

TUGAS AKHIR

**ANALISIS ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC)
DENGAN PENAMBAHAN ABU KARANG DAN PASIR LAUT
UNTUK PERKERASAN JALAN**

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



Disusun Oleh :

Adrian Risqy Widiarso

NIM : 30202100017

Muhammad Lutfi Yahya

NIM : 30202100145

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

2025

TUGAS AKHIR

**ANALISIS ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC)
DENGAN PENAMBAHAN ABU KARANG DAN PASIR LAUT
UNTUK PERKERASAN JALAN**

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



Disusun Oleh :

Adrian Risqy Widiarso

NIM : 30202100017

Muhammad Lutfi Yahya

NIM : 30202100145

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN ABU KARANG DAN PASIR LAUT UNTUK PERKERASAN JALAN

Diajukan oleh :



Adrian Risqy Widiarso
NIM : 30202100017



Muhammad Lutfi Yahya
NIM : 30202100145

Telah disetujui dan disahkan di Semarang :

2025

Tim Penguji :

1. **Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.**
NIDN : 0611118903
2. **Ir. Lisa Fitriyana, ST., M Eng.**
NIDN : 0631128901

Tanda Tangan :

Two handwritten signatures in blue ink are shown above two horizontal dotted lines, indicating the approval of the examiners.

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil

A blue ink signature of Muhammad Rusli Ahyar is written over a circular official stamp of Universitas Islam Sultan Agung. The stamp contains the text 'UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG' and 'FAKULTAS TEKNIK SIPIL'.

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 25 / A.2 / SA – T / I / 2025

Pada hari ini tanggal 23 Agustus 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing :

Nama : Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.

Jabatan Teknik : Lektor

Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

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

Adrian Risqy Widiarso

NIM : 30202100017

Muhammad Lutfi Yahya

NIM : 30202100145

Judul : “ANALISIS *ASPHALT WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN ABU KARANG DAN PASIR LAUT UNTUK PERKERASAN JALAN”

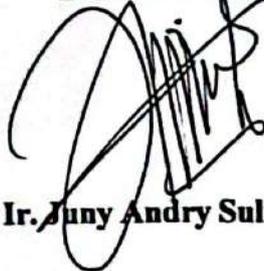
Dengan tahapan Sebagai Berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	23/09/2024	ACC
2	Seminar Proposal	23/11/2024	ACC
3	Pengumpulan Data	24/11/2024	ACC
4	Analisis Data	13/12/2024	ACC
5	Penyusunan Laporan	25/12/2024	ACC
6	Selesai Laporan	12/01/2025	ACC

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

Mengetahui,

Dosen Pembimbing



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

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Adrian Risqy Widiarso
NIM : 30202100017
2. NAMA : Muhammad Lutfi Yahya
NIM : 30202100145

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“ANALISIS ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN ABU KARANG DAN PASIR LAUT UNTUK PERKERASAN JALAN”

Benar bebas dari plagiat dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Adrian Risqy Widiarso
NIM : 30202100017

Muhammad Lutfi Yahya
NIM : 30202100145

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Adrian Risqy Widiarso
NIM : 30202100017
2. NAMA : Muhammad Lutfi Yahya
NIM : 30202100145

Judul : "ANALISIS *ASPHALT WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN ABU KARANG DAN PASIR LAUT UNTUK PERKERASAN JALAN"

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, 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Adrian Risqy Widiarso
NIM : 30202100017

Muhammad Lutfi Yahya
NIM : 30202100145

MOTTO

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

(QS. Ali Imron: 110)

“Sesungguhnya Allah tidak mengubah keadaan sesuatu kaum sehingga mereka mengubah keadaan yang ada pada diri mereka sendiri. Dan apabila Allah menghendaki keburukan terhadap sesuatu kaum, maka tak ada yang dapat menolaknya; dan sekali-kali tak ada pelindung bagi mereka selain Dia”.

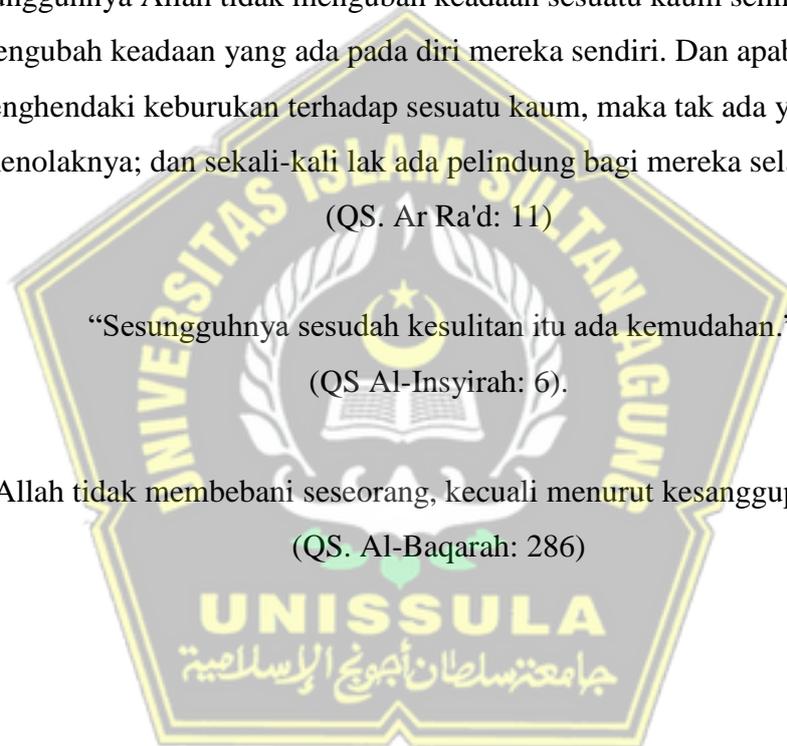
(QS. Ar Ra'd: 11)

“Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(QS Al-Insyirah: 6).

“Allah tidak membebani seseorang, kecuali menurut kesanggupannya”.

(QS. Al-Baqarah: 286)



PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Darso dan Ibu Suko Puji Rahayu terima kasih selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, dan pengorbanan yang tiada terhingga baik berupa materi maupun moril. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih saya persembahkan Tugas Akhir dan Gelar Sarjana ini untuk bapak dan ibu.
2. Kakak saya Saudari Meiranti Setya Wardani yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa selama menempuh pendidikan dan mengerjakan Tugas Akhir serta yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT., dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
5. Muhammad Lutfi Yahya yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman – teman Fakultas Teknik Angkatan 2021 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Adrian Risqy Widiarso

NIM : 30202100017

PERSEMBAHAN

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

1. Kedua orang tua saya tercinta, Bapak Surya Indra Gunawaan dan Ibu Kasijati terima kasih selalu memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, dan pengorbanan yang tiada terhingga baik berupa materi maupun moril. Sebagai tanda bakti, hormat, dan rasa terima kasih saya persembahkan Tugas Akhir dan Gelar Sarjana ini untuk bapak dan ibu.
2. Kakak saya Saudara Irvan Junico Mahendra yang selalu memberi semangat, dukungan, dan doa selama menempuh pendidikan dan mengerjakan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT., dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
5. Adrian Risqy Widiarso yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
6. Teman – teman Fakultas Teknik Angkatan 2021 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Muhammad Lutfi Yahya

NIM : 30202100145

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis *Asphalt Wearing Course (AC-WC)* Dengan Penambahan Abu Karang Dan Pasir Laut Untuk Perkerasan Jalan”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak.

Untuk itu ingin mengucapkan terima kasih kepada kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang,

2025

Adrian Risqy Widiarso
Muhammad Lutfi Yahya

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR GRAFIK.....	xvi
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Perkerasan Jalan.....	5

2.1.1 Perkerasan Aspal Beton	5
2.2 Klasifikasi Kelas Jalan.....	6
2.3 Penyusunan Perkerasan Jalan	7
2.3.1 Pengertian Agregat	7
2.3.2 Persyaratan Agregat.....	8
2.3.3 Gradasi Agregat.....	10
2.4 Sifat dan Karakteristik Campuran Aspal Beton.....	11
2.5 Abu Karang.....	12
2.6 Pasir Laut	12
2.7 <i>Marshall Test</i>	13
2.7.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum	17
2.8 Penelitian Terdahulu Yang Sejenis.....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Tipe Penelitian.....	22
3.2 Metode Penelitian	22
3.3 Bagan Alir.....	23
3.4 Metode Analisis	24
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
4.1 Persiapan Material	40
4.2 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70	40
4.3 Hasil Pengujian Agregat	41
4.3.1 Hasil Pemeriksaan Agregat $\frac{3}{4}$	43
4.3.2 Hasil Pemeriksaan Agregat $\frac{1}{2}$	43
4.3.3 Hasil Pemeriksaan Abu Batu	44
4.3.4 Hasil Pemeriksaan Agregat Pasir.....	44
4.3.5 Hasil Pemeriksaan <i>Filler</i>	45

4.4	Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat	46
4.5	Pembuatan Benda Uji	48
4.6	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (ASSHTO-209s)	49
4.6.1	Berat Jenis Dengan Campuran Komposisi Normal (GMM)	49
4.6.2	Berat Jenis Dengan Campuran Pada Aspal Modifikasi (GMM)	49
4.7	Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994).....	50
4.7.1	Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	51
4.8	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i>	52
4.8.1	Hasil Uji <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%).....	53
4.8.2	Hasil Uji <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%).....	57
4.8.3	Hasil Uji <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%).....	60
4.8.4	Hasil Uji <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%).....	64
4.9	Rekap Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Semua Variasi Bahan Tambah	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		75
5.1	Kesimpulan.....	75
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA		xx
LAMPIRAN.....		xxiii

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi Kelas Jalan	7
Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Halus	8
Tabel 2. 3 Persyaratan Agregat Kasar	9
Tabel 2. 4 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal	11
Tabel 2. 5 Ketentuan untuk Aspal Keras Pen.60/70	11
Tabel 2. 6 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC).....	12
Tabel 3. 1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	30
Tabel 3. 2 Campuran Aspal Beton Normal	30
Tabel 3. 3 Campuran Aspal Beton dengan AK 2% dan PL 0%	30
Tabel 3. 4 Campuran Aspal Beton dengan AK 4% dan PL 0%	31
Tabel 3. 5 Campuran Aspal Beton dengan AK 0% dan PL 3%	31
Tabel 3. 6 Campuran Aspal Beton dengan AK 2% dan PL 3%	32
Tabel 3. 7 Campuran Aspal Beton dengan AK 4% dan PL 3%	32
Tabel 3. 8 Campuran Aspal Beton dengan AK 0% dan PL 5%	33
Tabel 3. 9 Campuran Aspal Beton dengan AK 2% dan PL 5%	33
Tabel 3. 10 Campuran Aspal Beton dengan AK 4% dan PL 5%	34
Tabel 3. 11 Campuran Aspal Beton dengan AK 0% dan PL 7%	34
Tabel 3. 12 Campuran Aspal Beton dengan AK 2% dan PL 7%	35
Tabel 3. 13 Campuran Aspal Beton dengan AK 4% dan PL 7%	35
Tabel 3. 14 Jumlah Sampel Variasi Abu Karang dan Pasir Laut.....	36
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat Aspal Pen 60/70....	41
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat	42
Tabel 4. 3 Hasil Analisa Pembagian Butiran Agregat $\frac{3}{4}$	43
Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran $\frac{1}{2}$	43
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Butiran Abu Batu	44
Tabel 4. 6 Hasil Analisa Pembagian Butiran Pasir	45
Tabel 4. 7 Hasil Analisa Pembagian Butiran <i>Filler</i>	45
Tabel 4. 8 Perhitungan Kombinasi Agregat	46
Tabel 4. 9 Pembuatan Benda Uji.....	48
Tabel 4. 10 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Komposisi Normal (GMM).....	49

Tabel 4. 11 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal Modifikasi (GMM)	49
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kadar Aspal	50
Tabel 4. 13 Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%)	53
Tabel 4. 14 Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%)	57
Tabel 4. 15 Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%)	60
Tabel 4. 16 Hasil <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%)	64
Tabel 4. 17 Rekap Uji <i>Marshall</i> Semua Variasi Bahan Tambah.....	68



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perkerasan Lentur.....	5
Gambar 2. 2 Perkerasan Aspal Beton	6
Gambar 2. 3 <i>Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test</i>	13
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian	23
Gambar 4. 1 Pengambilan Agregat Material.....	40
Gambar 4. 2 Sampel Banda Uji.....	48
Gambar 4. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	51



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Kombinasi Agregat.....	47
Grafik 4. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum	52
Grafik 4. 3 Nilai VIM Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%	54
Grafik 4. 4 Nilai VMA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%	54
Grafik 4. 5 Nilai VFA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%	55
Grafik 4. 6 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%	55
Grafik 4. 7 Nilai <i>Flow</i> Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%	56
Grafik 4. 8 Nilai MQ Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%	56
Grafik 4. 9 Nilai VIM Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%	57
Grafik 4. 10 Nilai VMA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%	58
Grafik 4. 11 Nilai VFA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%	58
Grafik 4. 12 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%	59
Grafik 4. 13 Nilai <i>Flow</i> Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%	59
Grafik 4. 14 Nilai MQ Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%	60
Grafik 4. 15 Nilai VIM Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%	61
Grafik 4. 16 Nilai VMA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%	61

Grafik 4. 17 Nilai VFA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%	62
Grafik 4. 18 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%	62
Grafik 4. 19 Nilai <i>Flow</i> Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%	63
Grafik 4. 20 Nilai MQ Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%	63
Grafik 4. 21 Nilai VIM Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%	64
Grafik 4. 22 Nilai VMA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%	65
Grafik 4. 23 Nilai VFA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%	65
Grafik 4. 24 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%	66
Grafik 4. 25 Nilai <i>Flow</i> Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%	66
Grafik 4. 26 Nilai MQ Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%	67
Grafik 4. 27 Rekap Nilai VIM Semua Variasi Bahan Tambah.....	69
Grafik 4. 28 Rekap Nilai VMA Semua Variasi Bahan Tambah	70
Grafik 4. 29 Rekap Nilai VFA Semua Variasi Bahan Tambah	71
Grafik 4. 30 Rekap Nilai Stabilitas Semua Variasi Bahan Tambah	72
Grafik 4. 31 Rekap Nilai <i>Flow</i> Semua Variasi Bahan Tambah	73
Grafik 4. 32 Rekap Nilai MQ Semua Variasi Bahan Tambah.....	74

ANALISIS ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN ABU KARANG DAN PASIR LAUT UNTUK PERKERASAN JALAN

ABSTRAK

Peningkatan konektivitas dan ekonomi di Indonesia memerlukan pengembangan infrastruktur jalan berkualitas. Perkerasan jalan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) berperan penting dalam keamanan, kenyamanan, dan kelancaran lalu lintas. Untuk mengurangi ketergantungan pada material impor, abu karang dan pasir laut lokal dari Pantai Empu Rancak Jepara, dijadikan alternatif bahan tambah AC-WC. Penelitian ini menggunakan variasi abu karang 0%, 2%, 4% dan pasir laut 0%, 3%, 5%, 7% yang diharapkan memberikan solusi yang lebih ekonomis dan ramah lingkungan untuk pembangunan jalan.

Penelitian ini menentukan *Job Mix Design* dengan 51 sampel uji aspal, mengukur berat sampel dalam kondisi kering, perendaman 24 jam dan *Saturated Surface-Dry* (SSD). Untuk mengetahui karakteristik dan kelayakan bahan tambah dilakukan *Marshall Test*. Sampel direndam dalam *waterbath* pada suhu 60°C dan setelahnya dilakukan *Marshall Test* untuk mengukur stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFA dan MQ yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2).

Berdasarkan *Job Mix Design*, komposisi terbaik ditemukan pada sampel 2 dengan penambahan 4% abu karang dan 3% pasir laut, yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2). Hasil uji *Marshall* menunjukkan nilai terbaik pada variasi ini yaitu 3,68% untuk VIM; 16,23% untuk VMA; 86,45% untuk VFA; 1430,55 kg untuk Stabilitas; 3,6 mm untuk *Flow*; dan 433,5 kg/mm untuk MQ. Komposisi 4% abu karang dan 0% pasir laut menghasilkan stabilitas tertinggi 2023 kg, yang juga memenuhi kriteria minimum Stabilitas sebesar 800 kg.

Kata kunci : AC-WC; Abu Karang; Pasir Laut; Marshall Test

ANALYSIS OF ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC) WITH THE ADDITION OF CORAL ASH AND SEA SAND FOR ROAD PAVEMENT

ABSTRACT

Increasing connectivity and the economy in Indonesia requires the development of quality road infrastructure. Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) road pavement plays an important role in safety, comfort and smooth traffic. To reduce dependence on imported materials, coral ash and local sea sand from Empu Rancak Beach, Jepara, are used as alternative additives for AC-WC. This research uses variations of coral ash 0%, 2%, 4% and sea sand 0%, 3%, 5%, 7% which are expected to provide a more economical and environmentally friendly solution for road construction.

This research determined the Job Mix Design with 51 asphalt test samples, measuring the weight of the samples in dry conditions, 24 hour immersion and Saturated Surface-Dry (SSD). To determine the characteristics and suitability of added materials, a Marshall Test is carried out. The samples were soaked in a water bath at a temperature of 60°C and after that a Marshall Test was carried out to measure stability, flow, VMA, VIM, VFA and MQ which met the 2018 General Bina Marga Specifications (Revision 2).

Based on Job Mix Design, the best composition was found in sample 2 with the addition of 4% coral ash and 3% sea sand, which meets the 2018 General Bina Marga Specifications (revision 2). Marshall test results show the best value for this variation, namely 3.68% for VIM; 16.23% for VMA; 86.45% for VFA; 1430.55 kg for Stability; 3.6 mm for Flow; and 433.5 kg/mm for MQ. The composition of 4% coral ash and 0% sea sand produces the highest stability of 2023 kg, which also meets the minimum stability criteria of 800 kg.

Keywords: AC-WC; Coral Ash; Sea Sand; Marshall Test

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada saat ini, Indonesia dari tahun ke tahun mengalami peningkatan yang cukup pesat untuk segi konektivitas, mobilitas serta pertumbuhan ekonomi. Dengan adanya hal itu, maka diperlukan peningkatan pada infrastruktur jalan. Perkerasan jalan salah satu komponen utama pada infrastruktur jalan yang memberikan keamanan, kenyamanan serta memperlancar jalannya mobilitas di Indonesia. Salah satu perkerasan jalan yang digunakan di Indonesia yaitu perkerasan jalan menggunakan aspal beton (*Asphalt Concrete*) yang berguna untuk menopang beban kendaraan yang melintas.

Aspal beton sering juga disebut dengan Laston (Lapisan Aspal Beton) yang digunakan pada lapisan permukaan yang struktural atau lapis pada pondasi atas. Terdapat 3 (tiga) lapisan Laston yang digunakan pada perkerasan jalan yaitu Laston Lapis Aus (AC-WC), Laston Lapis Permukaan Antara (AC-BC) dan Laston Lapis Pondasi (AC-Base) (Bina Marga., 2018).

Jenis perkerasan jalan yang populer dalam pembangunan jalan salah satunya adalah *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Aspal jenis ini adalah hasil dari pencampuran dan pemadatan material agregat kasar, agregat halus, aspal, dan *filler* sebagai lapisan perkerasan jalan.

Pada suatu daerah memiliki potensi besar dalam pengembangan infrastruktur jalan tetapi masih banyak menggunakan material bahan konstruksi jalan yang menggunakan bahan impor. Oleh karena itu, pemanfaatan bahan alam bisa menjadi solusi alternatif sebagai penambahan material bahan dalam infrastruktur jalan yang bertujuan memperkuat lapisan perkerasan jalan AC-WC. Penambahan bahan alami untuk lapisan AC-WC berupa abu karang (Osa et al., 2022). Bahan alam pasir laut juga bisa dimanfaatkan sebagai alternatif bahan penambah untuk memperkuat lapisan AC-WC. Selain material yang mudah didapatkan, pasir laut juga termasuk bahan lokal yang relatif terjangkau khususnya di daerah tertentu. Namun, pada kualitas perlu diteliti lebih lanjut pada struktur lapis perkerasan jalan (Refi A., 2015).

Ketersediaan bahan alam abu karang dan pasir laut dapat ditemukan didaerah pesisir seperti didaerah Pantai Empu Rancak Jepara. Lokasi tersebut menjadi alternatif mencari bahan material alami yang akan digunakan untuk penelitian perkerasan jalan. Kemudian bahan material tersebut akan dilakukan pengujian terlebih dahulu seperti berat jenis, kadar air, plastisitas, karakteristik tanah dan kadar lumpur. Setelah itu, dapat diidentifikasi kelayakannya sebagai material bahan penambah.

Penelitian dengan penggunaan abu karang dan pasir laut untuk bahan tambah material pada AC-WC ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui karakteristik material dan kualitas pada perkerasan yang dihasilkan serta memanfaatkan melimpahnya bahan alam yang disekitar.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh dari pencampuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan bahan tambah abu karang dan pasir laut?
2. Bagaimana stabilitas dari penambahan material abu karang dan pasir laut terhadap *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) pada perkerasan jalan?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui komposisi *Job Mix Design* terbaik dari pemanfaatan bahan alam abu karang dan pasir laut sebagai bahan tambah pada *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).
2. Mengetahui stabilitas terbaik dari pencampuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan abu karang dan pasir laut sebagai bahan tambah untuk perkerasan jalan.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Secara Teoritis

Menambah ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil mengenai penambahan abu karang dan pasir laut terhadap *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* untuk perkerasan jalan.

2. Secara Praktis

Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan ilmu pengetahuan mengenai pengaruh dari penambahan abu karang dan pasir laut terhadap *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* untuk perkerasan jalan.

1.5 Batasan Masalah

Batasan-batasan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Praktek penelitian dilakukan di Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus dan Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Unissula.
2. Menggunakan bahan aspal dengan penetrasi 60/70 dari Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus.
3. Menggunakan bahan tambah abu karang dan pasir laut yang diambil dari Pantai Empu Rancak Jepara.
4. Menggunakan 0%, 2%, 4% untuk variasi penambahan abu karang.
5. Menggunakan 0%, 3%, 5%, 7% untuk variasi penambahan pasir laut.
6. Menguji benda uji dengan *Marshall test* yang meliputi Stabilitas, Kelelehan (*Flow*), VMA (*Void In Mineral Aggregate*), VIM (*Void In The Mix*), VFA (*Void Filled With Asphalt*), dan Hasil bagi *Marshall (Marshall Quantient)*.
7. Praktek penelitian dilakukan di laboratorium dan tidak melakukan penghamparan ke lapangan.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada penyusunan laporan tugas akhir ini secara sistematis terdiri dari beberapa bab dan sub bab sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini berisi penjelasan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tinjauan dan dasar-dasar teori yang digunakan sebagai pedoman serta acuan dalam pemecahan masalah.

BAB III METODE PENELITIAN

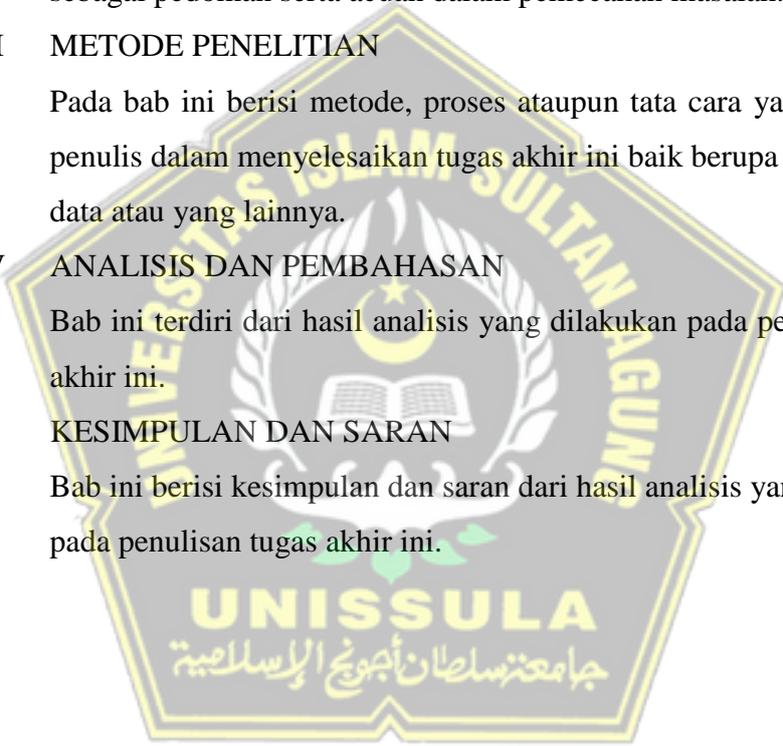
Pada bab ini berisi metode, proses ataupun tata cara yang digunakan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini baik berupa pengumpulan data atau yang lainnya.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini terdiri dari hasil analisis yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang didapatkan pada penulisan tugas akhir ini.

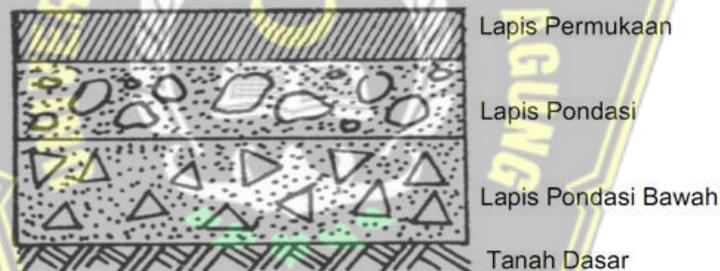


BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan memiliki fungsi lain dari pelayanan transportasi yaitu sebagai pembagi beban pada lalu lintas secara merata dari arah horizontal maupun vertikal, lalu diteruskan ke *subgrade* (tanah dasar) sehingga beban terhadap tanah sesuai dengan daya dukung yang telah diizinkan. Perkerasan jalan memiliki beberapa jenis, meliputi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), perkerasan rigid (*Rigid Pavement*), perkerasan komposit dan perkerasan dengan bahan komposisi serta bahan pengikat lainnya.

Perkerasan jalan dengan aspal atau bitumen berfungsi sebagai bahan lekat biasa disebut dengan perkerasan lentur. Perkerasan ini sering digunakan pada lalu lintas ringan ataupun sedang. Perkerasan ini terdiri dari lapisan permukaan (*surface course*), lapisan pondasi (*base course*), lapisan pondasi bawah (*sub base course*).

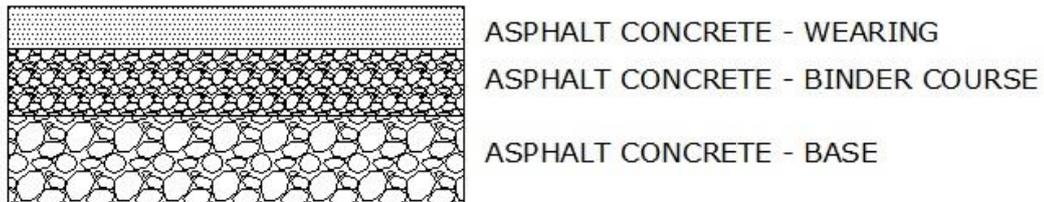


Gambar 2. 1 Perkerasan Lentur
(Sumber : Internet)

2.1.1 Perkerasan Aspal Beton

Menurut Bina Marga (2018), Pada Lapisan Aspal Beton (Laston) terdapat 3 (tiga) lapisan Laston yang digunakan pada perkerasan jalan yaitu lapis permukaan (AC-WC), lapis pondasi (AC-BC) dan lapis pondasi bawah (AC-Base). Pada ketiga Laston ini memiliki 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 populer pada pembangunan infrastruktur jalan. AC-WC adalah campuran dari beberapa material yaitu agregat halus, agregat kasar, aspal dan *filler* yang akan dicampur serta dipadatkan untuk membentuk lapis atas pada perkerasan jalan.



Gambar 2. 2 Perkerasan Aspal Beton

(Sumber : Internet)

2.2 Klasifikasi Kelas Jalan

Berdasarkan UU No.38 Tahun 2004 Pasal 7 dan 8, Sistem jaringan jalan secara umum berperan sebagai penyedia fasilitas distribusi barang dan jasa untuk perkembangan suatu daerah. Jalan umum dikelompokkan menjadi 4 (empat) yaitu jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan.

1. Jalan Arteri

Adalah jalan umum yang berfungsi sebagai pelayanan angkutan utama untuk perjalanan jauh dengan rata-rata kecepatan tinggi. Jalan ini menghubungkan antar pusat nasional.

2. Jalan Kolektor

Adalah jalan umum yang memiliki fungsi untuk pelayanan angkutan pengumpul/pembagi dengan perjalanan jarak sedang serta memiliki kecepatan dengan rata-rata sedang. Jalan kolektor ini berfungsi untuk menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lokal atau pusat kegiatan regional.

3. Jalan Lokal

Adalah jalan umum sebagai pelayanan angkutan lokal dengan perjalanan jarak dekat dan kecepatan rata-rata rendah. Jalan ini menghubungkan antara pusat kegiatan nasional dengan pusat lingkungan, pusat kegiatan regional dengan pusat lingkungan dan pusat kegiatan lokal dengan pusat lingkungan.

4. Jalan Lingkungan

Adalah jalan umum dengan fungsi sebagai penyedia layanan angkutan lokal dengan jarak tempuh dekat serta memiliki kecepatan yang rata-rata rendah. Jalan ini merupakan jalan yang menghubungkan pusat kegiatan pedesaan dengan jalan pedesaan lain.

Berdasarkan UU No.22 Tahun 2009 Pasal 19, Kelas jalan dikelompokkan berdasarkan pada fungsi, intensitas serta daya dukung jalan menerima beban pada kendaraan.

Tabel 2. 1 Klasifikasi Kelas Jalan

Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi kendaraan maksimum			Muatan sumbu terberat (Ton)
		Lebar (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)	
I	Arteri, Kolektor	2,5	18	4,2	10
II	Arteri, Kolektor, local, lingkungan	2,5	12	4,2	8
III	Arteri, Kolektor, local, lingkungan	2,1	9	3,5	8
Khusus	Arteri	>2,5	>18	4,2	>10

(Sumber : UU No.22 Tahun 2009 Pasal 19)

2.3 Penyusunan Perkerasan Jalan

2.3.1 Pengertian Agregat

Bahan dasar utama dalam penyusunan perkerasan jalan adalah agregat. Pada umumnya agregat merupakan hasil dari campuran batu pecah, krikil, pasir ataupun mineral lain. Agregat mempengaruhi daya dukung perkerasan jalan karena memiliki volume sebesar 90-95% dari berat total atau 75-85% dari volume. Suatu perkerasan jalan kualitasnya dapat dipengaruhi sifat dari agregat dan pencampuran material lainnya. Kualitas agregat dipengaruhi beberapa faktor yaitu kebersihan, gradasi, kekerasan, ketahanan agregat, berat jenis, serap air, bentuk butiran, kekasaran permukaan, daya lekat aspal dan porositas. Untuk konsentrasi pori pada material agregat, ditentukan dari jumlah air yang diserap pada material. Nilai serapan didapatkan dari agregat yang mengalami perubahan berat karena penyerapan air pada pori-pori dalam kondisi kering, dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

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

Penyerapan Agregat Halus

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

Keterangan :

B : Berat piknometer + air, (gr)

B_t : Berat piknometer + benda uji + air, (gr)

B_s : Berat benda uji, (gr)

B_j : Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

B_k : Berat benda uji kering oven (gr)

2.3.2 Persyaratan Agregat

Menurut Bina Marga (2018), Agregat dibedakan dari sifat dan ukuran butirannya yang dibagi menjadi 3 (tiga) yaitu agregat halus, agregat kasar dan semen (*filler*). Penyerapan air pada material maksimal 3% dan pada berat jenis material halus dan kasar tidak boleh berbeda lebih dari 0,2. Berikut ini adalah macam-macam material yang digunakan pada perkerasan jalan.

1. Agregat Halus

Fraksi material yang butirannya lebih kecil dan lolos dari saringan No. 8 (2,36 mm). Material halus berfungsi menambah stabilitas dengan mengisi ruang antar butir dan menempel diantara butiran yang terdiri dari kerikil atau pasir alam atau kombinasi kedua zat tersebut. Pasir alam yang digunakan tidak lebih dari 15% dari berat total campuran (Bina Marga., 2018).

Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Halus

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

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2.2)

2. Agregat Kasar

Fraksi material yang tertahan pada saringan No.4 (4,75 mm). Material ini harus memiliki sifat yang kuat, bersih, awet, bebas dari tanah dan tidak mengandung komponen lain yang tidak diinginkan. Fraksi material kasar harus dari agregat mesin dan memiliki spesifikasi ukuran yang sesuai dari jenis rencana pada campuran. material kasar harus memiliki angularitas sebagai persen terhadap berat material yang lebih besar dari 4,75 mm menurut SNI 7619:2012. Material kasar harus memiliki ketahanan terhadap abrasi (Bina Marga., 2018).

Tabel 2. 3 Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12 %
	magnesium sulfat		Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC	100 putaran	Maks. 6 %
	Modifikasi dan SMA	500 putaran	Maks. 30 %
	Semua jenis	100 putaran	SNI 2417:2008 Maks. 8 %
	campuran beraspal bergradasi lainnya	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	Maks. 5 %
	Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1 %

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2.1a)

3. Bahan Pengisi/*Filler*

Filler merupakan bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075 mm) dan beratnya tidak kurang dari 75%. Fungsi *filler* sebagai pengisi rongga udara pada campuran, sehingga mampu mengeraskan lapis perkerasan aspal. Bahan pengisi yang sering digunakan pada campuran aspal yaitu abu batu dan semen *Portland*. Bahan pengisi semen harus dari 1% sampai 2% dari berat total agregat dan bahan pengisi lainnya harus dari 1% sampai 3% dari berat total agregat.

2.3.3 Gradasi Agregat

Gradasi salah satu faktor penting dalam stabilitas perkerasan jalan melalui gradasi ukuran material. Pada umumnya ukuran agregat mempengaruhi besarnya volume rongga (*Void*) dan stabilitas dalam campuran. Gradasi agregat dibedakan menjadi 3 (tiga) yaitu :

1. Gradasi Senjang (*Gap Gaded*)

Gradasi senjang merupakan jenis gradasi yang memiliki fraksi agregat yang sangat sedikit atau tidak lengkap. Agregat gradasi senjang umumnya digunakan untuk perkerasan lentur. Lapisan perkerasan dari agregat sedang akan memiliki kualitas perkerasan yang berada diantara hasil gradasi seragam dan gradasi rapat.

2. Gradasi Menerus/Rapat (*Dense Graded*)

Campuran skala agregat yang ukuran butirannya terdistribusi merata antara agregat halus dan agregat kasar disebut sebagai gradasi rapat atau gradasi menerus (*Continuous Gradinig*). Agregat gradasi dianggap baik jika memenuhi persyaratan tiap lapis saringan dan presentase stabilitas tinggi.

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^{0,45} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

P : Presentase lolos saringan dengan bukaan d mm (%)

d : Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan (%)

D : Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka (%)

3. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

Gradasi seragam atau gradasi terbuka (*Open Graded*) merupakan susunan agregat dengan ukuran yang berskala hampir sama. Komposisi agregat halus dalam gradasi seragam terbilang sedikit sehingga terdapat banyak rongga. Campuran agregat bergradasi seragam cenderung mempunyai nilai permeabilitas tinggi dan stabilitas rendah.

Tabel 2. 4 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat		
ASTM	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-Base
1 ½"	37,5			100
1"	25		100	90 – 100
¾"	19	100	90 – 100	76 – 90
½"	12,5	90 – 100	75 – 90	60 – 78
3/8"	9,5	77 – 90	66 – 82	52 – 71
No. 4	4,75	53 – 69	46 – 64	35 – 54
No. 8	2,36	33 – 53	30 – 49	23 – 41
No. 16	1,18	21 – 40	18 – 38	13 – 30
No. 30	0,600	14 – 30	12 – 28	10 – 22
No. 50	0,300	9 – 22	7 – 20	6 – 15
No. 100	0,150	6 – 15	5 – 13	4 – 10
No. 200	0,075	4 – 9	4 – 8	3 – 7

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2.3)

2.4 Sifat dan Karakteristik Campuran Aspal Beton

Bitumen yaitu bahan yang berwarna hitam dan memiliki sifat viskoelastis yang membuatnya menjadi leleh dan mencair. Aspal berfungsi sebagai bahan pelekat pada perkerasan lentur. Aspal juga memiliki dari senyawa hidrokarbon yang mengandung sulfur, chlor dan oksigen.

Tabel 2. 5 Ketentuan untuk Aspal Keras Pen.60/70

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Persyaratan
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
4	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
6	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
7	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
8	Indeks Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2.5)

Tabel 2. 6 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

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

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6..3.3.1c)

2.5 Abu Karang

Karang merupakan terumbu karang yang terbentuk dari kumpulan organisme kecil (*porifera*) yang telah mati dan terbawa arus ke pesisir pantai dan mengalami proses sedimentasi (Sihombing., 2019). Karang biasa ditemukan disekitar pantai yang memiliki temperature air laut tinggi. Batuan ini mengandung senyawa karbonat dan kapur, bisa dibilang sebagai batuan kapur. Kapur berperan sebagai bahan anti pengelupasan pada campuran aspal yang mampu meningkatkan durabilitas perkerasan jalan (Miftahulhair et al., 2022).

2.6 Pasir Laut

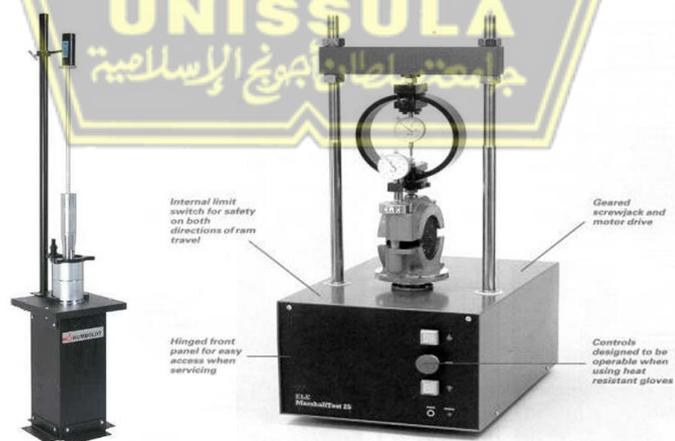
Pasir laut adalah bahan alam yang memiliki ketersediaan yang cukup melimpah. Maka dari itu pasir laut ini cukup mudah untuk didapatkan pada daerah-daerah tertentu. Pasir laut memiliki kandungan kalsium yang cukup banyak dikarenakan bahan utama dari pembentuk pasir laut yaitu serpihan cangkang kerang laut dan

bahan utama dari serpihan cangkang kerang laut itu sendiri adalah kalsium (Gaus A., 2017). Akan tetapi kualitas pasti laut untuk infrastruktur jalan harus dilakukan penelitian lebih lanjut. Untuk mengetahui kualitas pada pasir laut sebagai bahan tambah pada campuran aspal, maka dilakukan dengan cara penelitian dan pengujian secara teknis di laboratorium (Refi A., 2015).

2.7 Marshall Test

Metode laboratorium dilakukan untuk memeriksa campuran panas agar mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan dari campuran aspal. Metode ini dikembangkan oleh Bruce Marshall pada tahun 1939. Aspal dan agregat dicampur lalu dipanaskan dengan suhu yang memiliki nilai kekentalan aspal 170 ± 20 centistokes (cst) lalu dipadatkan dengan suhu yang memiliki nilai kekentalan aspal 280 ± 30 centistokes (cst). Hasil sampel uji dari pemadatan dengan alat pemadatan aspal (*Marshall Compaction Hammer*) yaitu berbentuk silinder dengan tinggi 60 mm, diameter 100 mm dan pengujian dilakukan pada saat suhu $60^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ dengan pembebanan konstan 51 mm/menit.

Stabilitas *Marshall* adalah beban maksimum pada sampel uji sebelum dihancurkan. Arus *Marshall* adalah volume regangan pada benda uji saat belum pecah. Koefisien *Marshall* menentukan nilai ketahanan material terhadap deformasi.



Gambar 2. 3 *Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test*

(Sumber : Internet)

Hasil dari *Marshall test* meliputi stabilitas, kelelahan (*flow*), VMA, VIM, VFA, hasil bagi *Marshall* (*Marshall Quotient*).

1. Stabilitas

Adalah kemampuan campuran aspal padat terhadap beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang, alur (*rutting*) ataupun *bleeding*. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai dari stabilitas yaitu kohesi/penetrasi, kerapatan, kontak antar agregat, kadar aspal, bentuk dan tekstur permukaan gradasi agregat. Stabilitas dengan nilai yang terlalu tinggi akan menyebabkan hasil dari campuran aspal menjadi terlalu kaku sehingga menyebabkan keretakan pada perkerasan jalan. Untuk stabilitas dengan nilai yang terlalu rendah akan menyebabkan hasil dari campuran aspal mengalami alur (*rutting*) karena adanya tekanan yang disebabkan oleh beban lalu lintas.

2. Kelelahan (*Flow*)

Adalah nilai deformasi/penurunan vertikal yang terjadi pada saat pembebanan yang diberikan terhadap campuran aspal padat. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai dari kelelahan (*flow*) yaitu kadar aspal, gradasi agregat dan suhu aspal saat pemadatan.

3. Kepadatan (*Density*)

Adalah kerapatan pada campuran aspal padat. Berikut adalah rumusnya :

$$Density = \frac{Berat\ Uji\ Kering\ (gram)}{Volume\ Berat\ Uji\ (cm^3)} \dots\dots\dots (2.4)$$

4. Berat Jenis *Bulk*

Yang bisa diukur dengan menggunakan hukum *Archimedes* :

$$Gmb = \frac{Berat\ Uji\ Kering}{Berat\ Uji\ Kering\ Permukaan - Berat\ Uji\ dalam\ Air} \dots\dots\dots (2.5)$$

5. Berat Jenis Maksimum Sebelum Dipadatkan

Adalah berat jenis dari campuran aspal beton tanpa udara yang didapatkan dari uji laboratorium. Berikut adalah rumusnya :

$$Gmm = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

Pb : Jumlah aspal terhadap total berat campuran (%)

- Ps : Jumlah agregat terhadap total berat campuran (%)
- Gse : Berat jenis efektif agregat
- Gb : Berat jenis aspal (gr/cc)

6. Jumlah Aspal yang Terserap

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \times G_{se}} \times G_b \dots \dots \dots (2.7)$$

Keterangan :

- Pba : Jumlah aspal yang terserap terhadap agregat (%)
- Gb : Berat jenis aspal (gr/cc)
- Gsb : Berat jenis *bulk* agregat
- Gse : Berat jenis spesifik agregat

7. Jumlah Aspal Efektif dalam Campuran

$$P_{be} = P_b \frac{P_{ba}}{100} P_s \dots \dots \dots (2.8)$$

Keterangan :

- Pbe : Jumlah aspal efektif terhadap total berat campuran (%)
- Pb : Jumlah aspal terhadap total berat campuran (%)
- Ps : Jumlah agregat terhadap total berat campuran (%)
- Pba : Jumlah aspal yang terserap terhadap berat agregat (%)

8. Berat Jenis *Bulk* Agregat Campuran

Adalah berat jenis agregat campuran dari aspal beton padat. Berikut adalah rumusnya :

$$G_{sb} = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}\right)} \dots \dots \dots (2.9)$$

Keterangan :

- G1, G2,.....Gn : Spesifikasi berat setiap jenis agregat
- P1, P2,.....Pn : Persentase berat setiap jenis agregat

9. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran

Adalah berat jenis maksimum dari campuran aspal beton yang belum dipadatkan didapatkan dari uji laboratorium. Berikut adalah rumusnya :

$$G_{se} = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_e} + \frac{P_2}{G_e} + \dots + \frac{P_n}{G_{en}}\right)} \dots \dots \dots (2.10)$$

Keterangan :

Ge1, Ge2,.....Gen : Spesifikasi berat setiap jenis agregat

P1, P2,.....Pn : Persentase berat setiap jenis agregat

10. Rongga diantara Mineral Agregat (*Void In Mineral Aggregate/VMA*)

Adalah jumlah pori-pori yang terdapat diantara butiran agregat pada campuran aspal beton yang sudah dipadatkan.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran (gr/cc)

Gsb : Berat jenis efektif agregat (gr/cc)

Ps : Jumlah agregat terhadap total berat campuran (%)

11. Rongga Udara (*Void In The Mix/VIM*)

Adalah volume rongga udara yang terdapat diantara butiran agregat yang dilapisi campuran aspal beton yang sudah dipadatkan.

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

VIM : Rongga udara dalam campuran terhadap volume campuran (%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran (gr/cc)

12. Rongga Terisi Aspal (*Void Filled With Asphalt/VFA*)

Adalah volume rongga yang terdapat diantara butiran agregat yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

$$VFA = \frac{100 \times (VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

VFA : Pori antar butir agregat yang terisi aspal dari VMA (%)

VMA : Pori butir agregat didalam beton aspal (%)

VIM : Rongga udara dalam campuran (%)

13. Hasil bagi *Marshall (Marshall Quantient)*

Adalah perbandingan dari nilai stabilitas dan modulus daya tekan dari campuran aspal. Semakin tinggi nilai MQ maka nilai kekakuan juga tinggi pada campuran aspal yang mengakibatkan aspal rentan terhadap keretakan. Dirumuskan sebagai berikut :

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

MQ : *Marshall Quantient* (kg/mm)

F : Nilai kelelahan/*flow* (mm)

S : Stabilitas (kg)

2.7.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Menurut SNI-06-2480-1991 penentuan kadar optimum dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$B = \frac{(W1-W2)-(W3+W4)}{VMAW1-W2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

B : Kadar aspal (%)

W1 : Berat benda uji (%)

W2 : Berat air dalam benda uji (gr)

W3 : Berat mineral hasil ekstraksi (gr)

W4 : Berat mineral halus yang tertinggal dalam filtrat (gr)

2.8 Penelitian Terdahulu Yang Sejenis

No	Nama, tahun	Judul	Variabel	Hasil
1	Miftahulhair M, Muhlis MR, Badaron SF, Alifudin A, Bulgis, 2022	Pengaruh Penambahan Abu Batu Karang Terhadap Durabilitas pada Campuran Aspal Beton	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dan Abu batu karang	Nilai optimum stabilitas variasi penambahan abu batu karang 6% adalah 1066,55 kg dan durabilitas yang dihasilkan dengan durasi perendaman selama 1, 2, 3 dan 4 hari didapatkan dengan nilai indeks kekuatan sisa 94,87 %, 93,51 %, 88,54%, dan 64,07%.
2	Sihombing S, Rodji AP, Akbar JA, 2019	Analisis Penggunaan Serbuk Batu Karang Sebagai Filler pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dan Serbuk batu karang	Hasil paling tinggi adalah dari komposisi 50% filler semen portland dan 50% filler serbuk batu karang dengan nilai stabilitas 941,41 kg.
3	Akbar SJ, Welsi, Widari LA, Munawir K, 2019	Penggunaan Abu Batu Karang Sebagai Filler dan Pasir Besi Sebagai Agregat Halus Terhadap Parameter Marshall pada Campuran Aspal AC-BC	Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC), Batu karang dan Pasir besi	Kadar optimum aspal yang dihasilkan yaitu sebesar 6,2%. Pengujian laboratorium menghasilkan grafik yang naik turun. Stabilitas mengalami peningkatan pada variasi 25%, 50%, dan 75% dan mengalami penurunan pada variasi 100%. Peningkatan nilai density pada variasi 100%. Nilai VMA, VIM, VIM dan flow mengalami penurunan pada variasi 50%

				dan 100%. Pada nilai VFA dan MQ mengalami sedikit peningkatan untuk variasi 100%.
4	Wibowo P, Mabui DS, Yuniarta A, 2023	Karakteristik <i>Marshall</i> pada Campuran Aspal HRS-WC dengan Menggunakan Filler Batu Karang	Aspal Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) dan Batu karang	Kadar aspal paling optimum yang memenuhi spesifikasi bina marga 2018 revisi 2 untuk kasar aspal adalah 6,8% dengan nilai adalah 4,17%, nilai VMA adalah 18,36%, nilai adalah 77,30%, nilai stabilitas adalah 1311 kg, nilai flow adalah 3,79 mm, nilai MQ adalah 346,08 kg/mm.
5	Badaruddin, Zulkarnaen, Israjunna, Najimuddin D, Nuraini E, 2020	Pengaruh Penggunaan Pasir Laut Terhadap Stabilitas Aspal Beton (AC-WC)	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dan Pasir laut	Nilai stabilitas pasir laut 0% adalah 1771 kg, pasir laut 50 % adalah 1619 kg, pasir laut 100% adalah 1503 kg.
6	Agustyawan PE, Wiguna IS, 2019	Alternatif Penggunaan Pasir Laut Paciran Sebagai Bahan Susun Aspal Panas AC-WC	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dan Pasir laut	<i>Marshall</i> properties yang paling tinggi adalah substitusi pasir laut variasi 30% dengan hasil stabilitas 1029,27 kg, VIM 5,07%, VMA 16,35%, VFWA 81,36%, flow 2,98 mm dan MQ 343,85%. Pada substitusi pasir laut variasi 30% memenuhi SNI.
7	Putra A, Sylviana R, Gunarti ASS, 2015	Perbandingan Filler Pasir Laut dengan Abu Batu pada Campuran Panas Asphalt Trade Binder untuk	Asphalt Trade Binder, Abu batu dan Pasir laut	Nilai stabilitas dari filler pasir laut 8% adalah 1414,17 kg lebih besar dari pasir laut 4% adalah 1243,92 kg dan pasir laut 6% adalah 1300,98 kg.

		Perkerasan Lentur Dengan Lalu Lintas Tinggi		
8	Jaya TM, Bahri S, Razali MR, 2018	Studi Penggunaan Pasir Laut Sebagai Filler Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)	Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) dan Pasir laut	Pada penelitian ini mendapatkan hasil terbaik dan tertinggi pada variasi yang berbeda-beda untuk VMA variasi 100% sebesar 16,89%, VFA variasi 100% sebesar 81,78%, VIM kondisi normal 4,10%, kepadatan kondisi normal 2,35 T/m ³ , stabilitas kondisi normal 1519,23 kg, flow variasi 25% sebesar 4,52 mm, MQ kondisi normal 453,21 kg/mm. Penggunaan pasir laut sebagai filler ini mengakibatkan kadar aspal meningkat 2%.
9	Refi A, 2015	Efek Pemakaian Pasir Laut Sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas (AC-BC) dengan Pengujian <i>Marshall</i>	Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC) dan Pasir laut	Nilai yang dihasilkan pada kadar aspal optimum 7,5% untuk penggunaan agregat halus pasir sungai meliputi : density 2,251 gr/cc, VMA 20,621%, VFMA 73,418%, VITM 5,482%, flow 5,600 mm, stabilitas 1214,642 kg dan MQ 218,621 kg/mm. Untuk nilai yang dihasilkan pada kadar aspal optimum 6,25% untuk penggunaan agregat halus pasir sungai meliputi : density 2,293 gr/cc, VMA 17,828%, VFMA 67,773%, VITM 5,766%, flow

				05,517 mm, stabilitas 1484,128 kg dan MQ 270,388 kg/mm. Hasil ini masih berada range pada spesifikasi.
10	Sulistyo JA, 2023	Perilaku Aspal Wearing Course Terhadap Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) dengan Bahan Tambah Polyethylene dan Fine Agregat Slag	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC), LDPE dan Fine Agregat Slag	Untuk perendaman menerus komposisi terbaik terdapat pada variasi agregat slag 50% dan LDPE 6%. Sedangkan untuk perendaman berkala komposisi terbaik terdapat pada variasi agregat slag 0% dan 50% dengan LDPE 6% dan 8%.
11	Widiarso AR, Yahya ML, 2025	Analisis Asphalt Wearing Course (AC-WC) dengan Penambahan Abu Karang dan Pasir Laut Untuk Perkerasan Jalan	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC), Karang dan Pasir laut	Hasil Job Mix Design terbaik yaitu komposisi 4% abu karang dan 3% pasir laut pada sampel 2 dengan hasil 3,68% untuk nilai VIM; 16,23% untuk nilai VMA; 86,45% untuk nilai VFA, 1430,55 kg untuk nilai Stabilitas; 3,6 mm untuk nilai Flow dan 433,5 kg/mm untuk nilai MQ. Nilai Stabilitas terbaik diperoleh dari komposisi 4% abu karang dan 0% pasir laut dengan hasil 2023 kg.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tipe Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen atau kuantitatif. Pada umumnya penelitian ekperimental bertujuan agar mengetahui, memprediksi, dan membuktikan pengaruh dari hasil perlakuan pada subjek penelitian.

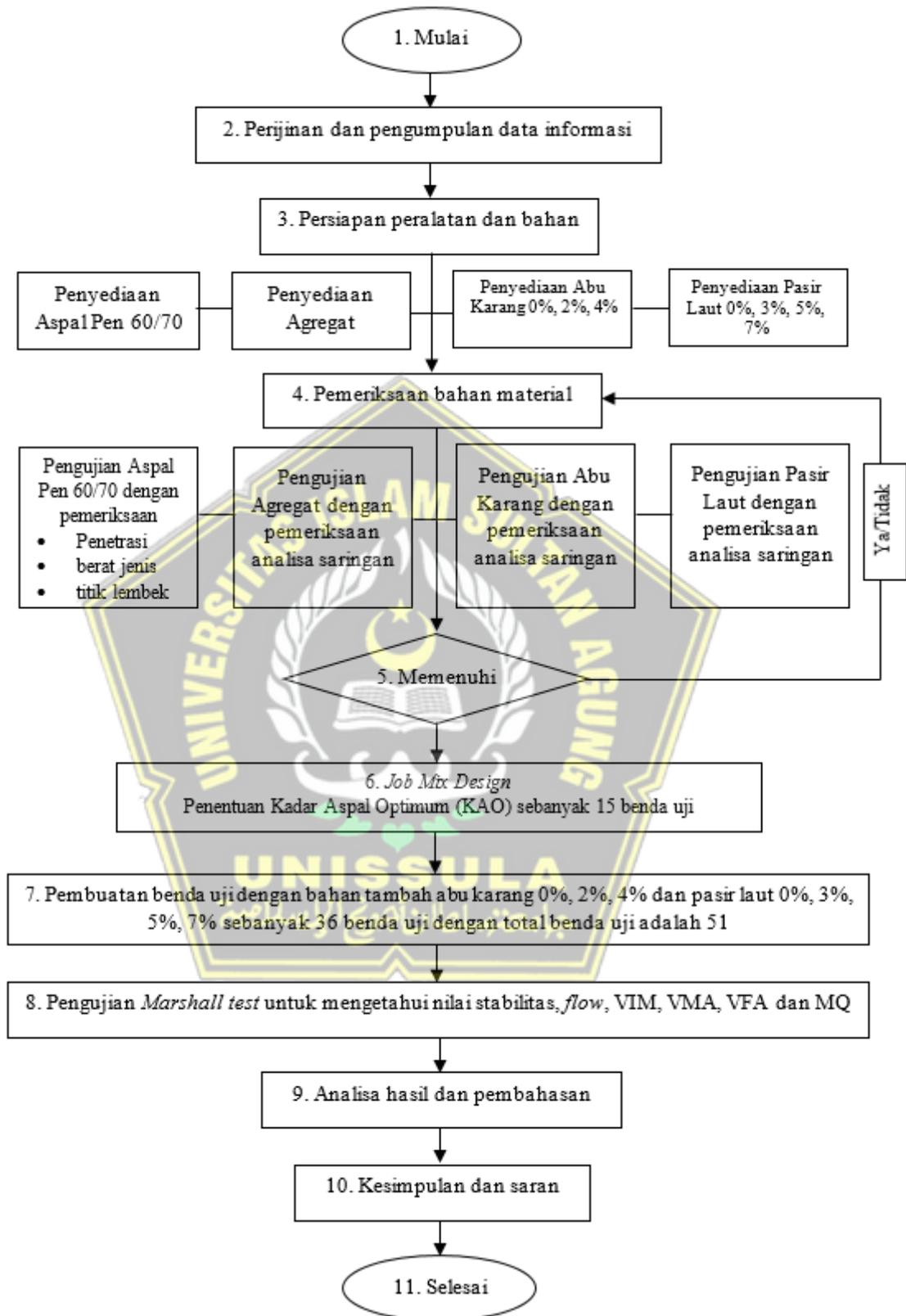
Penelitian ini mengambil data dari data primer dan data sekunder. Data primer merupakan data yang didapatkan dari hasil penelitian pada benda uji secara langsung. Sedangkan, data sekunder yaitu data yang didapatkan dari hasil uji suatu perusahaan. Pedoman pada penelitian kali ini menggunakan *American Society for Testing Material (ASTM)* dan Standar Nasional Indonesia (SNI).

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang meliputi :

1. Persiapan peralatan dan bahan penelitian
2. Pemeriksaan bahan material seperti :
 - a. Aspal pen 60/70
 - b. Agregat kasar
 - c. Agregat halus
 - d. *Filler*
 - e. Abu karang
 - f. Pasir laut
3. Persiapan pencampuran komposisi bahan material
4. Pembuatan sampel uji
5. Pengujian sampel uji

3.3 Bagan Alir



Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

3.4 Metode Analisis

Tempat pelaksanaan pada penelitian ini dilakukan di Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus dan Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Unissula untuk mencari nilai stabilitas dan komposisi pada aspal modifikasi.

Berikut adalah tahapan penelitian dari awal sampai akhir secara sistematis yang dilakukan menurut *American Society for Testing Material (ASTM)* dan Standar Nasional Indonesia (SNI).

1. Mulai

Tahap penelitian dimulai sesuai dengan prosedur penelitian yang telah ditentukan.

2. Perijinan dan Pengumpulan Data Informasi

a. Perijinan

Untuk penggunaan Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus dan Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Unissula diperlukan surat izin yang telah ditanda tangani untuk perijinan kepada Kepala Laboratorium tersebut.

b. Pengumpulan Data Informasi

Data informasi pada penelitian ini didapatkan dari pengumpulan beberapa referensi penelitian seperti jurnal, penelitian terdahulu serta pedoman yang ditentukan dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Terdapat 2 (dua) data yang dilakukan untuk pengumpulan data diantaranya :

- Data Sekunder

Data dari hasil pengujian material yang dilakukan oleh perusahaan. Data sekunder yang didapatkan yaitu aspal pen 60/70 dari Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus.

- Data Primer

Data dari hasil pembuatan benda uji yang dilakukan pada saat penelitian di Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus dan Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Unissula. Data primer yang didapatkan yaitu berat jenis material, hasil analisa saringan dan nilai *Marshall*.

3. Persiapan Peralatan dan Bahan

Pada penelitian ini terdapat beberapa peralatan serta bahan diantaranya sebagai berikut :

a. Alat uji agregat dan *filler*

1. Mesin *Los Angeles* untuk uji abrasi pada agregat.
2. Ayakan yang terdiri dari beberapa ukuran yaitu 1 ½, 1, ¾, ½, 3/8, no 4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200.
3. Oven sebagai pengering agregat.
4. Timbangan berat untuk mengetahui berat agregat.
5. Alat uji berat jenis seperti piknometer, timbangan dan pemanas.
6. Bak perendam dan tabung untuk tempat merendam benda uji.

b. Alat uji aspal

Alat untuk pengujian aspal yang dimaksudkan untuk mengetahui kualitas aspal yaitu alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji titik lembek, alat uji kelarutan, alat uji daktilitas.

c. Alat uji metode *Marshall test*

1. Alat uji *Marshall* terdiri dari cincin penguji dengan kapasitas 3000 kg dan kepala penekan dengan bentuk melengkung serta arloji sebagai pengukur kelelahan (*flow*).
2. Untuk alat cetak benda uji pada *Marshall* standar yang berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan memiliki tinggi 6 cm. Sedangkan alat cetak sampel uji *Marshall* modifikasi berdiameter 15,24 cm dan tinggi 9,52 cm serta dilengkapi plat dan leher sambung.
3. Untuk *Marshall* standar alat tumbuk manual dengan permukaan rata dengan bentuk silinder yang berdiameter 9,8 cm, berat 4,5 kg dengan tinggi jatuh bebas rata-rata 45 cm.
4. *Ejektor* sebagai alat untuk mengeluarkan sampel uji yang telah dipadatkan.

5. Beberapa alat penunjang lainnya yaitu panci, kompor, termometer, kipas angin, sendok, kaus tangan tahan panas, sarung tangan, kain lap, kaliper, spatula lab, timbangan, spidol untuk memberi tanda pada sampel uji.

d. Bahan

1. Agregat halus, kasar serta *filler* didapatkan dari Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus.
2. Memakai aspal penetrasi 60/70 didapatkan dari Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus.
3. Abu karang yang didapatkan dari proses produksi karang sehingga berbentuk seperti abu yang dimana karang tersebut diambil dari Pantai Empu Rancak Jepara dengan variasi 0%, 2%, 4%.
4. Pasir laut yang diperoleh dari pengambilan di Pantai Empu Rancak Jepara dengan variasi 0%, 3%, 5%, 7%.

4. Pemeriksaan Bahan Material

a. Aspal

Senyawa yang paling dominan pada aspal merupakan senyawa hidrokarbon. Karakteristik aspal menjamin tercapainya persyaratan spesifikasi. Pengujian bahan bitumen kali ini menggunakan aspal dengan penetrasi 60/70. Pengujian diperlukan untuk mengetahui sifat fisik aspal, diantaranya adalah sebagai berikut :

- Pemeriksaan penetrasi aspal pada SNI 06-2456-1991.
- Pemeriksaan titik lembek pada SNI 06-2434-1991.
- Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar pada SNI 06-2433-1991.
- Pemeriksaan penurunan berat minyak aspal pada SNI 06-2240-1991.
- Pemeriksaan kelarutan aspal dalam karbon tetraklorida/CC14 pada ASTM D5546.
- Pemeriksaan daktilitas pada SNI 06-2432-1991.
- Pemeriksaan berat jenis aspal pada SNI 06-2441-1991.
- Penetrasi setelah RTFOT pada SNI 06-2456-1991.

Aspal memiliki beberapa sifat – sifat campuran yaitu :

1. Stabilitas

Stabilitas dapat menahan gaya deformasi dan peleburan plastis karena beban lalu lintas statis dan dinamis, mencegah bekas aus roda, keriting dan perubahan permukaan jalan dengan nilai satuan kg atau KN. Nilai stabilitas tergantung pada gesekan butiran, penguncian partikel dan daya rekat.

2. Kelelahan (*flow*)

Perubahan bentuk yang disebabkan oleh beban ijin keruntuhan, yang dinyatakan dalam mm atau inci. Kelelahan ini disebabkan karena tingginya kadar aspal yang berakibat pada nilai hasil menyerupai campuran plastik. Sedangkan, kadar aspal yang rendah nilai pada campuran akan menunjukkan bahwa campuran memiliki sifat kaku.

3. Rongga dalam campuran (VIM)

Nilai VIM ini dinyatakan dalam persentase yang didapatkan dari jumlah pori-pori yang terdapat diantara butiran agregat yang telah dilapisi oleh campuran aspal beton padat.

4. Rongga diantara mineral agregat (VMA)

Pada VMA merupakan jumlah pori-pori yang didapatkan diantara butiran agregat pada aspal beton yang telah dipadatkan dan dinyatakan dalam persentase.

5. Rongga terisi aspal (VFA)

Persentase dari volume rongga yang ada diantara butiran agregat yang sudah terisi aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh butiran agregat.

6. *Marshall Quotient* (MQ)

Satuan dalam *Marshall quotient* ini adalah kilogram per milimeter. Nilai pada *Marshall quotient* ini didapatkan dari perbandingan antara nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*). Pada nilai MQ tinggi memiliki nilai kestabilan tinggi dan nilai kelelahan rendah maka campuran tersebut bersifat kaku yang dapat menyebabkan keretakan pada perkerasan saat

diberi beban lalu lintas. Sedangkan, untuk nilai MQ rendah memiliki nilai kelelahan tinggi dan nilai kestabilan rendah, nilai tersebut menunjukkan bahwa campuran memiliki sifat yang lebih cenderung plastis dan tidak stabil.

- b. Pengujian untuk material halus dan kasar pada tahapan ini meliputi :
- SNI 1969:2008 untuk pengujian berat jenis material kasar dan penyerapan material kasar.
 - SNI 2417:2008 untuk pengujian tingkat abrasi dan keausan material kasar.
 - ASTM D 4791-95 untuk menentukan partikel pipih serta lonjong.
 - SNI-06-2439-1991 untuk menguji daya ikat material terhadap aspal.
 - SNI 3407:2008 untuk menguji *Soundness*/uji sifat kekekalan bentuk agregat.
 - SNI 1970:2008 untuk pengujian pada berat jenis agregat halus dan penyerapan untuk material halus.
 - SNI 3423:2008 untuk pengujian kadar lumpur/*Sand Equivalent Test*.
 - SNI-M-02-1994-03 untuk analisis butiran.
- c. Abu karang
- Pemeriksaan pada bahan tambah abu karang yaitu dilakukan dengan cara :
1. Penyiapan peralatan dan bahan yang digunakan.
 2. Pencucian dan perendaman untuk memastikan bahwa karang dalam kondisi bersih dan terhindar dari kotoran.
 3. Pengeringan karang setelah perendaman dengan cara mengelap dan menaruhnya di atas sinar matahari atau di dalam oven hingga kering.
 4. Penumbukan dan penghalusan karang sampai halus sehingga menyerupai abu.
 5. Pengayakan abu karang dengan syarat lolos pada saringan no.100 sampai saringan no.200.
 6. Penimbangan hasil saringan abu karang sesuai kebutuhan dengan variasi 0%, 2%, 4%.

d. Pasir laut

Berikut beberapa tahapan pada pemeriksaan bahan tambah pasir laut :

1. Penyiapan peralatan dan bahan yang digunakan.
2. Pencucian dan perendaman untuk memastikan pasir laut dalam kondisi bersih dan terhindar dari kotoran.
3. Pengeringan pasir laut setelah perendaman dengan cara pengeringan di atas sinar matahari atau di dalam oven hingga kering.
4. Pengayakan pasir laut dengan syarat lolos pada saringan no.100 sampai saringan no.200.
5. Penimbangan hasil saringan pasir laut sesuai kebutuhan dengan variasi 0%,3%, 5%, 7%.

5. Hasil Pemeriksaan

Jika pada pemeriksaan bahan material sudah sesuai dan memenuhi pada spesifikasi umum maka dilanjutkan ke tahap berikutnya.

6. Job Mix Design

Tahapan selanjutnya yaitu merancang dan membuat sampel/benda uji dari semua material yang telah diuji dan telah memenuhi spesifikasi. Sampel/benda uji ini akan dilakukan pengujian spesimen dengan metode standar *Marshall* yang sesuai prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81 dan ASTM D-2042-76) berdasarkan variasi dari kadar aspal, desain dan benda uji atau hasil dari pencampuran material yang berguna untuk mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO) dari variasi kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan setiap variasi memiliki 3 sampel. Untuk kombinasi variasi bahan tambah abu karang 0%, 2%, 4% dan pasir laut 0%, 3%, 5%, 7% pada setiap variasi memiliki 3 sampel.

Tabel 3. 1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal (%)	Jumlah Sampel
4%	3
4,5%	3
5%	3
5,5%	3
6%	3
Total Sampel	15

Tabel 3. 2 Campuran Aspal Beton Normal

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Total sampel			3

Tabel 3. 3 Campuran Aspal Beton dengan AK 2% dan PL 0%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	2%	1,392 g
	Pasir Laut	0%	0 g
Jumlah Total		102%	1201,392 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 4 Campuran Aspal Beton dengan AK 4% dan PL 0%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	4%	2,784 g
	Pasir Laut	0%	0 g
Jumlah Total		104%	1202,784 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 5 Campuran Aspal Beton dengan AK 0% dan PL 3%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	0%	0 g
	Pasir Laut	3%	2,088 g
Jumlah Total		103%	1202,088 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 6 Campuran Aspal Beton dengan AK 2% dan PL 3%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	2%	1,392 g
	Pasir Laut	3%	2,088 g
Jumlah Total		105%	1203,48 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 7 Campuran Aspal Beton dengan AK 4% dan PL 3%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	4%	2,784 g
	Pasir Laut	3%	2,088 g
Jumlah Total		107%	1204,872 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 8 Campuran Aspal Beton dengan AK 0% dan PL 5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	0%	0 g
	Pasir Laut	5%	3,48 g
Jumlah Total		105%	1203,48 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 9 Campuran Aspal Beton dengan AK 2% dan PL 5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	2%	1,392 g
	Pasir Laut	5%	3,48 g
Jumlah Total		107%	1204,872 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 10 Campuran Aspal Beton dengan AK 4% dan PL 5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	4%	2,784 g
	Pasir Laut	5%	3,48 g
Jumlah Total		109%	1206,264 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 11 Campuran Aspal Beton dengan AK 0% dan PL 7%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	0%	0 g
	Pasir Laut	7%	4,872 g
Jumlah Total		107%	1204,872 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 12 Campuran Aspal Beton dengan AK 2% dan PL 7%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	2%	1,392 g
	Pasir Laut	7%	4,872 g
Jumlah Total		109%	1206,264 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 13 Campuran Aspal Beton dengan AK 4% dan PL 7%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40%	480 g
2	Medium Agregat	25%	300 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Pasir	3%	36 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Aspal	5,8%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Abu Karang	4%	2,784 g
	Pasir Laut	7%	4,872 g
Jumlah Total		111%	1207,656 g
Total Sampel			3

Tabel 3. 14 Jumlah Sampel Variasi Abu Karang dan Pasir Laut

Nama Sampel	Agg. Batu 3/4"		Agg. Batu 1/2"		Abu Batu		Pasir		Filler		Aspal		Abu Karang		Pasir Laut		Total Agregat		Jumlah Sampel
	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	
ASP0B1	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	0	0	0	0	1200	100	3
ASP0B2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1,392	2	0	0	1201,392	102	3
ASP0B3	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	2,784	4	0	0	1202,784	104	3
ASP1B1	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	0	0	2,088	3	1202,088	103	3
ASP1B2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1,392	2	2,088	3	1203,48	105	3
ASP1B3	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	2,784	4	2,088	3	1204,872	107	3
ASP2B1	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	0	0	3,48	5	1203,48	105	3
ASP2B2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1,392	2	3,48	5	1204,872	107	3
ASP2B3	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	2,784	4	3,48	5	1206,264	109	3
ASP3B1	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	0	0	4,872	7	1204,872	107	3
ASP3B2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1,392	2	4,872	7	1206,264	109	3
ASP3B3	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	2,784	4	4,872	7	1207,656	111	3
Jumlah Sampel Bahan Tambah																			36
Jumlah sampel (KAO) kadar aspal 4%;4,5%;5%;5,5%;6%																			15
TOTAL SAMPEL																			51

Suhu aspal saat pencampuran dengan agregat yaitu viskositas kinematik 170 ± 20 centistokes (cSt), sedangkan suhu aspal saat pemadatan dengan agregat yaitu viskositas kinematik 280 ± 30 centistokes (cSt). Umumnya suhu pencampuran aspal diantara $145-155^{\circ}\text{C}$, sedangkan suhu pemadatan aspal diantara $110-135^{\circ}\text{C}$.

Nilai dari data densitas, VIM, VMA, dan VFA didapatkan dari hasil rendaman spesimen dalam air selama 24 jam sebelum ditimbang saat dalam air dan juga dalam kondisi kering permukaan jenuh, setelah itu sampel direndam kedalam air dengan suhu 60°C selama 30 menit. Alat uji *Marshall* menghasilkan nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), dan *Marshall Quotient* (MQ). Sehingga komposisi optimum dalam pencampuran aspal ini didapatkan dari hasil uji *marshall* tersebut.

Tahapan selanjutnya yaitu memastikan hasil uji material sudah mencukupi syarat spesifikasi Teknis Bina Marga tahun 2018 serta menampilkan data terkait nilai stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*.

7. Pembuatan Benda Uji

Berikut adalah tahapan-tahapan dari pembuatan benda uji :

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan dalam pembuatan benda uji serta menentukan persentase pada setiap material yang digunakan.
2. Memisahkan setiap material ke dalam fraksi sesuai ketentuan dengan melakukan penyaringan dan penimbangan.
3. Memanaskan agregat sampai dengan suhu 150°C serta memasukkan aspal leleh sebanyak kebutuhan peneliti dan diaduk sampai tercampur merata.
4. Menyiapkan cetakan benda uji yang sudah dibersihkan dan sudah diolesi pelumas serta meletakkan pada dasar cetakan dengan menggunakan kertas saring atau kertas penghisap yang sesuai dengan ukuran cetakan.
5. Memastikan bahwa campuran masih berada pada suhu diantara 90°C - 150°C .
6. Memasukkan hasil campuran ke dalam cetakan dan melakukan tusukan menggunakan spatula lab ke dalam campuran sebanyak 15 kali bagian

pinggir cetakan dan 10 kali bagian tengah cetakan untuk memastikan semua campuran merata.

7. Meletakkan kertas saring sesuai dengan ukuran cetakan di atas cetakan yang sudah terisi campuran.
8. Melakukan proses pemadatan pada sisi atas dan sisi bawah cetakan dengan menggunakan alat penumbuk sebanyak 75 kali dengan tinggi jatuh rata-rata 45 cm.
9. Setelah suhu pada benda uji turun selanjutnya keluarkan benda uji pada cetakan dengan alat dongkrak hidrolik dan diberi tanda/label pada setiap benda uji.
10. Meletakkan sampel uji di permukaan yang rata dan dibiarkan pada suhu ruang selama ± 24 jam.

8. Pengujian Benda Uji Menggunakan *Marshall Test*

Tahap-tahap pengujian pada benda uji yaitu :

1. Memastikan sampel uji dalam kondisi bersih dan selanjutnya mengukur tinggi pada sampel uji dengan ketelitian 0,1 mm dengan menggunakan jangka sorong dan menghitung berat pada setiap sampel uji dalam kondisi kering.
2. Merendam sampel uji selama ± 24 jam ke dalam air di suhu ruang untuk memastikan benda uji jenuh.
3. Menimbang dan menghitung berat sampel uji pada saat di dalam air. Setelah itu mengeluarkan sampel uji dari bak perendam dan mengeringkannya.
4. Menimbang sampel uji untuk mendapatkan berat sampel uji kering permukaan jenuh *Saturated Surface Dry (SSD)*.

Pada pengujian ini benda uji akan diuji menggunakan *Marshall test* dengan prosedur yang ditentukan oleh RSNI M-01-2003.

Alat uji *Marshall* memiliki kekuatan 220 volt dan dirancang agar memberikan tekanan pada sampel uji untuk uji *semi circular testing head* dengan kecepatan konstan yaitu 51 mm/menit. Pada alat pengujian ini juga terdapat alat *water bath* yang memiliki *thermometer* yang mampu menahan

suhu sampai $\pm 200^{\circ}\text{C}$ dan dilengkapi dengan pengaturan suhu minimum 20°C dengan kedalaman 150 mm serta memiliki rak bawah 50 mm.

Berikut adalah tahapan-tahapan dari pengujian benda uji menggunakan *Marshall test* :

1. Merendam sampel uji ke dalam bak selama 30-40 menit dengan suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
2. Membersihkan dan memberi pelumas pada bagian dalam permukaan kepala penekan yang bertujuan untuk melepaskan benda uji setelah pengujian.
3. Menempatkan cetakan stabilitas dan *dial flow* pada mesin tekan, kemudian meletakkan sampel uji pada cetakan serta menyetel dial pada angka nol.
4. Memposisikan piston supaya berada pada poros cetakan stabilitas.
5. Menekan tombol UP untuk pembebanan dan tombol OFF untuk menghentikan pembebanan saat mencapai kelelahan maksimum serta mencatat nilai yang didapat.
6. Mencatat nilai pembebanan *proving ring*.
7. Menekan tombol *Down* untuk menurunkan pembebanan dan mengeluarkan benda uji serta membuka sisi atas pada cetakan.
8. Setelah mendapatkan nilai stabilitas dan *flow* maka selanjutnya menghitung parameter *Marshall* (VIM, VMA, VFA, dan MQ).

9. Analisa dan Pembahasan

Hasil dari tahapan penelitian didapatkan dari pengumpulan dan analisis semua data yang diperoleh seperti nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ dari pemeriksaan pencampuran setiap agregat dan aspal.

10. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dari hasil pengujian dan penawaran hasil penelitian terhadap peneliti lain dari penelitian terkait.

11. Selesai

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Material

Penelitian ini dijalankan melalui beberapa tahap yaitu tahap persiapan bahan penelitian, pembuatan sampel uji, penentuan kadar aspal serta pengujian di laboratorium. Pada tahap penyediaan bahan diambil dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus. Material yang disiapkan mulai dari agregat batu pecah dan aspal penetrasi 60/70. Semua proses pembuatan benda uji dan properties material, uji aspal dan pengujian *Marshall* dilakukan di Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus dan Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Unissula.



Gambar 4. 1 Pengambilan Agregat Material
(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

4.2 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70

Pada penelitian ini menggunakan material aspal pen 60/70 atau biasa disebut aspal Pertamina. Pada pengujian aspal polimer ini ada 5 parameter yaitu penetrasi, titik lembek, titik nyala, massa jenis aspal dan daktilitas. Parameter ini digunakan untuk menunjukkan karakteristik pada aspal polimer yang digunakan untuk campuran pada perkerasan lentur. Hasil pengujian tercantum pada **Tabel 4.1** yang menggunakan Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976 Bina Marga.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat Aspal 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	64,5	SNI 2456:2011	Memenuhi
2	Titik Lembek (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	48	58	57	SNI 2434:2011	Memenuhi
3	Titik Nyala (<i>Cleaveland Open Cup</i>)	°C	Min 200	-	314	SNI 2433:2011	Memenuhi
4	Daktalitas	cm	Min 100	-	152	SNI 2432:2011	Memenuhi
5	Berat Jenis	gr/ml	Min 1,0	-	1,033	SNI 2441:2011	Memenuhi

Proses campuran aspal polimer dipengaruhi oleh 3 faktor penting yaitu suhu saat proses pencampuran, durasi pengadukan serta kemampuan pengadukan (mixer). Pencampuran aspal polimer dilakukan selama kurang lebih 2,3 – 3 jam dengan pengadukan sebesar 2000 rpm dengan suhu 150°C – 170°C.

4.3 Hasil Pengujian Agregat

Dalam pengujian material kasar meliputi abrasi menggunakan mesin *Los Angeles*, bentuk properties, kelekatan material pada aspal, gradasi material, berat jenis, berat jenis semu, berat jenis permukaan jenuh, angularitas, penyerapan, material lolos saringan no. 200, partikel pipih dan *sand equivalent*. Hasil pengujian tercantum pada **Tabel 4.2** yang menggunakan Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976 Bina Marga.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat Kasar				
1	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-2008	Maks. 40%	14,01%	Memenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap aspal pen 60/70	SNI 03-2439-2011	Min. 95%	98%	Memenuhi
3	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	8,89%	Memenuhi
4	Material lolos saringan no.200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,6%	Memenuhi
5	Penyerapan air oleh agregat <ul style="list-style-type: none"> • Agregat kasar ½ • Agregat kasar 3/8 	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1,583% 2,064%	Memenuhi
6	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) <ul style="list-style-type: none"> • Agregat kasar 0,5/1 • Agregat kasar ½ 	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%	2,661% 2,652%	Memenuhi
B	Agregat Halus				
1	Material lolos saringan no.200	SNI 03-4142-1992	Maks. 15%	10,56%	Memenuhi
2	Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%	46,92%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat <ul style="list-style-type: none"> • Agregat halus (pasir) • Agregat halus (abu batu) 	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1,583% 2,064%	Memenuhi
4	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) <ul style="list-style-type: none"> • Agregat halus (pasir) • Agregat halus (abu batu) 	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%	2,651% 2,652%	Memenuhi

Material yang diambil dari Labtek PT Delta Marga AMP Tanjung Mojo Kudus sudah melalui pengujian dan hasilnya memenuhi persyaratan spesifikasi 2018, maka material tersebut diperbolehkan untuk campuran aspal AC-WC dan *filler* yang akan digunakan yaitu semen *Portland* (PC).

4.3.1 Hasil Pemeriksaan Agregat $\frac{3}{4}$

Agregat $\frac{3}{4}$ meliputi dari material kasar yang lolos saringan no. 1 $\frac{1}{2}$ – no. $\frac{3}{4}$ dan tertahan saringan no. $\frac{1}{2}$ sampai saringan no. 200. Detail hasil gradasi dilihat pada **Tabel 4.3** berdasarkan peraturan dari (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88).

Tabel 4. 3 Hasil Analisa Pembagian Butiran Agregat $\frac{3}{4}$

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata - rata
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	
11/2"	37.5							
1"	25.0							
3/4"	19.0	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
1/2"	12.5	1814	35.31	64.69	1755	35.01	64.99	64.84
3/8"	9.5	3594	69.96	30.04	3446	68.74	31.26	30.65
# 4	4.75	4972	96.79	3.21	4867	97.09	2.91	3.06
# 8	2.36	5116	99.59	0.41	4991	99.56	0.44	0.43
# 16	1.15	5116	99.59	0.41	4991	99.56	0.44	0.43
# 30	0.6	5116	99.59	0.41	4991	99.56	0.44	0.43
# 50	0.3	5116	99.59	0.41	4991	99.56	0.44	0.43
#100	0.15	5116	99.59	0.41	4991	99.56	0.44	0.43
# 200	0.075	5116	99.59	0.41	4991	99.56	0.44	0.43
Weight Of Sample (gr)		5137			5013			

Pada analisa saringan untuk material kasar pada agregat $\frac{3}{4}$, material yang lolos saringan no. $\frac{3}{4}$ sebanyak 100% dan yang tertahan saringan no. $\frac{1}{2}$ atau 12,5mm sebanyak 35,31%. Untuk material medium yang lolos saringan no. $\frac{3}{8}$ sebanyak 30,65% dan tertahan saringan no. 4 atau 4,75mm sebanyak 97,09%.

4.3.2 Hasil Pemeriksaan Agregat $\frac{1}{2}$

Agregat $\frac{1}{2}$ meliputi material medium atau agregat kasar yang lolos saringan no. 1 $\frac{1}{2}$ – no. $\frac{1}{2}$ dan tertahan mulai dari saringan no. $\frac{3}{8}$ sampai saringan no. 200. Detail hasil gradasi dilihat pada **Tabel 4.4** berdasarkan peraturan dari (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88).

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran $\frac{1}{2}$

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata - rata
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	
11/2"	37.5							
1"	25.0							
3/4"	19.0							
1/2"	12.5	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/8"	9.5	406.3	16.17	83.83	372.3	14.66	85.34	84.59
# 4	4.75	1486.6	59.15	40.85	1455.4	57.29	42.71	41.78
# 8	2.36	2018.1	80.30	19.70	2050.6	80.72	19.28	19.49
# 16	1.15	2401.8	95.56	4.44	2422.8	95.37	4.63	4.54
# 30	0.6	2456.7	97.75	2.25	2470.1	97.23	2.77	2.51
# 50	0.3	2468.1	98.20	1.80	2497.8	98.32	1.68	1.74
#100	0.15	2476.9	98.55	1.45	2501.6	98.47	1.53	1.49
# 200	0.075	2501.0	99.51	0.49	2534.5	99.77	0.23	0.36
Weight Of Sample (gr)		2513,3			2540,4			

Pada analisa saringan untuk material kasar pada agregat ½, material yang lolos saringan no. ½ sebanyak 100% dan yang tertahan saringan no. 3/8 atau 9,52mm sebanyak 16,17%. Untuk material medium yang lolos saringan no. 3/8 sebanyak 84,59% dan tertahan saringan no. 4 atau 4,75mm sebanyak 59,15%.

4.3.3 Hasil Pemeriksaan Abu Batu

Abu batu adalah material halus yang lolos saringan no. 1 ½ – no. 4 dan tertahan mulai dari saringan no. 8. Detail hasil gradasi dilihat pada **Tabel 4.5** berdasarkan peraturan dari (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88).

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Butiran Abu Batu

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata - rata
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	
1 1/2"	37,5							
1"	25,0							
3/4"	19,0							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75	-		100,00	-	-	100,00	100,00
# 8	2,36	221,7	19,79	80,21	286,2	22,67	77,33	78,77
# 16	1,15	448,3	40,02	59,98	538,1	42,63	57,37	58,68
# 30	0,6	653,4	58,33	41,67	760,1	60,22	39,78	40,73
# 50	0,3	748,2	66,80	33,20	859,8	68,11	31,89	32,55
#100	0,15	887,8	79,26	20,74	980,6	77,68	22,32	21,53
# 200	0,075	1011,6	90,31	9,69	1139,4	90,26	9,74	9,72
Weight Of Sample (gr)		1120,1			1262,3			

Pada analisa saringan untuk agregat halus pada agregat abu batu, material yang lolos saringan no. ½ sebanyak 100% dan yang tertahan saringan no. 3/8 atau 9,52mm sebanyak 100%. Untuk agregat medium yang lolos saringan no. 4 sebanyak 100% dan tertahan saringan no. 8 atau 2,36mm sebanyak 22,67%.

4.3.4 Hasil Pemeriksaan Agregat Pasir

Pasir adalah material halus yang lolos dari saringan no. 1 ½ – no. 30 dan tertahan saringan no. 50. Detail hasil gradasi dilihat pada **Tabel 4.6** berdasarkan peraturan dari (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88).

Tabel 4. 6 Hasil Analisa Pembagian Butiran Pasir

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata - rata
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	
11/2"	37,5	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
1"	25,0	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/4"	19,0	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
1/2"	12,5	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/8"	9,5	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 4	4,75	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 8	2,36	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 16	1,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 30	0,6	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 50	0,3	751	73,33	26,67	782	75,48	24,52	25,60
#100	0,15	901	87,99	12,01	867	83,72	16,28	14,15
# 200	0,075	943	92,09	7,91	950	91,65	8,35	8,13
Weight Of Sample (gr)		1024,4			1036,1			

Pada analisa saringan untuk material halus pada agregat pasir, material yang lolos saringan no. 30 atau 0,6mm sebanyak 100% dan yang tertahan saringan no. 50 atau 0,3mm sebanyak 75,48%. Untuk material medium yang lolos saringan no. 30 sebanyak 100% dan tertahan saringan no. 50 sebanyak 100%.

4.3.5 Hasil Pemeriksaan *Filler*

Filler sebagai pengganti semen *Portland*, yang lolos saringan no. 8 – no. 100 dan tertahan mulai dari saringan no. 200. Detail hasil gradasi dilihat pada **Tabel 4.7** berdasarkan peraturan dari (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88).

Tabel 4. 7 Hasil Analisa Pembagian Butiran *Filler*

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata - rata
inch	mm	gr	%	%	gr	%	%	
11/2"	37,5	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
1"	25,0	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/4"	19,0	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
1/2"	12,5	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/8"	9,5	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 4	4,75	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 8	2,36	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 16	1,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 30	0,6	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 50	0,3	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
#100	0,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 200	0,075	1,3	1,27	98,73	1,5	1,26	98,74	98,74
Weight Of Sample (gr)		104,1			115,4			

Pada analisa saringan *filler*, material yang lolos saringan no. 1 sampai dengan saringan no. 200 sebanyak 98,74% dan yang tertahan saringan no. 200 atau 0,75mm sebanyak 1,27%.

4.4 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

Kombinasi agregat merupakan penggabungan dari masing-masing material yang lolos saringan no. 3/4 dan tertahan dari saringan no. 1/2 sampai no. 200, yang meliputi dari agregat 3/4, agregat 1/2, abu batu, pasir dan *filler* (semen). Detail hasil kombinasi dilihat pada **Tabel 4.8** dibawah ini.

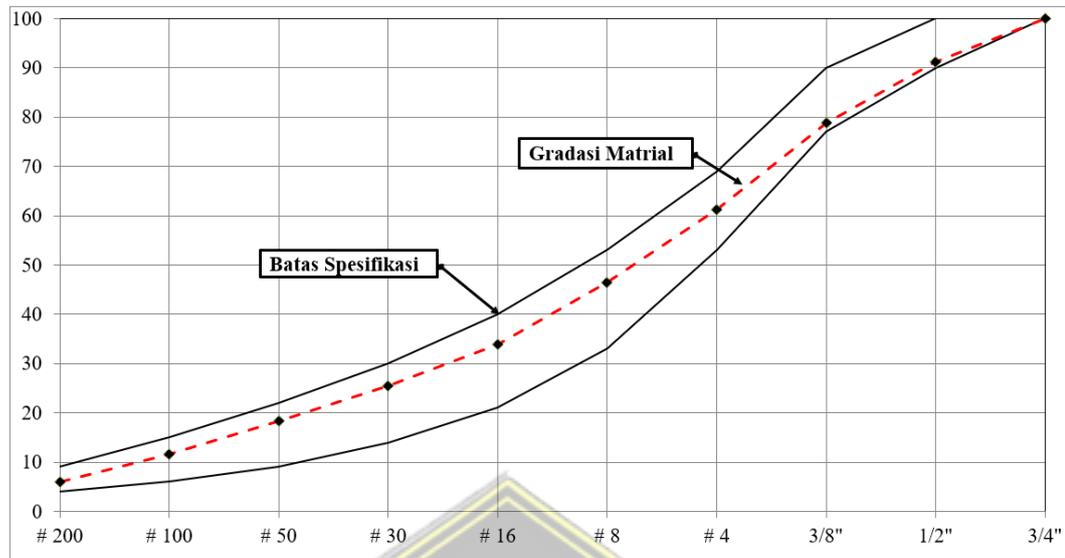
Tabel 4. 8 Perhitungan Kombinasi Agregat

Uraian		1" 25	3/4" 19	1/2" 12,7	3/8" 9,5	# 4 4,75	# 8 2,36	# 16 1,18	# 30 0,6	# 50 0,3	# 100 0,15	# 200 0,075
Data Material												
Batu Pecah Max 3/4'		100,00	100,00	64,84	30,65	3,06	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
Batu Pecah Max 1/2'		100,00	100,00	100,00	84,59	41,78	19,49	4,54	2,51	1,74	1,49	0,36
Abu Batu		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	78,77	58,68	40,73	32,55	21,53	9,72
Pasir		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	14,15	8,13
Filler Semen		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,74
Batu Pecah Max 3/4'	25,0%	25,00	25,00	16,21	7,66	0,77	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11
Batu Pecah Max 1/2'	25,0%	25,00	25,00	25,00	21,15	10,45	4,87	1,13	0,63	0,44	0,37	0,09
Abu Batu	40,0%	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	31,51	23,47	16,29	13,02	8,61	3,89
Pasir	3,0%	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	0,77	0,42	0,24
Filler Semen	1,2%	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,18
Total Campuran	100%	100,00	100,00	91,21	78,81	61,21	46,49	33,95	25,47	18,43	11,64	6,04
Spesifikasi Gradasi												
Max		100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9
Min		100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4
Toleransi Komposisi												
max		100,00		100,00	88,50	66,00	46,00	33,50	25,00	18,50	12,50	7,50
min		95,00		90,00	78,50	56,00	40,00	27,50	19,00	12,50	8,50	5,50
Luas Permukaan Agregat		6,87										

Berdasarkan **Tabel 4.8** diatas hasil kombinasi agregat dengan total campuran gradasi masing-masing saringan memiliki batas Max dan Min dari spesifikasi yang telah ditentukan. Berat material rencana pada kapasitas mold yang ada. Contoh pada campuran AC-WC yaitu 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
- Material (3/4') = 25% x 1200 = 300 gr
- Material (1/2') = 25% x 1200 = 300 gr
- Abu batu = 40% x 1200 = 480 gr
- Pasir = 3% x 1200 = 36 gr
- *Filler* = 1,2% x 1200 = 14,4 gr
- Total agregat = 1130,4 gr

Detail grafik kombinasi agregat dilihat pada **Grafik 4.1** dibawah ini.



Grafik 4.1 Kombinasi Agregat

Pada grafik **Grafik 4.1** diatas presentase kombinasi material lolos saringan no. 200 atau 200 mm sampai saringan no. 1 tidak diizinkan melampaui batas bawah dan atas pada masing-masing jenis material yang disaring. Jika ada agregat yang melampaui batas atas maupun bawah pada salah satu saringan maka material tidak diizinkan menjadi campuran pengisi AC-WC.



4.5 Pembuatan Benda Uji

Pada penelitian ini menggunakan kadar aspal 5,8% dengan variasi bahan tambah abu karang sebanyak 0%, 2%, 4% dan pasir laut sebanyak 0%, 3%, 5%, 7%. Setiap variasi memiliki benda uji sebanyak 3 buah dengan total adalah 51 sampel uji yang dapat dilihat pada **Tabel 4.9** dibawah ini.

Tabel 4.9 Pembuatan Benda Uji

No	Komposisi	Benda Uji
1	Abu Karang 0% + Pasir Laut 0%	3 sampel
2	Abu Karang 2% + Pasir Laut 0%	3 sampel
3	Abu Karang 4% + Pasir Laut 0%	3 sampel
4	Abu Karang 0% + Pasir Laut 3%	3 sampel
5	Abu Karang 2% + Pasir Laut 3%	3 sampel
6	Abu Karang 4% + Pasir Laut 3%	3 sampel
7	Abu Karang 0% + Pasir Laut 5%	3 sampel
8	Abu Karang 2% + Pasir Laut 5%	3 sampel
9	Abu Karang 4% + Pasir Laut 5%	3 sampel
10	Abu Karang 0% + Pasir Laut 7%	3 sampel
11	Abu Karang 2% + Pasir Laut 7%	3 sampel
12	Abu Karang 4% + Pasir Laut 7%	3 sampel
Kadar Aspal (4%; 4,5%; 5%; 5,5%; 6%)		15 sampel
Total Benda Uji		51 sampel



Gambar 4.2 Sampel Benda Uji

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Setiap variasi memiliki benda uji berjumlah 3 sampel yang digunakan untuk pembandingan apabila salah satu sampel belum mencukupi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

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

Berat jenis maksimal campuran beraspal ditentukan dengan mengukur berat dan volume sampel uji, di mana udara yang terdapat di antara butir-butir sampel uji dihilangkan melalui proses pengisapan.

4.6.1 Berat Jenis Dengan Campuran Komposisi Normal (GMM)

Pengujian berat jenis pada campuran aspal sebanyak 5 variasi kadar aspal yaitu 4%; 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dengan 2 sampel uji masing – masing pada variasi aspal.

Tabel 4. 10 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Komposisi Normal (GMM)

No	Uraian Pemeriksaan		4%		4,50%		5%		5,50%		6%	
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Sampel + Botol	Gr	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365
2	Berat Botol	Gr	765	765	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Sampe (1 - 2)	Gr	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Air	Gr	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898
5	Berat Botol + Sampel + Air	Gr	2281	2278	2279	2281	2285	2282	2246	2250	2227	2230
6	Berat Jenis $3/((3+4)-5)$	Gr/Cc	2,770	2,727	2,740	2,765	2,817	2,778	2,381	2,419	2,214	2,239
7	Suhu Air	°C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
8	Koreksi Suhu		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
9	Berat Jenis $T(6 \times 8)$	Gr/Cc	2,770	2,727	2,739	2,764	2,816	2,777	2,380	2,419	2,214	2,238
10	<i>Rata - rata per variasi</i>	Gr/Cc	2,749		2,752		2,797		2,400		2,226	

Pada pemeriksaan berat jenis campuran aspal memiliki 5 variasi kadar aspal yaitu 4%; 4,5%; 5%; 5,5%; 6% dengan hasil berat jenis maksimal aspal adalah 2,467 gr/cc.

4.6.2 Berat Jenis Dengan Campuran Pada Aspal Modifikasi (GMM)

Pengujian berat jenis pada campuran aspal modifikasi sebanyak 12 variasi abu karang dan pasir laut dengan 2 sampel uji masing – masing pada variasi aspal.

Tabel 4. 11 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal Modifikasi (GMM)

No	Uraian Pemeriksaan		ASP0B1		ASP0B2		ASP0B3		ASP1B1	
			1	2	1	2	1	2	1	2
Kadar Aspal : 5.8 %										
1	Berat Sampel + Botol	Gr	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365
2	Berat Botol	Gr	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Sampel (1 - 2)	Gr	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Air	Gr	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898
5	Berat Botol + Sampel + Air	Gr	2248	2252	2246	2250	2250	2249	2250	2246
6	Berat Jenis $3/((3+4)-5)$	Gr/Cc	2,400	2,439	2,381	2,419	2,419	2,410	2,419	2,381
7	Suhu Air	°C	25	25	25	25	25	25	25	25
8	Koreksi Suhu		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
9	Berat Jenis $Te(6 \times 8)$	Gr/Cc	2,400	2,439	2,380	2,419	2,419	2,409	2,419	2,380
10	<i>Rata - rata per variasi</i>	Gr/Cc	2,420		2,400		2,414		2,400	

No	Uraian Pemeriksaan		ASP1B2		ASP1B3		ASP2B1		ASP2B2	
			1	2	1	2	1	2	1	2
Kadar Aspal : 5.8 %										
1	Berat Sampel + Botol	Gr	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365
2	Berat Botol	Gr	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Sampel (1 - 2)	Gr	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Air	Gr	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898
5	Berat Botol + Sampel + Air	Gr	2247	2244	2246	2251	2256	2252	2242	2244
6	Berat Jenis $3/((3+4)-5)$	Gr/Cc	2,390	2,362	2,381	2,429	2,479	2,439	2,344	2,362
7	Suhu Air	°C	25	25	25	25	25	25	25	25
8	Koreksi Suhu		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
9	Berat Jenis Te(6 x 8)	Gr/Cc	2,390	2,362	2,380	2,429	2,479	2,439	2,343	2,362
10	Rata - rata per variasi	Gr/Cc	2,376		2,405		2,459		2,353	

No	Uraian Pemeriksaan		ASP2B3		ASP3B1		ASP3B2		ASP3B3	
			1	2	1	2	1	2	1	2
Kadar Aspal : 5.8 %										
1	Berat Sampel + Botol	Gr	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365	1365
2	Berat Botol	Gr	765	765	765	765	765	765	765	765
3	Berat Sampel (1 - 2)	Gr	600	600	600	600	600	600	600	600
4	Berat Botol + Air	Gr	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898	1898
5	Berat Botol + Sampel + Air	Gr	2247	2251	2248	2250	2247	2253	2245	2249
6	Berat Jenis $3/((3+4)-5)$	Gr/Cc	2,390	2,429	2,400	2,419	2,390	2,449	2,372	2,410
7	Suhu Air	°C	25	25	25	25	25	25	25	25
8	Koreksi Suhu		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
9	Berat Jenis Te(6 x 8)	Gr/Cc	2,390	2,429	2,400	2,419	2,390	2,448	2,371	2,409
10	Rata - rata per variasi	Gr/Cc	2,410		2,410		2,419		2,390	
11	Rata - rata total variasi	Gr/Cc	2,404							

Pada pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi memiliki 12 variasi abu karang dan pasir laut dengan hasil berat jenis rata-rata aspal adalah 2,404 gr/cc.

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

Kadar aspal pada campuran yaitu jumlah aspal yang terkandung pada campuran beraspal yang diperoleh melalui proses ekstraksi menggunakan alat refluk ekstraktor. Tujuan pada pengujian ini untuk mengetahui kandungan aspal pada campuran (agregat + aspal) yang akan digunakan dalam perencanaan perkerasan jalan.

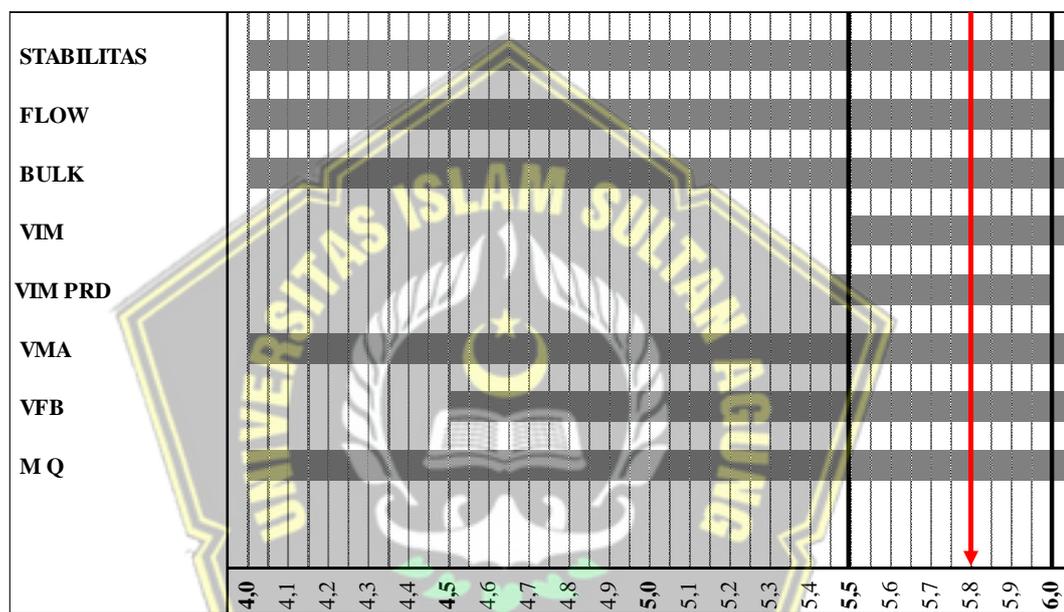
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kadar Aspal

No	Uraian Pemeriksaan	No. 1	No. 2	Sat	
A	Berat Pan / Cawan	105,6	105,6	Gr	
B	Berat Material + Pan Sebelum	553,8	546	Gr	
C	Berat Material + Pan Sesudah	534,1	527,2	Gr	
D	Berat Sebelum Ekstraksi	(B - A)	448,2	440,4	Gr
E	Berat Setelah Ekstraksi	(C - A)	428,5	421,6	Gr
F	Berat Kertas Filter	6,5	6,5	Gr	
G	Berat Total Mineral	(C - A - F)	422	415,1	Gr
H	Berat Aspal Dalam Campuran	(D - G)	26,2	25,3	Gr
I	Prosen (%) Aspal Dalam Campuran	(H / D x 100)	5,85	5,74	%
Rata-Rata		5,80		%	

Berdasarkan tabel diatas hasil uji ekstraksi pada campuran aspal bisa diambil kesimpulan Kadar Aspal Optimum diperoleh 5,8%.

4.7.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

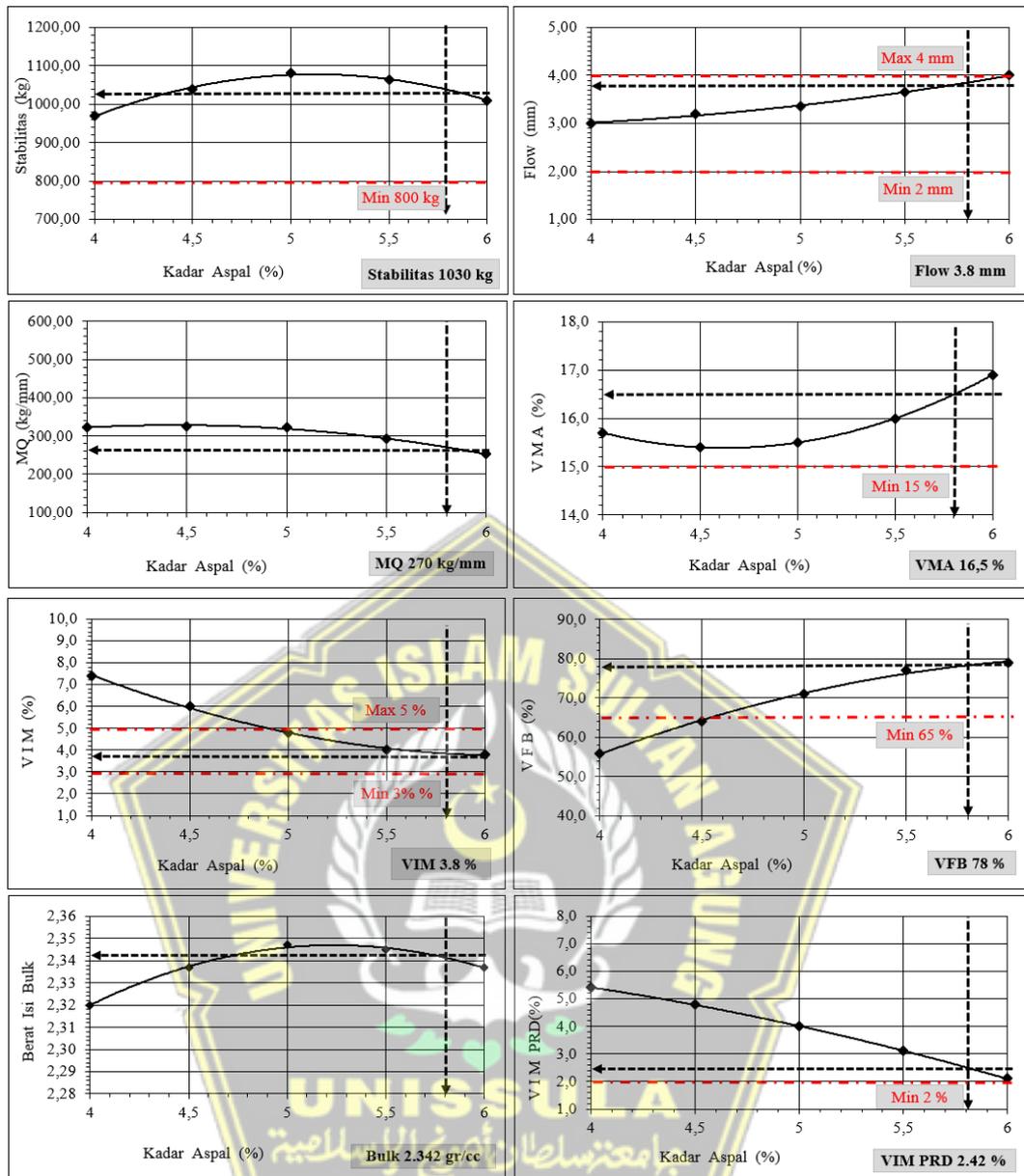
Dalam penelitian kali ini ditetapkan variasi kadar aspal rencana yaitu 4%; 4,5%; 5%; 5,5%; 6%. Parameter-parameter yang menjadi pedoman untuk menentukan KAO meliputi: stabilitas, kelelahan (*flow*), volume rongga dalam agregat (VMA), *Marshall Quotient* (MQ), volume rongga pada campuran (VIM) dan volume rongga yang diisi aspal (VFB).



KADAR ASPAL TERPILIH = 5,8%

Gambar 4. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari hasil penentuan kadar aspal optimum sifat-sifat campuran aspal batas atas dan bawah juga bisa diambil kesimpulan Kadar Aspal Optimum yang didapatkan adalah 5,8%.



Grafik 4. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari gambar grafik diatas bisa diambil kesimpulan bahwa hasil VIM, VMA, VFA, MQ, stabilitas, *flow*, VFB dan VIM PRD memiliki KAO sebesar 5,8%.

4.8 Hasil Pengujian *Marshall Test*

Setelah dilakukan penentuan *Job Mix Design* dengan pembuatan 51 sampel uji aspal. Selanjutnya tiap sampel diukur beratnya mulai dari saat kering, setelah perendaman selama 24 jam dan pada saat kondisi *Saturated Surface-Dry* (SSD). Pada saat proses perendaman dilakukan pada alat *waterbath* (pemanasan sampel yang direndam dalam air yang sudah dipanaskan) pada suhu 60°C selama 30 menit

atau 24 jam, sebelum dilakukan pengukuran. Untuk menemukan nilai *flow* (kelelehan) dan stabilitas pada sampel aspal, perlu direndam dalam *waterbath* setelah itu bisa dilakukan uji *Marshall*.

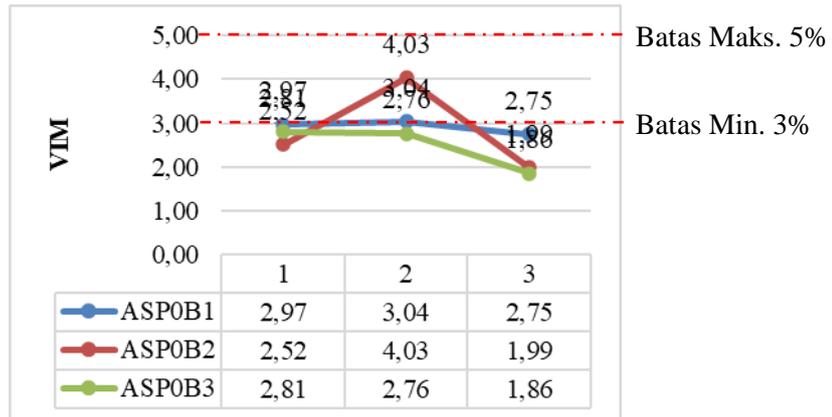
Pengujian alat *Marshall* bertujuan menemukan nilai stabilitas, *flow*, MQ, VMA, VIM dan VFA yang telah mencukupi syarat dari Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2).

4.8.1 Hasil Uji *Marshall Test* Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%)

Hasil pada pengujian alat *Marshall test* untuk komposisi aspal modifikasi dengan variasi abu karang 0% pasir laut 0%; abu karang 2% pasir laut 0%; abu karang 4% pasir laut 0% dilihat pada **Tabel 4.13** dibawah ini.

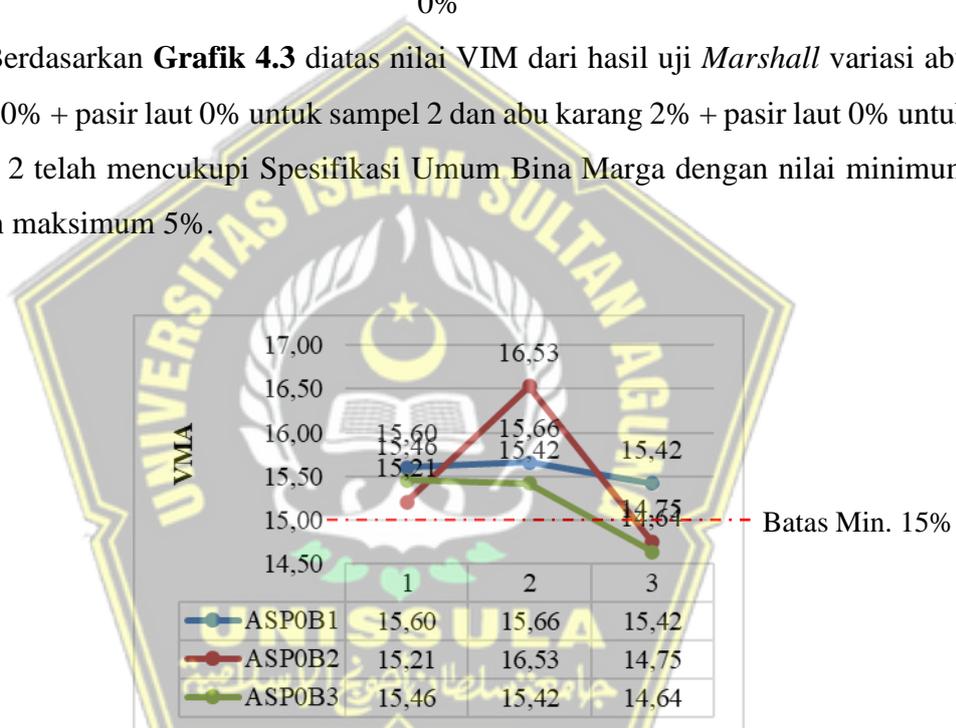
Tabel 4. 13 Hasil *Marshall Test* Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%)

Variasi	Benda Uji	Abu Karang %	Pasir Laut %	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
				VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
ASP0B1	1	0	0	2,97	15,60	80,96	838,10	6,70	125,09
	2	0	0	3,04	15,66	80,59	722,50	4,30	168,02
	3	0	0	2,75	15,42	82,17	823,65	3,50	235,33
ASP0B2	1	2	0	2,52	15,21	83,43	708,05	3,40	208,25
	2	2	0	4,03	16,53	75,62	332,35	7,20	46,16
	3	2	0	1,99	14,75	86,51	708,05	1,60	442,53
ASP0B3	1	4	0	2,81	15,46	81,82	939,25	2,30	408,37
	2	4	0	2,76	15,42	82,10	2023,00	2,30	879,57
	3	4	0	1,86	14,64	87,30	1835,15	7,50	244,69
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-



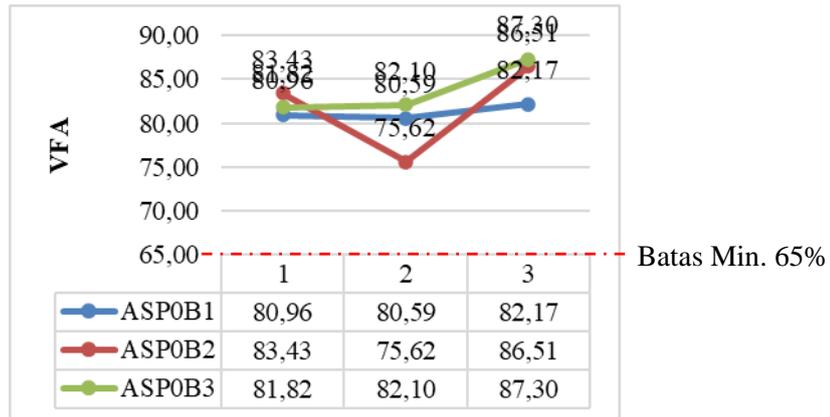
Grafik 4.3 Nilai VIM Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%

Berdasarkan **Grafik 4.3** diatas nilai VIM dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 0% untuk sampel 2 dan abu karang 2% + pasir laut 0% untuk sampel 2 telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 3% dan maksimum 5%.



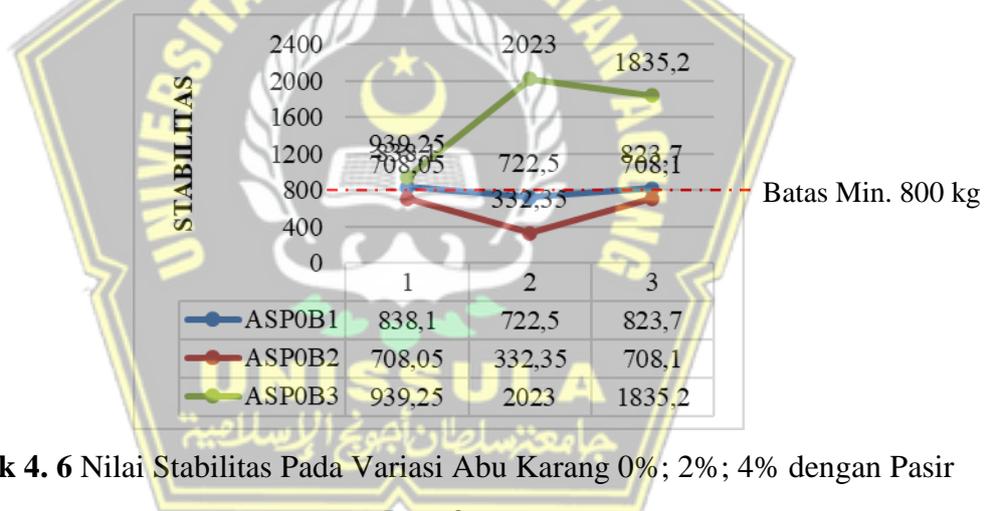
Grafik 4.4 Nilai VMA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%

Berdasarkan **Grafik 4.4** diatas nilai VMA dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 0% untuk semua sampel, abu karang 2% + pasir laut 0% untuk sampel 1 dan 2 dan variasi abu karang 4% + pasir laut 0% untuk sampel 1 dan 2 telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 15%.



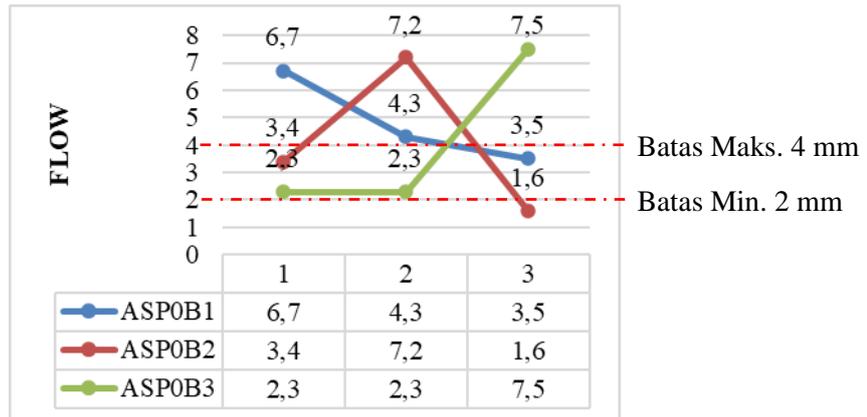
Grafik 4.5 Nilai VFA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%

Berdasarkan **Grafik 4.5** diatas nilai VFA dari hasil uji *Marshall* untuk semua variasi abu karang 0%; 2%; 4% + pasir laut 0% telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 65%.



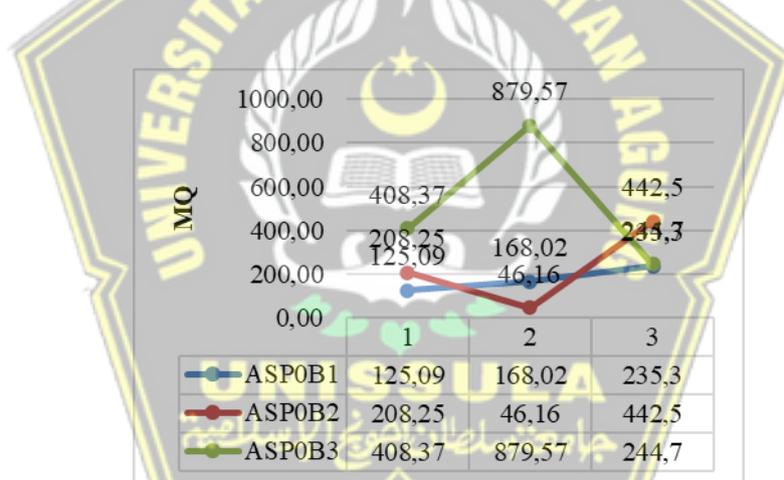
Grafik 4.6 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%

Berdasarkan **Grafik 4.6** diatas nilai Stabilitas dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 0% untuk sampel 1 dan 2, abu karang 4% + pasir laut 0% untuk semua sampel telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 7 Nilai *Flow* Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%

Berdasarkan **Grafik 4.7** diatas nilai *Flow* dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 0% untuk sampel 3, abu karang 2% + pasir laut 0% untuk sampel 1 dan abu karang 4% + pasir laut 0% untuk sampel 1 dan 2 telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.



Grafik 4. 8 Nilai MQ Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 0%

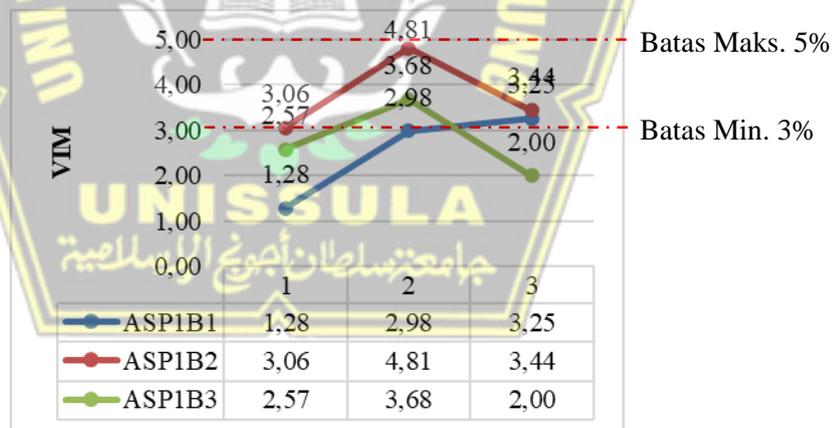
Berdasarkan **Grafik 4.8** diatas nilai MQ dari hasil uji *Marshall* telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga.

4.8.2 Hasil Uji *Marshall Test* Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%)

Hasil pada pengujian alat *Marshall test* untuk komposisi aspal modifikasi dengan variasi abu karang 0% pasir laut 3%; abu karang 2% pasir laut 3%; abu karang 4% pasir laut 3% dilihat pada **Tabel 4.14** dibawah ini.

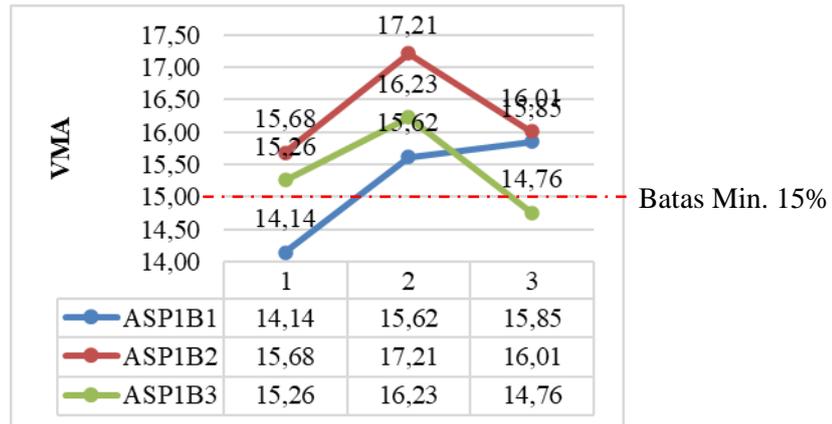
Tabel 4. 14 Hasil *Marshall Test* Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%)

Variasi	Benda Uji	Abu Karang %	Pasir Laut %	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
				VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
ASP1B1	1	0	3	1,28	14,14	90,95	939,25	1,50	626,17
	2	0	3	2,98	15,62	80,92	867,00	6,80	127,50
	3	0	3	3,25	15,85	79,50	1878,50	6,50	289,00
ASP1B2	1	2	3	3,06	15,68	80,48	578,00	5,70	101,40
	2	2	3	4,81	17,21	72,05	534,65	5,20	102,82
	3	2	3	3,44	16,01	78,51	505,75	8,80	57,47
ASP1B3	1	4	3	2,57	15,26	83,16	1300,50	3,10	419,52
	2	4	3	3,68	16,23	77,33	1387,20	3,20	433,50
	3	4	3	2,00	14,76	86,45	1430,55	3,60	397,38
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-



Grafik 4. 9 Nilai VIM Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%

Berdasarkan **Grafik 4.9** diatas nilai VIM dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 3% untuk sampel 3, abu karang 2% + pasir laut 3% untuk semua sampel dan abu karang 4% + pasir laut 3% untuk sampel 2 telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 3% dan maksimum 5%.



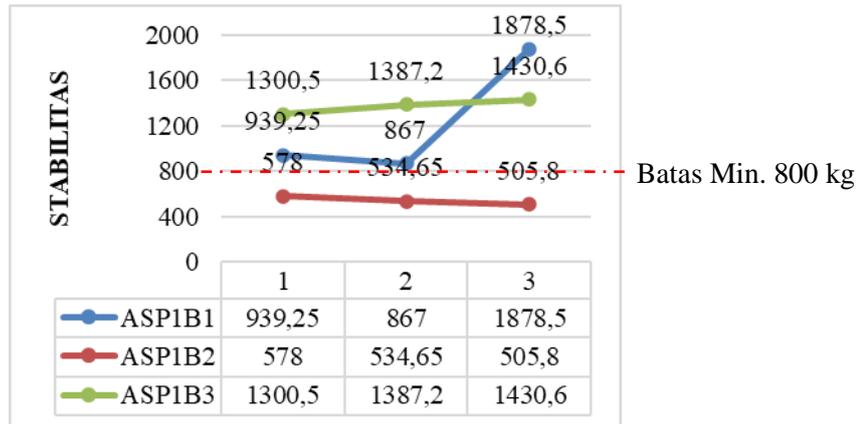
Grafik 4. 10 Nilai VMA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%

Berdasarkan **Grafik 4.10** diatas nilai VMA dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 3% untuk sampel 2 dan 3, abu karang 2% + pasir laut 3% pada semua sampel dan variasi abu karang 4% + pasir laut 3% pada sampel 1 dan 2 telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 15%.



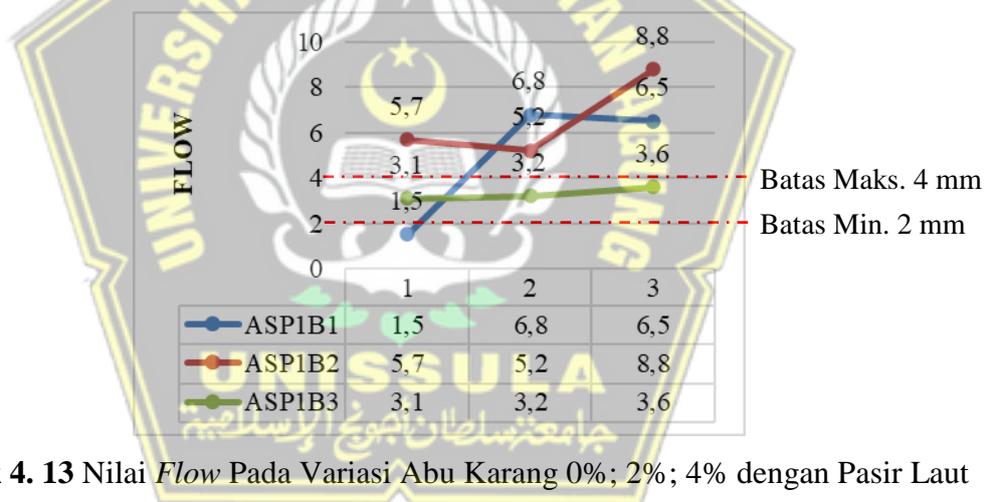
Grafik 4. 11 Nilai VFA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%

Berdasarkan **Grafik 4.11** diatas nilai VFA dari hasil uji *Marshall* untuk semua variasi abu karang 0%; 2%; 4% + pasir laut 3% pada semua sampel telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 65%.



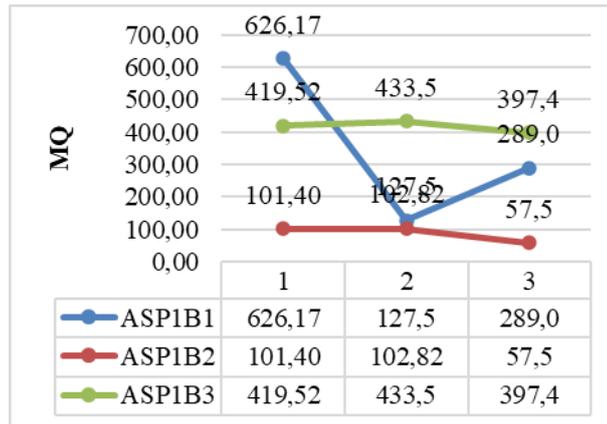
Grafik 4. 12 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%

Berdasarkan **Grafik 4.12** diatas nilai Stabilitas dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0%; 4% + pasir laut 3% pada semua sampel telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 13 Nilai *Flow* Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%

Berdasarkan **Grafik 4.13** diatas nilai *Flow* dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 4% + pasir laut 3% pada semua sampel telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.



Grafik 4. 14 Nilai MQ Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 3%

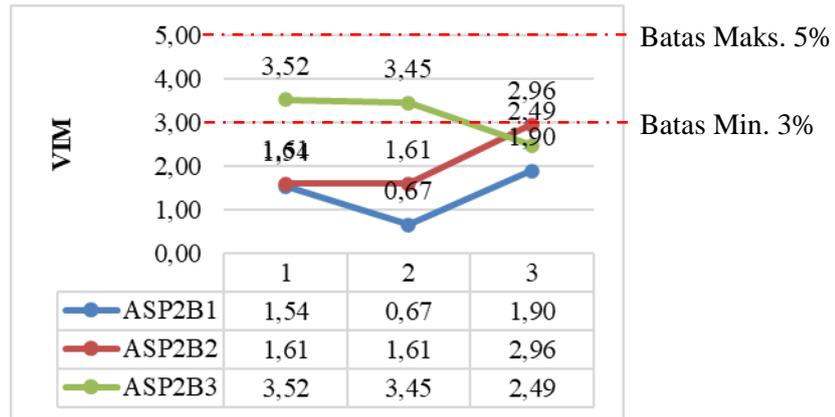
Berdasarkan **Grafik 4.14** diatas nilai MQ dari hasil uji *Marshall* telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga.

4.8.3 Hasil Uji *Marshall Test* Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%)

Hasil pada pengujian alat *Marshall test* untuk komposisi aspal modifikasi dengan variasi abu karang 0% pasir laut 5%; abu karang 2% pasir laut 5%; abu karang 4% pasir laut 5% dilihat pada **Tabel 4.15** dibawah ini.

Tabel 4. 15 Hasil *Marshall Test* Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%)

Variasi	Benda Uji	Abu Karang %	Pasir Laut %	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
				VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
ASP2B1	1	0	5	1,54	14,36	89,28	1199,35	5,40	222,10
	2	0	5	0,67	13,60	95,07	1531,70	3,60	425,47
	3	0	5	1,90	14,68	87,06	1589,50	4,10	387,68
ASP2B2	1	2	5	1,61	14,42	88,83	1575,05	2,20	715,93
	2	2	5	1,61	14,42	88,83	1445,00	6,40	225,78
	3	2	5	2,96	15,60	81,03	1257,15	1,10	1142,86
ASP2B3	1	4	5	3,52	16,08	78,11	867,00	1,10	788,18
	2	4	5	3,45	16,02	78,46	1156,00	1,70	680,00
	3	4	5	2,49	15,19	83,61	1199,35	1,80	666,31
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-



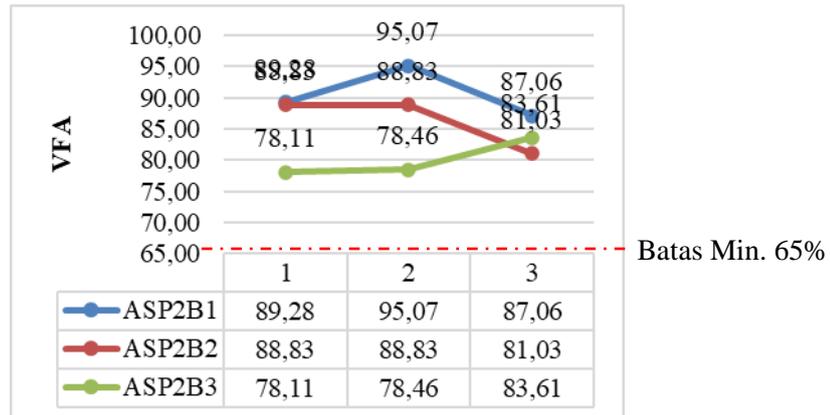
Grafik 4. 15 Nilai VIM Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%

Berdasarkan **Grafik 4.15** diatas nilai VIM dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 4% + pasir laut 5% untuk sampel 1 dan 2 telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 3% dan maksimum 5%.



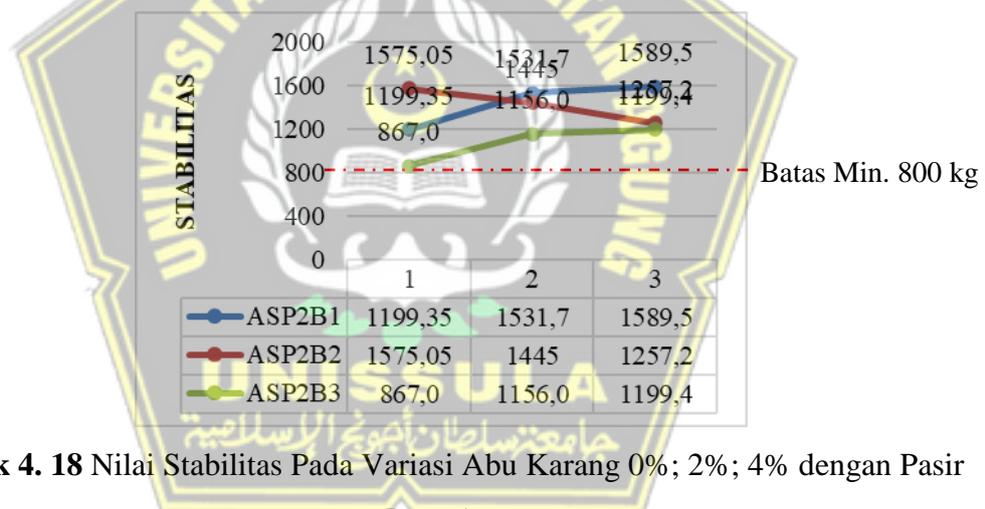
Grafik 4. 16 Nilai VMA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%

Berdasarkan **Grafik 4.16** diatas nilai VMA dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 2% + pasir laut 5% untuk sampel 3 dan abu karang 4% + pasir laut 5% pada semua sampel telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 15%.



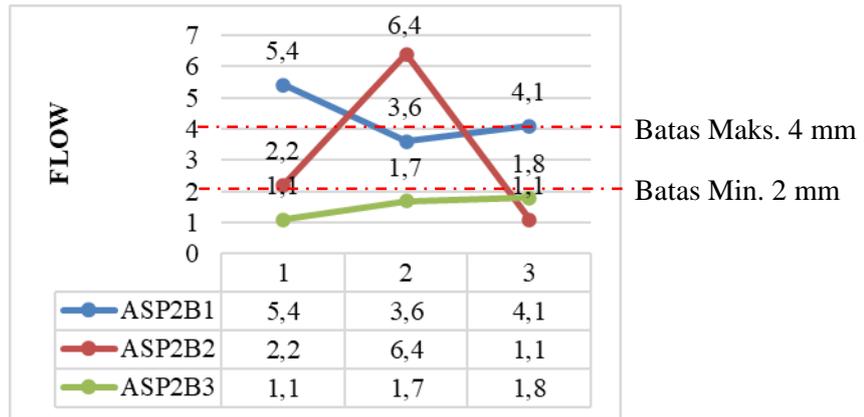
Grafik 4. 17 Nilai VFA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%

Berdasarkan **Grafik 4.17** diatas nilai VFA dari hasil uji *Marshall* untuk semua variasi abu karang 0%; 2%; 4% + pasir laut 5% telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 65%.



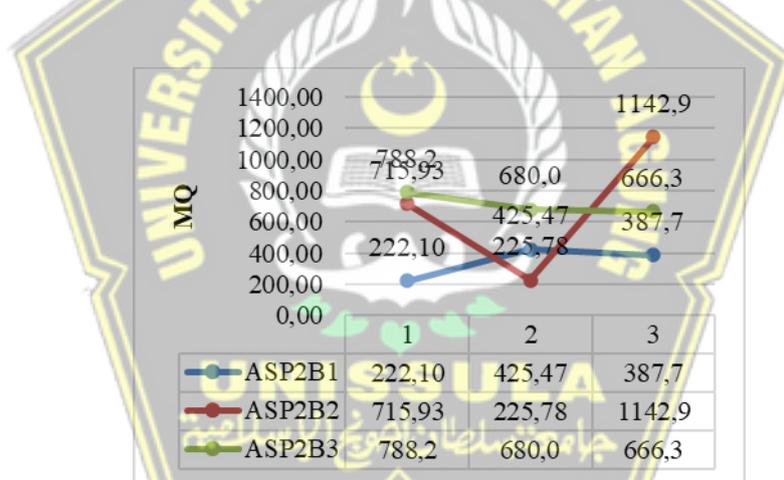
Grafik 4. 18 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%

Berdasarkan **Grafik 4.18** diatas nilai Stabilitas dari hasil uji *Marshall* untuk semua variasi abu karang 0%; 2%; 4% + pasir laut 5% telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 19 Nilai *Flow* Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%

Berdasarkan **Grafik 4.19** diatas nilai *Flow* dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 5% untuk sampel 2 dan abu karang 2% + pasir laut 5% untuk sampel 1 telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.



Grafik 4. 20 Nilai MQ Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 5%

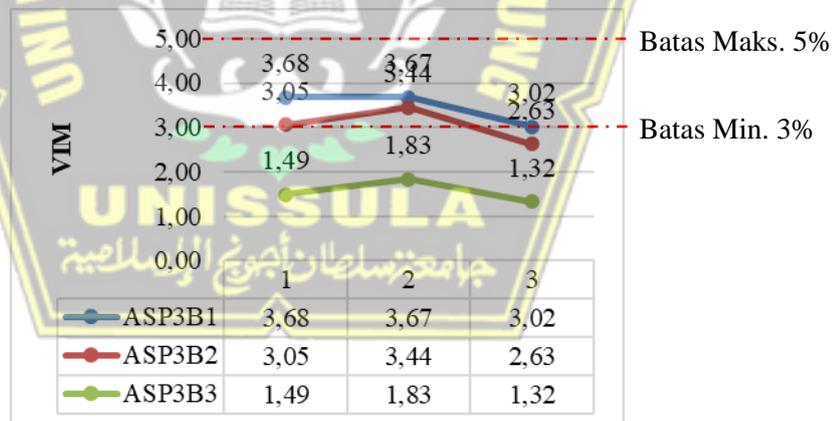
Berdasarkan **Grafik 4.20** diatas nilai MQ dari hasil uji *Marshall* telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga.

4.8.4 Hasil Uji *Marshall Test* Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%)

Hasil pada pengujian alat *Marshall test* untuk komposisi aspal modifikasi dengan variasi abu karang 0% pasir laut 7%; abu karang 2% pasir laut 7%; abu karang 4% pasir laut 7% dilihat pada **Tabel 4.16** dibawah ini.

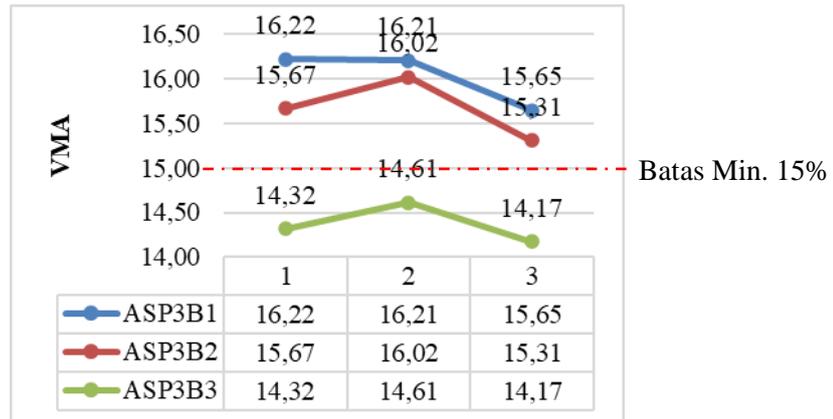
Tabel 4. 16 Hasil *Marshall Test* Variasi (Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%)

Variasi	Benda Uji	Abu Karang %	Pasir Laut %	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
				VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
ASP3B1	1	0	7	3,68	16,22	77,31	939,25	3,20	293,52
	2	0	7	3,67	16,21	77,36	997,05	4,30	231,87
	3	0	7	3,02	15,65	80,70	635,80	8,50	74,80
ASP3B2	1	2	7	3,05	15,67	80,54	1589,50	2,70	588,70
	2	2	7	3,44	16,02	78,53	1445,00	2,30	628,26
	3	2	7	2,63	15,31	82,82	1517,25	5,40	280,97
ASP3B3	1	4	7	1,49	14,32	89,59	1199,35	5,40	222,10
	2	4	7	1,83	14,61	87,47	1083,75	2,60	416,83
	3	4	7	1,32	14,17	90,68	1156,00	9,50	121,68
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-



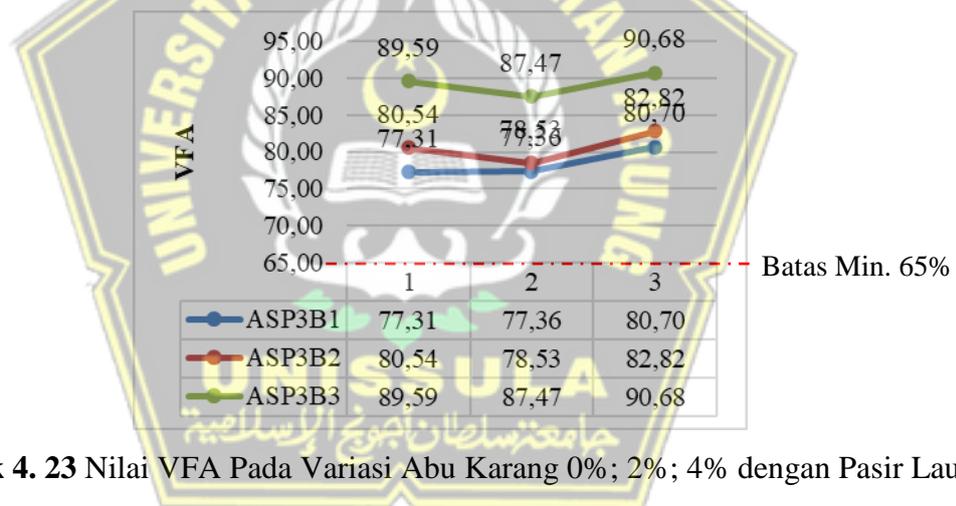
Grafik 4. 21 Nilai VIM Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%

Berdasarkan **Grafik 4.21** diatas nilai VIM dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 7% untuk semua sampel dan abu karang 2% + pasir laut 7% untuk sampel 1 dan 2 telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 3% dan maksimum 5%.



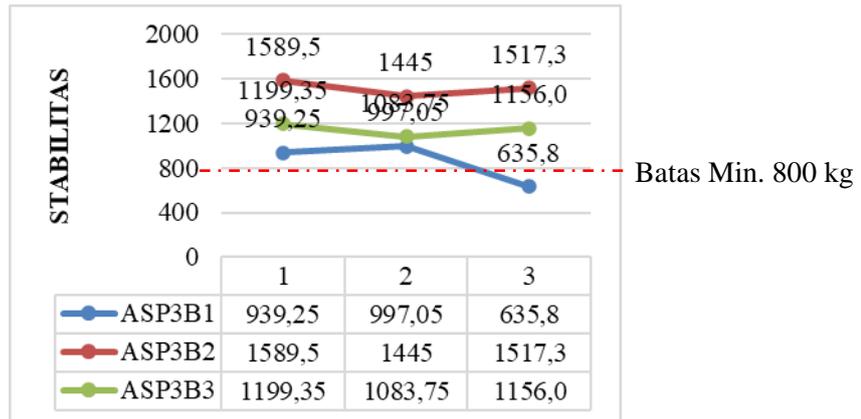
Grafik 4. 22 Nilai VMA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%

Berdasarkan **Grafik 4.22** diatas nilai VMA dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0%; 2% + pasir laut 7% untuk semua sampel telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 15%.



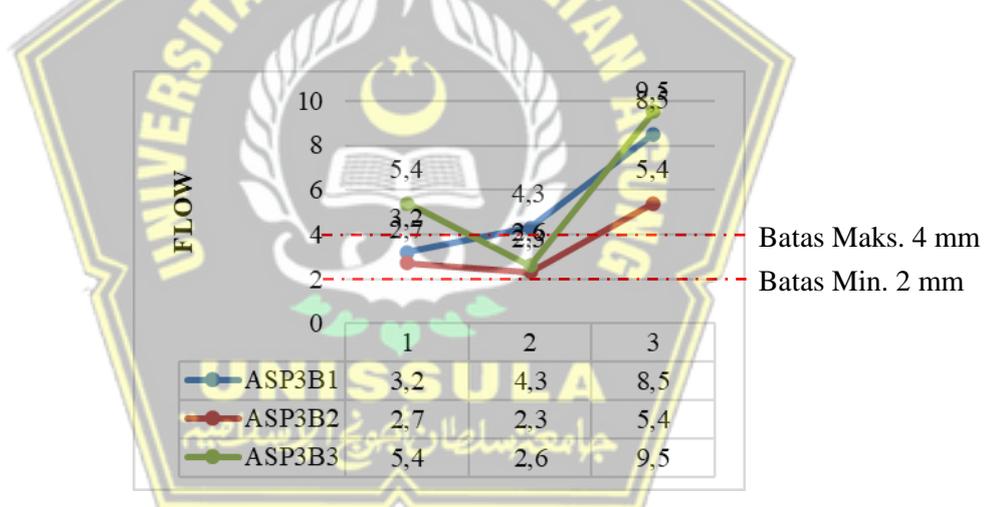
Grafik 4. 23 Nilai VFA Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%

Berdasarkan **Grafik 4.23** diatas nilai VFA dari hasil uji *Marshall* untuk semua variasi abu karang 0%; 2%; 4% + pasir laut 7% telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 65%.



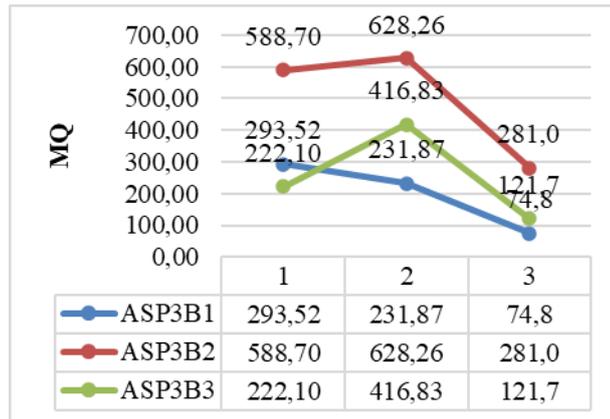
Grafik 4. 24 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%

Berdasarkan **Grafik 4.24** diatas nilai Stabilitas dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 7% untuk sampel 1 dan 2 serta abu karang 2%; 4% + pasir laut 7% untuk semua sampel telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 25 Nilai *Flow* Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%

Berdasarkan **Grafik 4.25** diatas nilai *Flow* dari hasil uji *Marshall* variasi abu karang 0% + pasir laut 7% untuk sampel 1, abu karang 2% + pasir laut 7% untuk sampel 1 dan 2 serta abu karang 4% + pasir laut 7% untuk sampel 2 telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.



Grafik 4. 26 Nilai MQ Pada Variasi Abu Karang 0%; 2%; 4% dengan Pasir Laut 7%

Berdasarkan **Grafik 4.26** diatas nilai MQ dari hasil uji *Marshall* telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga.

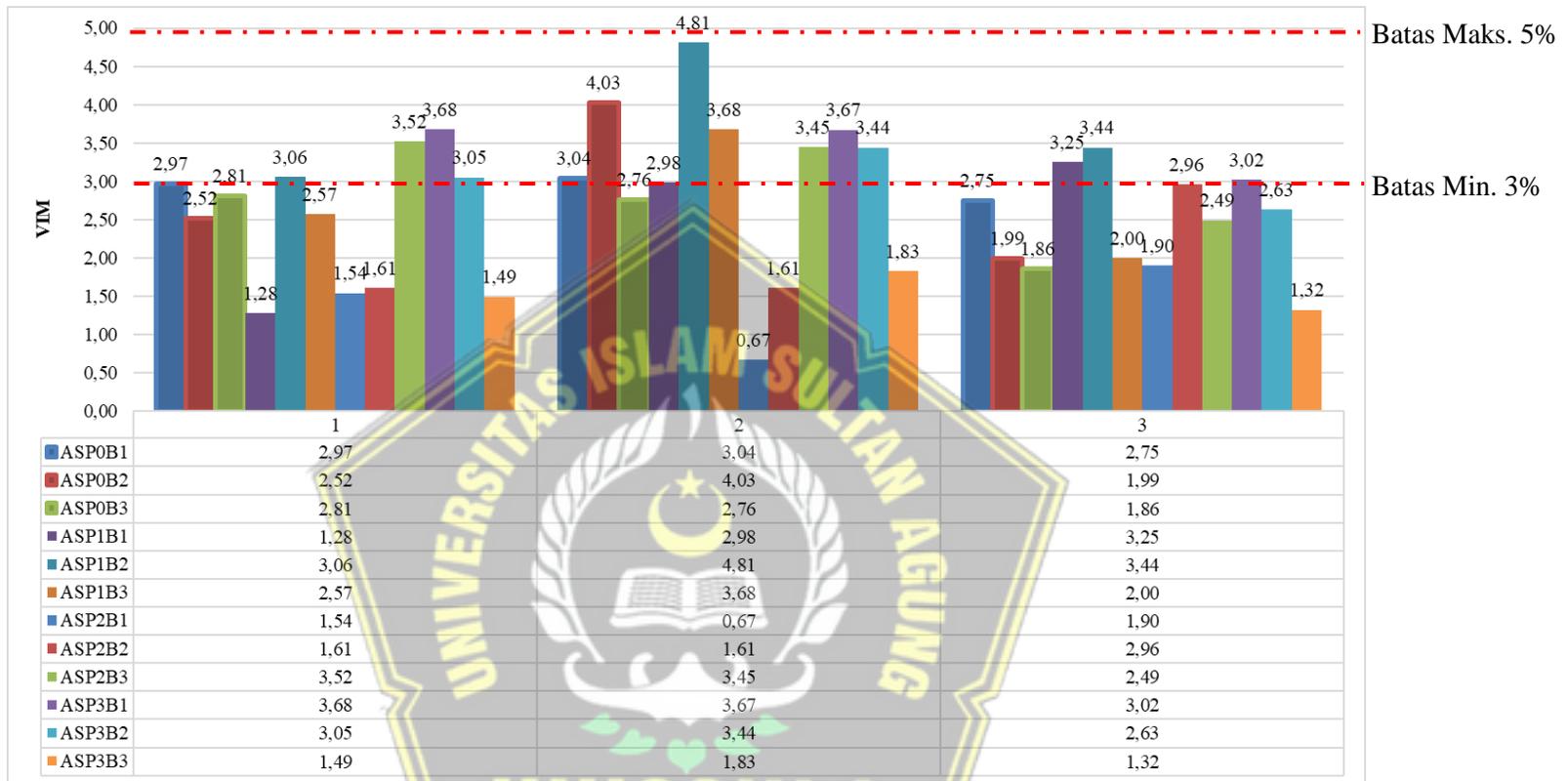


4.9 Rekap Hasil Pengujian Marshall Semua Variasi Bahan Tambah

Pada hasil pengujian *Marshall test* untuk komposisi aspal modifikasi pada semua variasi abu karang dan pasir laut dilihat pada **Tabel 4.17** dibawah ini.

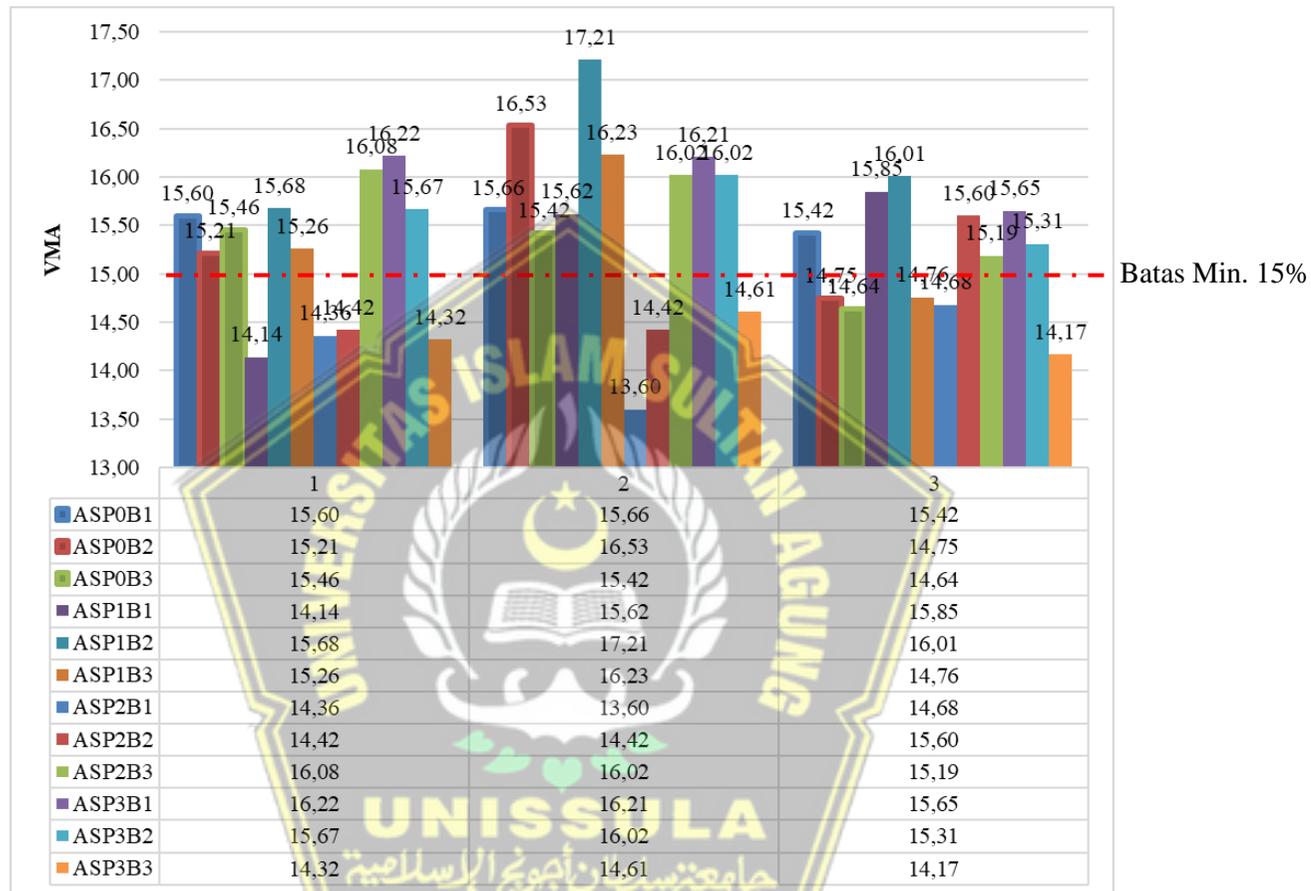
Tabel 4. 17 Rekap Uji *Marshall* Semua Variasi Bahan Tambah

Variasi	Benda Uji	Abu Karang %	Pasir Laut %	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
				VIM	VMA	VFA	Stabilitas	Flow	MQ
ASP0B1	1	0	0	2,97	15,60	80,96	838,10	6,70	125,09
	2	0	0	3,04	15,66	80,59	722,50	4,30	168,02
	3	0	0	2,75	15,42	82,17	823,65	3,50	235,33
ASP0B2	1	2	0	2,52	15,21	83,43	708,05	3,40	208,25
	2	2	0	4,03	16,53	75,62	332,35	7,20	46,16
	3	2	0	1,99	14,75	86,51	708,05	1,60	442,53
ASP0B3	1	4	0	2,81	15,46	81,82	939,25	2,30	408,37
	2	4	0	2,76	15,42	82,10	2023,00	2,30	879,57
	3	4	0	1,86	14,64	87,30	1835,15	7,50	244,69
ASP1B1	1	0	3	1,28	14,14	90,95	939,25	1,50	626,17
	2	0	3	2,98	15,62	80,92	867,00	6,80	127,50
	3	0	3	3,25	15,85	79,50	1878,50	6,50	289,00
ASP1B2	1	2	3	3,06	15,68	80,48	578,00	5,70	101,40
	2	2	3	4,81	17,21	72,05	534,65	5,20	102,82
	3	2	3	3,44	16,01	78,51	505,75	8,80	57,47
ASP1B3	1	4	3	2,57	15,26	83,16	1300,50	3,10	419,52
	2	4	3	3,68	16,23	77,33	1387,20	3,20	433,50
	3	4	3	2,00	14,76	86,45	1430,55	3,60	397,38
ASP2B1	1	0	5	1,54	14,36	89,28	1199,35	5,40	222,10
	2	0	5	0,67	13,60	95,07	1531,70	3,60	425,47
	3	0	5	1,90	14,68	87,06	1589,50	4,10	387,68
ASP2B2	1	2	5	1,61	14,42	88,83	1575,05	2,20	715,93
	2	2	5	1,61	14,42	88,83	1445,00	6,40	225,78
	3	2	5	2,96	15,60	81,03	1257,15	1,10	1142,86
ASP2B3	1	4	5	3,52	16,08	78,11	867,00	1,10	788,18
	2	4	5	3,45	16,02	78,46	1156,00	1,70	680,00
	3	4	5	2,49	15,19	83,61	1199,35	1,80	666,31
ASP3B1	1	0	7	3,68	16,22	77,31	939,25	3,20	293,52
	2	0	7	3,67	16,21	77,36	997,05	4,30	231,87
	3	0	7	3,02	15,65	80,70	635,80	8,50	74,80
ASP3B2	1	2	7	3,05	15,67	80,54	1589,50	2,70	588,70
	2	2	7	3,44	16,02	78,53	1445,00	2,30	628,26
	3	2	7	2,63	15,31	82,82	1517,25	5,40	280,97
ASP3B3	1	4	7	1,49	14,32	89,59	1199,35	5,40	222,10
	2	4	7	1,83	14,61	87,47	1083,75	2,60	416,83
	3	4	7	1,32	14,17	90,68	1156,00	9,50	121,68
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	2 mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	4 mm	-



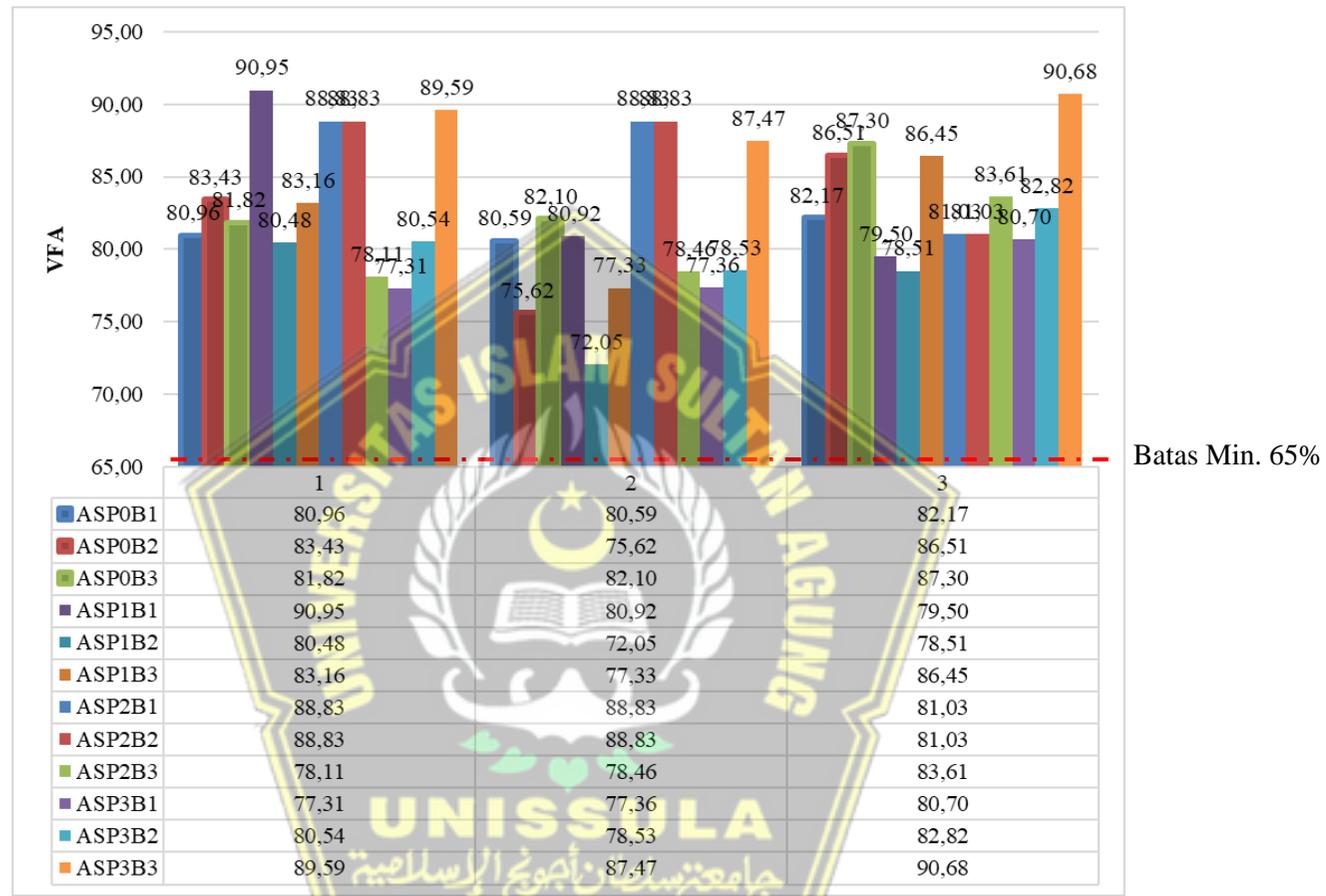
Grafik 4. 27 Rekap Nilai VIM Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.27** diatas rekap nilai VIM dari hasil uji *Marshall* banyak variasi yang tidak lolos batas minimum pada VIM yaitu 3%, namun pada kode variasi ASP1B1 dan ASP3B1 semua sampel uji mampu mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 3% dan maksimum 5%.



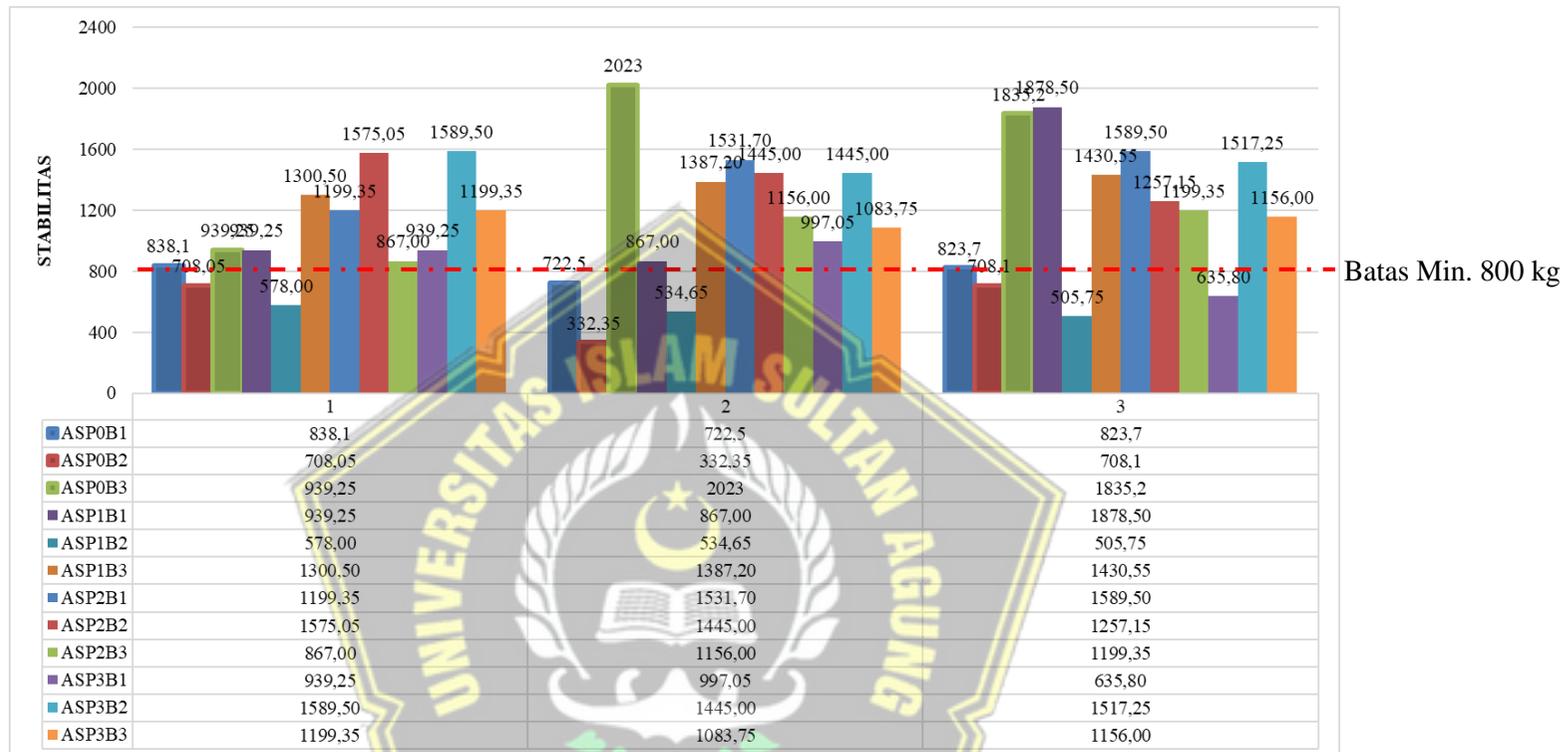
Grafik 4. 28 Rekap Nilai VMA Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.28** diatas rekap nilai VMA dari hasil uji *Marshall* dengan kode variasi ASP0B1, ASP1B2, ASP2B3, ASP3B1 dan ASP3B2 pada semua sampel uji mampu mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 15%.



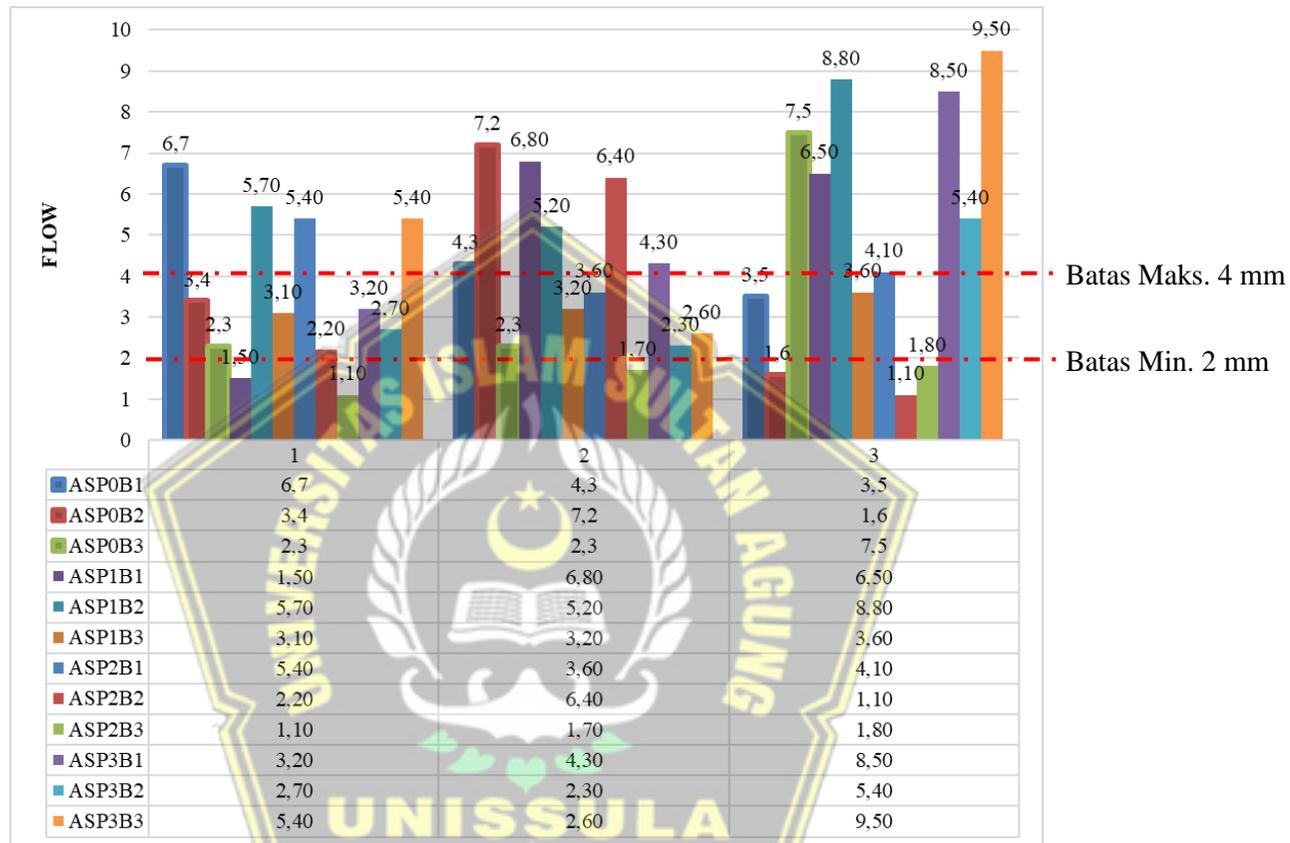
Grafik 4. 29 Rekap Nilai VFA Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.29** diatas rekap nilai VFA dari hasil uji *Marshall* untuk semua variasi telah mampu mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 65%.



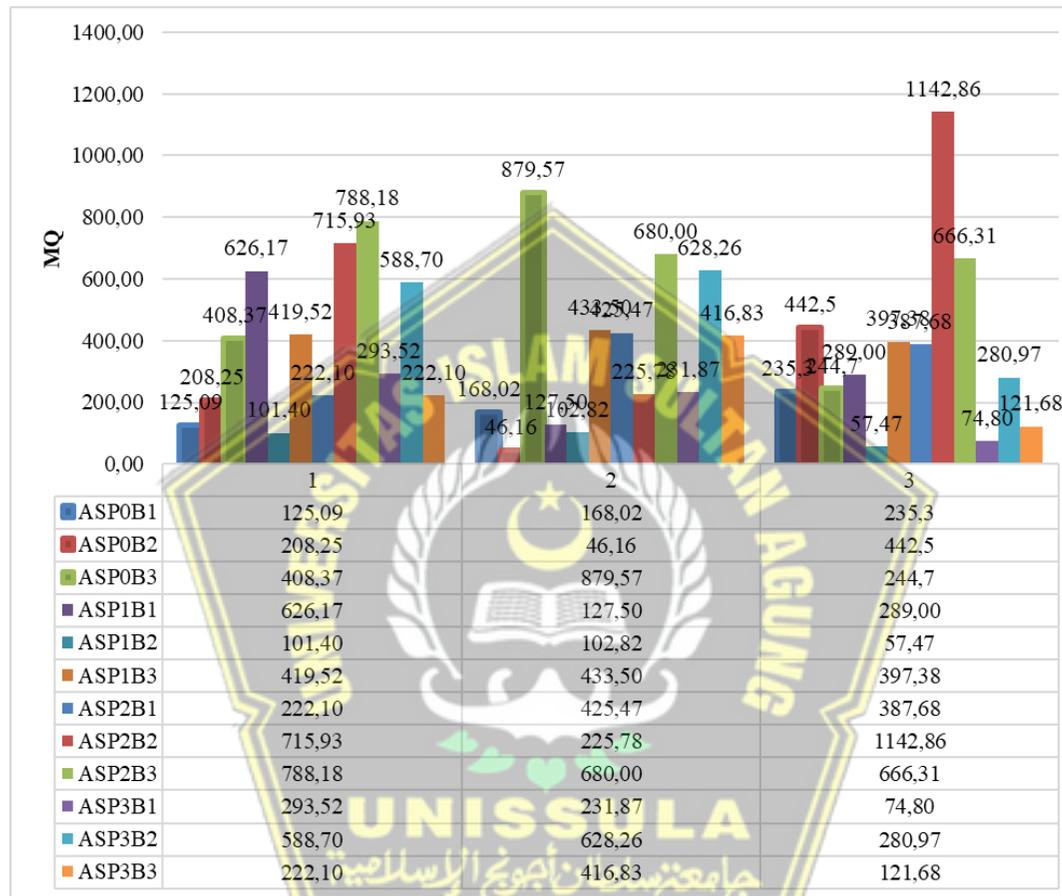
Grafik 4. 30 Rekap Nilai Stabilitas Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.30** diatas rekap nilai Stabilitas dari hasil uji *Marshall* dengan kode variasi ASP0B3, ASP1B1, ASP1B3, ASP2B1, ASP2B2, ASP2B3, ASP3B2 dan ASP3B3 pada semua sampel uji mampu mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 31 Rekap Nilai *Flow* Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.31** diatas rekap nilai *Flow* dari hasil uji *Marshall* banyak variasi yang tidak memenuhi spesifikasi, namun pada kode variasi ASP1B3 semua sampel uji mampu mencukupi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga dengan nilai minimum 2 mm dan maksimum 4 mm.



Grafik 4. 32 Rekap Nilai MQ Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.32** diatas rekap nilai MQ dari hasil uji *Marshall* semua variasi aspal telah mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian kali ini adaposebagai berikut :

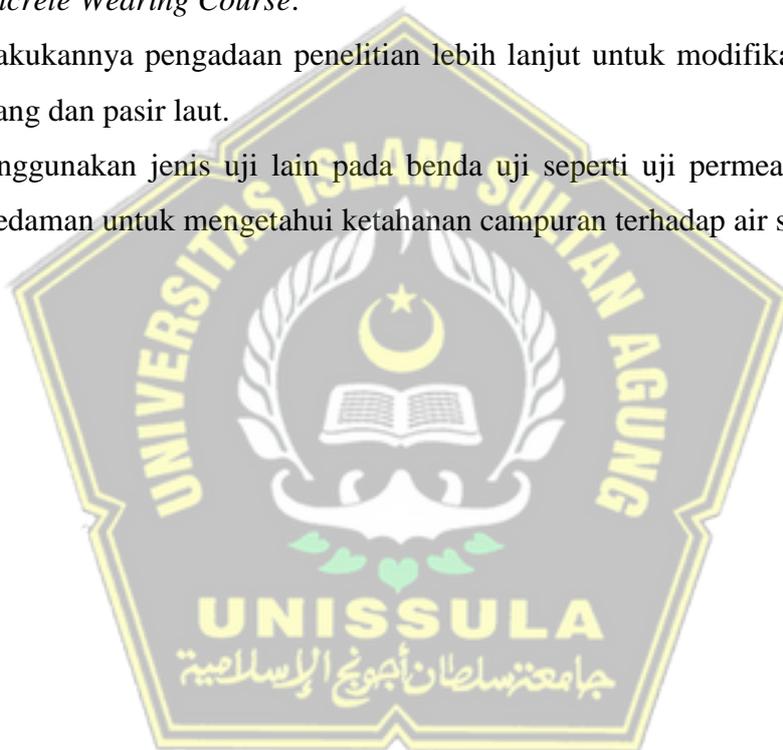
1. Hasil *Job Mix Design* terbaik menggunakan penambahan abu karang dan pasir laut untuk perkerasan jalan diperoleh dari komposisi 4% abu karang dan 3% pasir laut pada sampel 2, dimana komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan hasil terbaik pada uji *Marshall* untuk variasi tersebut yaitu 3,68% untuk nilai VIM; 16,23% untuk nilai VMA; 86,45% untuk nilai VFA, 1430,55 kg untuk nilai Stabilitas; 3,6 mm untuk nilai *Flow* dan 433,5 kg/mm untuk nilai MQ.
2. Pada hasil uji *Marshall* untuk nilai Stabilitas terbaik diperoleh dari komposisi 4% abu karang dan 0% pasir laut dengan hasil 2023 kg, dimana komposisi bahan tambah tersebut mampu mencukupi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2) dengan nilai minimal Stabilitas yaitu 800 kg.

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat diambil beberapa saran agar hasil yang didapatkan lebih akurat dan sesuai dengan apa yang diinginkan pada penelitian berikutnya, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan :

1. Memperhatikan kondisi ruangan laboratorium lebih kondusif dan menjaga lingkungan sekitar seperti suhu ruangan $\geq 30^{\circ}\text{C}$ yang dapat mempengaruhi penimbangan material maupun pembuatan sampel.
2. Analisa saringan material harus dilakukan secara detail mulai dari nomor saringan #8 (2,36 mm) untuk agregat kasar dan nomor saringan #200 (0,074 mm) untuk material halus.
3. Perataan dengan spatula lab ke dalam campuran harus lebih diperhatikan agar hasil lebih akurat seperti tusukan sebanyak 15 kali pada bagian pinggir cetakan dan 10 kali pada bagian tengah cetakan untuk memastikan semua campuran merata.

4. Penumbukan sampel uji dengan mesin *compactor* harus lebih diperhatikan agar hasil lebih akurat seperti jumlah tumbukan sebanyak 2 x 75 kali pada pembuatan sampel uji.
5. Saat pengujian *Marshall* disarankan untuk menggunakan alat perekaman digital agar hasil bacaan stabilitas (O) dan kelelahan (R) dapat terbaca secara akurat.
Saran yang dapat dipertimbangkan untuk pengembangan penelitian berikutnya adalah :
 1. Perlu dilakukan perealisasi penghamparan di lapangan untuk menyesuaikan dan mendapatkan hasil fisik yang maksimal pada campuran modifikasi *Asphalt Concrete Wearing Course*.
 2. Dilakukannya pengadaan penelitian lebih lanjut untuk modifikasi variasi abu karang dan pasir laut.
 3. Menggunakan jenis uji lain pada benda uji seperti uji permeabilitas dan uji peredaman untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap air secara berkala.



DAFTAR PUSTAKA

- Agustyawan, P. E., & Wiguna, I. S. (2019). Alternatif Penggunaan Pasir Laut Paciran Sebagai Bahan Susun Aspal Panas AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, 5(2), 91-99.
- Alifuddin, A. (2022). Pengaruh Penambahan Abu Batu Karang Terhadap Durabilitas pada Campuran Aspal Beton. *JILMATEKS (Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Sipil)*, 4(2), 128-136.
- Anshory M. D., & Nasrulhaq M. F., (2023). Analisis Campuran Aspal Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Dengan Bahan Tambah High Density Polyethylene dan Resin.
- Azizah N. U., & Ricardo C. R. R., (2024). Analisa Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Dengan Penambahan Resin Epoxy dan Serat Baja Dramix Untuk Perkerasan Jalan.
- Badaruddin, B., Zulkarnaen, Z., Israjunna, I., Najimuddin, D., & Nuraini, E. (2020, March). Pengaruh Penggunaan Pasir Laut Terhadap Stabilitas Aspal Beton (Ac-Wc). In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL IPPeMas (Vol. 1, No. 1, pp. 58-65)*.
- Direktorat Jendral Bina Marga., (2018). Spesifikasi Umum 2018 Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 2 Divisi 6 Perkerasan Aspal.
- Gaus, A. (2017). PENGGUNAAN PASIR LAUT SANANA UNTUK CAMPURAN ASPAL CONCRETE.
- Hamkah, H., Jakob, J. C., & Walalayo, R. (2024). PENGARUH BAHAN PENGISI BATU KARANG TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN BETON ASPAL LAPIS AUS ASBUTON. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 10(1), 65-74.
- Jaya, T. M., Bahri, S., & Razali, M. R. (2018). Studi Penggunaan Pasir Laut Sebagai Filler Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc). *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 15-20.
- Junaedi, D. R. (2020). Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Untuk Perkerasan Laston Ac-Bc. *Jurnal Student Teknik Sipil*, 2(2), 109-117.

- Leksono E. P., & Ardhi M. I., (2024). Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Dengan Penambahan Polypropylene (PP) dan Asbuton Granular.
- Osa, U. M. B. B. (2022). Kajian Penggunaan Material Lokal Batu Karang Di Kabupaten Sumba Barat Daya Sebagai Material Konstruksi Jalan/Aspal AC-WC (Doctoral dissertation, Institut Teknologi Nasional Malang).
- Putra, A., Sylviana, R., & Gunarti, A. S. S. (2015). Perbandingan Filler Pasir Laut Dengan Abu Batu Pada Campuran Panas Asphalt Trade Binder Untuk Perkerasan Lentur Dengan Lalu Lintas Tinggi. *Bentang: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 3(2), 38-47.
- Pradana F. Y., & Kliswanto M. S., (2023). Analisis Perbandingan Aspal Wearing Course (AC-WC) Dengan Buton Granular Aspal (BGA) 15/20 Pada Penetrasi 60/70 Menggunakan Fly Ash Terhadap Uji Parameter Aspal.
- Refi, A. (2015). Efek Pemakaian Pasir Laut Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, 2(1), 5-12.
- Suryani I., & Hidayat M. E. P., (2023). Analisa Asphalt Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Dengan Penambahan HDPE (High Density Polyethylene) dan Asbuton Granular.
- Rizal F., & Asruri M., (2023). Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Dengan Penggunaan Timbunan Pilihan Sebagai Material Substitusi Pasir.
- Siahaya, V. T. C., Metekohy, S., Wabula, R., & Matitaputty, J. R. (2024). KARAKTERISTIK MARSHALL ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE DENGAN BAHAN PENGISI BATU KARANG TAENO. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 10(1), 1-12.
- Sihombing, S., Rodji, A. P., & Akbar, J. A. (2019, July). Analisis Penggunaan Serbuk Batu Karang sebagai Filler pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). *In Prosiding Seminar Nasional Teknologi Universitas Krisnadwipayana (pp. 368-375)*.
- Sulistyo J. A., (2023). Perilaku Aspal Wearing Course Terhadap Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) Dengan Bahan Tambah Polyethylene dan Fine Agregat Slag.

- Syahada A. M., & Aula L. K., (2024). Analisa Aspal Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Dengan Bahan Tambah Fly Ash (Substitusi Abu Batu) dan Tanah (Substitusi Pasir).
- Viegas, M. N. M., Maliki, A., & Suharso, A. B. K. (2022). Pengaruh penggunaan plastik jenis hdpe (high density polyethylene) dengan pasir laut terhadap daya tahan lapis perkerasan aspal beton. *axial: jurnal rekayasa dan manajemen konstruksi*, 10(1), 001-010.
- Wibowo, P., & Mabui, D. S. (2023, June). Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal HRS-WC dengan Menggunakan Filler Batu Karang. *In Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil (Vol. 1, No. 1, pp. 477-486)*.
- Widari, L. A. (2019). PENGGUNAAN ABU BATU KARANG SEBAGAI FILLER DAN PASIR BESI SEBAGAI AGREGAT HALUS TERHADAP PARAMETER MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL AC-BC. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 179-189.

