				

4.2.2. Pengujian Agregat 1 1/2

Medium agregat atau agregat halus yang lolos saringan 1 1/2 - 1/2 dan tertahan mulai dari saringan 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					
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	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 1/2 - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8, yang terdiri dari abu batu bisa dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4. 4 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											

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 1/2 - No.30 dan tertahan mulai dari saringan No.50 yang dapat dilihat pada **Tabel 4.5**.

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	2.40	# 8	2.36	7	1.40	1.40	98.60
# 16	1.15	100	20.00	22.40	# 16	1.15	71	14.20	15.60	84.40
# 30	0.6	149	29.80	52.20	# 30	0.6	135	27.00	42.60	57.40
# 50	0.3	114	22.80	75.00	# 50	0.3	138	27.60	70.20	29.80
#100	0.15	105	21.00	96.00	#100	0.15	121	24.20	94.40	5.60
# 200	0.075	16	3.20	99.20	# 200	0.075	26	5.20	99.60	0.40
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 saringan No.200 yang dapat 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				%
1 1/2"	37.5	0.0	0.0	100.00	1 1/2"	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			

Berdasarkan **Tabel 4.6** untuk agregat halus terbagi di setiap saringan kecuali saringan No.200 yang tertekan sebanyak 2,02%. Pada tabel analisa pembagian butiran jenis material *filler* semen semua material *filler* semen semua material lolos 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 spek 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 di aplikasikan 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 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 $3/4$ dan tertahan mulai dari saringan ukuran $1/2$ sampai dengan #200, yang terdiri dari batu pecah $1/2$, batu pecah $3/4$, abu batu, aspal, pasir, dan *filler*. Dari tiap material memiliki persentase yang berbeda sesuai dengan hasil analisa saringan dan kombinasi yang dibuat. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada **Tabel 4.8**.

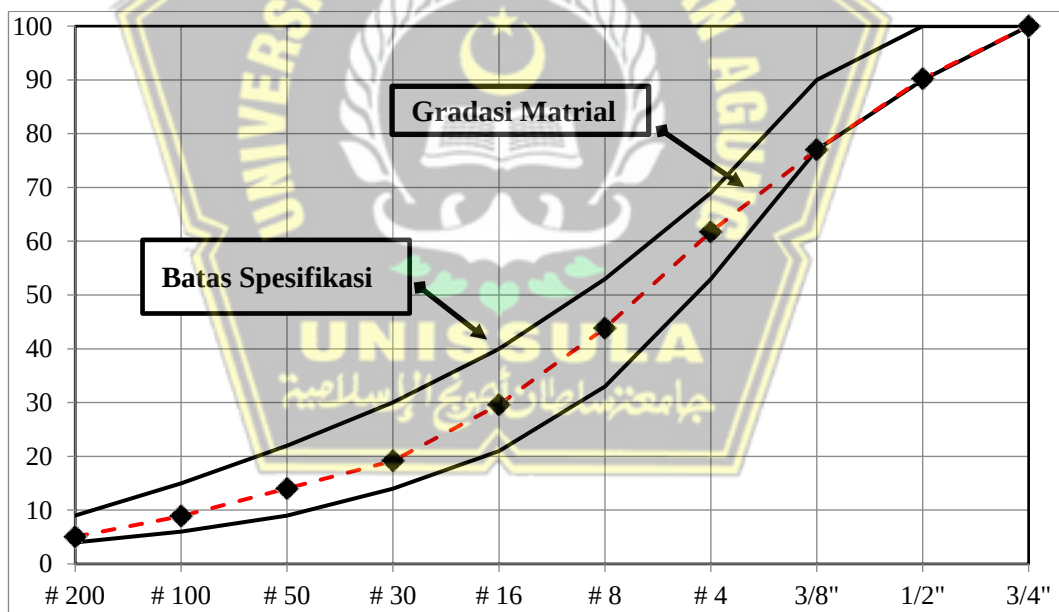
Tabel 4. 8 Perhitungan Kombinasi Agregat
(SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)

Uraian			1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
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		95.00		90.00</									

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.



Tabel 4. 11 Pengujian Ekstraksi

No	Uraian Pemeriksaan	Rumus	Nilai	Sat
A	Berat Pan / Cawan		105,6	Gr
B	Berat Material + Pan Sebelum		557,4	Gr
C	Berat Material + Pan Sesudah		535	Gr
D	Berat Sebelum Ekstraksi	$(B - A)$	451,8	Gr
E	Berat Setelah Ekstraksi	$(C - A)$	429,4	Gr
F	Berat Kertas Filter		3,8	Gr
G	Berat Total Mineral	$(C - A - F)$	425,6	Gr
H	Berat Aspal Dalam Campuran	$(D - G)$	26,2	Gr
I	Prosen (%) Aspal Dalam Campuran	$(H / D \times 100)$	5,80	%
	Rata-Rata		5,80	%

Sumber : Data Penelitian 2025

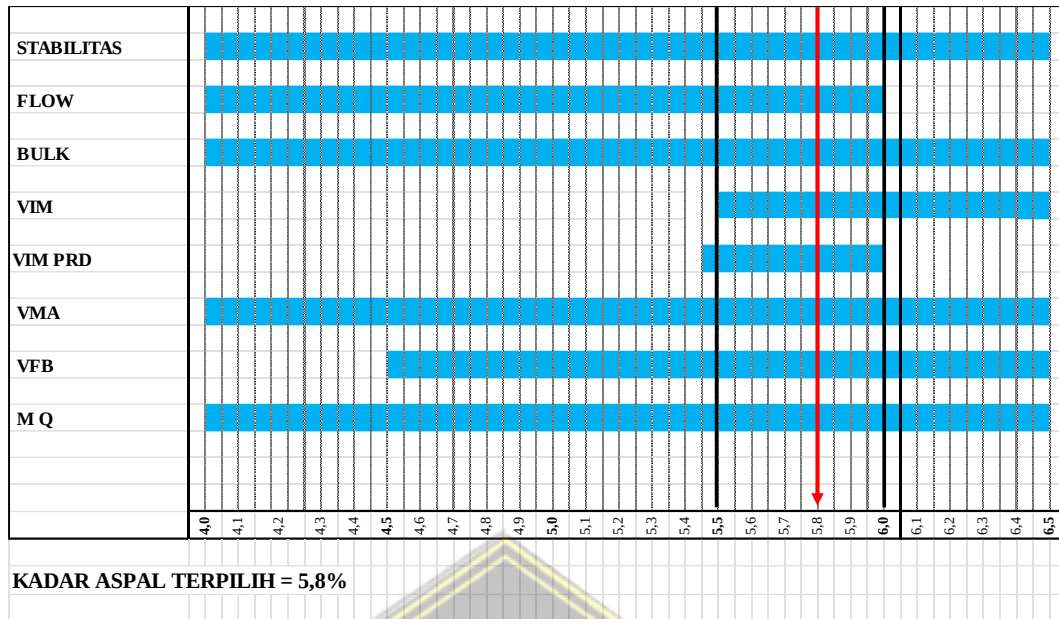
Berdasarkan **Tabel 4.11.** hasil dari pengujian kadar aspal dan ekstraksi digunakan sebagai penentuan kadar aspal optimum sebesar 5,80% untuk campuran modifikasi *wood powder* dan *waste oil* sebagai bahan tambah. Hasil ini dianggap memenuhi dikarenakan nilai KAO tersebut telah memenuhi syarat karakteristik 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), Marshal 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

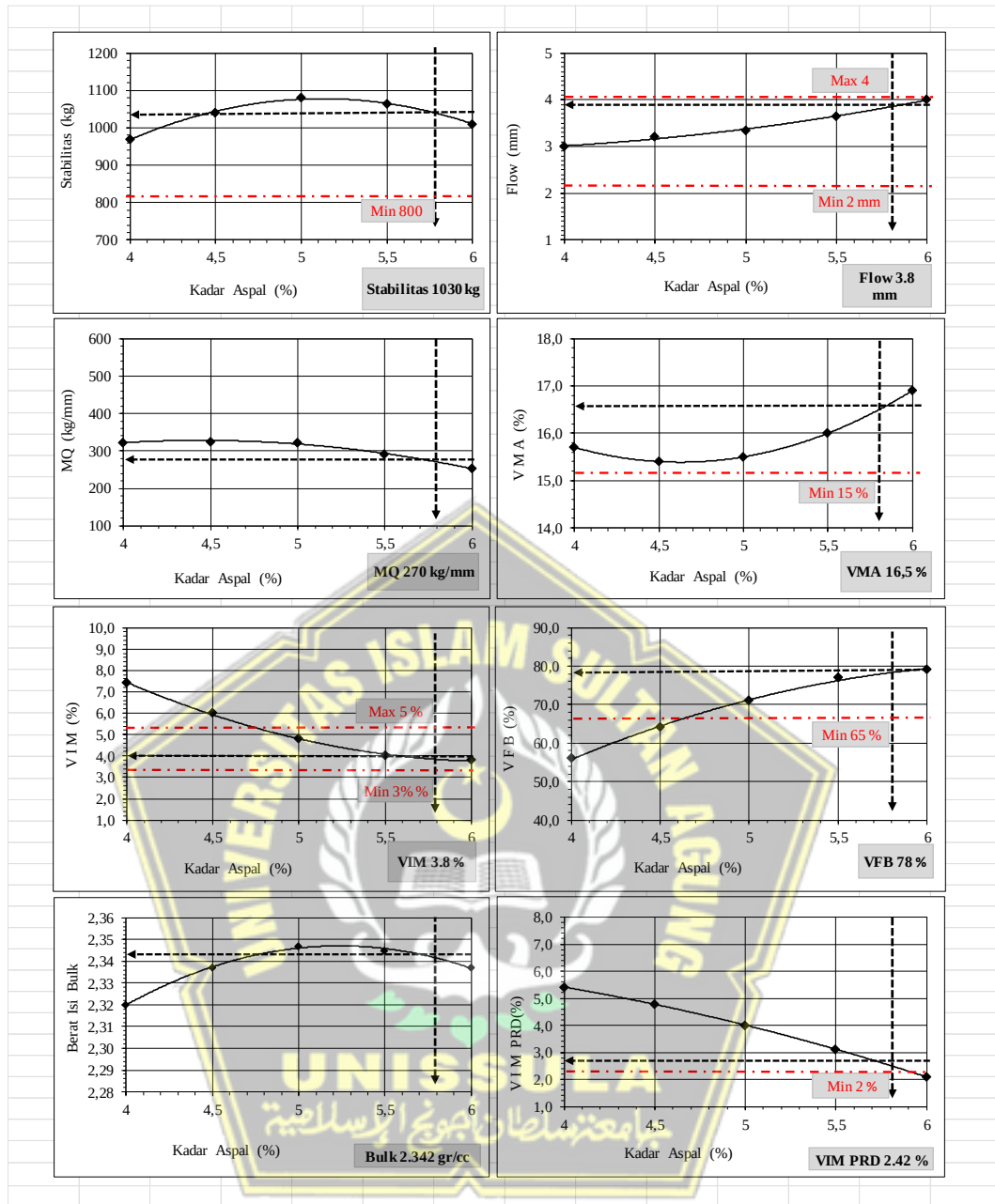
K.MARS	VIM	VMA	VFA	TABILITA	FLOW	MQ	BULK
4%	7,83	12,18	35,71	588,12	2,10	280,05	2,382
	8,60	12,92	33,44	765,85	8,10	94,55	2,362
	9,90	14,15	30,04	606,90	6,20	97,89	2,329
	8,78	13,08	33,06	653,62	5,47	157,50	2,36
4,50%	10,39	15,07	31,06	635,80	4,20	151,38	2,316
	7,99	12,79	37,53	411,83	8,20	50,22	2,378
	11,47	16,09	28,71	1127,10	5,20	216,75	2,288
	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
	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
	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	



Gambar 4. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Sumber : Data Penelitian 2025

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



Gambar 4. 4 Gambar Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum

Sumber : Data Penelitian 2025

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 bahan tambah *wood powder* dan *waste oil*. 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	KODE SAMPEL	VARIASI	BENDA UJI
1	SK0 LO0	Serbuk Kayu 0%, Limbah Oli 0%	3
2	SK0 LO2	Serbuk Kayu 0%, Limbah Oli 2%	3
3	SK0 LO4	Serbuk Kayu 0%, Limbah Oli 4%	3
4	SK0 LO6	Serbuk Kayu 0%, Limbah Oli 6%	3
5	SK2 LO0	Serbuk Kayu 2%, Limbah Oli 0%	3
6	SK4 LO0	Serbuk Kayu 4%, Limbah Oli 0%	3
7	SK6 LO0	Serbuk Kayu 6%, Limbah Oli 0%	3
8	SK2 LO2	Serbuk Kayu 2%, Limbah Oli 2%	3
9	SK2 LO4	Serbuk Kayu 2%, Limbah Oli 4%	3
10	SK2 LO6	Serbuk Kayu 2%, Limbah Oli 6%	3
11	SK4 LO2	Serbuk Kayu 4%, Limbah Oli 2%	3
12	SK4 LO4	Serbuk Kayu 4%, Limbah Oli 4%	3
13	SK4 LO6	Serbuk Kayu 4%, Limbah Oli 6%	3
14	SK6 LO2	Serbuk Kayu 6%, Limbah Oli 2%	3
15	SK6 LO4	Serbuk Kayu 6%, Limbah Oli 4%	3
16	SK6 LO6	Serbuk Kayu 6%, Limbah Oli 4%	3
TOTAL SAMPEL			48

Sumber : Data Penelitian 2025

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)											
	Contoh No :		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
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	1.365
2	Berat Botol	Grm	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Contoh	(1 - 2) Grm	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2127	2137	2138	2137	2140	2146	2145	2142	2143	2151		
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805		
6	Berat air	(4 - 5) Grm	322	332	333	332	335	341	340	337	338	346		
7	Volume contoh	(3 - 6) Grm	278	268	267	268	265	259	260	263	262	254		
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7) Grm / cc	2,158	2,239	2,247	2,239	2,264	2,317	2,308	2,281	2,290	2,362		
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10) Grm / cc	2,158	2,239	2,247	2,239	2,264	2,317	2,308	2,281	2,290	2,362		
Rata - rata GMM			2,199		2,243		2,290		2,295		2,326			
Variasi Kadar MODIFIKASI %			SK0 LO0		SK0 LO2		SK0 LO4		SK0 LO6		SK2 LO0			
No.	Modifikasi		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)											
	Contoh No :		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
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	1.365
2	Berat Botol	Grm	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Contoh	(1 - 2) Grm	600	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		
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805		
6	Berat air	(4 - 5) Grm	343	344	335	347	346	344	344	342	346	345		
7	Volume contoh	(3 - 6) Grm	257	256	265	253	254	256	256	258	254	255		
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7) Grm / cc	2,335	2,344	2,264	2,372	2,362	2,344	2,344	2,326	2,362	2,353		
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25		
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10) Grm / cc	2,335	2,344	2,264	2,372	2,362	2,344	2,344	2,326	2,362	2,353		
Rata - rata GMM			2,339		2,318		2,353		2,335		2,358			
Variasi Kadar MODIFIKASI %			SK4 LO0		SK6 LO0		SK2 LO2		SK2 LO4		SK2 LO6			
No.	Modifikasi		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)											
	Contoh No :		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
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	1.365
2	Berat Botol	Grm	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Contoh	(1 - 2) Grm	600	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	2152	2144	2146
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805	1.805
6	Berat air	(4 - 5) Grm	341	343	343	345	336	341	344	347	345	347	339	341
7	Volume contoh	(3 - 6) Grm	259	257	257	255	264	259	256	253	255	253	261	259
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7) Grm / cc	2,317	2,335	2,335	2,353	2,273	2,317	2,344	2,372	2,353	2,372	2,299	2,317
9	Temperatur air T °C	Grm	25	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	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10) Grm / cc	2,317	2,335	2,335	2,353	2,273	2,317	2,344	2,372	2,353	2,372	2,299	2,317
Rata - rata GMM			2,326		2,344		2,295		2,358		2,362		2,308	
Variasi Kadar MODIFIKASI %			SK4 LO2		SK4 LO4		SK4 LO6		SK6 LO2		SK6 LO4		SK6 LO6	

Sumber : Data Penelitian 2025

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi dengan 16 variasi Serbuk Kayu (*wood powder*) dan Limbah oli (*waste oil*) 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 *Wood Powder* dan *Waste Oil*.

Hasil pengujian marshall untuk benda uji komposisi modifikasi Serbuk Kayu (*wood powder*) dan Limbah oli (*waste oil*) 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	benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara (vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(vfa)	stabilitas dibaca arloji	di sesuaikan	kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (m ^q)
		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b)g gsb	100 - (100*g) h	100(i-j) i				m / n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
SK0 L00	1	5,8%	1161,0	645,0	1190,0	545,0	2,130	2,199	19	3,10	84,01	103	1016,713	4,00	254,18
SK0 L00	2	5,8%	1153,0	617,0	1160,0	543,0	2,123	2,199	19,67	3,42	82,63	263	2596,073	5,40	480,75
SK0 L00	3	5,8%	1155,0	618,0	1161,0	543,0	2,127	2,199	19,53	3,25	83,36	300	2961,3	5,50	538,42
Rata-rata		5,8%					2,127	2,199	19,540	3,258	83,330		2197,362	4,966667	424,45
SK0 L02	1	5,8%	1130,0	615,0	1140,0	525,0	2,152	2,243	18,58	4,04	78,25	320	3158,72	5,00	631,74
SK0 L02	2	5,8%	1130,0	620,0	1140,0	520,0	2,173	2,243	17,79	3,12	82,48	285	2813,235	5,00	562,65
SK0 L02	3	5,8%	1148,0	628,0	1158,0	530,0	2,166	2,243	18,06	3,43	81,00	265	2615,815	5,00	523,16
Rata-rata		5,8%					2,164	2,243	18,143	3,529	80,578		2862,59	5	572,518
SK0 L04	1	5,8%	1125,0	620,0	1134,0	514,0	2,189	2,290	17,20	4,44	74,20	305	3010,655	5,00	602,13
SK0 L04	2	5,8%	1143,0	632,0	1153,0	521,0	2,194	2,290	17,01	4,21	75,22	283	2793,493	5,50	507,91
SK0 L04	3	5,8%	1145,0	634,0	1156,0	522,0	2,193	2,290	17,02	4,23	75,15	264	2605,944	4,50	579,10
Rata-rata		5,8%					2,192	2,290	17,077	4,294	74,855		2803,364	5	563,0458
SK0 L06	1	5,8%	686,0	390,0	695,0	305,0	2,249	2,295	14,91	1,98	86,75	170	1678,07	7,00	239,72
SK0 L06	2	5,8%	1133,0	633,0	1144,0	511,0	2,217	2,295	16,12	3,37	79,10	244	2408,524	5,00	481,70
SK0 L06	3	5,8%	1131,0	625,0	1143,0	518,0	2,183	2,295	17,40	4,84	72,17	254	2507,234	5,00	501,45
Rata-rata		5,8%					2,217	2,295	16,147	3,396	79,340		2197,943	5,666667	407,6253
SK2 L00	1	5,8%	1145,0	640,0	1154,0	514,0	2,228	2,326	15,73	4,24	73,08	125	1233,875	4,50	274,19
SK2 L00	2	5,8%	1124,0	635,0	1136,0	501,0	2,244	2,326	15,13	3,55	76,52	228	2250,588	4,00	562,65
SK2 L00	3	5,8%	1128,0	628,0	1137,0	509,0	2,216	2,326	16,17	4,73	70,74	135	1332,585	5,50	242,29
Rata-rata		5,8%					2,229	2,326	15,675	4,172	73,446		1605,683	4,666667	359,7099
SK4 L00	1	5,8%	1135,0	638,0	1145,0	507,0	2,239	2,339	15,31	4,30	71,93	140	1381,94	5,00	276,39
SK4 L00	2	5,8%	1125,0	630,0	1133,0	503,0	2,237	2,339	15,39	4,39	71,50	184	1816,264	4,00	454,07
SK4 L00	3	5,8%	1137,0	638,0	1145,0	507,0	2,243	2,339	15,16	4,13	72,77	160	1579,36	5,00	315,87
Rata-rata		5,8%					2,239	2,339	15,289	4,271	72,068		1592,521	4,666667	348,7753
SK6 L00	1	5,8%	1132,0	630,0	1141,0	511,0	2,215	2,318	16,20	4,43	72,68	253	2497,363	4,00	624,34
SK6 L00	2	5,8%	1138,0	635,0	1146,0	511,0	2,227	2,318	15,75	3,92	75,12	273	2694,783	3,50	769,94
SK6 L00	3	5,8%	1127,0	634,0	1140,0	506,0	2,227	2,318	15,74	3,91	75,18	248	2448,008	4,00	612,00
Rata-rata		5,8%					2,223	2,318	15,898	4,084	74,326		2546,718	3,833333	668,7603
SK2 L02	1	5,8%	1130,0	635,0	1140,0	505,0	2,238	2,353	15,35	4,90	68,07	223	2201,233	3,00	733,74
SK2 L02	2	5,8%	1155,0	652,0	1167,0	515,0	2,243	2,353	15,16	4,69	69,09	168	1658,328	5,50	301,51
SK2 L02	3	5,8%	1129,0	637,0	1141,0	504,0	2,240	2,353	15,26	4,80	68,56	309	3050,139	4,00	762,53
Rata-rata		5,8%					2,240	2,353	15,257	4,795	68,570		2303,233	4,166667	599,2644
SK2 L04	1	5,8%	1125,0	640,0	1135,0	495,0	2,273	2,335	14,02	2,65	81,08	164	1618,844	4,50	359,74
SK2 L04	2	5,8%	1140,0	649,0	1150,0	501,0	2,275	2,335	13,92	2,54	81,78	163	1608,973	4,00	402,24
SK2 L04	3	5,8%	1129,0	635,0	1142,0	507,0	2,227	2,335	15,76	4,62	70,69	145	1431,295	4,00	357,82
Rata-rata		5,8%					2,258	2,335	14,568	3,270	77,851		1553,037	4,166667	373,27
SK2 L06	1	5,8%	1152,0	650,0	1164,0	514,0	2,241	2,358	15,21	4,93	67,57	156	1539,876	4,50	342,19
SK2 L06	2	5,8%	1149,0	649,0	1161,0	512,0	2,244	2,358	15,11	4,81	68,15	201	1984,071	4,00	496,02
SK2 L06	3	5,8%	1130,0	638,0	1141,0	503,0	2,247	2,358	15,02	4,71	68,63	180	1776,78	6,00	296,13
Rata-rata		5,8%					2,244	2,358	15,112	4,819	68,115		1766,909	4,833333	378,1141
SK4 L02	1	5,8%	1143,0	645,0	1155,0	510,0	2,241	2,326	15,22	3,63	76,14	118	1164,778	5,00	232,96
SK4 L02	2	5,8%	1136,0	640,0	1148,0	508,0	2,236	2,326	15,40	3,84	75,05	163	1608,973	3,50	459,71
SK4 L02	3	5,8%	1141,0	643,0	1153,0	510,0	2,237	2,326	15,37	3,80	75,27	145	1431,295	5,00	286,26
Rata-rata		5,8%					2,238	2,326	15,329	3,758	75,487		1401,682	4,5	326,3071
SK4 L04	1	5,8%	1152,0	651,0	1164,0	513,0	2,246	2,344	15,05	4,19	72,17	211	2082,781	5,00	416,56
SK4 L04	2	5,8%	1148,0	647,0	1160,0	513,0	2,238	2,344	15,34	4,52	70,53	180	1776,78	4,00	444,20
SK4 L04	3	5,8%	1127,0	635,0	1139,0	504,0	2,236	2,344	15,41	4,59	70,19	211	2082,781	4,50	462,84
Rata-rata		5,8%					2,240	2,344	15,268	4,435	70,963		1980,781	4,5	441,1971
SK4 L06	1	5,8%	1129,0	643,0	1160,0	517,0	2,184	2,295	17,39	4,83	72,20	135	1332,585	4,50	296,13
SK4 L06	2	5,8%	1149,0	641,0	1162,0	521,0	2,205	2,295	16,57	3,89	76,52	170	1678,07	5,00	335,61
SK4 L06	3	5,8%	1131,0	648,0	1163,0	515,0	2,196	2,295	16,92	4,29	74,62	160	1579,36	4,50	350,97
Rata-rata		5,8%					2,195	2,295	16,961	4,340	74,448		1530,005	4,666667	327,571
SK6 L02	1	5,8%	1139,0	643,0	1151,0	508,0	2,242	2,358	15,18	4,90	67,73	146	1441,166	4,50	320,26
SK6 L02	2	5,8%	1128,0	648,0	1138,0	490,0	2,302	2,358	12,91	2,36	81,74	156	1539,876	4,50	342,19
SK6 L02	3	5,8%	1134,0	640,0	1146,0	506,0	2,241	2,358	15,22	4,94	67,52	120	1184,52	4,50	263,23
Rata-rata		5,8%					2,262	2,358	14,439	4,067	72,329		1388,521	4,5	308,5601
SK6 L04	1	5,8%	1141,0	645,0	1153,0	508,0	2,246	2,362	15,03	4,92	67,28	225	2220,975	4,50	493,55
SK6 L04	2	5,8%	1130,0	639,0	1142,0	503,0	2,247	2,362	15,02	4,90	67,37	155	1530,005	5,00	306,00
SK6 L04	3	5,8%	1129,0	637,0	1140,0	503,0	2,245	2,362	15,09	4,98	66,98	165	1628,715	4,50	361,94
Rata-rata		5,8%					2,246	2,362	15,046	4,933	67,213		1793,232	4,666667	387,1626
SK6 L06	1	5,8%	1133,0	635,0	1145,0	510,0	2,222	2,308	15,96	3,73	76,61	148	1460,908	4,00	365,23
SK6 L06	2	5,8%	1145,0	645,0	1157,0	512,0	2,236	2,308	15,40	3,09	79,91	100	987,1	5,00	197,42
SK6 L06	3	5,8%	1130,0	635,0	1142,0	507,0	2,229	2,308	15,69	3,42	78,20	155	1530,005	4,50	340,00
Rata-rata		5,8%					2,229	2,308	15,682	3,416	78,237		1326,004	4,5	300,8827

Sumber : Data Penelitian 2025

Dari **Tabel 4.15.** didapatkan hasil *marshall test* dari berbagai varian komposisi yang telah dibuat. Dari hasil tersebut kami dapatkan nilai marshall test tertinggi dengan nilai 3158,72 kg, yaitu pada komposisi serbuk kayu (*wood powder*) 0% dan Limbah Oli (*waste oil*) 2%, pada komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal stabilitas yaitu 800 kg.

Berdasarkan penelitian yang kami lakukan mengapa komposisi tersebut mendapatkan nilai *marshall test* optimal dikarenakan limbah oli (*waste oil*) yang ditambahkan tidak terlalu banyak dan tidak terdapat serbuk kayu (*wood powder*), sehingga mendapatkan nilai flow yang cukup kecil dan nilai stabilitas paling optimal. Karena limbah oli (*waste oil*) jika digunakan pada komposisi yang tepat maka dapat menjadi bahan peremaja aspal. Oli bekas dapat digunakan untuk mengembalikan sifat aspal lama pada campuran aspal.



Dari **Tabel 4.15**. Hasil menunjukkan pengujian marshall bervariasi sesuai dengan presentase komposisinya. Untuk hasil parameternya dapat dilihat dari grafik hasil pengujian di bawah ini.

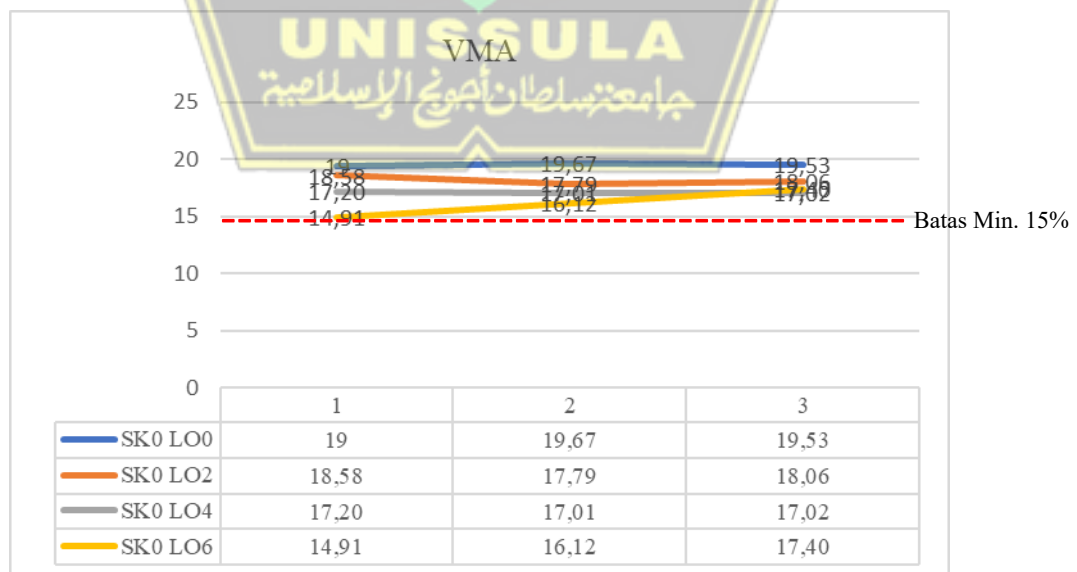
4.8.2. Hasil Pengujian *Marshall Test* Variasi (*Wood Powder* 0% dan *Waste Oil* 0%, 2%, 4%, 6%)

Metode pelaksanaan pengujian *marshall test* untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan *Wood Powder* 0% dan *Waste Oil* 0%, 2%, 4%, dan 6% dilihat pada **Tabel 4.16**.

Tabel 4. 16 Hasil *Marshall Test* Variasi (SK 0% dan LO 0%, 2%, 4%, dan 6%)

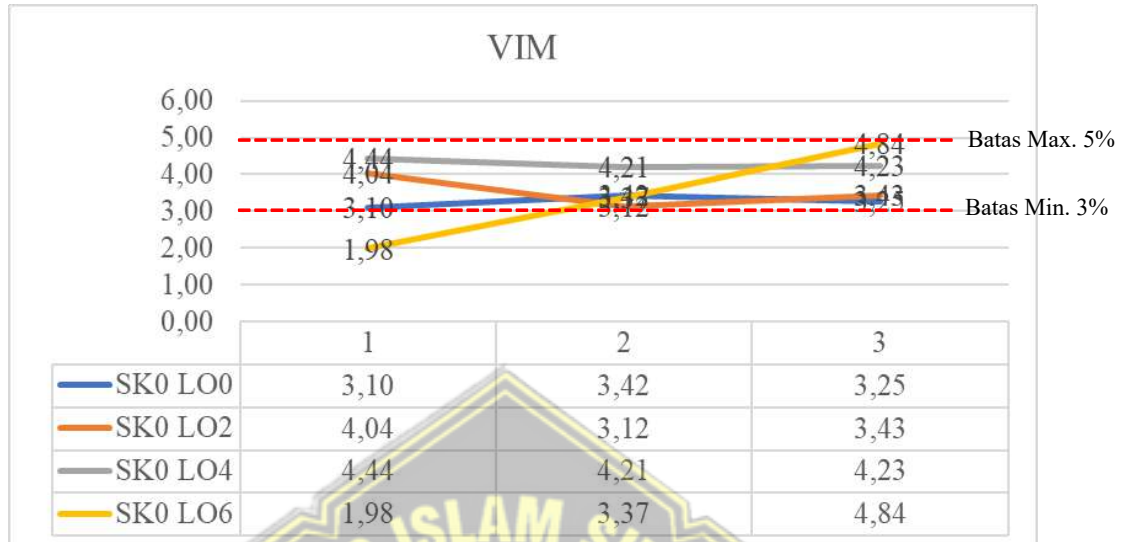
Variasi	Benda Uji	Serbuk Kayu	Limbah Oli	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
		%	%	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
SK0 LO0	1	0	0	3,10	19	84,01	103	4,00	254,18
	2	0	0	3,42	19,67	82,63	263	5,40	480,75
	3	0	0	3,25	19,53	83,36	300	5,50	538,42
SK0 LO2	1	0	2	4,04	18,58	78,25	320	5,00	631,74
	2	0	2	3,12	17,79	82,48	285	5,00	562,65
	3	0	2	3,43	18,06	81,00	265	5,00	523,16
SK0 LO4	1	0	4	4,44	17,20	74,20	305	5,00	602,13
	2	0	4	4,21	17,01	75,22	283	5,50	507,91
	3	0	4	4,23	17,02	75,15	264	4,50	579,10
SK0 LO6	1	0	6	1,98	14,91	86,75	170	7,00	239,72
	2	0	6	3,37	16,12	79,10	244	5,00	481,70
	3	0	6	4,84	17,40	72,17	254	5,00	501,45
Batasan	Min	-	-	3%	15%	65%	800 Kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-

Sumber : Data Penelitian 2025



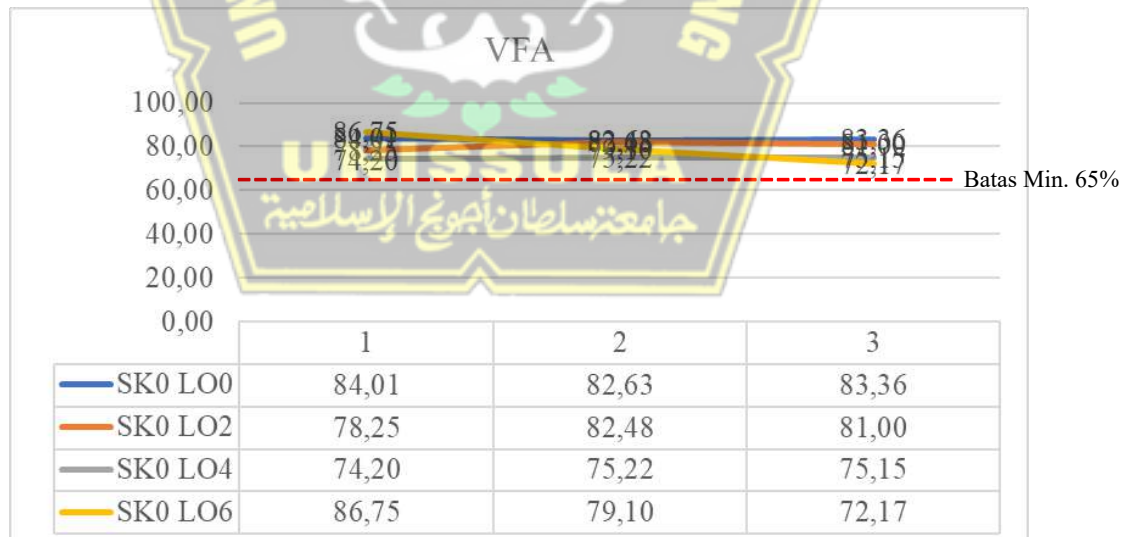
Gambar 4. 5 Grafik Nilai VMA variasi *wood powder* 0% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%.

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.5.** pada variasi *wood powder* 0% dan *Waste Oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



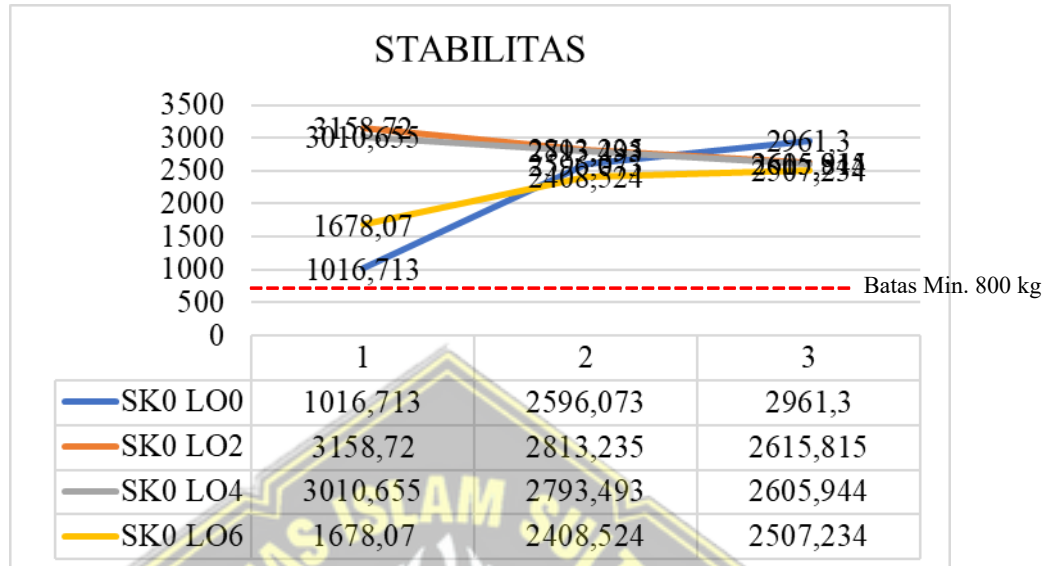
Gambar 4. 6 Gambar Grafik Nilai VIM variasi *wood powder* 0% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%.

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.6.** pada variasi *wood powder* 0% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VIM) yaitu minimal 3% dan maksimal 5%.



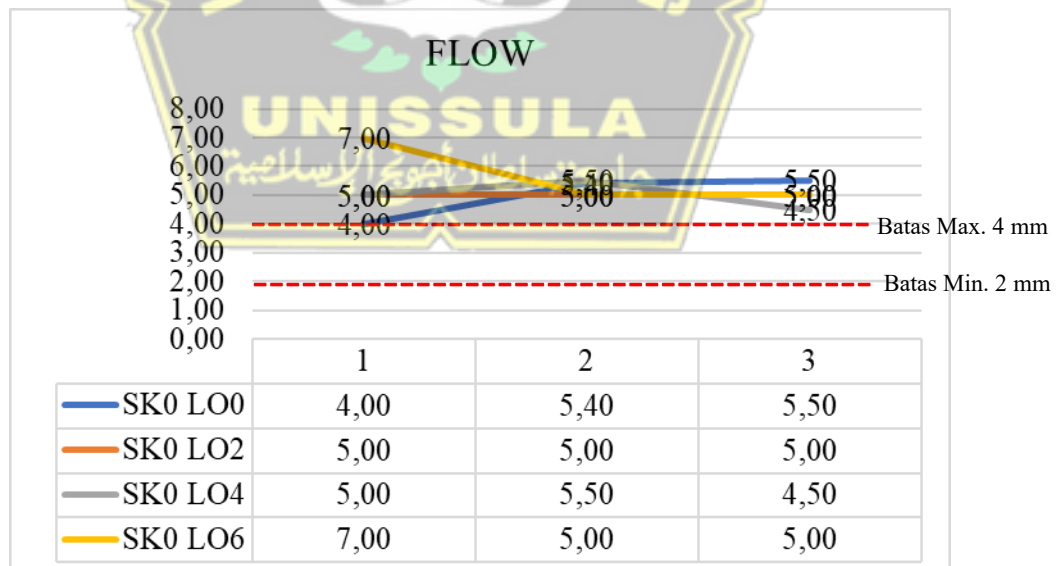
Gambar 4. 7 Gambar Grafik VFA variasi *wood powder* 0% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%.

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.7.** pada variasi *wood powder* 0% dan *Waste Oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VFA) yaitu minimal 65%.



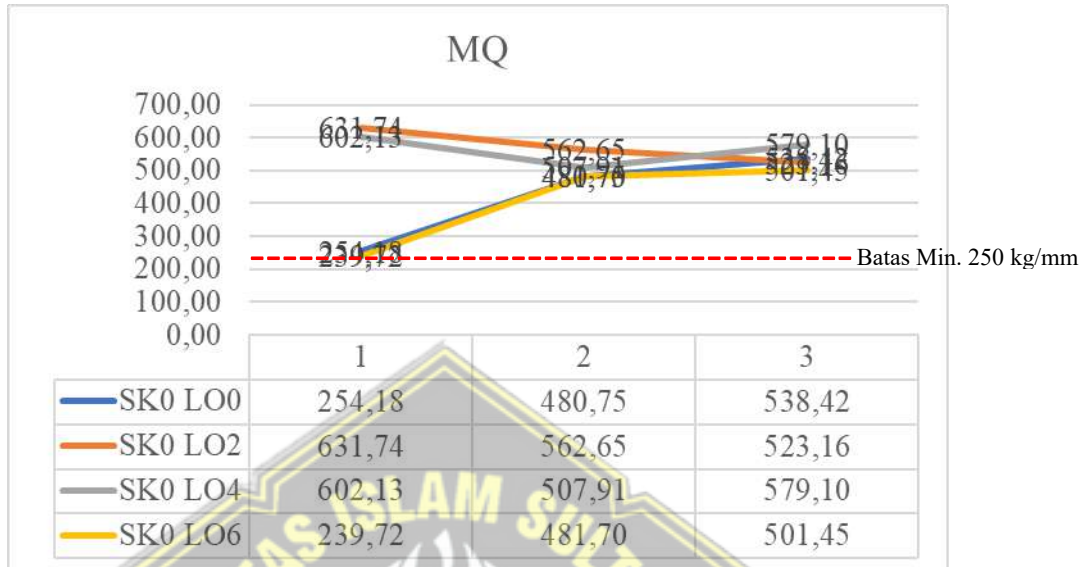
Gambar 4. 8 Grafik Nilai Stabilitas variasi *wood powder* 0% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%.

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.8.** pada variasi *wood powder* 0% dan *Waste Oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg.



Gambar 4. 9 Grafik Nilai Flow variasi *wood powder* 0% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%.

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.9.** pada variasi *wood powder* 0% dan *Waste Oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai kelelahan yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



Gambar 4. 10 Grafik Nilai MQ variasi *wood powder* 0% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%.

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.10.** pada variasi *wood powder* 0% dan *Waste Oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai *marshall*.

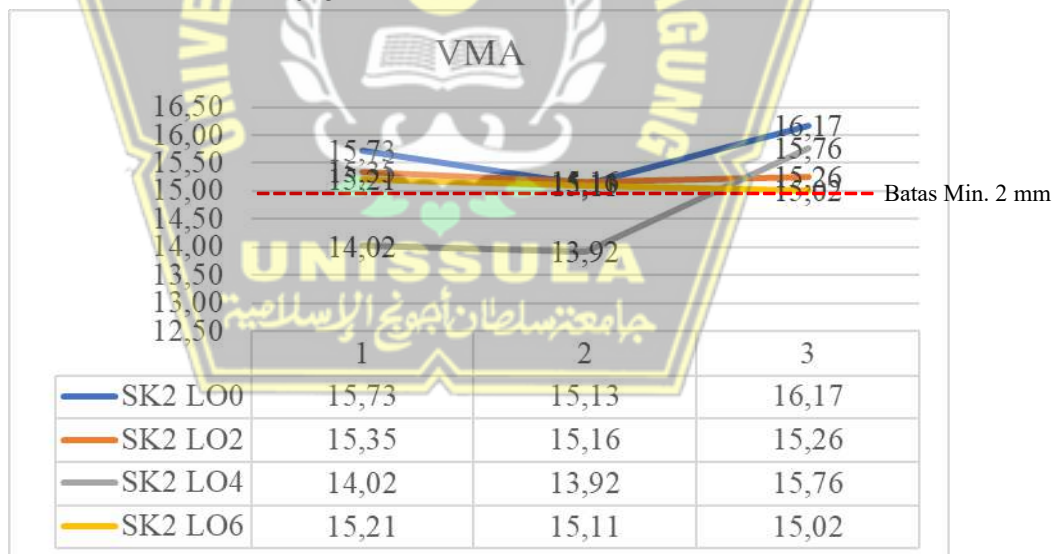
4.8.3. Hasil Pengujian *Marshall Test Variasi (Wood Powder 0% dan Waste Oil 0%, 2%, 4%, 6%)*

Hasil variasi dengan *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6% bisa dilihat pada **Tabel 4.17.** Berikut :

Tabel 4. 17 Hasil *Marshall Test Variasi (wood powder 2% dan waste oil 0%, 2%, 4%, 6%).*

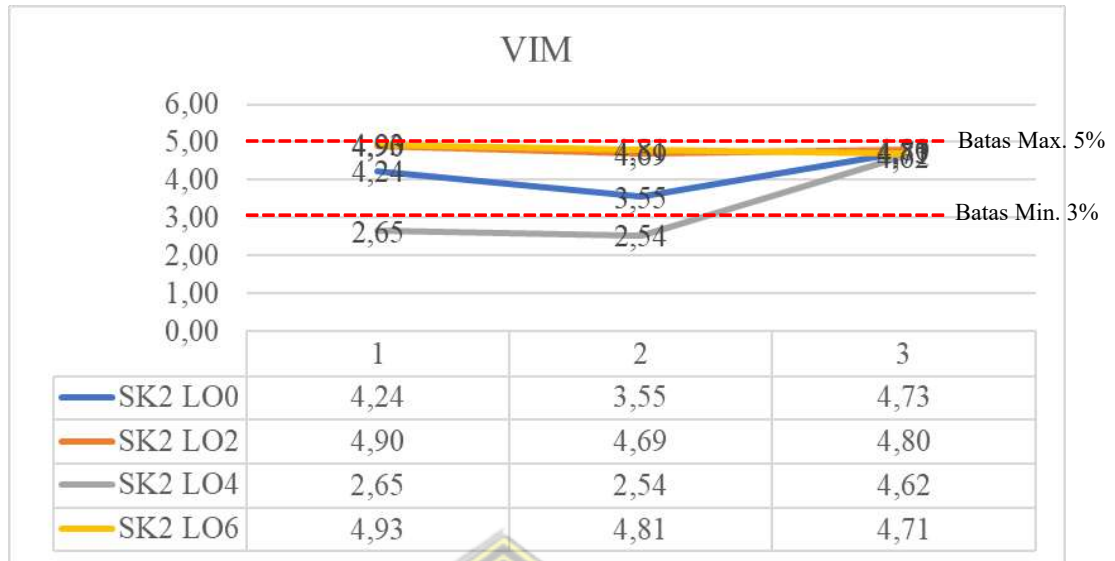
Variasi	Benda Uji	Serbuk Kayu	Limbah Oli	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
		%	%	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
SK2 LO0	1	2	0	4,24	15,73	73,08	125	4,50	274,19
	2	2	0	3,55	15,13	76,52	228	4,00	562,65
	3	2	0	4,73	16,17	70,74	135	5,50	242,29
SK2 LO2	1	2	2	4,90	15,35	68,07	223	3,00	733,74
	2	2	2	4,69	15,16	69,09	168	5,50	301,51
	3	2	2	4,80	15,26	68,56	309	4,00	762,53
SK2 LO4	1	4	4	2,65	14,02	81,08	164	4,50	359,74
	2	4	4	2,54	13,92	81,78	163	4,00	402,24
	3	4	4	4,62	15,76	70,69	145	4,00	357,82
SK2 LO6	1	2	6	4,93	15,21	67,57	156	4,50	342,19
	2	2	6	4,81	15,11	68,15	201	4,00	496,02
	3	2	6	4,71	15,02	68,63	180	6,00	296,13
Batasan	Min	-	-	3%	15%	65%	800 Kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-

Sumber : Data Penelitian 2025



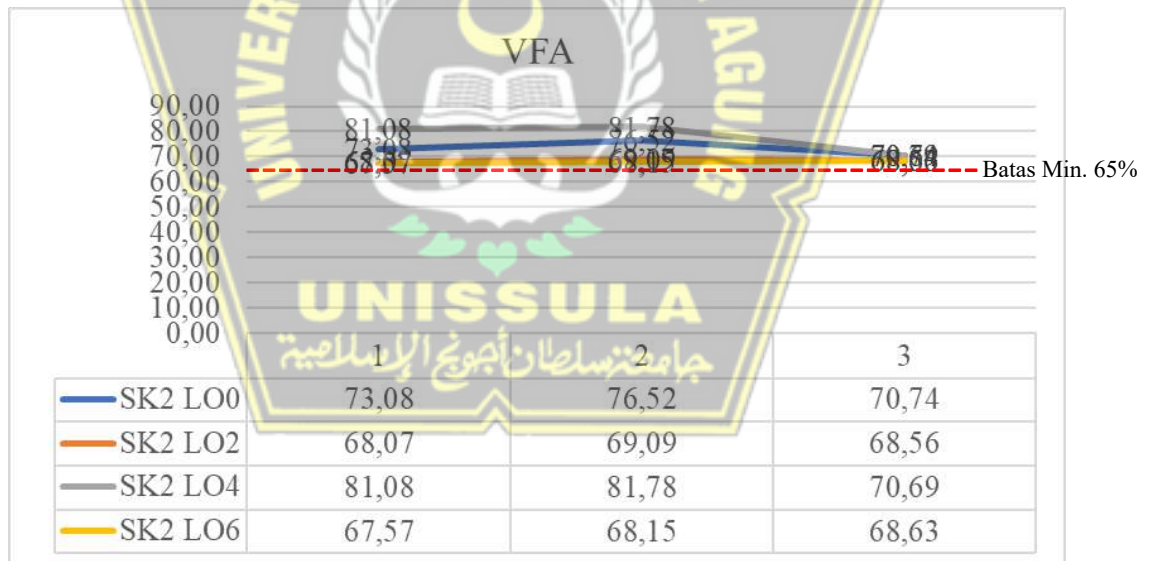
Gambar 4. 11 Grafik Nilai VMA variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.11.** pada variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6% Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



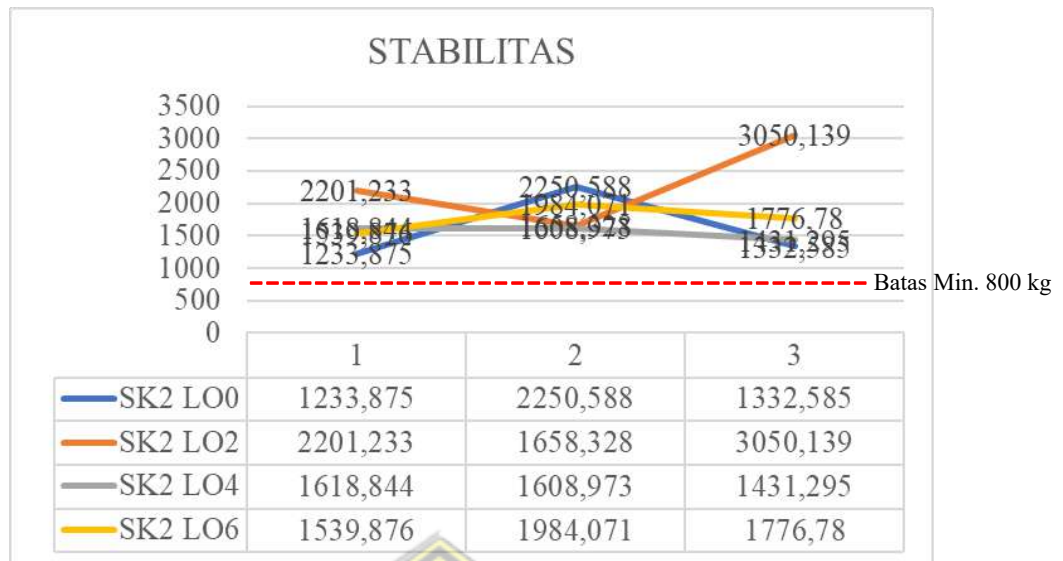
Gambar 4. 12 Grafik Nilai VIM variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.12.** pada variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VIM) yaitu minimal 3% dan maksimal 5%.



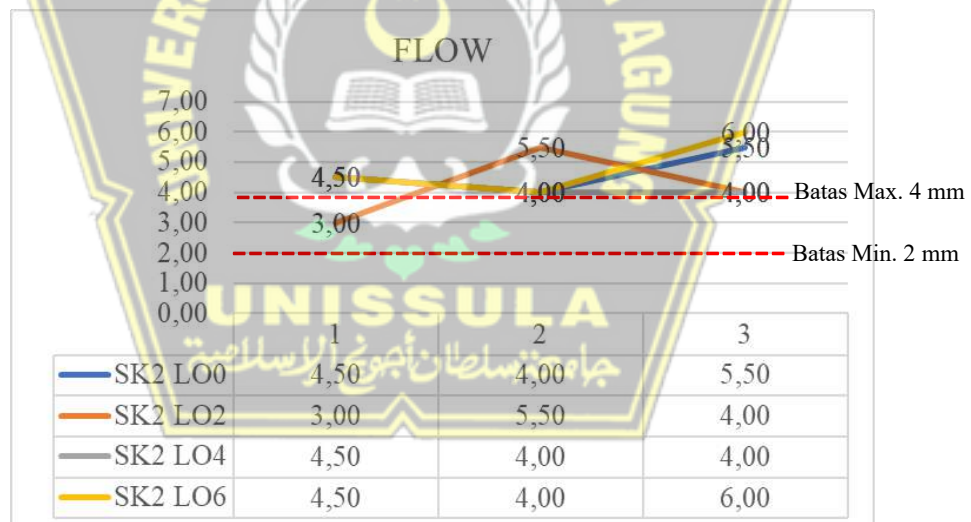
Gambar 4. 13 Grafik Nilai VFA variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.13.** pada variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VFA) yaitu minimal 65%.



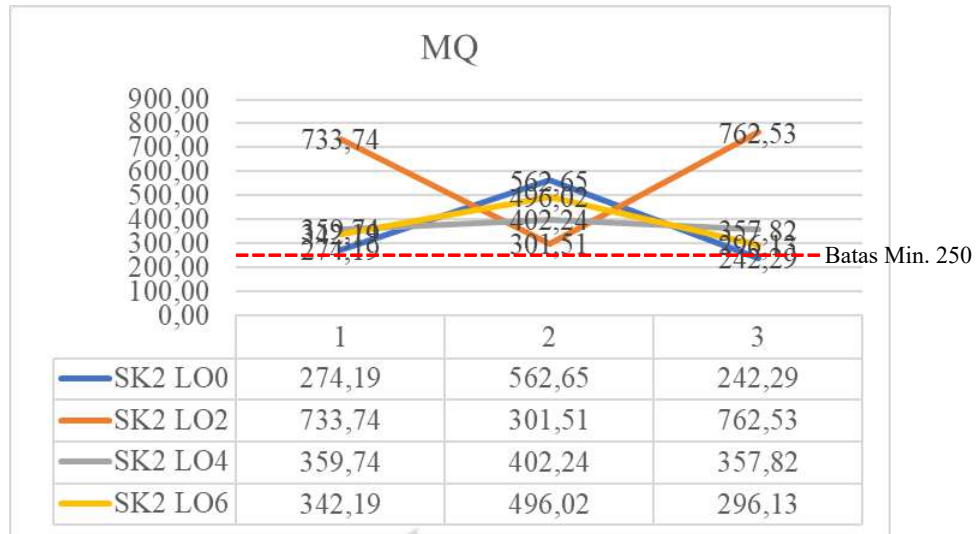
Gambar 4. 14 Grafik Nilai Stabilitas variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.14.** pada variasi variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg.



Gambar 4. 15 Grafik Nilai Flow variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.15.** pada variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai kelelahan yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



Gambar 4. 16 Grafik Nilai MQ variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%.

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.14.** pada variasi *wood powder* 2% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai *marshall test*.

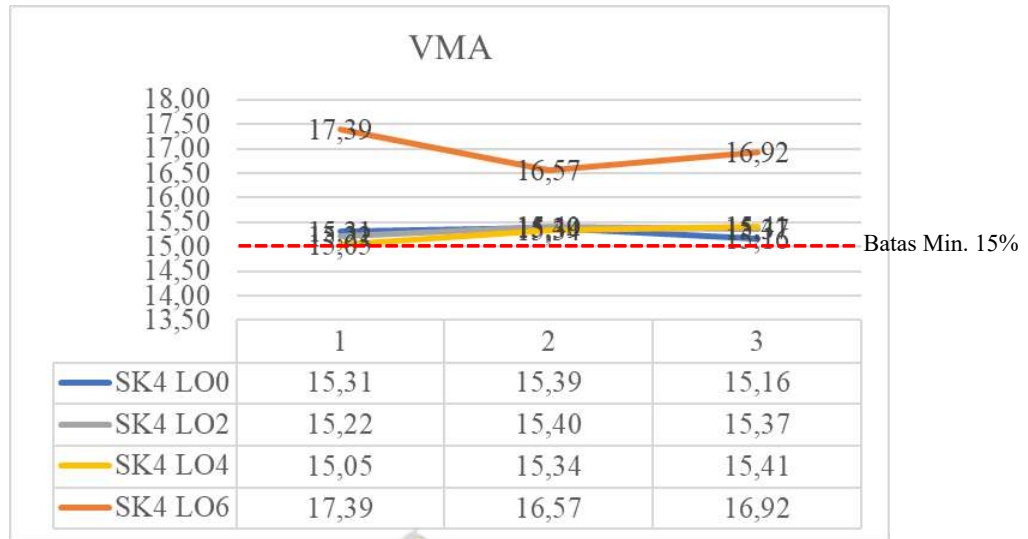
4.8.4. Hasil Pengujian *Marshall Test* Variasi (*Wood Powder* 4% dan *Waste Oil* 0%, 2%, 4%, dan 6%)

Hasil variasi dengan *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6% bisa dilihat pada **Tabel 4.18.** Berikut :

Tabel 4. 18 Hasil *Marshall Test* Variasi (*wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%)

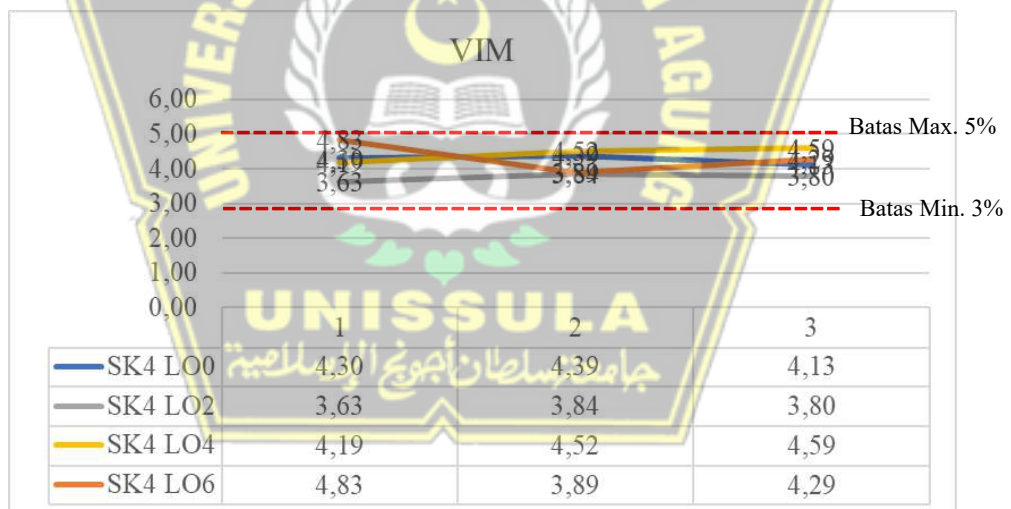
Variasi	Benda Uji	Serbuk Kayu	Limbah Oli	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
		%	%	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
SK4 LO0	1	4	0	4,30	15,31	71,93	140	5,00	276,39
	2	4	0	4,39	15,39	71,50	184	4,00	454,07
	3	4	0	4,13	15,16	72,77	160	5,00	315,87
SK4 LO2	1	4	2	3,63	15,22	76,14	118	5,00	232,96
	2	4	2	3,84	15,40	75,05	163	3,50	459,71
	3	4	2	3,80	15,37	75,27	145	5,00	286,26
SK4 LO4	1	4	4	4,19	15,05	72,17	211	5,00	416,56
	2	4	4	4,52	15,34	70,53	180	4,00	444,20
	3	4	4	4,59	15,41	70,19	211	4,50	462,84
SK4 LO6	1	4	6	4,83	17,39	72,20	135	4,50	296,13
	2	4	6	3,89	16,57	76,52	170	5,00	335,61
	3	4	6	4,29	16,92	74,62	160	4,50	350,97
Batasan	Min	-	-	3%	15%	65%	800 Kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-

Sumber : Data Penelitian 2025



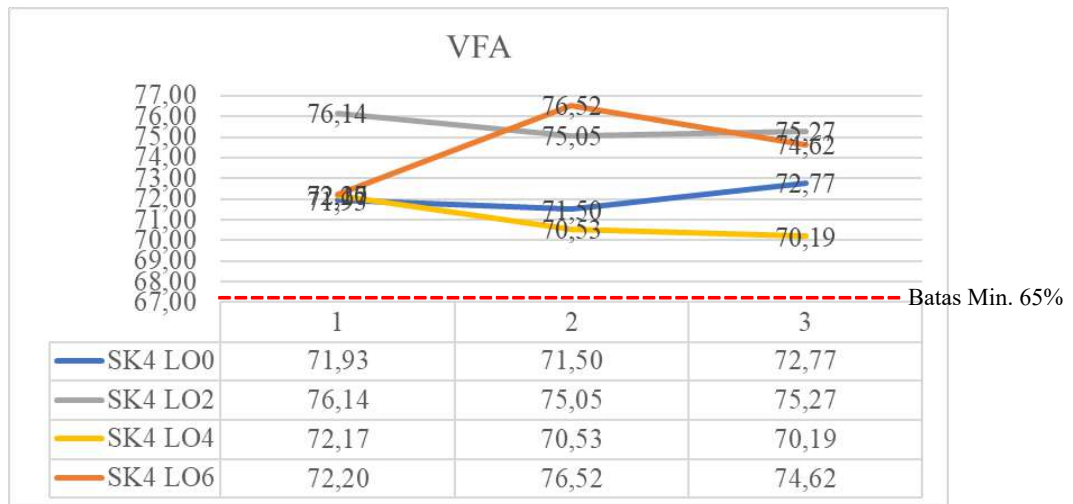
Gambar 4. 17 Grafik Nilai VMA variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.17.** pada variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



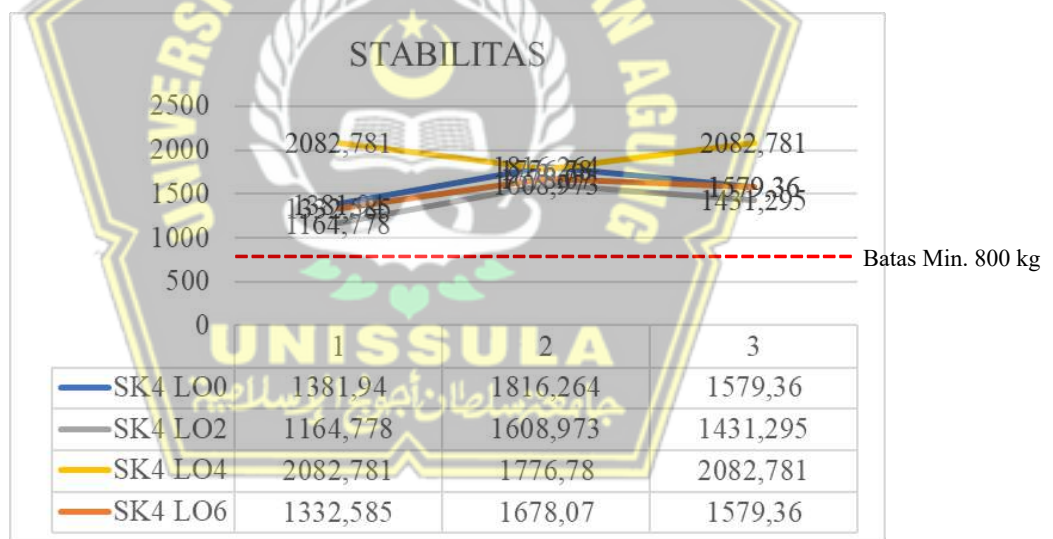
Gambar 4. 18 Grafik Nilai VIM variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.18.** pada variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VIM) yaitu minimal 3% dan maksimal 5%.



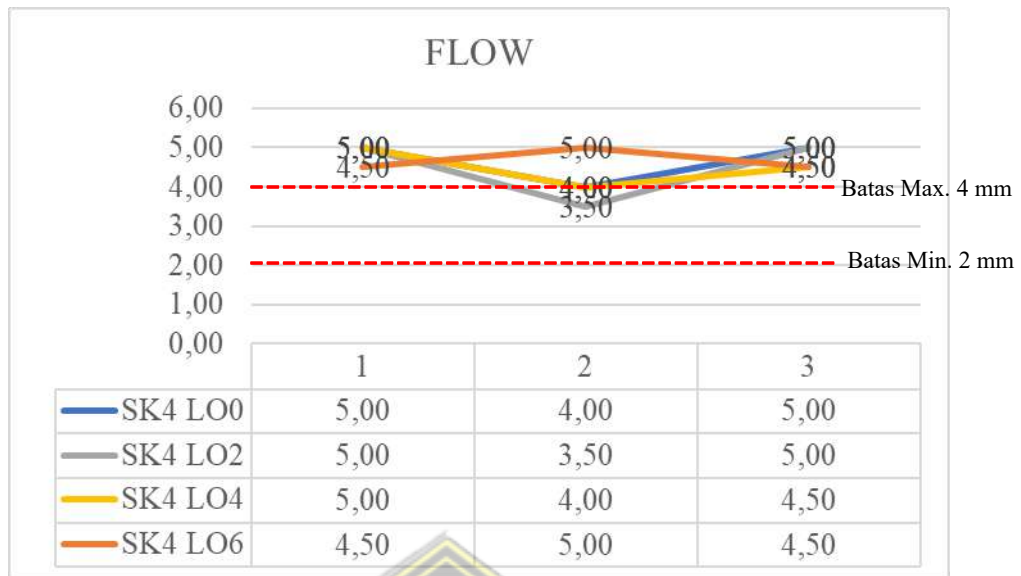
Gambar 4. 19 Grafik Nilai VFA variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.19.** pada variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VFA) yaitu minimal 65%.



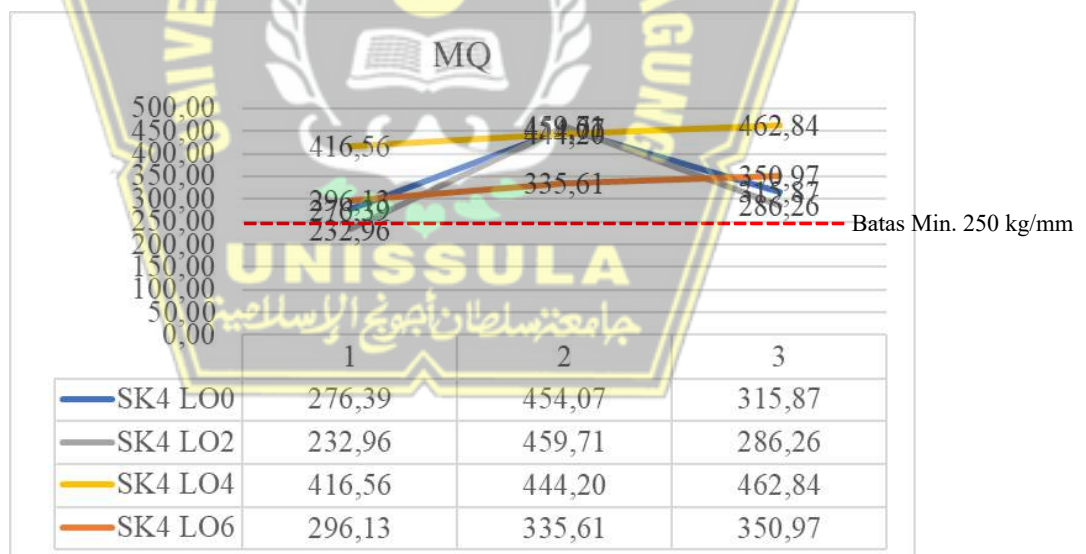
Gambar 4. 20 Grafik Nilai Stabilitas variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.20.** pada variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg.



Gambar 4. 21 Grafik Nilai Flow variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.21.** pada variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai kelelehan yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



Gambar 4. 22 Grafik Nilai MQ variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.22.** pada variasi *wood powder* 4% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai *marshall test*.

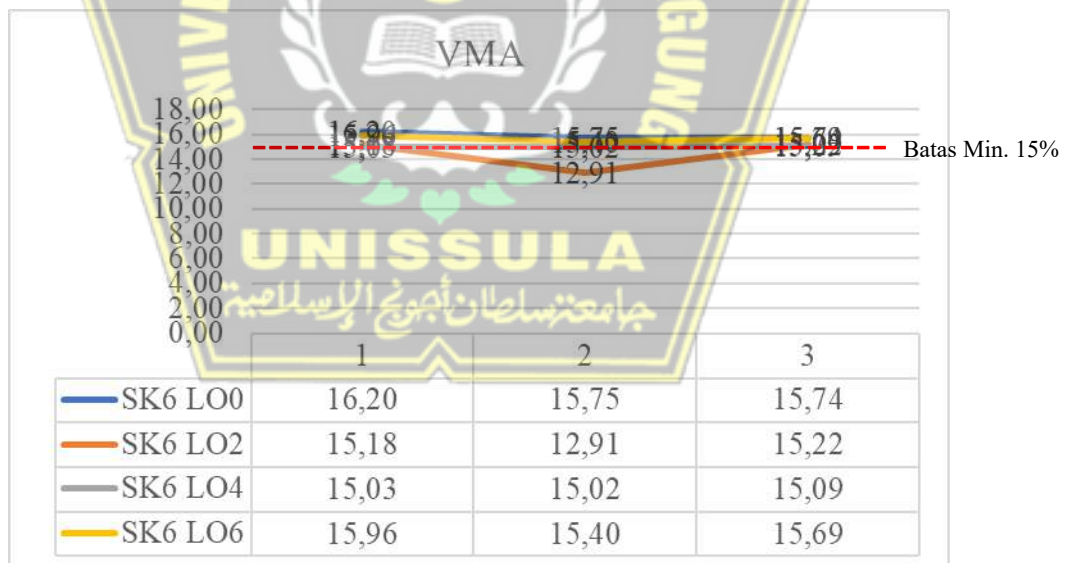
4.8.5. Hasil Pengujian *Marshall Test* Variasi (*Wood Powder* 6% dan *Waste Oil* 0%, 2%, 4%, dan 6%)

Hasil variasi dengan *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6% bisa dilihat pada **Tabel 4.19**. Berikut :

Tabel 4. 19 Hasil *Marshall Test* variasi (*wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%)

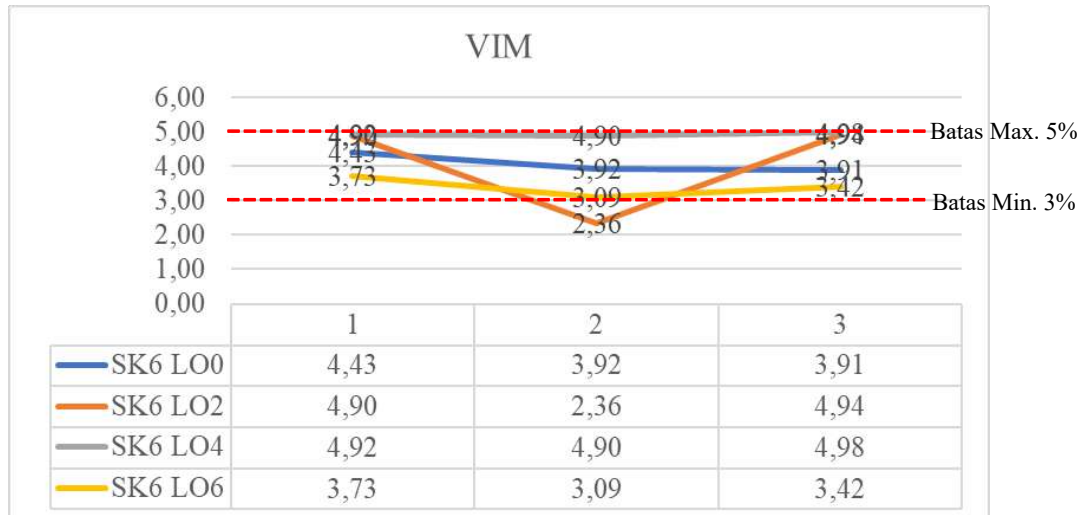
Variasi	Benda Uji	Serbuk Kayu	Limbah Oli	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
		%	%	VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
SK6 LO0	1	4	6	4,43	16,20	72,68	253	4,00	624,34
	2	4	6	3,92	15,75	75,12	273	3,50	769,94
	3	4	6	3,91	15,74	75,18	248	4,00	612,00
SK6 LO2	1	6	2	4,90	15,18	67,73	146	4,50	320,26
	2	6	2	2,36	12,91	81,74	156	4,50	342,19
	3	6	2	4,94	15,22	67,52	120	4,50	263,23
SK6 LO4	1	6	4	4,92	15,03	67,28	225	4,50	493,55
	2	6	4	4,90	15,02	67,37	155	5,00	306,00
	3	6	4	4,98	15,09	66,98	165	4,50	361,94
SK6 LO6	1	6	6	3,73	15,96	76,61	148	4,00	365,23
	2	6	6	3,09	15,40	79,91	100	5,00	197,42
	3	6	6	3,42	15,69	78,20	155	4,50	340,00
Batasan	Min	-	-	3%	15%	65%	800 Kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-

Sumber : Data Penelitian 2025



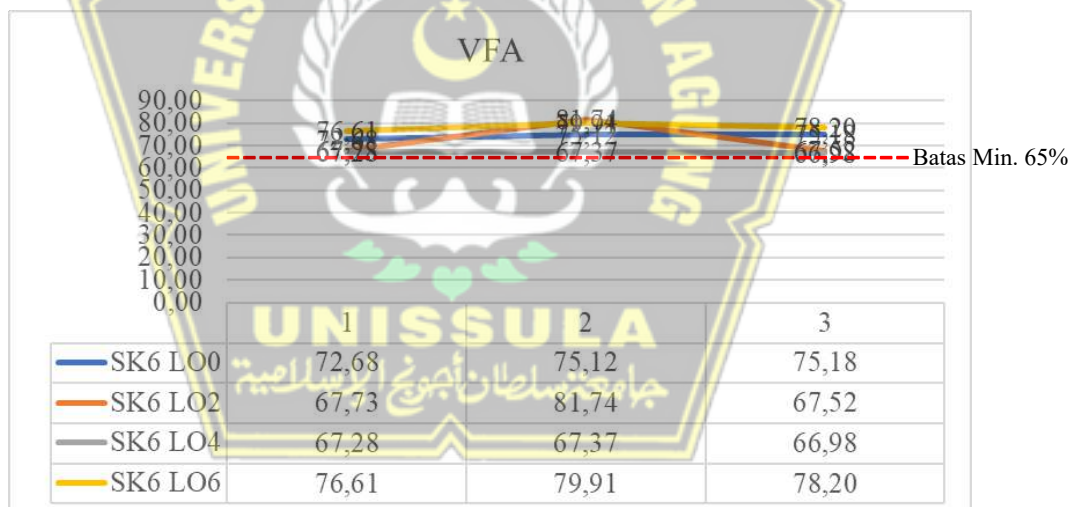
Gambar 4. 23 Grafik Nilai VMA variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.23**. pada variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



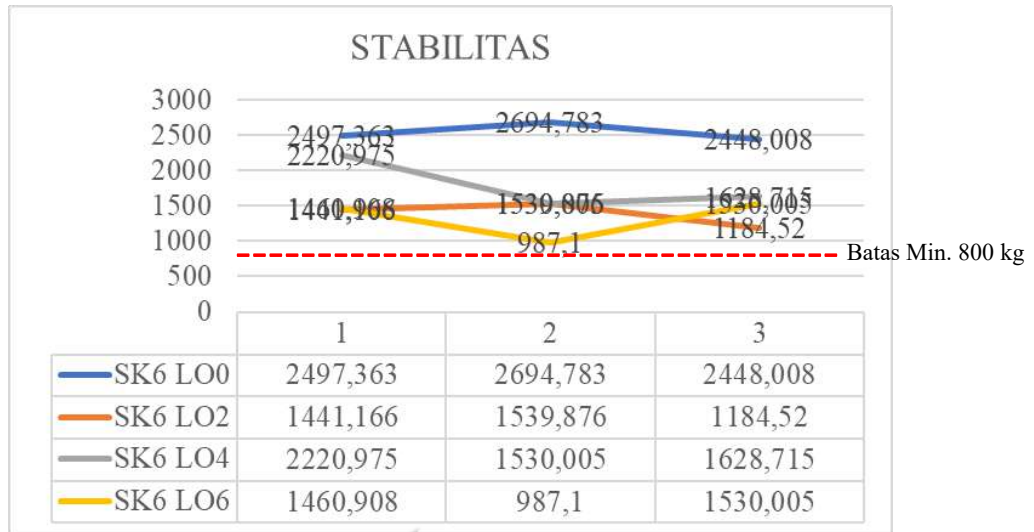
Gambar 4. 24 Grafik Nilai VIM variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.24.** pada variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VIM) yaitu minimal 3% dan maksimal 5%.



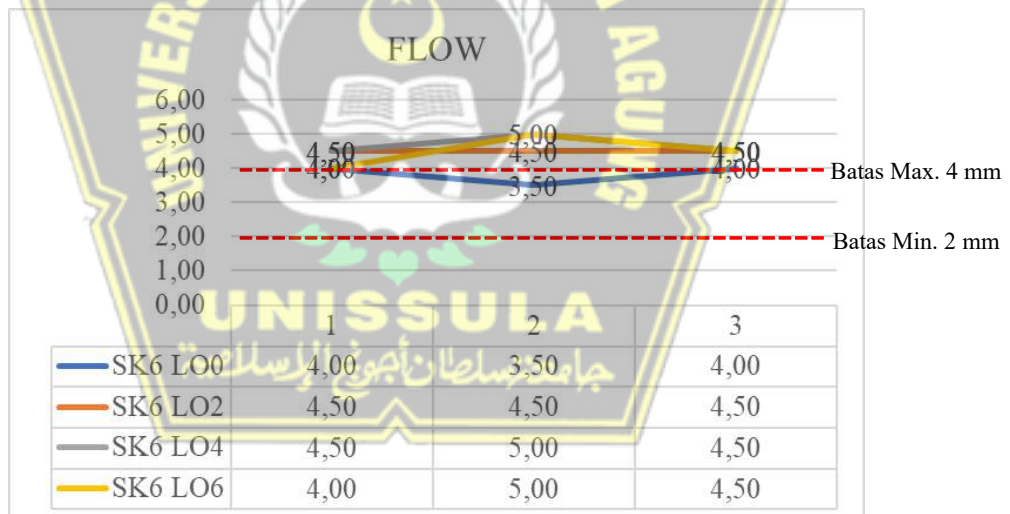
Gambar 4. 25 Grafik Nilai VFA variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.25.** pada variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VFA) yaitu minimal 65%.



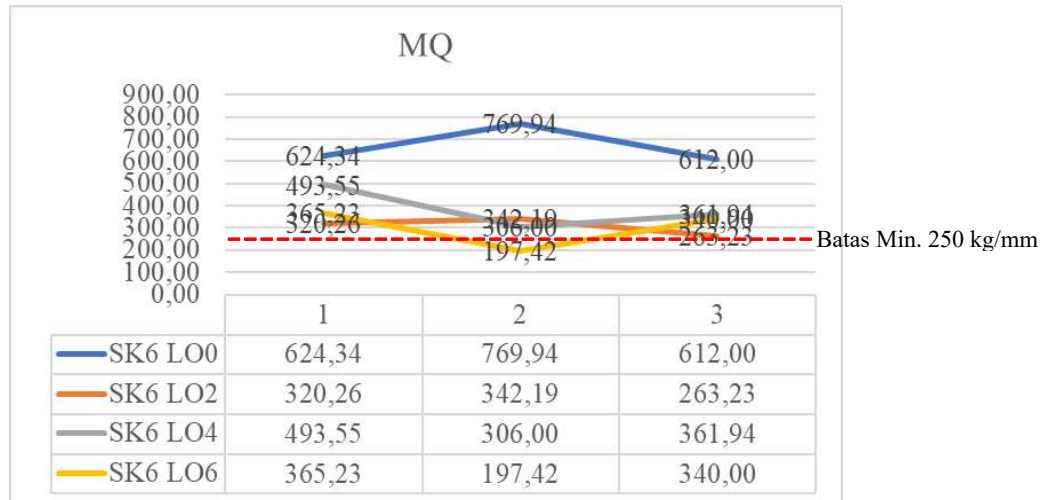
Gambar 4. 26 Grafik Nilai Stabilitas variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.26.** pada variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6% Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai stabilitas yaitu minimal 800 kg.



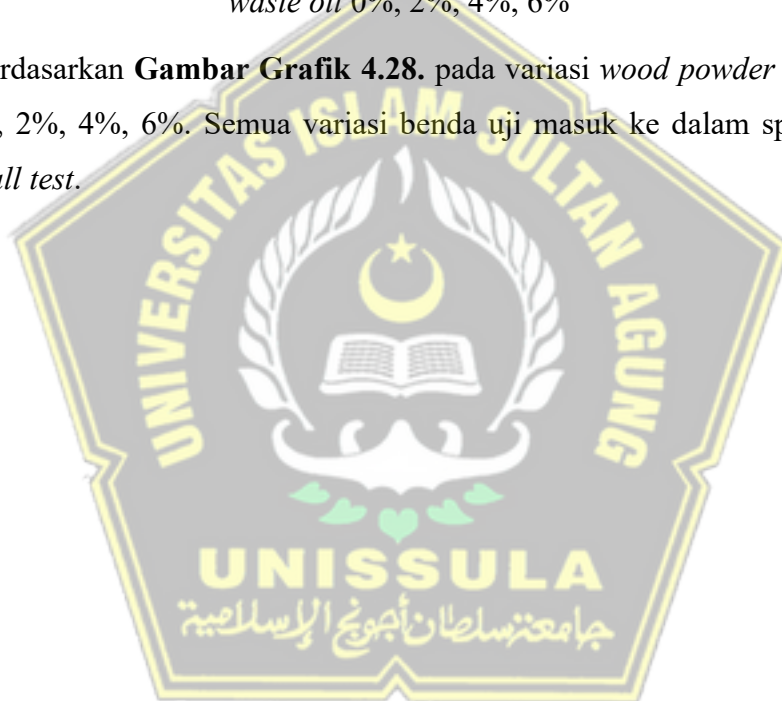
Gambar 4. 27 Grafik Nilai Flow variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.27.** pada variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai kelelehan yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm.



Gambar 4. 28 Grafik Nilai MQ variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.28.** pada variasi *wood powder* 6% dan *waste oil* 0%, 2%, 4%, 6%. Semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai *marshall test*.



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

Demikian hasil pengujian *marshall test* untuk semua komposisi aspal modifikasi pada semua variasi *wood powder* dan *waste oil* bisa dilihat pada **Tabel 4.20**, berikut :

Tabel 4. 20 Ulasan Uji *Marshall Test* semua variasi bahan tambah

Variasi	Benda Uji	Serbuk Kayu %	Limbah Oli %	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
				VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
SK0 LO0	1	0	0	3,10	19	84,01	103	4,00	254,18
	2	0	0	3,42	19,67	82,63	263	5,40	480,75
	3	0	0	3,25	19,53	83,36	300	5,50	538,42
SK0 LO2	1	0	2	4,04	18,58	78,25	320	5,00	631,74
	2	0	2	3,12	17,79	82,48	285	5,00	562,65
	3	0	2	3,43	18,06	81,00	265	5,00	523,16
SK0 LO4	1	0	4	4,44	17,20	74,20	305	5,00	602,13
	2	0	4	4,21	17,01	75,22	283	5,50	507,91
	3	0	4	4,23	17,02	75,15	264	4,50	579,10
SK0 LO6	1	0	6	1,98	14,91	86,75	170	7,00	239,72
	2	0	6	3,37	16,12	79,10	244	5,00	481,70
	3	0	6	4,84	17,40	72,17	254	5,00	501,45
SK2 LO0	1	2	0	4,24	15,73	73,08	125	4,50	274,19
	2	2	0	3,55	15,13	76,52	228	4,00	562,65
	3	2	0	4,73	16,17	70,74	135	5,50	242,29
SK2 LO2	1	2	2	4,90	15,35	68,07	223	3,00	733,74
	2	2	2	4,69	15,16	69,09	168	5,50	301,51
	3	2	2	4,80	15,26	68,56	309	4,00	762,53
SK2 LO4	1	2	4	2,65	14,02	81,08	164	4,50	359,74
	2	2	4	2,54	13,92	81,78	163	4,00	402,24
	3	2	4	4,62	15,76	70,69	145	4,00	357,82
SK2 LO6	1	2	6	4,93	15,21	67,57	156	4,50	342,19
	2	2	6	4,81	15,11	68,15	201	4,00	496,02
	3	2	6	4,71	15,02	68,63	180	6,00	296,13
SK4 LO0	1	2	0	4,30	15,31	71,93	140	5,00	276,39
	2	2	0	4,39	15,39	71,50	184	4,00	454,07
	3	2	0	4,13	15,16	72,77	160	5,00	315,87
SK4 LO2	1	4	2	3,63	15,22	76,14	118	5,00	232,96
	2	4	2	3,84	15,40	75,05	163	3,50	459,71
	3	4	2	3,80	15,37	75,27	145	5,00	286,26
SK4 LO4	1	4	2	4,19	15,05	72,17	211,00	5,00	416,56
	2	4	2	4,52	15,34	70,53	180,00	4,00	444,20
	3	4	2	4,59	15,41	70,19	211,00	4,50	462,84
SK4 LO4	1	4	4	4,19	15,05	72,17	211	5,00	416,56
	2	4	4	4,52	15,34	70,53	180	4,00	444,20
	3	4	4	4,59	15,41	70,19	211	4,50	462,84
SK4 LO6	1	4	6	4,83	17,39	72,20	135	4,50	296,13
	2	4	6	3,89	16,57	76,52	170	5,00	335,61
	3	4	6	4,29	16,92	74,62	160	4,50	350,97
SK6 LO2	1	6	2	4,90	15,18	67,73	146	4,50	320,26
	2	6	2	2,36	12,91	81,74	156	4,50	342,19
	3	6	2	4,94	15,22	67,52	120	4,50	263,23
SK6 LO4	1	6	4	4,92	15,03	67,28	225	4,50	493,55
	2	6	4	4,90	15,02	67,37	155	5,00	306,00
	3	6	4	4,98	15,09	66,98	165	4,50	361,94
SK6 LO6	1	6	6	3,73	15,96	76,61	148	4,00	365,23
	2	6	6	3,09	15,40	79,91	100	5,00	197,42
	3	6	6	3,42	15,69	78,20	155	4,50	340,00

Sumber : Data Penelitian 2025

4.10. Hasil Kesimpulan yang didapatkan

Hasil pengujian stabilitas aspal menggunakan *Marshall Test* untuk nilai stabilitas paling optimal diperoleh dari komposisi serbuk kayu (*wood powder*) 0% dan Limbah Oli (*waste oil*) 2% dengan hasil 3158 kg, pada komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal stabilitas yaitu 800 kg. Komposisi tersebut kami pilih dikarenakan sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal stabilitas yaitu 800 kg dan kami pilih hasil yang paling tinggi nilai stabilitasnya dengan nilai 3158 kg .

Hasil Job Mix Desain terbaik menggunakan penambahan wood powder dan waste oil untuk perkerasan jalan diperoleh dari komposisi serbuk kayu (*wood powder*) 6% dan limbah oli (*waste oil*) 0%. Pada sampel 2, bahwasanya komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi) dengan nilai rongga udaran (VIM) 3,92%, nilai rongga agregat (VMA) 15,7%, nilai rongga terisi aspal (VFA) 75,12%, Stabilitas 2694 kg, Kelelehan (*Flow*) 3,5 mm, Marshall Quention (MQ) 769,94 kg/mm. Komposisi tersebut kami pilih dikarenakan sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal Marshall Quotient (MQ) yaitu 250 kg/mm dan kami ambil hasil yang paling tinggi nilai Marshall Quotient (MQ) nya, dengan nilai 769,94 kg/mm.

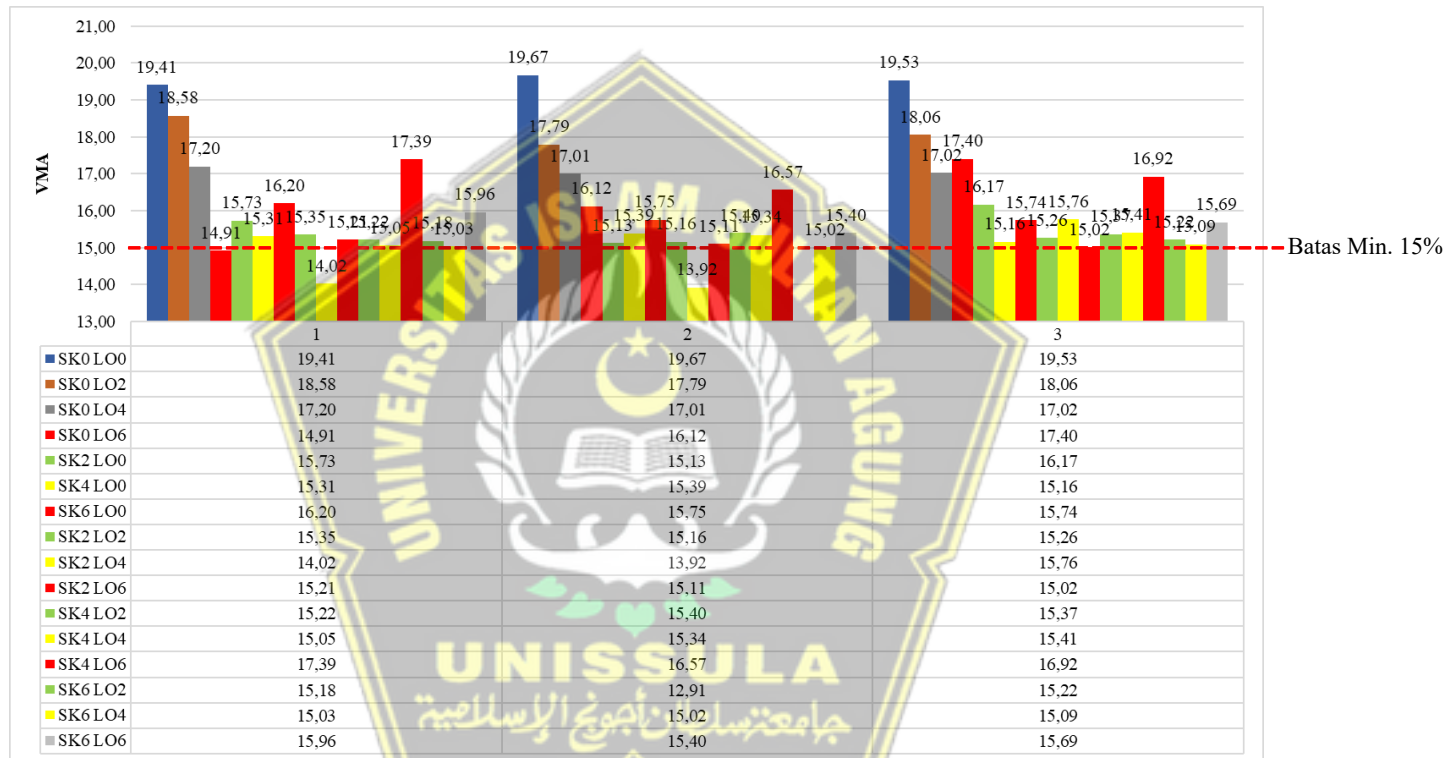
Tabel 6.3.3.1b) Ketentuan Sifat-sifat Campuran (AC-WC)

Sifat-sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Fondasi
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,5
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	15
Rongga terisi aspal (%)	Min.	68	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250	
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C ⁽⁵⁾	Min.	90	

Gambar 4. 29 Tabel Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) Ketentuan Campuran (AC-WC)

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2)

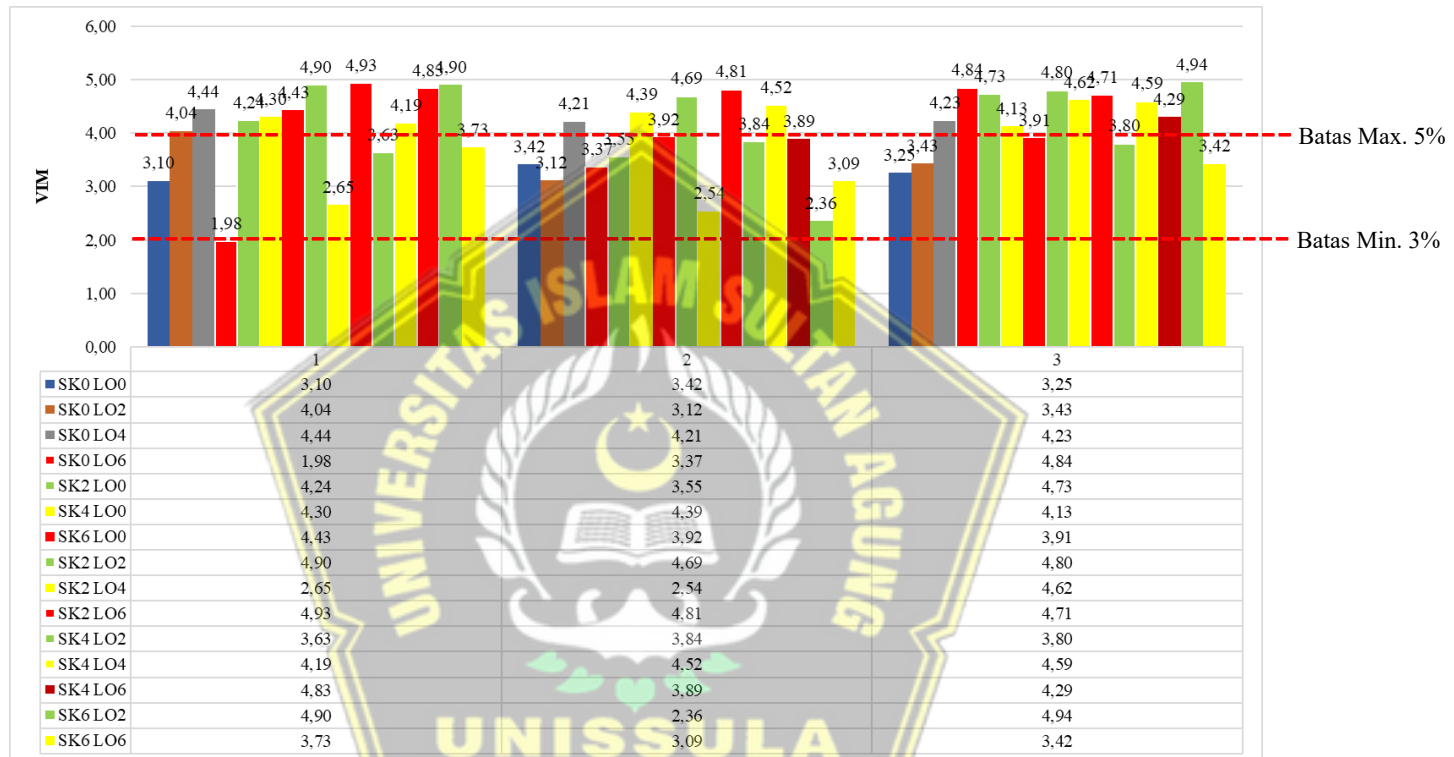
Grafik Pengujian Marshall Test Seluruh Variasi Bahan Tambah



Gambar 4. 30 Grafik Nilai VMA Semua Variasi Bahan Tambah

Sumber : Data Penelitian 2025

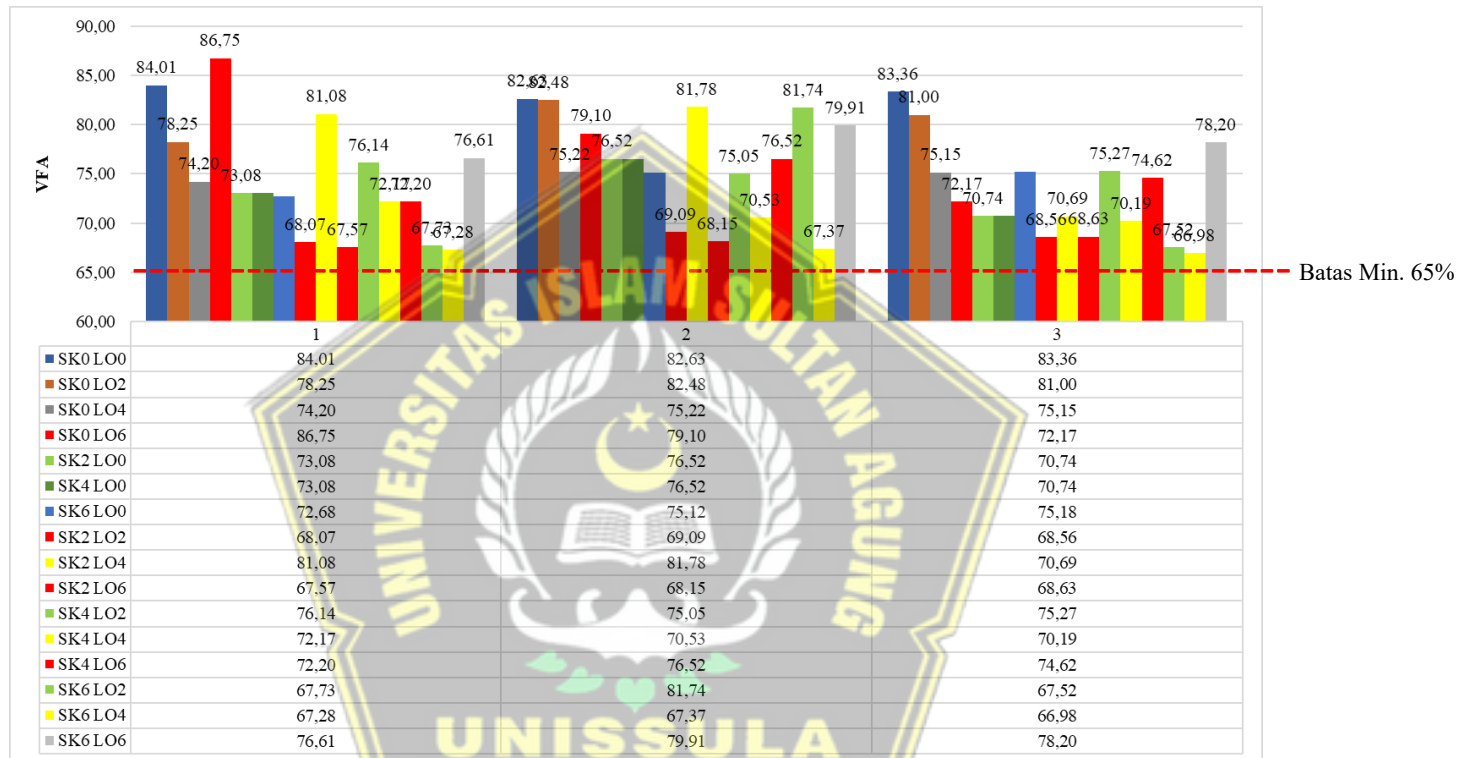
Berdasarkan **Gambar Grafik 4.29** diatas nilai VMA dari hasil pengujian *marshall test* semua rata-rata sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai VMA dengan nilai minimal 15%.



Gambar 4. 31 Nilai VIM Semua Variasi Bahan Tambah

Sumber : Data Penelitian 2025

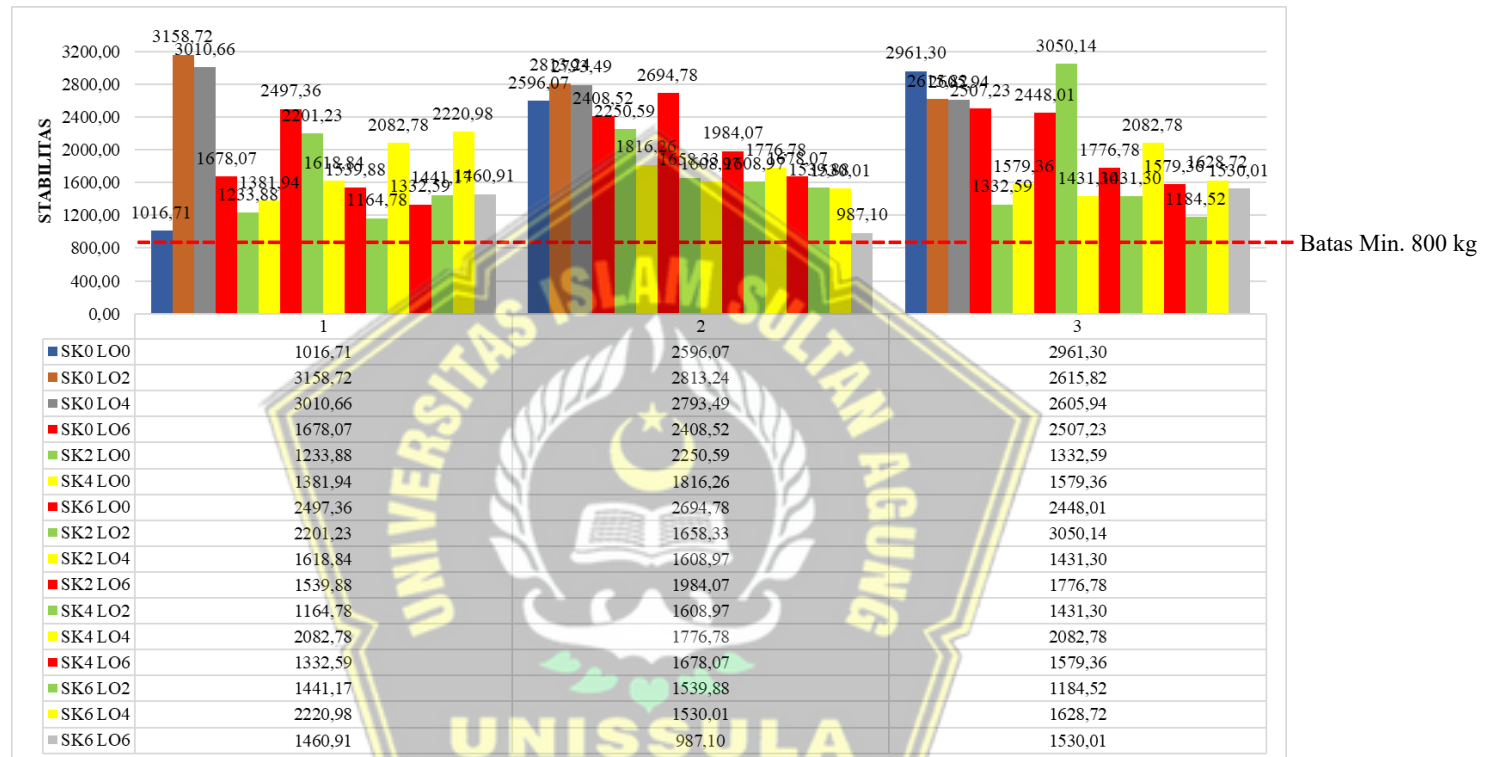
Berdasarkan **Gambar Grafik 4.28**, diatas nilai VIM dari hasil pengujian *Marshall Test* semua sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai VIM dengan nilai minimal 3% dan maksimum 5%.



Gambar 4. 32 Grafik Nilai VFA Semua Variasi Bahan Tambah

Sumber : Data Penelitian 2025

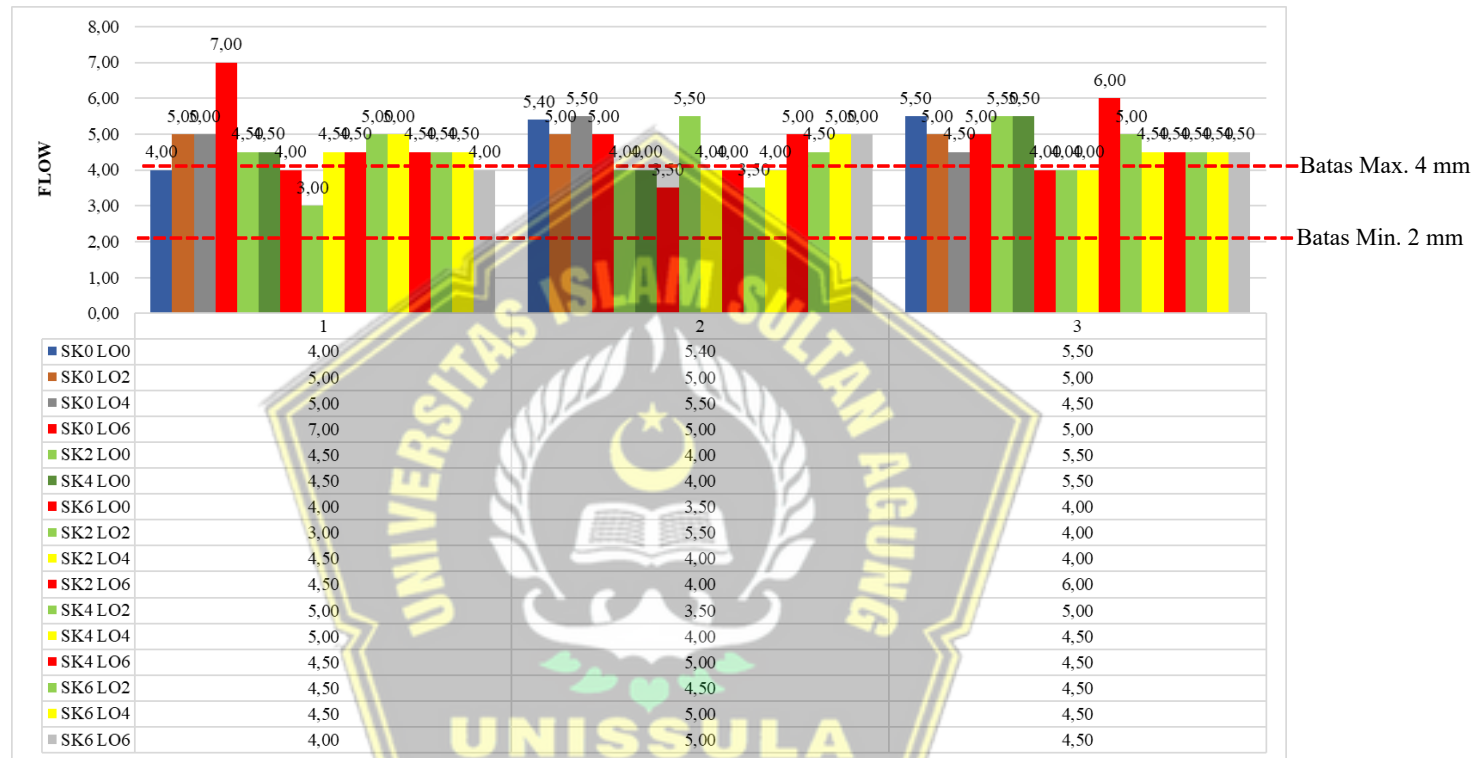
Berdasarkan **Gambar Grafik 4.31**, diatas nilai VFA dari hasil pengujian *Marshall Test* hampir semua sampel pengujian memenuhi spesifikasi nilai VFA dengan nilai minimal 65%.



Gambar 4. 33 Grafik Nilai Stabilitas Semua Variasi Bahan Tambah

Sumber : Data Penelitian 2025

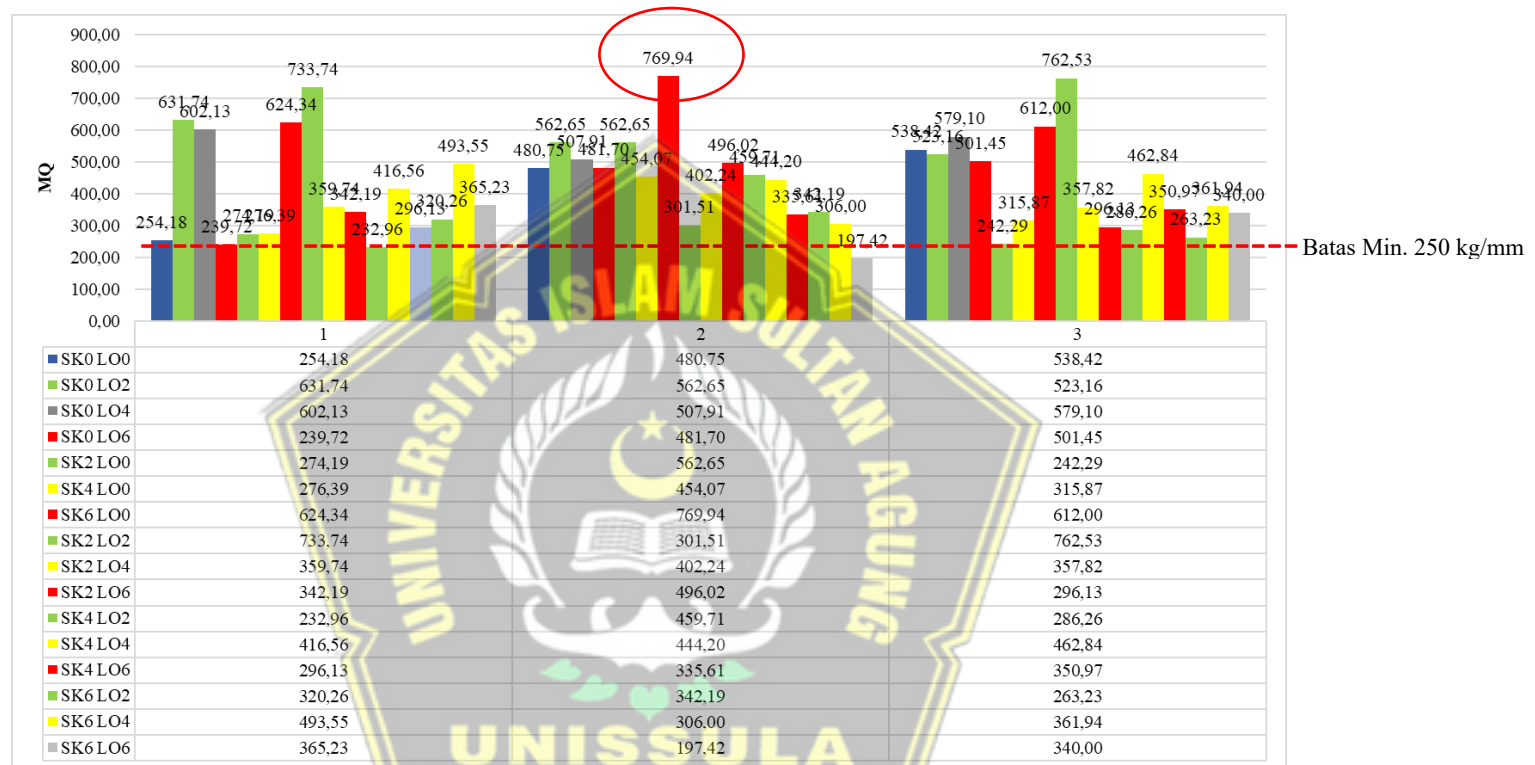
Berdasarkan **Gambar Grafik 4.32**, diatas nilai Stabilitas dari hasil pengujian *Marshall Test* rata-rata semua sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai stabilitas dengan minimal 800 kg.



Gambar 4. 34 Grafik nilai Flow Semua Variasi Bahan Tambah

Sumber : Data Penelitian 2025

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.33**, diatas nilai Flow dari hasil pengujian *Marshall Test* semua sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai Flow dengan nilai minimal 2 mm dan maksimum 4 mm.



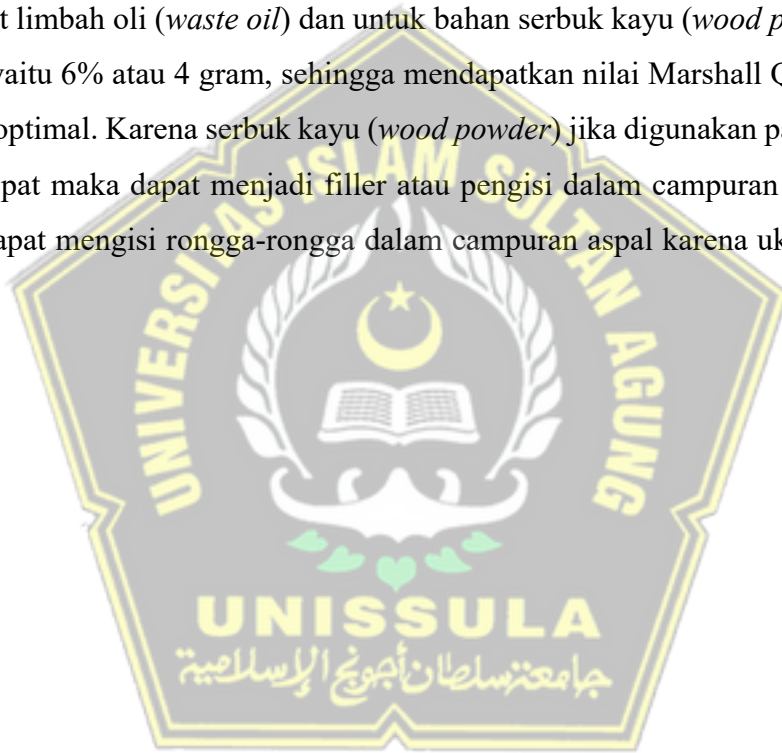
Gambar 4. 35 Grafik Nilai MQ Semua Variasi Bahan Tambah

Sumber : Data Penelitian 2025

Berdasarkan **Gambar Grafik 4.34**, diatas nilai MQ dari hasil pengujian *Marshall Test* semua sampel pengujian mampu memenuhi spesifikasi nilai MQ.

Dari **Gambar 4.35 Grafik Nilai MQ** didapatkan hasil Job Mix Desain dari berbagai varian komposisi yang telah dibuat. Dari hasil tersebut kami dapatkan nilai Marshall Quotient (MQ) paling optimal dengan nilai 769,94 kg/mm, yaitu pada komposisi serbuk kayu (*wood powder*) 6% dan limbah oli (*waste oil*) 0%, pada komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal Marshall Quotient (MQ) yaitu 250 kg/mm.

Berdasarkan penelitian yang kami lakukan mengapa komposisi tersebut mendapatkan nilai Marshall Quotient (MQ) paling optimal dikarenakan tidak terdapat limbah oli (*waste oil*) dan untuk bahan serbuk kayu (*wood powder*) paling tinggi yaitu 6% atau 4 gram, sehingga mendapatkan nilai Marshall Quotient (MQ) paling optimal. Karena serbuk kayu (*wood powder*) jika digunakan pada komposisi yang tepat maka dapat menjadi filler atau pengisi dalam campuran aspal. Serbuk kayu dapat mengisi rongga-rongga dalam campuran aspal karena ukurannya yang halus.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

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

1. Hasil pengujian stabilitas aspal menggunakan Marshall Test untuk nilai stabilitas paling optimal diperoleh dari komposisi serbuk kayu (*wood powder*) 0% dan Limbah Oli (*waste oil*) 2% dengan hasil 3158 kg, pada komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal stabilitas yaitu 800 kg. Komposisi tersebut kami pilih dikarenakan sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal stabilitas yaitu 800 kg dan kami pilih hasil yang paling tinggi nilai stabilitasnya dengan nilai 3158 kg .
2. Hasil Job Mix Desain terbaik menggunakan penambahan *wood powder* dan *waste oil* untuk perkerasan jalan diperoleh dari komposisi serbuk kayu (*wood powder*) 6% dan limbah oli (*waste oil*) 0%. Pada sampel 2, bahwasanya komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi) dengan nilai rongga udaran (VIM) 3,92%, nilai rongga agregat (VMA) 15,7%, nilai rongga terisi aspal (VFA) 75,12%, Stabilitas 2694 kg, Kelelehan (Flow) 3,5 mm, Marshall Quention (MQ) 769,94 kg/mm. Komposisi tersebut kami pilih dikarenakan sudah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal Marshall Quotient (MQ) yaitu 250 kg/mm dan kami ambil hasil yang paling tinggi nilai Marshall Quotient (MQ) nya, dengan nilai 769,94 kg/mm.

5.2. Saran

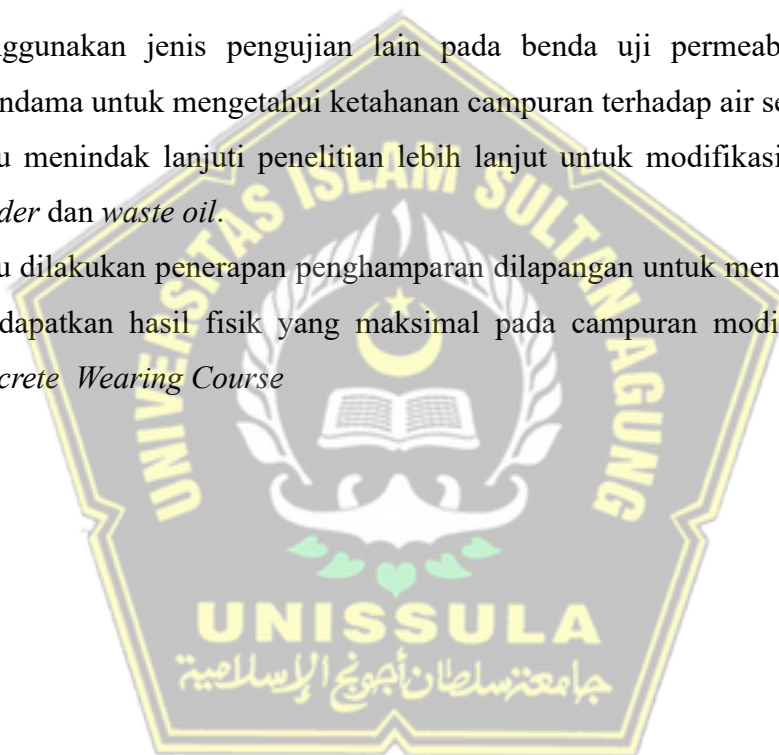
Melalui penelitian ini dapat diambil beberapa saran agar hasil yang didapatkan lebih akurat dan sesuai dengan apa yang diharapkan pada penelitian berikutnya, terdapat beberapa hal yang perlu diperhatikan :

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 kelelahan 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 menindak lanjuti penelitian lebih lanjut untuk modifikasi variasi *wood powder* dan *waste oil*.
3. Perlu dilakukan penerapan penghampanan dilapangan untuk menyesuaikan dan mendapatkan hasil fisik yang maksimal pada campuran modifikasi *Asphalt Concrete Wearing Course*



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, I., Khan, S., & Rao, J. (2018). Mechanical Behavior of Asphalt Mixtures Reinforced with Natural Fibers. *Journal of Materials in Civil Engineering*.
- Alamsyah, Moh Rifki, Wateno Oetomo, and Nurani Hartatik. "Analisis Kekuatan Pada Campuran Asphalt Concrete–Bear Course Dengan Penambahan Filler Abu Serbuk Gergaji Kayu Jati Dan Semen Portland." *Journal of Scientech Research and Development* 6.1 (2024): 305-321.
- 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.
- Ambarwati, Eka. "Kajian kuat tekan terhadap karakteristik aspal beton pada campuran hangat dengan modifikasi agregat baru-rap dan aspal residu oli." (2010).
- American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (2017). Standard Method of Test for Specific Gravity of Asphalt Binders. AASHTO T228.
- Anggiyansyah, Herru, et al. "Pengaruh Penambahan Abu Serbuk Kayu Sebagai Bahan Tambah Filler Pada Campuran Aspal AC-WC." *Jurnal Deformasi* 9.1 (2024): 37-47.
- Anggreana, Vella, and Dino Hardian. "Pengaruh Penambahan Abu Limbah Pemotongan Kayu Sebagai Pengganti Filler Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)." *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 6.1 (2024).
- ASTM International. (2015). Standard Test Method for Ductility of Asphalt Materials. ASTM D113. ASTM International.
- ASTM International. (2015). Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test). ASTM D2872. ASTM International.

- Da Gomez, Laurensius M., and Wita Meutia. "Penggunaan Filler Abu Serbuk Kayu Kelapa Pada Aspal Beton AC-WC." *Jurnal Artesis* 1.2 (2021): 161-166.
- Deddy Marteano. (2003). Evaluasi Kinerja Campuran (*Hot Rolled Asphalt*) Dengan Menggunakan Filler Abu Sisa Penggergajian Kayu. *Program Pascasarjana Universitas Diponegoro Semarang*
- Fauziah, Miftahul. "Pengaruh Oli Bekas sebagai Bahan Peremaja Aspal Daur Ulang terhadap Karakteristik Campuran Split Mastic." (2020).
- Gibbs, H., & Johnston, P. (2009). Recycling of Waste Oil in Asphalt Mixtures. *Transportation Research Record*.
- Gusty, Sri. "Optimalisasi Kinerja Campuran Aspal Porus (Variasi Gradasi Agregat dan Pemanfaatan Limbah Oli)." (2024).
- Imananto, Eding Iskak. "Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu Jati Sebagai Material Pengisi Pada Campuran Asphalt Treated Base (ATB) Ditinjau Dari Uji Marshall." *Jurnal Teknik Sipil* 8.1 (2023): 22-29.
- Kamaruddin, Nurul Hidayah Mohd, et al. "Evaluation of pavement mixture incorporating waste oil." *Jurnal Teknologi* 71.3 (2014).
- Lubis, Yusrizal, and Kartika Indah Sari. "Penggunaan Oli Bekas Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Marshall Pada Daur Ulang Oli Bekas." *Jurnal Simetri Rekayasa* 1.2 (2019): 72-75.
- Mamvura, Tirivaviri, et al. "Production of modified bitumen from used engine oil, coal tar and waste tyre for construction applications." *South African Journal of Chemical Engineering* 33.1 (2020): 67-73.
- Mardiana, Mardiana. Studi Pengaruh Penggunaan Limbah Oli Sebagai Peremaja Asbuton pada Campuran Aspal Porus. Diss. Universitas Fajar, 2019.
- Marpaung, A., Setiadji, B. H., Sipil, J. T., Teknik, F., Diponegoro, U., & Agregat, G. (2017). Evluasi Gradasi Agregat Pada Campuran AC-WC. 6, 1–11.
- Mastral, A. M., et al. (2002). Pyrolysis of Waste Lubricating Oil: Influence of Extraction and Reaction Temperature. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*.
- Neville, Adam M. "Properties of concrete." (1995).

- Olivito, R. S., & Cevallos, O. A. (2015). Development of eco-efficient lightweight concrete using recycled wood waste and quarry dust. *Sustainable Cities and Society*, 14, 48-55.
- Rahardjo, Mudjia. "Nalar dasar penelitian kualitatif dan kuantitatif." (2017).
- Rahman, Ivo Neyra, et al. "Pemanfaatan Limbah Serbuk Kayu dengan Zat Aditif Anti Stripping Agent Terhadap Uji Durabilitas AC-WC (Asphalt Concrete–Wearing Course)." *Jurnal Sipil dan Arsitektur* 2.3 (2024): 1-7.
- Saleh, Alfian, et al. "Nilai Uji Rendam (Immersion Test) Dari Material Recycle Asphalt Pavement (RAP) Dengan Menambahkan Oli Bekas Pada Perkerasan Jalan." *Jurnal Karya Ilmiah Multidisiplin (JURKIM)* 4.2 (2024): 92-100.
- Sanam, Merkurius, et al. "Penggunaan Asbuton Lawele Dengan Bahan Additif Oli Bekas Kendaraan Untuk Meningkatkan Stabilitas Beton Aspal." *Widya Teknika* 21.2 (2013).
- Sarwono, Djoko, Florentina Pungky Pramesti, and Devi Prapita Nuari. "Karakteristik Ekstrak Asbuton dengan Metode Asbuton Emulsi Menggunakan Peremaja Oli Bekas dan Karakteristik Penambahan Ekstrak Asbuton Emulsi pada Aspal Penetrasi 60/70 Sebagai Modifikasi Bitumen (Semarbut Aspal Tipe III)." *Matriks Teknik Sipil* 6.2 (2018).
- Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018 Revisi 2, Perkerasan Konstruksi Jalan dan Jembatan, 2018
- Wu, S., Zhang, Y., & Zhao, Z. (2016). Effect of Wood Powder on the Mechanical Properties of Asphalt Mixture. *Construction and Building Materials*.
- Yuniarti, Ratna, et al. "Tinjauan Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Tua Dengan Berbagai Bahan Peremaja." *Jurnal Sains Teknologi dan Lingkungan* 6.2 (2020): 132-143.