

TUGAS AKHIR

ANALISIS *ASHPALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN SUBSTITUSI ABU AMPAS TEBU (*SUGARCANE BAGASSE ASH*) DAN PASIR PANTAI (*SAND BEACH*) PADA PERKERASAN JALAN

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan Menyelesaikan
Pendidikan Sarjana Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang**



Disusun Oleh:

M REIZA AUDI A

30202100132

NAUFAL GASTIADI R

30202100160

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISIS ASHPALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)
DENGAN SUBSTITUSI ABU AMPAS TEBU (*SUGARCANE BAGASSE ASH*)
DAN PASIR PANTAI (*SAND BEACH*) PADA PERKERASAN JALAN**

Diajukan oleh :



M. Reiza Audi A.
NIM : 30202100132



Naufal Gastiadi R
NIM : 30202100160

Telah disetujui dan disahkan di Semarang,

Tim Penguji

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

Tanda Tangan

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 07 / A.2 / SA – T / IX / 2025

Pada hari ini tanggal 7 Agustus 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing :

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

Jabatan Teknik : Lpksn

Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

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

M Reiza Audi Andrea

NIM : 30202100132

Naufal Gastiadi Rizal

NIM : 30202100160

Judul : “ANALISIS *ASHPALT CONCRETE WEARING COURSE (AC- WC)* DENGAN SUBTITUSI ABU AMPAS TEBU (*SUGARCANE BAGASSE ASH*) DAN PASIR PANTAI (*SAND BEACH*) PADA PERKERASAN JALAN”

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1.	Penunjukan Dosen Pembimbing	28/03/2025	ACC
2.	Seminar Proposal	30/05/2025	ACC
3.	Pengumpulan Data	01/06/2025	ACC
4.	Analisis Data	11/06/2025	ACC
5.	Penyusunan Laporan	21/07/2025	ACC
6.	Selesai Laporan		

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

Mengetahui :

Dosen Pembimbing

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Ir Juny Andry Suilisty, ST., MT **Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng**

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang Bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : M Reiza Audi Andrea
NIM : 30202100132
2. NAMA : Naufal Gastiadi Rizal
NIM : 30202100160

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir berjudul :

“ANALISIS *ASHPALT CONCRETE WEARING COURSE (AC- WC)* DENGAN
SUBSTITUSI ABU AMPAS TEBU (*SUGARCANE BAGASSE ASH*) DAN PASIR
PANTAI (*SAND BEACH*) PADA 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, / /
Yang membuat pernyataan,

The block contains two handwritten signatures. Below the first signature is a circular official stamp of Universitas Islam Sultan Agung (UNISULA) with a crescent moon and star. Below the second signature is a rectangular official stamp of the same university. Between the two signatures is a yellow '10000' Indonesian revenue stamp (Meterai Tempel) with the serial number BFCC3AMX447640915.

M Reiza Audi Andrea
30202100132

Naufal Gastiadi Rizal
30202100160

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : M Reiza Audi Andrea
NIM : 30202100132
2. NAMA : Naufal Gastiadi Rizal
NIM : 30202100160

Judul : “ANALISIS *ASHPALT CONCRETE WEARING COURSE (AC- WC)* DENGAN SUBTITUSI ABU AMPAS TEBU (*SUGARCANE BAGASSE ASH*) DAN PASIR PANTAI (*SAND BEACH*) PADA 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 Pertanyaan

M Reiza Audi Andrea
NIM : 30202100132

Naufal Gastiadi Rizal
NIM : 30202100160

MOTTO

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.” (Q.S Ali-Imran: 110)

“Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan” (Q.S Al-Insyirah: 5-6)
(Reiza)

“God have perfect timing, never early, never late. It takes a little parrience and it takes a lot of faith, but it's a worth the wait”
(Reiza)

“Saat dirimu merasa gagal, lihatah sejauh mana kamu berusaha untuk menjadi yang terbaik.”
(Naufal)

“Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri”
(Baskara Putra - Hindia)

“Jadilah versi terbaik untuk dirimu setiap hari”
(Naufal)

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 Hairul Roji, ST dan Ibu Valenty Sari, SE, 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 perempuan saya saudari Tiara Amidhea Febriyanti 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. Kepada seseorang yang tak kalah penting kehadirannya, Putri Daffa Dianlin. Terima Kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis. Terima kasih telah selalu menemani dan meluangkan waktunya, mendukung ataupun menghibur dalam kesedihan, dan memberikan semangat untuk terus berkembang.
4. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulistyono, ST., MT., dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Seluruh dosen Fakultas Teknik Progam Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung yang telah memberikan ilmunya.
6. Naufal Gastiadi Rizal yang telah menjadi partner Tugas Akhir saya, terimakasih sudah berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
7. Teman – teman Fakultas Teknik Angkatan 2021 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

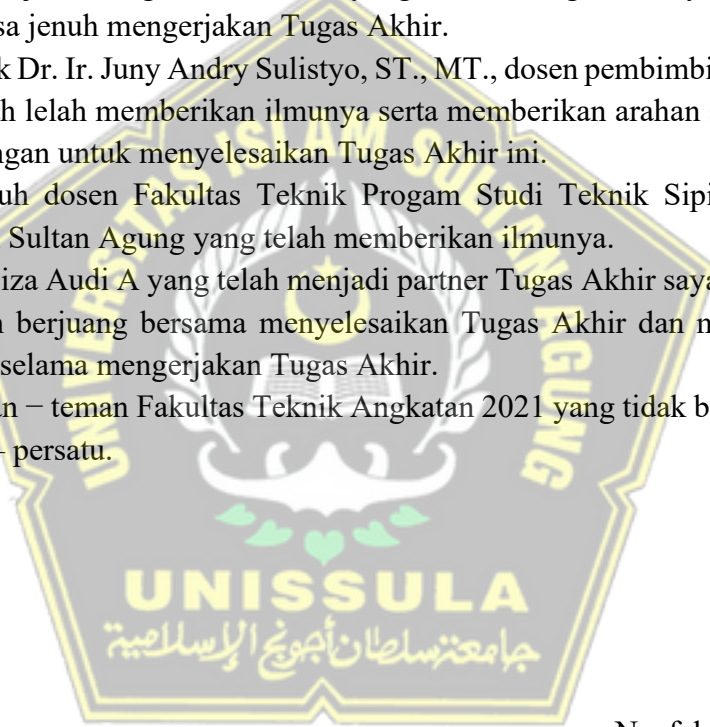
M Reiza Audi Andrea

NIM: 30202100132

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 Suryadi dan Ibu Nur Sichah 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. Adek laki – laki saya saudara Gastiadi Ridho 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. M Reiza Audi A 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.



Naufal Gastiadi Rizal

NIM: 30202100160

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 *Ashpalt Concrete Wearing Course (AC- WC)* dengan Subtitusi Abu Ampas Tebu (*Sugarcane Bagasse Ash*) dan Pasir Pantai (*Sand Beach*) pada 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

M Reiza Audi A

Naufal Gastiadi R

DAFTAR ISI

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 GAMBAR	xiii
DAFTAR GRAFIK.....	xiv
DAFTAR TABEL.....	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.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Perkerasan Jalan.....	6
2.2 Sifat dan Karakteristik Campuran Aspal Beton	10
2.3 Penyusunan Perkerasan Jalan	11
2.4 Marshall Test.....	21
2.5 Penelitian Terdahulu yang Sejenis	31

BAB III METODE PENELITIAN.....	33
3.1 Tipe Penelitian.....	33
3.2 Metode Penelitian.....	33
3.3 Bagan Alir.....	34
3.4 Metode Analisis.....	35
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	 52
4.1 Persiapan Material.....	52
4.2 Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70.....	52
4.3 Hasil Pengujian Agregat.....	53
4.3.1 Hasil Pemeriksaan Agregat $\frac{3}{4}$	55
4.3.2 Hasil Pemeriksaan Agregat $\frac{1}{2}$	55
4.3.3 Hasil Pemeriksaan Abu Batu.....	56
4.3.4 Hasil Pemeriksaan Agregat Pasir.....	57
4.3.5 Hasil Pemeriksaan <i>Filler</i>	57
4.4 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat.....	58
4.5 Pembuatan Benda Uji.....	59
4.6 Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (ASSHTO-209s).....	60
4.6.1 Berat Jenis dengan Campuran Komposisi Normal (GMM).....	60
4.6.2 Berat Jenis dengan Campuran Pada Aspal Modifikasi (GMM).....	61
4.7 Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994).....	62
4.8 Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i>	62
4.8.1 Hasil Uji <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2% 3% dengan Pasir pantai 0%).....	63
4.8.2 Hasil Uji <i>Marshall Test</i> Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%dengan Pasir pantai 2%).....	67
4.8.3 Hasil Uji <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%dengan Pasir pantai 4%).....	70
4.8.3 Hasil Uji <i>Marshall Test</i> Variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%dengan Pasir pantai 6%).....	74
4.9 Rekap Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Semua Variasi Bahan Tambah.....	77

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	82
5.1 Kesimpulan.....	82
5.2 Saran.....	82
DAFTAR PUSTAKA.....	xx
LAMPIRAN.....	xxiv



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Konstruksi perkerasan lentur (Flexible pavement).....	6
Gambar 2. 2 Lapisan Konstruksi Perkerasan kaku (Rigid Pavement)	7
Gambar 2. 3 Lapisan Perkerasan Komposit (Composite Pavement).....	7
Gambar 2. 4 Perkerasan Aspal Beton	10
Gambar 2. 5 Skema Volumetrik Campuran Beraspal	27
Gambar 2. 6 Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test	29
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian.....	34
Gambar 4. 1 Pengambilan Agregat Material.....	52
Gambar 4. 2 Sampel Benda Uji	60



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Kombinasi Agregat	59
Grafik 4. 2 Nilai VIM Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%	64
Grafik 4. 3 Nilai VMA Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 0%.....	64
Grafik 4. 4 Nilai VFB Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%	65
Grafik 4. 5 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%	65
Grafik 4. 6 Nilai Flow Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%; 1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%	66
Grafik 4. 7 Nilai MQ Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%	66
Grafik 4. 8 Nilai VIM Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%; 1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%	67
Grafik 4. 9 Nilai VMA Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%	68
Grafik 4. 10 Nilai VFB Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%	68
Grafik 4. 11 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%.....	69
Grafik 4. 12 Nilai Flow Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%	69
Grafik 4. 13 Nilai MQ Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%	70
Grafik 4. 14 Nilai VIM Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%; 1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 4%	71
Grafik 4. 15 Nilai VMA Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 4%	71
Grafik 4. 16 Nilai VFB Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%; dengan Pasir Pantai 4%	72
Grafik 4. 17 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 4%.....	72
Grafik 4. 18 Nilai Flow Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 4%	73
Grafik 4. 19 Nilai MQ Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 4%	73
Grafik 4. 20 Nilai VIM Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%; 1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%	74
Grafik 4. 21 Nilai VMA Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%	75

Grafik 4. 22 Nilai VFB Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%;dengan Pasir Pantai 6%	75
Grafik 4. 23 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%.....	76
Grafik 4. 24 Nilai Flow Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%	76
Grafik 4. 25 Nilai MQ Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%	77
Grafik 4. 26 Rekap Nilai VIM Semua Variasi Tambah.....	79
Grafik 4. 27 Rekap Nilai VMA Semua Variasi Tambah	79
Grafik 4. 28 Rekap Nilai VFB Semua Variasi Bahan Tambah	80
Grafik 4. 29 Rekap Nilai Stabilitas Semua Variasi Bahan Tambah	80
Grafik 4. 30 Rekap Nilai Flow Semua Variasi Bahan Tambah.....	81
Grafik 4. 31 Rekap Nilai MQ Semua Variasi Bahan Tambah.....	81



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan antara Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur.....	7
Tabel 2. 2 Klasifikasi Kelas Jalan.....	9
Tabel 2. 3 Ketentuan untuk Aspal Keras Pen 60/70	10
Tabel 2. 4 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)	11
Tabel 2. 5 Persyaratan Agregat Halus untuk AC-WC	15
Tabel 2. 6 Persyaratan Agregat Kasar untuk AC-WC	16
Tabel 2. 7 Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal Beton	17
Tabel 2. 8 Ketentuan Sifat Campuran Laston.....	21
Tabel 2. 9 Penelitian Terdahulu Sejenis.....	31
Tabel 3. 1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	41
Tabel 3. 2 Campuran Aspal Beton Normal.....	41
Tabel 3. 3 Campuran Aspal Beton dengan AT 0% dan PP 2%	41
Tabel 3. 4 Campuran Aspal Beton dengan AT 0% dan PP 4%	42
Tabel 3. 5 Campuran Aspal Beton dengan AT 0% dan PP 6%	42
Tabel 3. 6 Campuran Aspal Beton dengan AT 1% dan PP 0%	42
Tabel 3. 7 Campuran Aspal Beton dengan AT 1% dan PP 2%	43
Tabel 3. 8 Campuran Aspal Beton dengan AT 1% dan PP 4%	43
Tabel 3. 9 Campuran Aspal Beton dengan AT 1% dan PP 6%	44
Tabel 3. 10 Campuran Aspal Beton dengan AT 2% dan PP 0%	44
Tabel 3. 11 Campuran Aspal Beton dengan AT 2% dan PP 2%	44
Tabel 3. 12 Campuran Aspal Beton dengan AT 2% dan PP 4%	45
Tabel 3. 13 Campuran Aspal Beton dengan AT 2% dan PP 6%	45
Tabel 3. 14 Jumlah Sampel Variasi Ampas Tebu dan Pasir Pantai	46
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat Aspal Pen 60/70.....	53
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian sifat Fisik dan Mekanis Agregat.....	54
Tabel 4. 3 Hasil analisa Pembagian Butiran Agregat $\frac{3}{4}$	55
Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran $\frac{1}{2}$	56
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Butiran Abu Batu	56
Tabel 4. 6 Hasil Analisa Pembagian Butiran Pasir	57
Tabel 4. 7 Hasil Analisa Pembagian Butiran Filler	57
Tabel 4. 8 Perhitungan Kombinasi Agregat.....	58
Tabel 4. 9 Pembuatan Benda Uji	59
Tabel 4. 10 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Komposisi Normal (GMM)	61
Tabel 4. 11 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal Modifikasi (GMM)	61
Tabel 4. 12 Hasil Pengujian Kadar Aspal	62
Tabel 4. 13 Hasil Marshall Test variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 0%)	63
Tabel 4. 14 Hasil Marshall Test variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 2%)	67

Tabel 4. 15 Hasil Marshall Test variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 4%)	70
Tabel 4. 16 Hasil Marshall Test variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 6%)	74
Tabel 4. 17 Rekap Uji Marshall Semua Variasi Bahan Tambah	77



**ANALISIS *ASHPALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC)
DENGAN SUBSTITUSI ABU AMPAS TEBU (*SUGARCANE BAGASSE ASH*)
DAN PASIR PANTAI (*SAND BEACH*) PADA PERKERASAN JALAN**

ABSTRAK

Jalan merupakan salah satu sarana penting yang mendukung mobilisasi dan menghubungkan antar wilayah. *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) berfungsi memberikan permukaan jalan halus, menahan beban lalu lintas, dan melindungi lapisan bawah. Untuk mendukung efisiensi dan keberlanjutan infrastruktur, digunakan pemanfaatan bahan alam sebagai alternatif material berupa abu ampas tebu dengan variasi 0%, 1%, 2%, 3% dan pasir pantai Marina Semarang dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6% yang diharapkan memberikan solusi inovatif yang efisien dan berkelanjutan.

Penelitian ini menentukan *Job Mix Design* dengan 63 sampel uji aspal, mengukur berat sampel dalam kondisi kering, perendaman 24 jam dan Saturated Surface-Dry (SSD). Karakteristik dan kelayakan bahan tambah diuji menggunakan *Marshall Test* setelah perendaman *waterbath* 60°C untuk mengukur stabilitas, *flow*, VMA, VIM, VFA, dan MQ sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2).

Berdasarkan *Job Mix Design*, komposisi terbaik diperoleh pada sampel ASP2BU2 dengan 2% abu ampas tebu, 4% pasir pantai didapatkan hasil uji *Marshall* yaitu, VIM 3,53%; VMA 20,42%; VFB 148,65%; Stabilitas 1040,60 kg; Flow 2,50 mm; MQ 416,24 kg/mm. Komposisi 3% abu ampas tebu dan 6% pasir pantai menghasilkan stabilitas tertinggi 3386,87 kg, karena melebihi kriteria minimum 800 kg. Hasil ini menunjukkan kombinasi material tersebut layak digunakan sebagai bahan tambah AC-WC.

Kata kunci : *AC-WC; Abu Ampas Tebu; Pasir Pantai; Marshall Tes*

ANALYSIS OF ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) WITH SUGARCANE BAGASSE ASH AND BEACH SAND SUBSTITUTION IN ROAD PAVEMENT

ABSTRACT

Roads are one of the important means that support mobilization and connect regions. The Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) serves to provide a smooth road surface, withstand traffic loads, and protect the underlying layers. To support the efficiency and sustainability of infrastructure, the use of natural materials is utilized as an alternative material in the form of sugarcane bagasse ash with variations of 0%, 1%, 2%, 3% and Marina Semarang beach sand with variations of 0%, 2%, 4%, 6%, which is expected to provide innovative, efficient, and sustainable solutions.

This study determines the Job Mix Design with 63 asphalt test samples, measuring the weight of samples in dry conditions, after 24 hours of immersion, and Saturated Surface-Dry (SSD). The characteristics and suitability of the additives were tested using the Marshall Test after a 60°C water bath immersion to measure stability, flow, VMA, VIM, VFA, and MQ according to the General Specifications of Bina Marga 2018 (Revision 2).

Based on the Job Mix Design, the best composition was obtained from the sample ASP2BU2 with 2% sugarcane bagasse ash and 4% beach sand, resulting in the Marshall test values: VIM 3.53%; VMA 20.42%; VFB 148.65%; Stability 1040.60 kg; Flow 2.50 mm; MQ 416.24 kg/mm. The composition of 3% sugarcane bagasse ash and 6% beach sand produced the highest stability of 3386.87 kg, exceeding the minimum criterion of 800 kg. These results indicate that this combination of materials is suitable for use as an additive in AC-WC.

Keywords : AC-WC; Sugarcane Bagasse; Sand Beach; Marshall Test

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu sarana penting yang mendukung mobilisasi dan menghubungkan satu wilayah ke wilayah lainnya. Keberadaan jalan memiliki peranan penting dalam berbagai sektor, seperti ekonomi, sosial, budaya, hingga pemerintahan (Langit *et al.*, 2023). Dalam perancangan dan pembangunan infrastruktur jalan, perkerasan jalan menjadi komponen utama yang menentukan kualitas dan ketahanan yang diperkuat melalui sejumlah lapisan konstruksi, yang dirancang dengan ketebalan, kekuatan, kekakuan, dan kestabilan tertentu agar dapat mendistribusikan beban lalu lintas secara efisien dan aman ke lapisan tanah dasar (Maulana & Muhlis, 2024). Infrastruktur jalan yang baik akan memberikan rasa aman dan nyaman bagi pengguna, serta memperlancar mobilitas masyarakat di seluruh wilayah Indonesia.

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang umum digunakan sebagai lapisan aus paling atas yang langsung bersentuhan dengan lalu lintas kendaraan (Rosuli *et al.*, 2024). Lapisan ini terdiri dari campuran agregat mineral, aspal bitumen, dan *filler* yang dicampur serta dipadatkan hingga membentuk lapisan perkerasan jalan yang kuat dan stabil. AC-WC berfungsi untuk memberikan permukaan jalan yang halus, mampu menahan beban lalu lintas, serta melindungi lapisan di bawahnya dari kerusakan akibat cuaca, geseran, dan air.

Pada daerah yang memiliki potensi besar dalam pengembangan infrastruktur jalan seringkali masih mengandalkan material bahan konstruksi jalan yang menggunakan bahan impor. Kondisi ini membuka peluang untuk memanfaatkan bahan alam lokal sebagai alternatif tambahan material dalam pembangunan jalan. Pemanfaatan bahan alam tersebut diharapkan dapat memperkuat lapisan perkerasan jalan, khususnya pada *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC), serta mendukung efisiensi dan keberlanjutan dalam pembangunan infrastruktur.

Salah satu alternatif bahan alam yang berpotensi digunakan dalam campuran perkerasan jalan AC-WC adalah ampas tebu dan pasir pantai. Ampas tebu dihasilkan dari limbah pertanian yang dapat dimanfaatkan sebagai *filler* dalam campuran aspal, karena mengandung senyawa kimia yang bersifat pozzolan yaitu, mengandung silikia sangat tinggi dan dapat meningkatkan kuat tekan dan kuat tarik beton pada aspal. Selain itu, kandungan organik dalam ampas tebu juga berpotensi memperbaiki sifat ikatan antara agregat dan aspal, sehingga dapat meningkatkan daya tahan perkerasan terhadap beban lalu lintas dan perubahan suhu.

Pasir pantai yang digunakan sebagai agregat halus pengganti sebagian material konvensional merupakan material alam yang mudah diperoleh di wilayah pesisir dan dapat dimanfaatkan sebagai agregat halus dalam campuran perkerasan jalan. Namun, sebelum digunakan, pasir pantai perlu melalui proses pencucian dan penyaringan untuk menghilangkan kandungan garam serta bahan organik yang dapat mempengaruhi daya rekat dan mutu campuran perkerasan jalan. Dengan pemrosesan dan proporsi yang tepat, kombinasi ampas tebu dan pasir pantai berpotensi menjadi solusi inovatif dalam mendukung pembangunan infrastruktur jalan yang ramah lingkungan, efisien, dan berkelanjutan.

Pada penelitian ini, digunakan *Marshall Test* untuk mengetahui karakteristik dan kekuatan campuran aspal yang disubstitusi dengan abu ampas tebu dan pasir pantai. Metode ini dipilih karena merupakan salah satu uji standar yang umum digunakan dalam evaluasi campuran perkerasan, khususnya untuk mengukur stabilitas, kelelahan (*flow*), dan densitas campuran aspal. *Marshall Test* dinilai efektif dalam menentukan performa campuran terhadap beban lalu lintas, sehingga sangat relevan untuk menilai kelayakan penggunaan material alternatif dalam campuran perkerasan jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka disusun rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh kadar pencampuran material abu ampas tebu (*sugarcane bagasse ash*) dan Pasir Pantai terhadap pengujian *Marshall Test*?
2. Apakah abu ampas tebu dan pasir pantai dapat menjadi substitusi alternatif pada modifikasi campuran laston *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui *Job Mix Design* tertinggi dengan parameter nilai (*stabilitas, flow, VIM, VMA, MQ*) pada pengujian *Marshall Test*.
2. Mengetahui *stabilitas Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan abu ampas tebu dan pasir pantai sebagai bahan substitusi alternatif dalam modifikasi campuran perkerasan aspal secara optimal.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Secara teoritis
Menambah wawasan ilmu di bidang teknik sipil mengenai penggunaan abu ampas tebu dan pasir pantai sebagai bahan tambahan pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) untuk perkerasan jalan.
2. Secara praktis
Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah mengenai pengaruh penambahan abu ampas tebu dan pasir pantai terhadap kinerja campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) pada perkerasan jalan.

1.5 Batasan Masalah

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

1. Praktek penelitian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Unissula.

2. Menggunakan bahan aspal dengan penetrasi 60/70 dari PT Semarang Multicon Kendal
3. Menggunakan bahan tambah abu ampas tebu dan pasir pantai yang diambil dari pasir pantai Tirang Kota Semarang.
4. Menggunakan variasi penambahan abu ampas tebu dengan kadar 0%, 1%, 2 %, 3%.
5. Menggunakan variasi penambahan pasir pantai dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6%.
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.



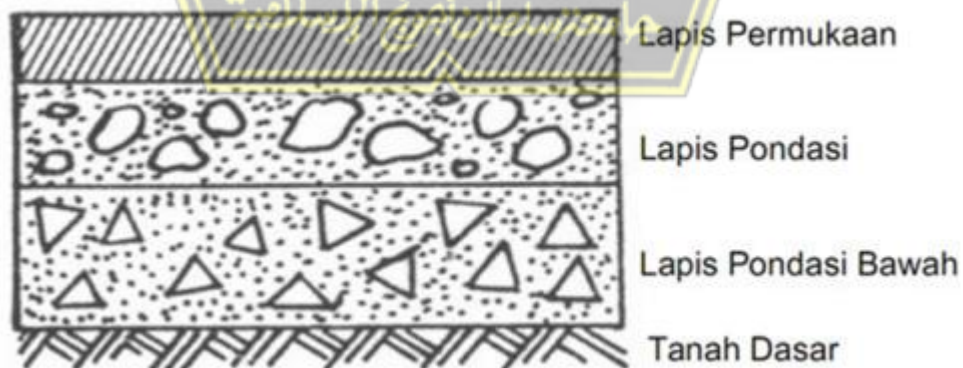
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

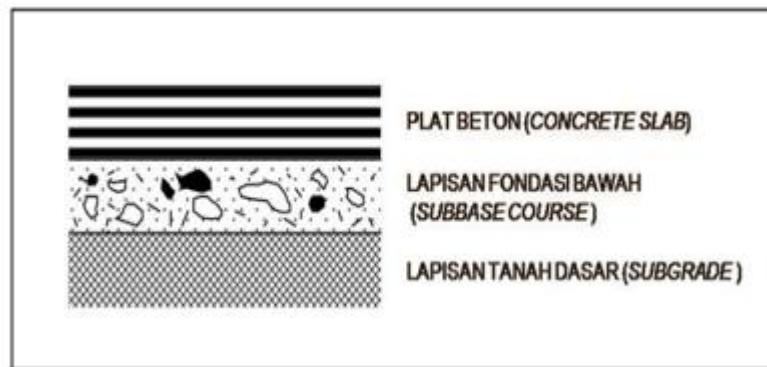
Perkerasan jalan adalah lapisan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan. Lapisan ini berhubungan langsung dengan kendaraan dan berfungsi sebagai sarana terhadap jalannya lalu lintas dan menerima beban lalu lintas setiap harinya (Masykur & Susilo, 2018). Lapis perkerasan bagian atas disebut lapisan permukaan yang kontak langsung dengan roda kendaraan dan lingkungan biasanya lapisan ini lebih cepat rusak akibat beban kendaraan dan air.

Jenis konstruksi perkerasan jalan dibedakan berdasarkan bahan pengikatnya, yaitu konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*) (Pasaribu & Simanullang, 2021). Konstruksi perkerasan lentur menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya dan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Konstruksi perkerasan kaku menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya dan pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Sedangkan perkerasan komposit adalah kombinasi antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur.



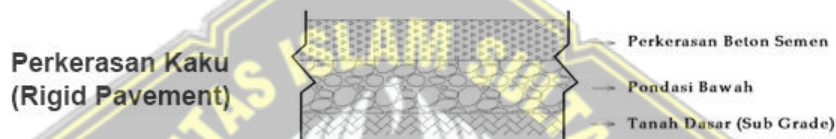
Gambar 2. 1 Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible pavement*)

Sumber : KemenPUPR, 2017



Gambar 2. 2 : Lapisan Konstruksi Perkerasan kaku (*Rigid Pavement*)

Sumber : KemenPUPR, 2017



Gambar 2. 3 Lapisan Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Sumber : KemenPUPR, 2017

Tabel 2. 1 Perbedaan antara Perkerasan Kaku dan Perkerasan Lentur

No	Keterangan	Perkerasan Kaku	Perkerasan Lentur
1	Bahan Pengikat	Semen	Aspal
2	Repatisi Beban	Timbul retak-retak pada permukaan	Timbul <i>rutting</i> (lendutan pada jalur roda)
3	Penurunan Tanah Dasar	Bersifat sebagai balok di atas perletakan	Jalan bergelombang mengikuti tanah dasar
4	Perubahan Temperatur	Modulus kekakuan tidak berubah dan timbul tegangan dalam yang besar	Modulus kekakuan berubah dan timbul tegangan dalam yang kecil

2.1.1 Fungsi dan 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 sebagai berikut:

1. Jalan Arteri

adalah jenis jalan yang dirancang untuk melayani arus lalu lintas utama dalam suatu jaringan jalan, dengan fungsi utama menghubungkan kawasan-kawasan penting seperti pusat kota, kawasan industri, atau daerah lain yang memiliki aktivitas tinggi. Jalan ini memiliki kapasitas besar dan batas kecepatan yang lebih tinggi dibanding jalan lokal atau kolektor. Secara umum, jalan arteri terbagi menjadi dua jenis:

a. Jalan Arteri Primer

Menghubungkan antar pusat kegiatan nasional atau provinsi, dan biasanya merupakan bagian dari jaringan jalan nasional atau jalan tol, kecepatan rata-rata lebih dari 60km/jam dan lebar jalan lebih dari 8 meter.

b. Jalan Arteri Sekunder

Menghubungkan antar pusat kegiatan di dalam kota, seperti antar kecamatan atau kelurahan, dan merupakan bagian dari jaringan jalan kota, biasanya kecepatan rata-rata lebih dari 30km/jam dan lebar badan kurang lebih 8 meter.

2. Jalan Kolektor

adalah jenis jalan yang berfungsi menghubungkan antara jalan lokal dengan jalan arteri, serta mengumpulkan lalu lintas dari jalan-jalan di sekitarnya untuk dialirkan ke jalan arteri atau sebaliknya. Jalan kolektor berperan sebagai pengumpul dan penyebar lalu lintas. Jenis-jenis jalan kolektor:

- a. **Jalan Kolektor Primer** : bagian dari sistem jalan nasional dan provinsi. Dimana kecepatan pada umumnya lebih dari 40km/jam dan lebar badan jalan lebih dari 7 meter.

- b. **Jalan Kolektor Sekunder:** bagian dari sistem jalan kabupaten/kota. Dimana kecepatan pada umumnya tidak lebih dari 20km/jam dan lebar badan jalan tidak lebih dari 7 meter.

3. Jalan Lokal

adalah jalan yang melayani angkutan umum setempat dengan ciri-ciri perjalanan dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi. Jalan lokal terdiri dari sistem jaringan jalan yaitu:

- a. **Jalan lokal primer** adalah jalan yang menghubungkan antar wilayah dengan jarak yang tidak terlalu jauh, dengan kecepatan rata-rata tidak lebih dari 20km/jam dan lebar badan jalan tidak lebih dari 6 meter.
- b. **Jalan lokal sekunder** adalah jalan yang menghubungkan kawasan sekunder dengan perumahan, menghubungkan kawasan kedua dengan perumahan, dengan rata-rata kecepatan tidak lebih dari 10-20km/jam dengan lebar badan jalan tidak lebih dari 5 meter.

4. Jalan Lingkungan

adalah jalan umum dengan fungsi sebagai penyediaan 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. 2 Klasifikasi Kelas Jalan

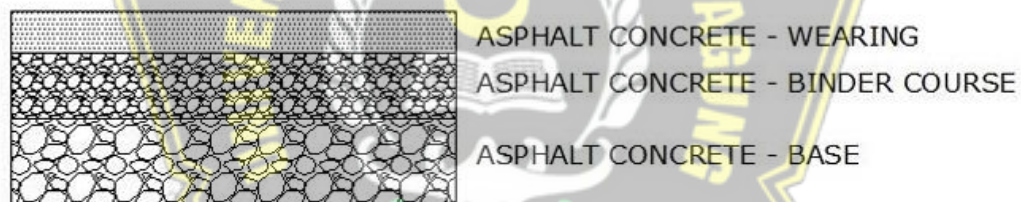
Kelas Jalan	Fungsi Jalan	Dimensi Kendaraan Maksimum			Muatan Sumbu Terberat (Ton)
		Lebar (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)	
I	Arteri, Kolektor	2,5	18	4,2	10
II	Arteri, Kolektor, Lokal, Lingkungan	2,5	12	4,2	8
III	Arteri, Kolektor, Lokal, Lingkungan	2,1	9	3,5	8
Khusus	Arteri	>2,5	>18	4,2	>10

Sumber : UU No. 22 Tahun 2009 Pasal 19

2.1.2 Perkerasan Aspal Beton

Menurut Bina Marga (2018), lapisan aspal beton atau laston terdapat 3 lapisan yang digunakan pada perkerasan jalan yaitu lapis permukaan atau *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), lapis pondasi atau *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) dan lapis pondasi bawah atau *Asphalt Concrete-Base* (AC-Base), ketiga lapisan ini disusun secara berurutan dari atas kebawah dan memiliki ketebalan yang berbeda dalam mendukung fungsi spesifik masing-masing lapisan tersebut. AC-WC memiliki ketebalan minimum 4cm, AC-BC dengan ketebalan minimum 6cm dan AC-Base dengan ketebalan minimum 7,5 cm.

Asphalt concrete-wearing Course (AC-WC) merupakan campuran berbagai material yaitu agregat halus, agregat kasar, aspal dan filler yang dipadatkan untuk membentuk lapis atas pada perkerasan jalan. Campuran ini mempunyai karakteristik yang baik, seperti ketahanan terhadap beban lalu lintas, kemampuan meredam getaran, dan fleksibilitas dalam mengatasi deformasi.



Gambar 2. 4 Perkerasan Aspal Beton
Sumber : KemenPUPR, 2017

2.2 Sifat dan Karakteristik Campuran Aspal Beton

Bitumen yaitu bahan yang berwarna hitam dan memiliki sifat viskoelastis yang membuatnya menjadi leleh dan mencair (Mentari, 2023). Aspal berfungsi sebagai bahan pelekats pada perkerasan lentur. Aspal juga memiliki dari senyawa hidrokarbon yang mengandung sulfur, chlor, dan oksigen.

Tabel 2. 3 Ketentuan untuk Aspal Keras Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode 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 2431:2011	≥1,0
7	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤0,8
8	Indeks Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6..3.2.5

Tabel 2. 4 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
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

2.3 Penyusunan Perkerasan Jalan

2.3.1 Aspal

Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang bersifat lengket dan tahan air, yang terbentuk secara alami atau diperoleh sebagai hasil samping dari pemrosesan minyak bumi (Ginting, 2019). Aspal banyak digunakan sebagai bahan pengikat dalam konstruksi jalan raya, bandara, dan berbagai infrastruktur lainnya

karena kemampuannya merekatkan agregat dan membentuk permukaan yang tahan lama.

Aspal atau bitumen adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Bitumen atau aspal merupakan campuran hidrokarbon yang tinggi berat molekul. Rasio presentase antara komponen bervariasi, sehubungan dengan asal-usul minyak mentah dan metode dan metode destilasi.

Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen relative mahal. Aspal merupakan proses lanjutan dari residu hasil destilasi minyak bumi. Bahan aspal dapat dibedakan menjadi:

1. Bahan dasar aspal (*Asphaltic base crude oil*)
2. Bahan dasar parafin (*Parafin base crude oil*)
3. Bahan dasar campuran (*Mixed base crude oil*)

Aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai:

1. Bahan pengikat, yang akan memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan aspal itu sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

2.3.1.1 Jenis-Jenis Aspal

Berdasarkan cara memperolehnya, aspal dapat dibedakan atas (Gasruddin, 2019):

1. Aspal alam, yaitu bahan alam yang terbentuk melalui proses alami dari penguraian minyak bumi dan material organik di bawah tekanan dari panas dalam jangka waktu yang lama serta menghasilkan bahan padat yang memiliki sifat lengket dan rekat, biasanya dapat dibedakan menjadi:
 - a. Aspal Gunung (*Rock Asphalt*)
 - b. Aspal Danau (*Lake Asphalt*)

2. Aspal buatan, yang dikenal dengan bitumen minyak dan merupakan komponen kental yang ditemukan dalam minyak bumi mentah, biasanya dapat dibedakan menjadi:
 - a. Aspal Minyak hasil dari penyulingan dari minyak bumi
 - b. Tar, merupakan hasil penyulingan dari batu bara

2.3.1.2 Komposisi Aspal

Aspal sebagai bahan pengikat pada aspal campuran panas, mempunyai sifat fisik yang di tentukan oleh komposisi kimia. Unsur hydrocarbon yang sangat kompleks, sangat sukar untuk memisahkan molekul-molekul yang berbentuk aspal tersebut. Komposisi Aspal terdiri dari Asphaltene dan Maltene.

1. **Asphaltene** adalah fraksi berat dan kompleks dari minyak bumi yang terdiri dari molekul hidrokarbon aromatik besar dengan gugus heteroatom seperti nitrogen, oksigen, sulfur, serta logam seperti vanadium dan nikel.
2. **Maltene** adalah fraksi minyak bumi yang terdiri dari senyawa hidrokarbon yang larut dalam n-alkana (seperti n-heptana atau n-pentana), tidak seperti asphaltene yang tidak larut. Maltene merupakan bagian dari minyak berat yang tidak mengendap saat fraksi asphaltene dipisahkan menggunakan pelarut.

2.3.2 Agregat

Agregat adalah komponen utama dalam campuran aspal beton. Agregat memberikan stabilitas, kekuatan, dan sifat mekanis lainnya pada perkerasan. Pemilihan jenis, ukuran, dan distribusi agregat memiliki dampak signifikan terhadap sifat fisik dan mekanis aspal beton.

Agregat didefinisikan sebagai material yang terbuat dari mineral padat, baik dalam satu massa besar maupun dalam bentuk yang lebih kecil. Bahan penyusun utama perkerasan jalan adalah agregat, yang membentuk 90-95% struktur berdasarkan berat atau 75-85% berdasarkan volume. Sifat agregat dan campuran yang dihasilkan dari agregat dengan elemen lain menentukan kualitas perkerasan jalan.

Dalam pemilihan agregat, diperlukan pertimbangan seperti jenis konstruksi, gradasi, ukuran maksimum, kebersihan, daya tahan, bentuk, tekstur, daya rekat agregat terhadap aspal, dan berat jenis harus dibuat (Korompis *et al.*, 2015). Diameter agregat material yang digunakan untuk membangun jalan ini berkisar antara 19 mm hingga 0,075 mm. atau agregat yang lolos ayakan no. 200 hingga no. 2.

Karakteristik agregat yang menentukan penggunaannya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dibagi menjadi tiga (3) kelompok :

1. Kekasaran permukaan, ketangguhan, daya tahan bentuk butiran, ukuran maksimum, kandungan lempung, dan gradasi, semuanya memengaruhi seberapa kuat dan tahan lama lapisan perkerasan.
2. Porositas, kemampuan menyerap air, dan jenis agregat yang digunakan semuanya mempengaruhi seberapa baik lapisan aspal..
3. Kesederhanaan implementasi dan penciptaan lapisan yang nyaman dan aman ditentukan oleh kemampuan kerja campuran aspal dan ketahanan terhadap selip.

Besarnya kadar pori pada agregat, menyebabkan banyaknya aspal yang terserap pada agregat sehingga aspal menjadi lebih tipis. Untuk menentukan banyaknya pori dapat dilihat dari air yang terserap oleh agregat. Nilai penyerapan adalah perubahan pada berat agregat yang semula kering dan pada kondisi basah karena adanya penyerapan air, dapat dituliskan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{B_s}{B + B_s} \times 100\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

B : Berat piknometer isi air (gr)

Bt : Berat piknometer isi benda uji dan air (gr) Bs : Berat sampel (gr)

Bj : Berat sampel kering permukaan jenuh

Bk: Berat sample kering (dikeringkan dalam oven)

2.3.2.1 Agregat Halus

Agregat yang memiliki gradasi baik dan susunan ukuran yang menerus mulai dari kasar sampai halus (dominan halus) merupakan agregat halus. Agregat halus adalah agregat yang lolos pada saringan no.8 (2,36mm). Memiliki tekstur yang keras, tidak mengandung lempung, bersih, dari bahan apapun merupakan kriteria dari agregat halus. Berikut dapat dilihat pada tabel 2.2 untuk syarat agregat halus lainnya menurut Spesifikasi Bina Marga.

Tabel 2. 5 Persyaratan Agregat Halus untuk AC-WC

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

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.3.2.2 Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar 4,75 mm yang ditahan oleh saringan No. 4 adalah fraksi agregat kasar yang digunakan dalam desain; agregat kasar harus kuat, bersih, dan tidak mengandung lempung serta komponen lain yang tidak diinginkan, serta memenuhi spesifikasi yang tercantum dalam Tabel 2.6.

Agregat kasar berbutir bulat lebih mudah dipadatkan namun memiliki stabilitas yang lebih rendah, sedangkan agregat kasar yang berbentuk bersudut lebih sulit dipadatkan namun memiliki stabilitas yang lebih tinggi. Ketika digunakan sebagai campuran lapis aus, agregat kasar harus tahan terhadap abrasi, yang berarti bahwa nilai uji abrasi los angeles harus dipenuhi.

Tabel 2. 6. Persyaratan Agregat Kasar untuk AC-WC

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

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.3.2.3 Gradasi Agregat

Faktor yang harus diperhatikan pada penentuan stabilitas perkerasan adalah gradasi agregat. Jumlah rongga antar butir mempengaruhi gradasi agregat dan kemudahan pelaksanaan serta penentuan stabilitas. Menurut Jenderal & Marga (2018). terdapat 2 kategori gradasi agregat adalah sebagai berikut :

a. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam adalah gradasi agregat yang mempunyai ukuran hampir sama. Dikarenakan mempunyai sedikit agregat halus dan terdapat banyaknya rongga kosong antar agregat, gradasi seragam disebut sebagai gradasi terbuka (*open graded*). Gradasi ini dipakai pada campuran beraspal yang mempunyai sifat porus atau mempunyai nilai tinggi untuk permeabilitas, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

b. Gradasi rapat (*Dense graded*)

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

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

Keterangan:

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka

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

c. Gradasi senjang (*Gap graded*)

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

Langkah berikutnya adalah penentuan gradasi agregat untuk campuran. Penggunaan gradasi agregat campuran yang digunakan pada pembuatan benda uji yaitu campuran aspal panas hot rolled sheet untuk lapisan wearing course dengan Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 7 Gradasi Agregat untuk Campuran Aspal Beton

Ukuran Ayakan (mm)	%Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
	AC-WC	AC-BC	AC-BASE
37,5			100
25		100	90-100
19	100	90-100	76-90
12,5	90-100	75-90	60-78
9,5	77-90	66-82	52-71
4,75	53-69	46-64	35-54
2,36	33-53	30-49	23-41
1,18	21-40	18-38	13-30
0,600	14-30	12-28	10-22
0,300	9-22	7-20	6-15
0,150	6-15	5-13	4-10
0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber : Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3

2.3.3 Filler

Bahan yang digunakan dalam campuran aspal yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) disebut *filler*. Semen portland, abu terbang, abu batu, dan kapur terhidrasi adalah beberapa dari bahan ini (Gunarto & Candra, 2019). *Filler* berfungsi dalam mengurangi sensitivitas suhu, mengurangi jumlah celah udara dalam campuran, dan meningkatkan kepadatan campuran. Namun, dosis filler harus dijaga dalam kisaran yang wajar. Jumlah *filler* yang berlebihan dapat membuat campuran menjadi rapuh dan memudahkan beban lalu lintas untuk menimbulkan retakan pada aspal. Pada suhu tinggi, campuran akan menjadi lembek jika kadar *filler* terlalu rendah. Jumlah *filler* yang ideal berada di antara 0,6 dan 1,2 yang juga dikenal sebagai Proporsi Debu untuk persentase filler terhadap kandungan aspal dalam campuran.

Filler yang baik harus kering (dengan kadar air tidak lebih dari 1%) dan bebas dari kotoran atau komponen yang tidak diinginkan lainnya. Semen adalah bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini. Tujuan *filler* dalam kombinasi tersebut adalah:

1. Mengubah agregat halus dan meningkatkan berat jenis campuran serta mengurangi jumlah aspal yang dibutuhkan untuk mengisi celah.
2. Ketika filler dan aspal digabungkan, keduanya akan menghasilkan pasta yang mengikat dan membungkus partikel halus untuk membuat mortar. Kepadatan dan stabilitas meningkat, dan rongga antara agregat halus dan kasar terisi.

2.3.4 Ampas Tebu

Ampas tebu adalah bahan sisa berserat dari batang tebu yang telah mengalami ekstraksi niranya pada industri pengolahan gula pasir (Langit *et al.*, 2023). Ampas tebu juga dapat dikatakan sebagai produk pendamping, karena ampas tebu sebagian besar dipakai langsung oleh pabrik gula sebagai bahan bakar ketel untuk menghasilkan energi yang diperlukan selama proses produksi pembuatan gula, yaitu sekitar 10,2 juta ton per tahun (97,4% produksi ampas). Ampas tebu merupakan sisa dari bagian batang tebu dalam proses ekstraksi tebu yang memiliki kadar air berkisar 46–52%, kadar serat 43–52% dan padatan terlarut sekitar 2–6%.

2.3.5 Pasir Pantai

Pasir pantai merupakan material yang melimpah di daerah pesisir dan dapat digunakan sebagai agregat halus dalam campuran AC-WC (Shabrina *et al.*, n.d.). Pasir Pantai sedimen anorganik berukuran kecil, sekitar 0,0625 hingga 2 milimeter, yang berasal dari pelapukan batuan dan bahan organik di daratan atau dasar laut yang terbawa oleh air dan angin ke pantai. Pasir pantai terdiri dari berbagai mineral, seperti kuarsa, feldspar, dan mineral berat lainnya. Komposisi pasir pantai dapat bervariasi tergantung pada asal-usul batuan di sekitarnya. Pasir pantai sebagian besar berasal dari pelapukan batuan beku dan metamorf di daratan. Pelapukan terjadi melalui proses fisik seperti erosi oleh angin, air, dan es, serta proses kimiawi. Ada berbagai jenis pasir pantai, termasuk pasir putih, pasir hitam, dan pasir berwarna lainnya, tergantung pada kandungan mineralnya. Pasir pantai juga dapat mengandung fragmen cangkang, karang, dan sisa-sisa organisme laut.

2.3.6 Campuran Aspal Panas (*Hot Mix*)

Dalam pembuatan campuran aspal panas agregat bergradasi rapat dengan filler, partikel halus, dan kasar yang dapat membentuk sebagian besar yang dicampur bersama, lalu ditambahkan aspal sebagai bahan pengikat. Setelah itu, komponen-komponen tersebut digabungkan dan dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu untuk menciptakan kombinasi yang dapat diaplikasikan pada jalan sebagai bahan lapisan perkerasan. Agregat dan aspal yang dibutuhkan untuk membuat campuran aspal panas dipanaskan terlebih dahulu. Pemanasan ini berfungsi untuk mempermudah pengaplikasian campuran. Aspal harus dipanaskan terlebih dahulu hingga suhu tertentu dan kemudian digabungkan dengan agregat agar dapat mencair karena, seperti yang telah diketahui, aspal memiliki sifat fisik yang sangat keras pada cuaca dingin.

Gesekan dan kekompakan komponen yang digunakan dalam kombinasi perkerasan jalan menentukan kemampuannya untuk mencapai daya dukung. Gaya gesek antara butiran serta gradasi dan kekuatan agregat bergabung untuk menghasilkan

gesekan agregat. Agregat secara alami akan memiliki gesekan yang baik jika memiliki karakteristik fisik yang kuat dan gradien yang rapat antar butirannya. Mengenai kohesifitas, hal ini berasal dari karakteristik aspal yang digunakan. Akibatnya, agregat dan juga aspal yang digunakan memiliki pengaruh signifikan terhadap kinerja campuran aspal.

Komponen dasar dari konstruksi perkerasan jalan adalah bahan pengisi, aspal, dan agregat (baik halus maupun kasar). Campuran aspal panas terdiri dari 3 jenis yaitu agregat bergradasi seragam, agregat bergradasi renggang, dan agregat bergradasi rapat.

2.3.7 Campuran AC-WC

Agregat dan aspal mewakili dua elemen pokok dalam komposisi campuran aspal. Meski demikian, bergantung pada metode dan tingkat signifikansi dalam penyusunan perkerasan jalan, penggunaan agregat dan aspal dapat mengalami modifikasi. Salah satu formulasi campuran aspal yang telah mengalami perkembangan dan penerapan yang luas oleh Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah adalah AC-WC (*Asphalt Concrete - Wearing Course*). AC-WC merupakan salah satu dari tiga jenis campuran lapis beton aspal, yang melibatkan AC-BC dan AC-Base sebagai jenis lainnya.

AC-WC merupakan lapis permukaan atas dalam perkerasan jalan dan jika dibandingkan dengan jenis laston lainnya, AC-WC mempunyai tekstur yang paling halus. Struktur agregat pada gradasi menerus mempunyai sedikit rongga pada campuran dibandingkan dengan campuran bergradasi senjang. Dikaarenakan hal itu mengakibatkan pekanya campuran AC-WC terhadap variasi pada proporsi campuran. Berikut adalah persyaratan dari Campuran Laston terdapat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2. 8 Ketentuan Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		LASTON					
		AC-WC		AC-BC		AC-Base	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar Aspal Efektif (%)	Min.	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah Tumbukan per Bidang		75				112	
Rongga dalam Campuran (%)	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam Agregat (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800	
Pelelehan (mm)	Min.	3,0				4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas Marshall Sisa setelah Perendaman 24 jam , 60 C (%)	Min.	90					
Rongga dalam Campuran pada Kepadatan Membal (%)	Min.	2,5					

Sumber : Bina Marga. 2010

2.4 Marshall Test

Alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) disebut dengan *Marshall Test*. *Marshall Test* digunakan untuk mengukur stabilitas campuran *Proving ring* memiliki arloji pengukur. Lalu untuk mengukur kelelehan plastis (*flow*) terdapat arloji kelelehan (*flow*). Memiliki diameter 10 cm berbentuk silinder dan tinggi 7,5 cm benda uji ini memiliki alat penumbuk disertai berat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inci (45,7 cm),serta dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.

Penentuan kinerja dari beton aspal padat dilakukan pengujian yang meliputi :

1. Menentukan berat volume dari benda uji
2. Menguji nilai stabilitas hingga kelelehan plastid.
3. Menguji kelelehan (*flow*) hingga batas keruntuhan.
4. Menghitung padatnya berat idi dari campuran aspal.

5. Membandingkan kadar aspal efektif dengan hasil material yang lolos saringan no.200
6. Menganalisis dan melakukan perhitungan setiap jenis volume pori yang ada pada beton aspal padat meliputi VIM, VMA, VFA.
7. Menghitung ketebalan dari selimut aspal.

2.4.1 Uji Karakteristik *Marshall Test*

Untuk mendapatkan karakteristik serta nilai stabilitas dan *flow* dilakukan pembacaan dial secara langsung, dilakukan pengujian campuran menggunakan *Marshall Test*. Bruce Marshall dari *Misisipi State Highway Department* sekitar tahun 1940-an memperkenalkan metode ini untuk pertama kalinya. Nilai VIM, VMA, VFA dan *marshall quotient* juga akan didapatkan dalam *Marshall Test* ini. Metode *Marshall Test* digunakan untuk menguji campuran aspal beton yang mana ini termasuk dalam penelitian *elastic* modulus.

Terlepas dari jenis agregat dan metode desain campuran aspal, spesimen silinder yang dipadatkan dengan alat pemadat superpave atau marshall dapat digunakan untuk mempelajari sifat deformasi permanen campuran aspal. Menurut Xiang (2008), pendekatan *Marshall* digunakan dalam desain campuran aspal untuk mengevaluasi sifat retak campuran. Volumetrik campuran dalam keadaan padat, yang terdiri dari rongga udara dalam campuran (VIM), rongga antar agregat (VMA), dan rongga yang terisi aspal (VFA), berperan besar dalam menentukan kinerja campuran aspal.

Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga pada tahun 2006 No: 001 - 05 /BM/2006 tentang pemanfaatan Asbuton, kombinasi aspal minyak emulsi dengan aspal panas, menetapkan ketentuan untuk campuran beraspal dingin dengan butiran Asbuton. Spesifikasi hasil pemadatan briket dengan tumbukan 2×50 dapat dilihat pada SNI 06-2489-1991, bersama dengan petunjuk cara pengujian campuran aspal untuk lalu lintas berat dengan menggunakan alat marshall tumbukan 2×75 .

a. Stabilitas (*stability*)

Tingkat stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa deformasi yang terjadi di bawah beban bersifat minimal. Affandi (2006) mengindikasikan bahwa

peningkatan stabilitas dalam campuran aspal dapat dicapai dengan penambahan asbuton murni. Meski demikian, penambahan mineral asbuton dalam campuran aspal berpotensi menurunkan berat jenis mineral asbuton, seperti diungkapkan oleh Hermadi (2006). Lebih lanjut, penelitian oleh Affandi (2006) mengungkapkan bahwa campuran aspal AC-WC yang mengandung aspal minyak memperoleh stabilitas sebesar 1200 kg, sementara Kurniadji (2006) mencatat bahwa campuran aspal beton yang menggunakan aspal minyak menunjukkan stabilitas sebesar 1310 kg.

b. Kelelahan (*flow*)

Selama pengujian stabilitas Marshall, kelelahan (*flow*) adalah jumlah deformasi vertical yang diukur dalam milimeter (mm), saat benda uji campuran aspal mendapati titik beban maksimum. Hal tersebut membuktikan tingkat deformasi pada lapisan perkerasan aspal saat menahan beban yang diberikan. Viskositas aspal, jumlah persen aspal yang digunakan, jumlah pemadatan yang diterapkan, gradasi agregat, dan tingkat pemadatan yang ditetapkan, semuanya memiliki dampak yang signifikan terhadap nilai *flow*. Furqon Affandi dan Kurniadji (2006) menemukan nilai pada *flow* sebesar 3,3 mm menggunakan campuran aspal minyak dan 3,7 mm pada campuran aspal AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) murni dengan aspal buton murni.

c. Berat Jenis Bulk Beton Aspal Padat (Gmb)

Menggunakan hukum Archimedes berat jenis bulk dari beton aspal padat (Gmb) dapat diukur sebagai berikut:

$$G = \frac{\text{berat benda uji kering}}{\text{berat benda uji kering permukaan} - \text{berat benda uji dalam air}} \quad 45$$

.....(2.4)

d. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal Yang Belum Dipadatkan (Gmm)

Berat jenis maksimum yang tidak dilakukan pemadatan campuran beton aspal (Gmm) ditentukan melalui pengujian laboratorium dan mewakili berat jenis tanpa udara pada campuran beton aspal.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (2.5)$$

Keterangan :

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran

P_b = Jumlah aspal terhadap total dari berat campuran, dinyatakan dalam

% G_b = Berat jenis aspal

P_s = Jumlah agregat terhadap total dari berat campuran, dinyatakan dalam %

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

e. Perhitungan Jumlah Aspal Yang Terserap

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} \cdot G_{se}} \times G_b \quad (2.6)$$

Keterangan :

P_{ba} = Jumlah dari aspal yang terserap terhadap agregat dinyatakan dalam % G_b

= Berat jenis aspal

G_{sb} = Berat jenis bulk agregat G_{se} = Berat jenis spesifik agregat

f. Perhitungan Efektif Jumlah Aspal Dalam Campuran

$$P_{be} = P_b \times \frac{P_{ba}}{100} \times P_s \quad (2.7)$$

Keterangan :

P_{be} = Jumlah aspal efektif terhadap total dari berat campuran, dinyatakan dalam %

P_b = Jumlah aspal terhadap total dari berat campuran, dinyatakan dalam %

P_s = Jumlah agregat terhadap total dari berat campuran, dinyatakan dalam %

P_{ba} = Jumlah aspal yang terserap terhadap berat dari agregat, dinyatakan dalam %

g. Berat Jenis Bulk Agregat Campuran (Gsb)

Gradasi agregat tertentu yang mana diperlukan guna membuat beton aspal padat biasanya dicapai dengan menggabungkan berbagai fraksi agregat di lokasi. Penentuan berat dari beton aspal padat memerlukan berat jenis agregat gabungan karena setiap agregat memiliki berat jenis yang sesuai.

$$G_{sb} = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}\right)} \quad (2.8)$$

Keterangan :

G₁, G₂, G_n = Spesifikasi berat setiap jenis agregat

P₁, P₂, P_n = Persentase berat setiap jenis agregat

h. Berat Jenis Efektif Agregat Campuran (Gse)

Penentuan maksimum dari berat jenis beton aspal yang belum dipadatkan dapat dilakukan di laboratorium.

$$G_{sb} = \frac{100}{\left(\frac{P_1}{G_e} + \frac{P_2}{G_e} + \dots + \frac{P_n}{G_{en}}\right)} \quad (2.9)$$

Keterangan :

G_{e1}, G_{e2}, .. G_{en} = Spesifikasi berat setiap jenis agregat

P₁, P₂, P_n = Persentase berat setiap jenis agregat

i. Vold In The Mix (VIM)

Hermadi (2008) mengatakan bahwa tingginya nilai VIM menunjukkan bahwa aspal memiliki kualitas yang tidak awet dan stabilitas rendah hal ini dikarenakan campuran aspal lebih porous. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai VIM diantaranya prosentase *filler*, agregat kasar maupun prosentase bitumen dalam campuran. Pengaruh dari bentuk pipih atau kubik yang termasuk fisik material juga sangat berpengaruh. Berdasarkan Buku 5 pemanfaatan Aspal minyak campuran aspal minyak butir peremaja emulsi dengan aspal panas, analisa rumus VIM sebagai berikut :

$$\text{VIM} \quad (\%) = 100 \times \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right)^{45} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

Gmb = Berat Jenis Bulk Campuran Gmm= Berat jenis maksimum campuran

VIM = Rongga pada campuran, persen dari volume total campuran

j. Vold In Mineral Agregat

Tayfur (2007) mencatat bahwa volume rongga antar agregat mineral (VMA) disebut sebagai parameter kritis dalam penilaian campuran aspal, di mana semakin rigid campuran aspal, VMA cenderung menurun. Dalam konteks ini, Suaryana (2008) melaporkan bahwa penggunaan aspal minyak 60/70 dalam campuran aspal AC menghasilkan nilai VMA sebesar 20,29%. Selanjutnya, Hermadi (2008) mengungkapkan bahwa pemanfaatan aspal minyak pada campuran aspal AC-WC mengakibatkan penurunan nilai VMA menjadi 19,2%. Pengembangan rumus analisis VMA, sebagaimana dijelaskan dalam Buku 5 mengenai penggunaan campuran aspal minyak panas dan aspal minyak emulsi, dapat dirinci sebagai berikut:

$$\text{VMA} \quad (\%) = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots (2.11)$$

Keterangan :

P_s = Jumlah agrgat, % pada total berat campuran

K_A = Kadar air (%)

G_{mb} = Berat jenis bulk pada campuran

G_{sb} = Berat jenis efektif agregat

k. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Pada aspal beton padat, istilah "volume pori-pori di antara butiran agregat" (VMA) mengacu pada jumlah pori-pori yang terisi aspal. VFA adalah persentase pori-pori berisi aspal yang ditemukan antar butiran agregat. Area VMA yang terisi aspal, dikurangi aspal yang terserap oleh setiap butir agregat, dikenal sebagai VFA.

Akibatnya, bagian dari volume beton aspal padat yang berubah menjadi lapisan aspal atau selimut diwakili oleh aspal yang mengisi VFA. Volume beton aspal padat berfungsi sebagai dasar perhitungan.

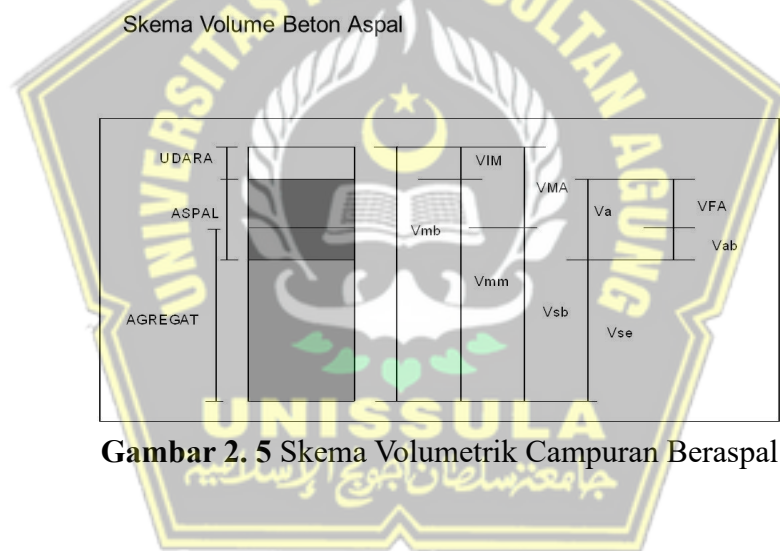
$$VFA = \frac{100 \times (VMA - V)_{45}}{VMA} \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

VMA = Pori antara butir agregat didalam beton aspal padat, % dari volume beton bulk aspal padat

VFA = Pori antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VIM = Pori dalam beton aspal padat, % dari volume beton bulk beton aspal padat



1. *Marshall Quatient*

Menurut Ahmedzade *et al.* (2008), *Marshall Quotient* (MQ) adalah metrik nilai kekakuan atau modulus dari daya tekan. Nilai MQ adalah tanda bahwasannya campuran aspal memiliki ketahanan adanya deformasi, maka dari itu tingginya nilai MQ dapat dikatakan juga adanya kekakuan yang tinggi pada campuran aspal.

Menurut (Tayfur, 2007), campuran aspal menjadi lebih kaku jika nilai MQ semakin tinggi. Dalam hal ini, campuran cukup padat dan stabil. Sebaliknya,

nilai MQ yang rendah merupakan adanya sifat dari campuran aspal yang lentur dan tidak stabil, sehingga meningkatkan kemungkinan terjadinya retak permukaan dan perpindahan horizontal searah dengan arah lintasan. Karena adanya perubahan bentuk yang konstan ini, campuran aspal dengan nilai Marshall Quotient yang tinggi akan lebih tahan terhadap keretakan.

Berdasarkan Buku 5 pemanfaatan aspal minyak butir peremaja emulsi dengan aspal minyak campuran aspal panas, dapat dianalisa menggunakan rumus sebagai berikut :

$$MQ = \frac{S_{45}}{F} \dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

MQ = Marshall Quotient (kg/mm)

F = Nilai kelelahan flow (mm)

S = Stabilitas (kg)

m. Kadar Aspal Optimum

Berikut merupakan rumus kadar aspal optimum menurut SNI-06-2490-1991:

$$B = \frac{(W1-W2)-(W3+W4)}{VMAW1-W2} \times 100\% \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

B = Kadar Aspal (%)

W1= Berat benda uji (gr)

W2 = Berat air dalam benda uji (gr)

W3= Berat mineral hasil ekstraksi (gr)

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

2.4.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan *Marshall Test*

Metode laboratorium yang paling umum digunakan untuk menilai kinerja campuran aspal panas yaitu uji *Marshall*, di mana sebuah alat uji *Marshall* digunakan untuk mengukur kelelahan plastis dan stabilitas nilai campuran aspal. Konsep ini pertama kali

diperkenalkan oleh Bruce Marshall, seorang insinyur material aspal yang bekerja di Departemen Jalan Raya Negara Bagian Mississippi pada tahun 1939. Penelitian lebih lanjut dilakukan oleh Korps Insinyur Angkatan Darat Amerika Serikat, yang mengembangkan metode uji *Marshall* dengan menambahkan elemen yang lebih komprehensif dan rinci, pada akhirnya membentuk kriteria desain campuran (Jamshidi, 2019).

Agregat dan aspal dipanaskan hingga suhu 170 ± 20 centistokes (cst) untuk alasan pencampuran, dan aspal dipadatkan pada suhu 280 ± 30 cst untuk viskositas aspal. Alat pemadat *Marshall* adalah alat yang digunakan dalam prosedur pemadatan benda uji (**Gambar 2.6**). Kondisi pengujian: Benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 64 mm dan diameter 102 mm dikenakan laju pembebanan konstan 51 mm/menit pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ hingga keruntuhan terjadi. Kelelehan *Marshall* yang juga dikenal sebagai *flow*, didefinisikan sebagai beban maksimum yang dapat dipikul oleh sampel sebelum mengalami kerusakan, bersamaan dengan tingkat deformasi yang terjadi pada sampel sebelum mencapai titik patah. Sementara itu, *Marshall Quotient* (MQ), suatu penilaian terhadap ketahanan material terhadap deformasi permanen, dihitung dengan membandingkan stabilitas dan *flow*. Ilustrasi pada **Gambar 2.6** di bawah ini menggambarkan sebagian dari perangkat uji *Marshall*.

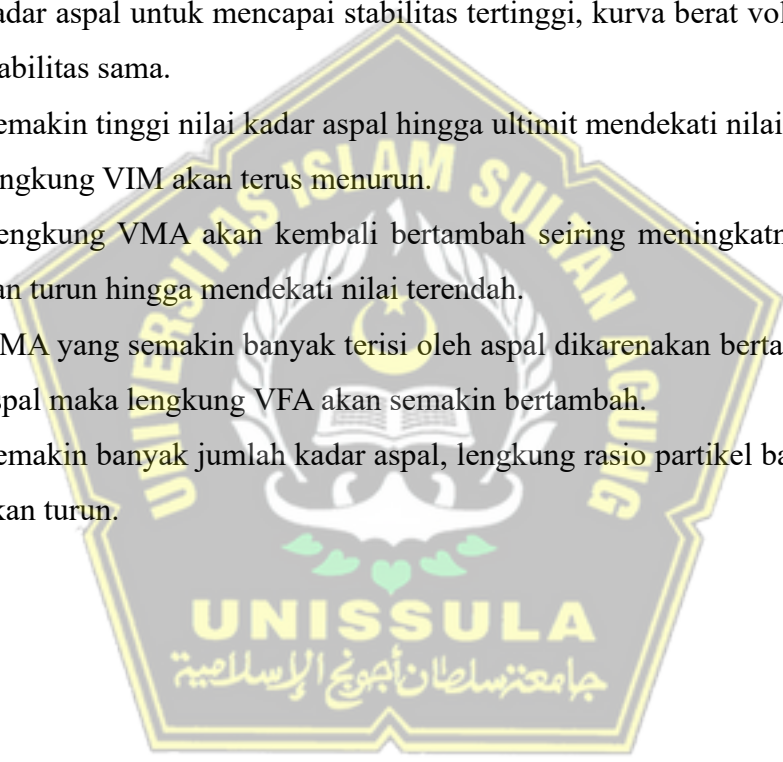


Gambar 2. 6 *Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test*

2.4.3 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Parameter *Marshall Test*

Hubungan antar kadar aspal dan parameter yang dihasilkan dari Marshall Test cenderung memiliki kurva yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Semakin bertambahnya kadar aspal maka stabilitas akan semakin meningkat hingga mencapai nilai maksimum, setelahnya stabilitas akan menurun.
2. Seiring dengan meningkatnya kadar aspal maka kelelahan / *flow* juga meningkat.
3. Meskipun nilai tertinggi dicapai pada kadar aspal yang sedikit lebih besar dari kadar aspal untuk mencapai stabilitas tertinggi, kurva berat volume dan kurva stabilitas sama.
4. Semakin tinggi nilai kadar aspal hingga ultimit mendekati nilai minimum nilai lengkung VIM akan terus menurun.
5. Lengkung VMA akan kembali bertambah seiring meningkatnya kadar aspal dan turun hingga mendekati nilai terendah.
6. VMA yang semakin banyak terisi oleh aspal dikarenakan bertambahnya kadar aspal maka lengkung VFA akan semakin bertambah.
7. Semakin banyak jumlah kadar aspal, lengkung rasio partikel bahan lolos #200 akan turun.



2.5 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

Tabel 2.9 Penelitian Terdahulu Sejenis

No	Nama, Tahun	Judul	Variabel	Hasil
1	Detha Sekar Langit Wahyu Gutama, Dewi Sulistyorini, Wening Ratri Pamulatsih, Elisa Fitri Handayani, 2023	Pengaruh Substitusi Abu Ampas Tebu Sebagai <i>Filler</i> Terhadap Kualitas Campuran <i>Asphalt</i> <i>Concretebinder Course</i> (AC-BC) Berdasarkan Uji Marshall	Asphalt Concrete-Binder course (AC-BC) dan Abu Ampas Tebu	Hasil penelitian diperoleh nilai kadar aspal optimum 8,5% untuk nilai karakteristik Marshall pada nilai Density, VMA, VIM, VFB, Stabilitas, Flow, dan Marshall Quotient pada variasi presentase 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20% memenuhi spesifikasi sedangkan nilai VIM pada presentase 20% yang tidak memenuhi spesifikasi.
2	Aufi Shabrina, Agus Riyanto, Sri Sunarjono, Senja Rum Harnaeni, 2019	Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Kemala Sebagai Bahan Tambah Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) Terhadap Marshall Properties Dan Nilai Struktural	Asphalt Concrete- Wearing Course (AC- WC) dan pasir pantai	Hasil dari penelitian diperoleh nilai KAO sebesar 5,5%. Pengaruh penambahan proporsi pasir pantai sebesar 0%, 10%, 15%, dan 30% pada Marshall Properties Grafik Stabilitas, Flow, VIM, dan VMA, VFWA, dan MQ cenderung linier, dimana nilai di grafik itu naik dan turun. Hasil dari parameter Marshall Properties didapatkan nilai Pasir Pantai Optimum sebesar 14%. Proporsi pasir pantai pada campuran AC-WC terhadap nilai struktural relative konstan pada proporsi 0%, 10%, 15%, dan 30%. Proporsi pasir pantai ditinjau dari koefisien kekuatan relative bahan (a) yang optimal terdapat pada variasi 15%

No	Nama, Tahun	Judul	Variabel	Hasil
3	Syukuriah, Akbar Indrawan Saudi, Andi Isdyanto, 2023	Pemanfaatan Limbah Batok Kelapa Dan Pasir Pantai Dalam Pembuatan Paving Block Di Kelurahan Lembang Kab. Majene	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) batok kelapa dan pasir pantai	Hasil penelitian karakteristik campuran aspal diperoleh nilai VIM 12,6 %,VMA 18,12 %, VFB 30,46%, STABILITAS 21,38 Kg, FLOW 5 Mm.
4	Idayani, 2022	Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Pada Campuran HRS-WC	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dan abu ampas tebu	Berdasarkan evaluasi terhadap karakteristik Marshall pada campuran laston dengan variasi persentase abu ampas tebu dan semen portland, maka didapatkan persentase 50% abu ampas tebu dan 50% semen portland sebagai substitusi terbaik, dengan nilai KAO sebesar 5,80%. Secara keseluruhan dengan adanya bahan substitusi abu ampas tebu dan semen portland sebagai filler pada campuran aspal, nilai stabilitas campuran semakin meningkat. Nilai stabilitas yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi yang syaratkan untuk lalu lintas berat yaitu ≥ 800 kg
5	Agus Setiobudi, Amiwarti, Doni Tamara, 2020	Analisis Penambahan Limbah Bakaran Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Campuran Aspal AC WC	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dan abu ampas tebu	hasil pengujian yang dilakukan dengan penambahan filler abu ampas tebu sebesar 1%, 2% dan 3% tersebut menghasilkan aspal AC WC yang belum sesuai spesifikasi Umum 2010 Revisi 3 Dinas PU Bina Marga

No	Nama, Tahun	Judul	Variabel	Hasil
6	Aldo Rfianto , Teguh Yuono, ST.,MT, Sumina, S.T.,M.T., 2022	Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Sadranan Sebagai Bahan Tambah Campuran (AC-BC) Terhadap Sifat Marshall	Asphalt Concrete-Binder course dan Pasir Pantai	Hasil penelitian menunjukkan pengaruh pasir pantai terhadap campuran AC-BC dengan penggunaan Kadar Aspal Optimum (KAO) senilai 5% dan Proporsi Pasir Pantai Optimum (PPPO) senilai 15% . Penggunaan (KAO 5%) dan (PPPO 15%) mempengaruhi Sifat Marshall, dan Aspek Ekonomis, yaitu mempunyai nilai stabilitas tertinggi serta penurunan harga yang cukup efisien. Sifat Marshall yang didapatkan adalah sebagai berikut, Stabilitas = 1739,86 kg, VIM = 4,33 %, VMA = 16,87 %, dan VFB = 74,80.
7	Alik Ansyori Alamsyah, Hari Eko Meiyanto	Penggunaan Abu Ampas Tebu (Bagasse Ash Of Sugar Cane) sebagai Bahan Pengganti Filler pada Campuran Aspal Panas (Hot Mix).	Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) dan abu ampas tebu	Kadar filler yang digunakan adalah sebesar 5,00%, 10,00%, 15,00%, 20,00%, dan 25,00% KAO untuk masing – masing campuran adalah 7,40% dan dihasilkan kadar filler abu ampas tebu optimum sebesar 7,10%. Daya dukung filler semen (PC) pada campuran KAO 7,40% dan filler 8,13% menghasilkan nilai stabilitas 720 kg, daya dukung abu ampas tebu (AT) pada campuran KAO 7,40% dan filler 7,10% menghasilkan nilai stabilitas 823,35 kg.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tipe Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen dengan metode kuantitatif. Penelitian eksperimental bertujuan agar mengetahui, memprediksi dan membuktikan pengaruh dari hasil perlakuan pada subjek penelitian.

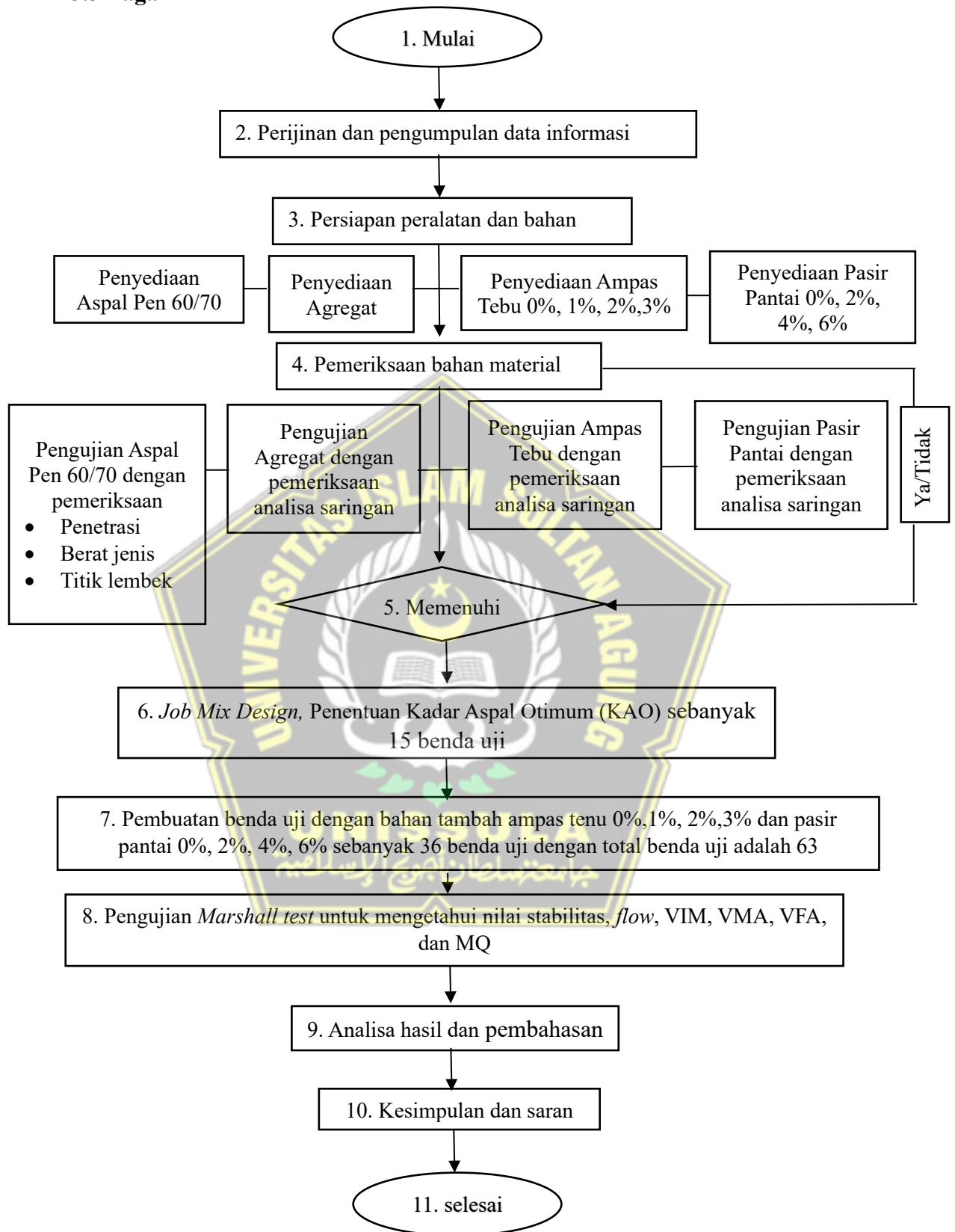
Penelitian ini menggunakan data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang didapatkan peneliti dari hasil penelitian pada benda uji secara langsung. Sedangkan, data sekunder adalah data yang didapatkan dari hasil uji suatu perusahaan. Pedoman pada penelitian ini menggunakan *American Society 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. Ampas tebu
 - f. Pasir pantai
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 PT Multicon Semarang Kendal 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 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 :

1) Data Sekunder

Data dari hasil pengujian material yang dilakukan oleh perusahaan. Data sekunder yang didapatkan yaitu aspal pen 60/70 dari Laboratorium Teknologi PT Multicon Semarang Kendal

2) Data Primer

Data dari hasil pembuatan benda uji yang dilakukan pada saat penelitian di 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 $\frac{1}{2}$, 1, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{8}$, 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 PT Multicon Semarang Kendal.
- 2) Memakai aspal penetrasi 60/70 didapatkan dari PT Multicon Semarang Kendal.
- 3) Abu ampas tebu yang didapatkan dari proses pengeringan hingga pembakaran abu yang dimana ampas tebu tersebut diambil dari pedagang tebu dengan variasi 0%,1%,2%,3%
- 4) Pasir pantai yang diperoleh dari pengambilan di Pantai Tirang Semarang dengan variasi 0%,2%,4%,6%

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/CCl₄ 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. Kelelehan (*flow*)

Perubahan bentuk yang disebabkan oleh beban ijin keruntuhan, yang dinyatakan dalam mm atau inci. Kelelehan 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 Quantient* (MQ)

Satuan dalam Marshall quantient ini adalah kilogram per milimeter. Nilai pada Marshall quantient ini didapatkan dari perbandingan antara nilai stabilitas dan kelelehan (*flow*). Pada nilai MQ tinggi memiliki nilai kestabilan tinggi dan nilai kelelehan 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

- 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. Ampas Tebu

1. Menyiapkan bahan ampas tebu
2. Melakukan proses pengeringan ampas tebu dengan cara dijemur dibawah sinar matahari
3. Setelah proses pengeringan selanjutnya dilakukan pembakaran abu ampas tebu
4. Tahap selanjutnya dilakukan penyaringan abu ampas tebu dengan saringan No.50 sampai saringan No.100
5. Penimbangan hasil saringan ampas tebu sesuai kebutuhan dengan

variasi 0%, 1%, 2%,3%

d. Pasir Pantai

Berikut beberapa tahapan pada pemeriksaan bahan tambah pasir pantai:

1. Penyiapan peralatan pada bahan yang digunakan.
2. pencucian dan perendaman untuk memastikan pasir pantai dalam kondisi bersih dan terhindar dari kotoran
3. pengeringan pasir pantai setelah perendaman dengan cara di jemur dibawah sinar matahari atau di oven sampai kering
4. pengayakan pasir pantai dengan syarat lolos pada saringan no.100 sampai saringan no.200
5. penimbangan hasil saringan pasir pantai laut sesuai kebutuhan dengan variasi 0%, 2%, 4%, 6%.

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.

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	Kadar Aspal (%)	%	Hasil
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300 g
5	Filler	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Total sampel		3	

Tabel 3. 3 Campuran Aspal Beton dengan AT 0% dan PP 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	2%	1,392 g
	Ampas tebu	0%	0 g
Jumlah Total		102%	1,201,392 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 4 Campuran Aspal Beton dengan AT 0% dan PP 4%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	4%	2,784 g
	Ampas tebu	0%	0 g
Jumlah Total		104%	1,201,784 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 5 Campuran Aspal Beton dengan AT 0% dan PP 6%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	6%	4,176 g
	Ampas tebu	0%	0 g
Jumlah Total		106%	1,204,176 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 6 Campuran Aspal Beton dengan AT 1% dan PP 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	0%	0 g
	Ampas tebu	1%	0,969 g
Jumlah Total		101%	1,200,969 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 7 Campuran Aspal Beton dengan AT 1% dan PP 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	2%	1,932 g
	Ampas tebu	1%	0,969 g
Jumlah Total		103%	1,201,901 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 8 Campuran Aspal Beton dengan AT 1% dan PP 4%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	4%	2,784 g
	Ampas tebu	1%	0,969 g
Jumlah Total		105%	1,203,753 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 9 Campuran Aspal Beton dengan AT 1% dan PP 6%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	6%	4,176 g
	Ampas tebu	1%	0,969 g
Jumlah Total		107%	1,201,145 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 10 Campuran Aspal Beton dengan AT 2% dan PP 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	0%	0 g
	Ampas tebu	2%	1,392g
Jumlah Total		102%	1,201,392 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 11 Campuran Aspal Beton dengan AT 2% dan PP 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	2%	1,392 g
	Ampas tebu	2%	1,392g
Jumlah Total		104%	1,201,392 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 12 Campuran Aspal Beton dengan AT 2% dan PP 4%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	4%	2,784 g
	Ampas tebu	2%	1,392g
Jumlah Total		106%	1,204,176 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 13 Campuran Aspal Beton dengan AT 2% dan PP 6%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	69,6 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Pasir Pantai	6%	4,176 g
	Ampas tebu	2%	1,392g
Jumlah Total		108%	1,205,568 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 14 Jumlah Sampel Variasi Ampas Tebu dan Pasir Pantai

Nama Sampel	Agg batu $\frac{3}{4}$		Agg batu $\frac{1}{2}$		Abu batu		Filler		Pasir		Aspal		pasir pantai		ampas tebu		Total Agg		Jumlah Sempel
	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
ASP0BU0	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	0	0%	0	0%	0	100%	3
ASP1BU1	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	1,392	2%	0	0%	1,392	102%	3
ASP2BU2	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	2,784	4%	0	0%	2,784	104%	3
ASP3BU3	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	4,176	6%	0	0%	4,176	106%	3
ASP4BU4	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	0	0%	0,696	1%	0,696	101%	3
ASP5BU5	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	1,392	2%	0,696	1%	2,088	103%	3
ASP6BU6	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	2,784	4%	0,696	1%	3,48	105%	3
ASP7BU7	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	4,176	6%	0,696	1%	4,872	107%	3
ASP8BU8	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	0	0%	1,392	2%	1,392	102%	3
ASP9BU9	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	1,392	2%	1,392	2%	2,784	104%	3
ASP10BU10	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	2,784	4%	1,392	2%	4,176	106%	3
ASP11BU11	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	4,176	6%	1,392	2%	5,568	108%	3
ASP12BU12	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	0	0%	2,088	3%	2,088	103%	3
ASP13BU13	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	1,392	2%	2,088	3%	3,48	105%	3
ASP14BU14	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	2,784	4%	2,088	3%	4,872	107%	3
ASP15BU15	300	25%	300	25%	480	40%	14,4	1,20%	36	3%	69,6	5,80%	4,176	6%	2,088	3%	6,264	109%	3
JUMLAH BAHAN TAMBAH																			48
JUMLAH SAMPEL (KAO)4%; 4,5%;5%;,5,5%;6%																			15
TOTAL SAMPEL																			63

7. Pembuatan Benda Uji

Berikut adalah tahapan tahapan dari pembuatan benda uji :

- a. Mempersiapkan peralatan dan bahan dalam pembuatan benda uji serta menentukan persentase pada setiap material yang digunakan.
- b. Memisahkan setiap material ke dalam fraksi sesuai ketentuan dengan melakukan penyaringan dan penimbangan.
- c. Memanaskan agregat sampai dengan suhu 150°C serta memasukkan aspal leleh sebanyak kebutuhan peneliti dan diaduk sampai tercampur merata.
- d. 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.
- e. Memastikan bahwa campuran masih berada pada suhu diantara 90°C - 150°C.
- f. 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.
- g. Meletakkan kertas saring sesuai dengan ukuran cetakan di atas cetakan yang sudah terisi campuran.
- h. Melakukan proses pemadatan pada sisi atas dan sisi bawah cetakan dengan
 - i. menggunakan alat penumbuk sebanyak 75 kali dengan tinggi jatuh rata-rata 45 cm.
- j. Setelah suhu pada benda uji turun selanjutnya keluarkan benda uji pada cetakan dengan alat dongkrak hidrolik dan diberi tanda/label pada setiap benda uji.
- k. 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 :

- a. 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.
- b. Merendam sampel uji selama ± 24 jam ke dalam air di suhu ruang untuk memastikan benda uji jenuh.
- c. Menimbang dan menghitung berat sampel uji pada saat di dalam air. Setelah itu mengeluarkan sampel uji dari bak perendam dan mengeringkannya.
- d. 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 stabilita

- 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 di dapatkan 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

11. Selesai



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Material

Persiapan ini dijalankan beberapa tahap yaitu perisapan penelitian, pembuatan sampel uji, penentuan kadar aspal serta pengujian di laboratorium. Pada tahap penyediaan bahan diambil dari *Asphalt Mixing plant* (AMP) PT Semarang Multicons Kendal. 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 Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Sipil Unissula.



Gambar 4. 1 Pengambilan Agregat Material

4. 2 Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

Pada penelitian ini material aspal yang digunakan adalah 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

sebagai campuran untuk perkerasan lentur. Hasil pengujian tercantum pada Tabel 4.1 dengan menggunakan perbandingan berdasarkan dari 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	01 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>Cleveland Open Cup</i>)	°C	Min 200	-	314	SNI 2433:2011	Memenuhi
4	Daktilitas	cm	Min 100	-	152	SNI 2432:2011	Memenuhi
5	Berat Jenis	gr/ml	Min 1,0	-	1,033	SNI 2441:2011	Memenuhi

Proses pencampuran 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 jam dengan pengadukan sebesar 2000 rpm dengan suhu 150°C-170°C menurut J.S Chen, M.C Liao dan H.H. Tsai (2012) pada penelitiannya yang berjudul *evaluation and Optimization of the Engineering of Polymer – Modified Asphalt*.

4. 3 Hasil Pengujian Agregat

Dalam pengujian agregat kasar meliputi abrasi menggunakan mesin *Los Angeles*, bentuk properties, kelekatan agregat pada aspal, gradasi agregat, berat jenis, berat jenis semu, berat jenis permukaan jenuh dan *sand equivalent*. Hasil pengujian tertera pada **Tabel 4.2** dengan menggunakan perbandingan berdasarkan 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 3%	0,6%	Memenuhi
5	Penyerapan air oleh agregat • 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>) • Agregat Kasar 0,5/1 • Agregat kasar 1/2	SNI 03-1969-1990	Min 2,5%	2,661% 2652%	Memenuhi
B	Agregat Halus				
1	Material lolos saringan no.200	SNI 03-4112-1992	Maks 15%	10,56%	Memenuhi
2	Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min 45%	46,92%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat • Agregat halus (pasir) • Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min 3%	1,583% 2.064%	Memenuhi
4	Berat Jenis (<i>bulk specific gravity</i>) • Agregat halus (pasir) • Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min 2,5%	2,651% 2,652%	Memenuhi

Material yang diambil dari PT Semarang Multicons Kendal sudah melalui pengujian dan hasilnya memenuhi persyaratan spesifikasi 2018, maka agregat dapat digunakan untuk campuran aspa AC-WC dan *filler* yang akan digunakan yaitu material semen *Portland* (PC).

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

Agregat $\frac{3}{4}$ meliputi dari material agregat kasar yang lolos saringan no. 1 $\frac{1}{2}$ - no $\frac{3}{4}$ dan tertahan pada saringan no $\frac{1}{2}$ sampai saringan no 200. Detail hasil gradasi dapat 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		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
$\frac{3}{4}$ "	19		-	100,00		-	100,00	
$\frac{1}{2}$ "	12,5	860	28,66	71,34	739	24,65	75,35	73,35
$\frac{3}{8}$ "	9,5	2.277	75,89	24,11	2.203	73,45	26,55	25,33
# 4	4,75	2.955	98,49	1,51	2.954	98,45	1,55	1,53
# 8	2,36	2.966	98,87	1,13	2.970	99,02	0,98	1,06
# 16	1,15	2.991	99,71	0,29	2.993	99,78	0,22	0,26
# 30	0,6	2.992	99,74	0,26	2.993	99,78	0,22	0,24
# 50	0,3	2.993	99,76	0,24	2.993	99,78	0,22	0,23
#100	0,15	2.993	99,76	0,24	2.993	99,78	0,22	0,23
# 200	0,075	2.993	99,76	0,24	2.993	99,78	0,22	0,23
Weight Of Sample (gr)		3.000			3.000			

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 24,65%. Untuk material medium yang lolos saringan no. $\frac{3}{8}$ sebanyak 25,33% dan tertahan saringan no. 4 atau 4,75mm sebanyak 98,45%.

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

Agregat $\frac{1}{2}$ meliputi material medium atau agregat kasar yang lolos pada 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 dapat dilihat pada **Tabel 4.4** berdasarkan peraturan dari (SNI 03-1968-1990/ASSHTO T.27-88).

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran ½

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
3/8"	9,5	324	21,59	78,41	306	20,37	79,63	79,02
# 4	4,75	995	66,32	33,68	1.042	69,44	30,56	32,12
# 8	2,36	1.404	93,60	6,40	1.414	94,24	5,76	6,08
# 16	1,15	1.469	97,92	2,08	1.459	97,28	2,72	2,40
# 30	0,6	1.471	98,10	1,90	1.465	97,64	2,36	2,13
# 50	0,3	1.474	98,28	1,72	1.472	98,15	1,85	1,79
#100	0,15	1.479	98,58	1,42	1.478	98,54	1,46	1,44
# 200	0,075	1.485	98,97	1,03	1.491	99,37	0,63	0,83
Weight Of Sample (gr)		1.500			1.500			

Pada analisa saringan agregat kasar pada agregat ½ agregat yang lolos saringan no. ½ sebanyak 100% dan yang tertahan pada saringan no. 3/8 atau 9,52mm sebanyak 21,59%. Untuk agregat medium yang lolos saringan no. 3/8 sebanyak 79,02% dan tertahan pada saringan no. 4 atau 4,75mm sebanyak 66,32%.

4.3.3 Hasil Pemeriksaan Abu Batu

Abu batu adalah material agregat halus yang lolos pada saringan no. 1 ½ -no. 4 dan tertahan mulai dari saringan no. 8. Detail hasil gradasi dapat 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		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 8	2,36	121	24,13	75,87	106	21,30	78,70	77,29
# 16	1,15	259	51,86	48,14	250	50,06	49,94	49,04
# 30	0,6	348	69,66	30,34	341	68,16	31,84	31,09
# 50	0,3	368	73,57	26,43	381	76,29	23,71	25,07
#100	0,15	418	83,55	16,45	424	84,76	15,24	15,85
# 200	0,075	460	92,08	7,92	460	91,92	8,08	8,00
Weight Of Sample (gr)		500			500			

Pada analisa saringan agregat halus pada agregat abu batu, agregat yang lolos saringan no. ½ sebanyak 100% dan yang tertahan pada saringan no. 3/8 atau 9,52mm sebanyak 100%. Untuk agregat medium yang lolos saringan no. 4 sebanyak 100% dan tertahan pada saringan no. 8 atau 2,36mm sebanyak 21,30%.

4.3.4 Hasil Pemeriksaan Agregat Pasir

Pasir adalah material agregat halus yang lolos dari saringan no. 1 ½ - no. 30 dan tertahan pada saringan no. 50. Detail hasil gradasi dapat 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		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75		-	100,00		-	100,00	100,00
# 8	2,36	40	8,04	91,96	40	8,04	91,96	91,96
# 16	1,15	90	17,94	82,06	86	17,20	82,80	82,43
# 30	0,6	210	42,06	57,94	205	41,06	58,94	58,44
# 50	0,3	312	62,36	37,64	309	61,76	38,24	37,94
#100	0,15	408	81,50	18,50	411	82,10	17,90	18,20
# 200	0,075	479	95,84	4,16	475	95,04	4,96	4,56
Weight Of Sample (gr)		500			500			

Pada analisa saringan agregat halus pada agregat pasir, agregat yang lolos saringan no. 30 atau 0,6 mm sebanyak 100% dan yang tertahan pada saringan no. 50 atau 0,3mm sebanyak 61,76%. Untuk agregat medium yang lolos saringan no. 30 sebanyak 100% dan tertahan pada saringan no. 50 sebanyak 61,76.

4.3.5 Hasil Pemeriksaan Filler

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

Tabel 4. 7 Hasil Analisa Pembagian Butiran Filler

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 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	1,10	1,10	98,90	1,30	1,30	98,70	98,80
Weight Of Sample (gr)		100,00			100,00			

Pada analisa saringan *filler*, agregat yang lolos saringan no. 1 sampai dengan saringan no. 200 sebanyak 98,70% dan yang tertahan pada saringan no. 200 atau 0,75mm sebanyak 1,10%.

4.4 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

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

Tabel 4. 8 Perhitungan Kombinasi Agregat

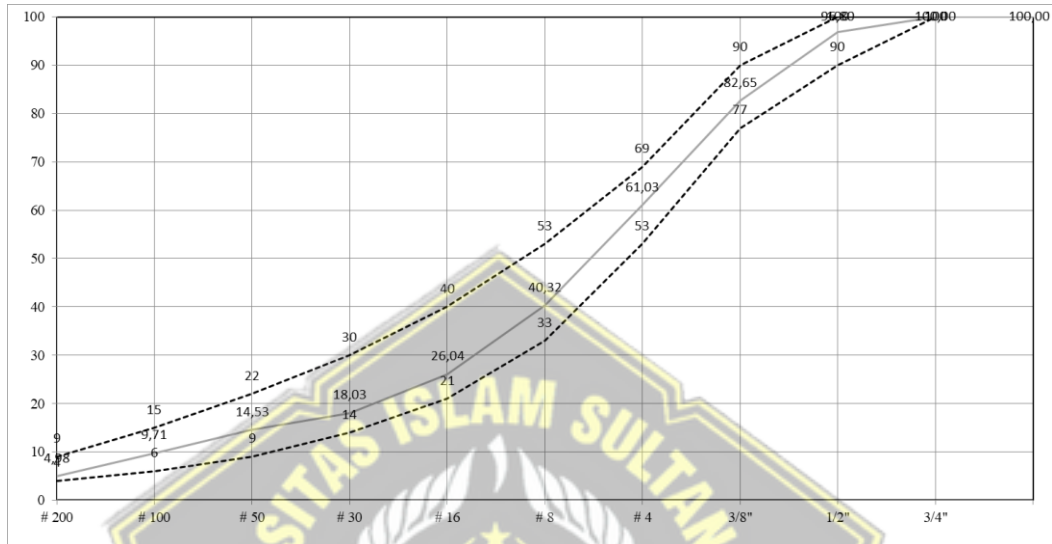
Uraian		1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Inch		25	19	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
mm												
Data Material												
Batu Pecah Max 3/4'		100,00	100,00	73,35	25,33	1,53	1,06	0,26	0,24	0,23	0,23	0,00
Batu Pecah Max 1/2'		100,00	100,00	100,00	79,02	32,12	6,08	2,40	2,13	1,79	1,44	0,83
Abu Batu		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	77,29	49,04	31,09	25,07	15,85	8,00
Pasir		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	91,96	82,43	82,43	58,44	37,94	4,56
Filler Semen		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,80
Komposisi Campuran												
Batu Pecah Max 3/4'	12,00%	12,00	12,00	8,80	3,04	0,18	0,13	0,03	0,03	0,03	0,03	0,00
Batu Pecah Max 1/2'	40,00%	40,00	40,00	40,00	31,61	12,85	2,43	0,96	0,85	0,71	0,58	0,33
Abu Batu	44,00%	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	34,01	21,58	13,68	11,03	6,97	3,52
Pasir	3,00%	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	2,76	2,47	2,47	1,75	1,14	0,14
Filler Semen	1,00%	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,99
Total Campuran		100,00	100,00	96,80	82,65	61,03	40,32	26,04	18,03	14,53	9,71	4,98
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	:	5,55										

Berdasarkan **Tabel 4.8** diatas hasil kombinasi agregat dengan total campuran gradasi masing-masing saringan memiliki batas Max dan Min dari spesifikasi yang di tentukan. Berat material rancangan dengan kapasitas mold yang ada. Contoh untuk campuran AC-WC sebagai berikut:

- Kadar aspal = 5,8%
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = $5,8\% \times 1200$ = 69,6 gr
- Berat total agregat = $(100-5,8) \% \times 1200$ = 1130,4 gr
- Batu pecah ($\frac{3}{4}$ ') = $25\% \times 1200$ = 300 gr
- Batu pecah ($\frac{1}{2}$ ') = $25\% \times 1200$ = 300 gr
- Abu batu = $40\% \times 1200$ = 480 gr

- Pasir $= 3\% \times 1200 = 36 \text{ gr}$
- *Filler* $= 1,2\% \times 1200 = 14,4 \text{ gr}$
- Total Agregat $= 1130,4 \text{ gr}$

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



Grafik 4. 1 Kombinasi Agregat

Pada **Grafik 4.1** diatas presentase kombinasi agregat lolos saringan no. 200 atau 200mm sampai saringan no. 1 tidak diizinkan melewati batas bawah dan atas pada masing-masing jenis agregat yang disaring. Jika ada agregat yang melewati 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 tambah Ampas Tebu 0%,1%,2%,3% dan Pasir Pantai 0%,2%,4%,6%. Setiap variasi memiliki benda uji 3 buah dengan total 48 benda uji yang dapat dilihat pada **Tabel 4.9** dibawah ini.

Tabel 4. 9 Pembuatan Benda Uji

No	Komposisi	Benda Uji
1	Ampas Tebu 0% + Pasir Pantai 0%	3 sampel
2	Ampas Tebu 0% + Pasir Pantai 2%	3 sampel
3	Ampas Tebu 0% + Pasir Pantai 4%	3 sampe
4	Ampas tebu 0% + Pasir Pantai 6%	3 sampel
5	Ampas Tebu 1% + Pasir Pantai 0%	3 sampel

6	Ampas Tebu 1% + Pasir pantai 2%	3 sampel
7	Ampas Tebu 1 % + Pasir Pantai 4%	3 sampel
8	Ampas Tebu 1% + Pasir pantai 6%	3 sampel
9	Ampas Tebu 2% + Pasir Pantai 0%	3 sampel
10	Ampas Tebu 2% + Pasir Pantai 2%	3 sampel
11	Ampas Tebu 2% + Pasir Pantai 4%	3 sampel
12	Ampas Tebu 2% + Pasir Pantai 6%	3 sampel
13	Ampas Tebu 3% + Pasir Pantai 0%	3 sampel
14	Ampas Tebu 3% + Pasir Pantai 2%	3 sampel
15	Ampas Tebu 3% + Pasir Pantai 4%	3 sampel
16	Ampas Tebu 3% + Pasir Pantai 6%	3 sampel
Kadar Aspal (4%, 4,5%,5%,5,5%,6%)		15 sampel
Jumlah Bahan Tambah		48 sampel
Total Benda Uji		63 sampel



Gambar 4. 2 Sampel Benda Uji

Benda uji pada setiap variasi berjumlah 3 sampel yang digunakan untuk pembandingan apabila salah satu sampel belum memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan dua sampel lainnya memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

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

Berat jenis maksimum campuran beraspal ditentukan dengan cara mengukur berat dan volume benda uji, di mana udara yang terdapat di antara butir-butir benda 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 x 8)	Gr/Cc		2,770	2,727	2,739	2,764	2,816	2,777	2,380	2,419	2,214	2,238
10	Rata - rata per variasi			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 2,584 gr/cc.

4.6.2 Berat Jenis dengan Campuran Pada Aspal Modifikasi (GMM)

Pengujian berat jenis pada campuran aspal modifikasi sebanyak 16 variasi ampas tebu dan pasir pantai dengan 2 sampel uji masing-masing pada variasi aspal.

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

No.	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1,660	1,660	1,645	1,645	1,640	1,640	1,645	1,645	1,640	1,640
2	Berat Botol		Grm	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	800	800	785	785	780	780	785	785	780	780
4	Berat Botol + Contoh + Air		Grm	2,438	2,438	2,461	2,461	2,467	2,467	2,408	2,408	2,405	2,405
5	Berat botol + Air		Grm	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	427	427	450	450	456	456	397	397	394	394
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	373	373	335	335	324	324	388	388	386	386
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	Grm / cc	2,145	2,145	2,343	2,343	2,407	2,407	2,023	2,023	2,021	2,021
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2,145	2,145	2,343	2,343	2,407	2,407	2,023	2,023	2,021	2,021
	Rata - rata			2,145		2,343		2,407		2,023		2,021	
	Variasi			ASP0BU0		ASP1BU1		ASP2BU2		ASP3BU3		ASP4BU4	

No.	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1,635	1,635	1,630	1,630	1,625	1,625	1,620	1,620	1,615	1,615
2	Berat Botol		Grm	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	775	775	770	770	765	765	760	760	755	755
4	Berat Botol + Contoh + Air		Grm	2,451	2,451	2,401	2,401	2,335	2,435	2,430	2,430	2,425	2,425
5	Berat botol + Air		Grm	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011	2,011
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	440	440	390	390	324	424	419	419	414	414
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	335	335	380	380	441	341	341	341	341	341
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	Grm / cc	2,313	2,313	2,026	2,026	1,735	2,243	2,229	2,229	2,214	2,214
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2,313	2,313	2,026	2,026	1,735	2,243	2,229	2,229	2,214	2,214
	Rata - rata			2,313		2,026		1,989		2,229		2,214	
	Variasi			ASP5BU5		ASP6BU6		ASP7BU7		ASP8BU8		ASP9BU9	

No.	Contoh No :		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.610	1.610	1.605	1.605	1.600	1.600	1.595	1.595	1.590	1.590	1.585	1.585
2	Berat Botol	Grm	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860	860
3	Berat Contoh	(1 - 2) Grm	750	750	745	745	740	740	735	735	730	730	725	725
4	Berat Botol + Contoh + Air	Grm	2.420	2.420	2.415	2.415	2.410	2.410	2.405	2.405	2.395	2.395	2.390	2.390
5	Berat botol + Air	Grm	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011	2.011
6	Berat air	(4 - 5) Grm	409	409	404	404	399	399	394	394	384	384	379	379
7	Volume contoh	(3 - 6) Grm	341	341	341	341	341	341	341	341	346	346	346	346
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7) Grm/cc	2,199	2,199	2,185	2,185	2,170	2,170	2,155	2,155	2,110	2,110	2,095	2,095
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10) Grm/cc	2,199	2,199	2,185	2,185	2,170	2,170	2,155	2,155	2,110	2,110	2,095	2,095
	Rata - rata		2,199		2,185		2,170		2,155		2,110		2,095	
	Variasi		ASP10BU10		ASP11BU11		ASP12BU12		ASP13BU13		ASP14BU14		ASP15BU15	

Rata-rata: 2,169 gr/cc

Pada pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi memiliki 16 variasi ampas tebu dan pasir pantai dengan hasil berat jenis rata-rata aspal adalah 2,169 gr/cc

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

Kadar aspal dalam campuran yaitu jumlah aspal yang terkandung dalam campuran beraspal yang diperoleh melalui proses ekstraksi menggunakan alat refluks ekstraktor. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan aspal dalam 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 hasil Tabel 4. 12 grafik sifat-sifat campuran aspal batas atas dan bawah dapat di simpulkan Kadar Aspal Optimum diperoleh 5,8%.

4.8 Hasil Pengujian Marshall Test

Setelah dilakukan penentuan *Job Mix Design* dengan pembuatan 48 sampel uji aspal. Selanjutnya tiap sampel diukur beratnya muali dari saat kering, setelah perendaman selama 24 jam dan pada saat kondisi *Saturated Surface-Dry* (SSD).

Pada saat proses perendaman dilakukan pada alat *waterbath* (pemanas 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*.

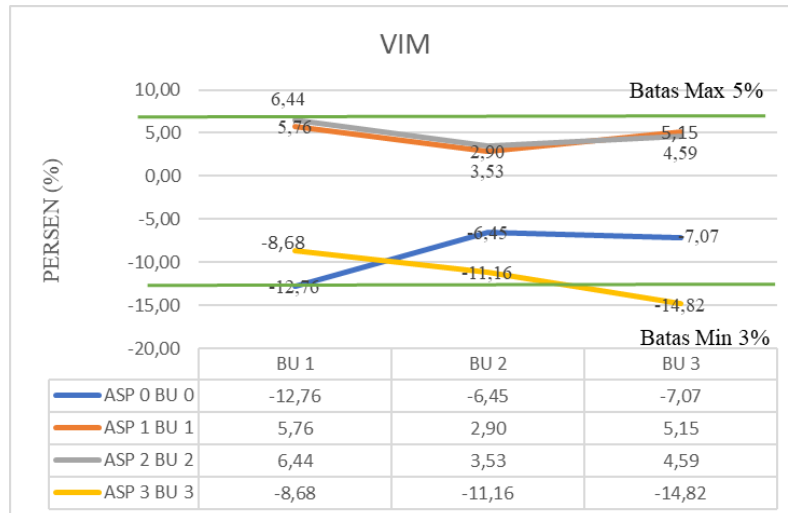
Pengujian *Marshall* dilakukan untuk menemukan nilai stabilitas, *flow*, MQ (*Marshall Quantient*), VMA (*Void in mineral Aggregates*) dan VFA (*Void Filled Asphalt*) yang telah memenuhi persyaratan dari Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

4.8.1 Hasil Uji *Marshall Test* Variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%,;2% 3% dengan Pasir pantai 0%)

Pada hasil pengujian *Marshall Test* untuk komposisi aspal modifikasi dengan variasi abu ampas tebu 0% pasir pantai 0%, abu ampas tebu 0% pasir pantai 2%, abu ampas tebu 0% pasir pantai 4% dapat dilihat **Tabel 4.13** dibawah ini.

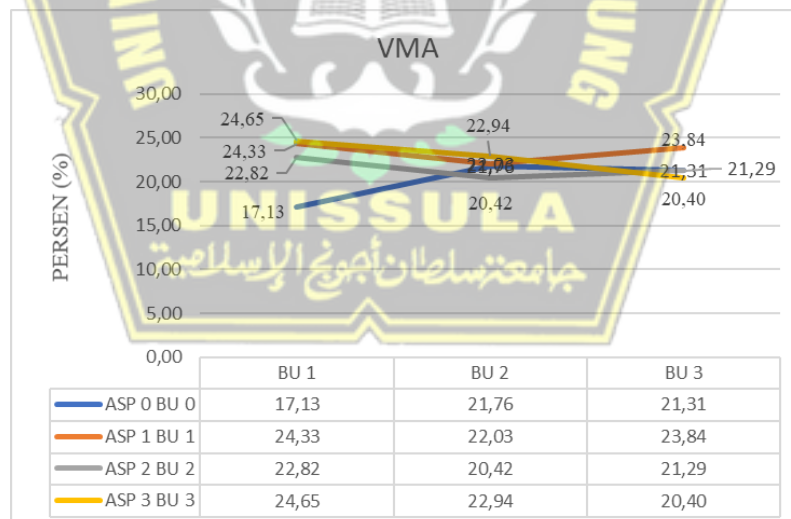
Tabel 4. 13 Hasil *Marshall Test* variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 0%)

Variasi	Benda Uji	Ampas Tebu %	Pasir Pantai %	Parameter Hasil Pengujian Marshall				
				VIM	VMA	Stabilitas	Flow	MQ
ASP0BU0	1	0	0	-12,76	17,13	1492,18	2,00	746,09
	2	0	0	-6,45	21,76	1079,87	3,50	308,53
	3	0	0	-7,07	21,31	1109,32	5,00	221,86
ASP1BU1	1	1	0	5,76	24,33	1590,35	3,50	454,39
	2	1	0	2,90	22,03	767,73	3,50	218,78
	3	1	0	5,15	23,84	1904,50	2,50	761,80
ASP2BU2	1	2	0	6,44	22,82	1767,06	4,50	392,68
	2	2	0	3,53	20,42	1040,60	2,50	416,24
	3	2	0	4,59	21,29	1197,67	4,10	292,12
ASP3BU3	1	3	0	-8,68	24,65	912,98	4,40	207,50
	2	3	0	-11,16	22,94	1187,86	4,30	276,25
	3	3	0	-14,82	20,40	1335,11	5,40	247,24
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	65%	800 kg	-
	Max	-	-	5%	-	-	-	-



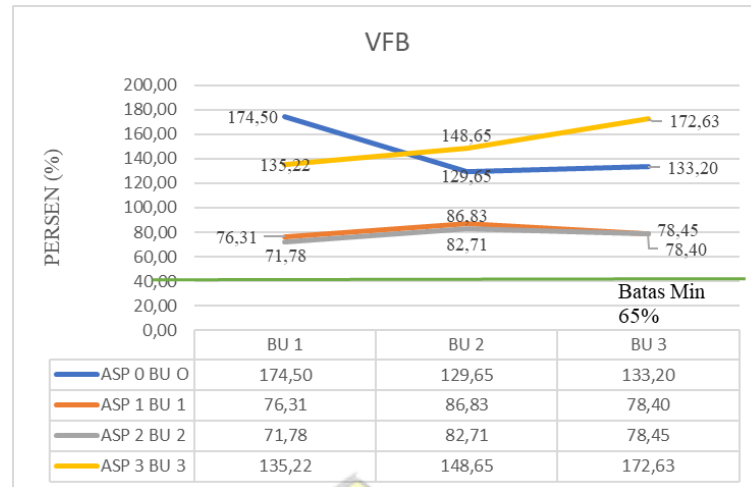
Grafik 4. 2 Nilai VIM Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%

Berdasarkan **Grafik 4.2** diatas nilai VIM dari uji *Marshall Test* dengan variasi Abu Ampas Tebu dengan Pasir Pantai untuk sampel Benda Uji 0,1,2,3 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai Maksimum 5% dan Minimum 3%.



Grafik 4. 3 Nilai VMA Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 0%

Berdasarkan **Grafik 4.3** diatas nilai VMA dari uji *Marshall Test* dengan variasi Abu Ampas Tebu dengan Pasir Pantai untuk sampel Benda Uji 0,1,2,3 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai Minimum 15%.



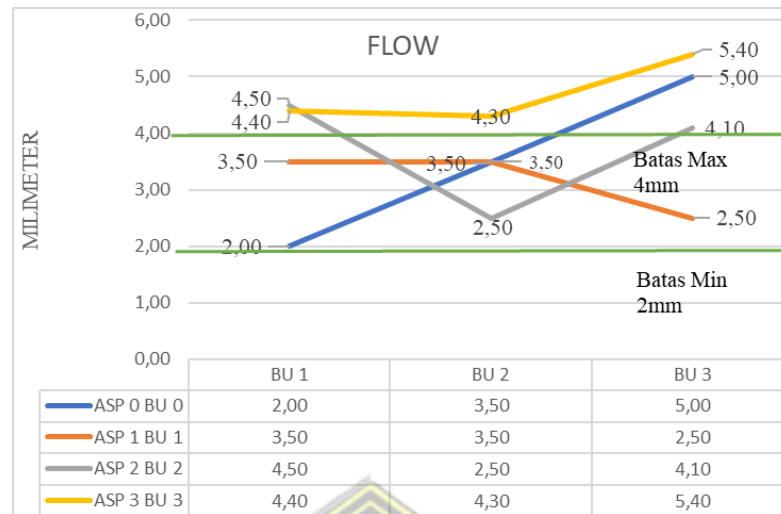
Grafik 4. 4 Nilai VFB Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%

Berdasarkan **Grafik 4.4** diatas nilai VFB dari uji **Marshall Test** dengan variasi Abu Ampas Tebu dengan Pasir Pantai untuk sampel Benda Uji 0,1,2,3 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai Minimum 65%.



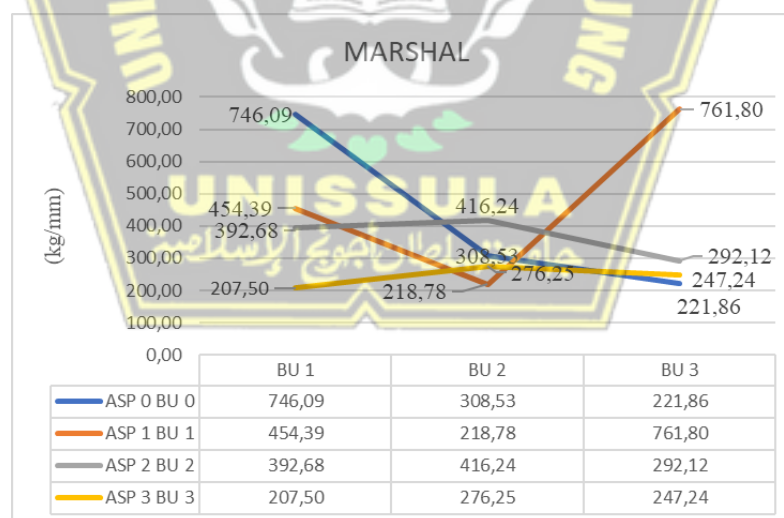
Grafik 4. 5 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%

Berdasarkan **Grafik 4.5** diatas nilai Stabilitas dari uji **Marshall Test** dengan variasi Abu Ampas Tebu dengan Pasir Pantai untuk sampel Benda Uji 0,1,2,3 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 6 Nilai Flow Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%; 1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%

Berdasarkan **Grafik 4.6** diatas nilai Stabilitas dari uji **Marshall Test** dengan variasi Abu Ampas Tebu dengan Pasir Pantai untuk sampel Benda Uji 0,1,2,3 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 2 mm dan maksimum 4mm.



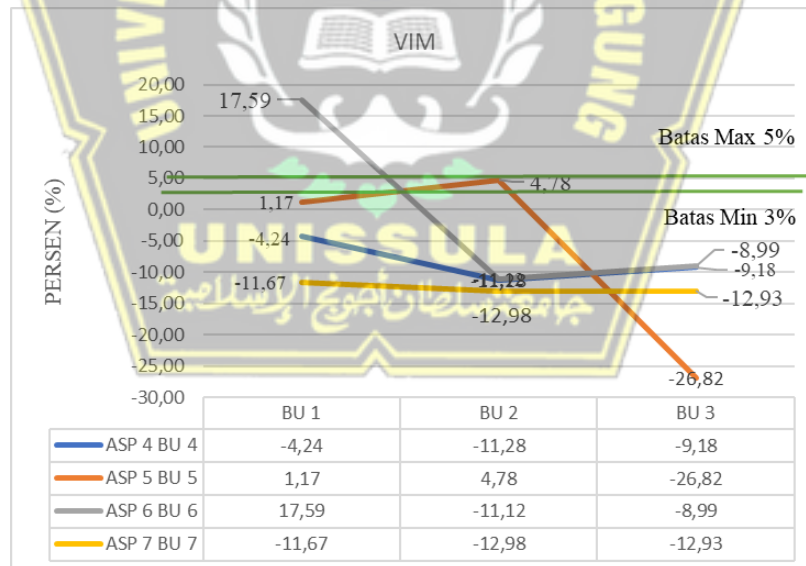
Grafik 4. 7 Nilai MQ Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 0%

Berdasarkan **Grafik 4.7** diatas nilai Stabilitas dari uji **Marshall Test** dengan variasi Abu Ampas Tebu dengan Pasir Pantai untuk sampel Benda Uji 0,1,2,3 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 207,50 dan maksimum 761,80.

4.8.2 Hasil Uji *Marshall Test* Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%dengan Pasir pantai 2%)

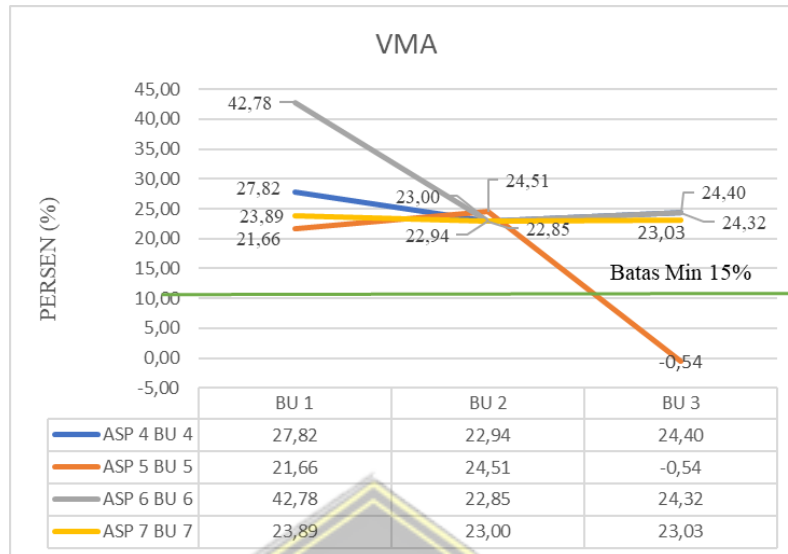
Tabel 4. 14 Hasil *Marshall Test* variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 2%)

Variasi	Benda Uji	Ampas Tebu %	Pasir Pantai %	Parameter Hasil Pengujian Marshall				
				VIM	VMA	Stabilitas	Flow	MQ
ASP4BU4	1	0	2	-4,24	27,82	1443,10	4,50	320,69
	2	0	2	-11,28	22,94	746,09	5,70	130,89
	3	0	2	-9,18	24,40	1521,64	6,30	241,53
ASP5BU5	1	1	2	1,17	21,66	1423,47	6,80	209,33
	2	1	2	4,78	24,51	1374,38	6,40	214,75
	3	1	2	-26,82	-0,54	2650,59	8,40	315,55
ASP6BU6	1	2	2	17,59	42,78	1070,05	3,80	281,59
	2	2	2	-11,12	22,85	1050,42	4,50	233,43
	3	2	2	-8,99	24,32	1816,15	4,40	412,76
ASP7BU7	1	3	2	-11,67	23,89	1001,33	6,60	151,72
	2	3	2	-11,28	23,00	962,07	4,30	223,74
	3	3	2	-11,93	23,03	2356,08	5,70	413,35
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	800 kg	2mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	4mm	-



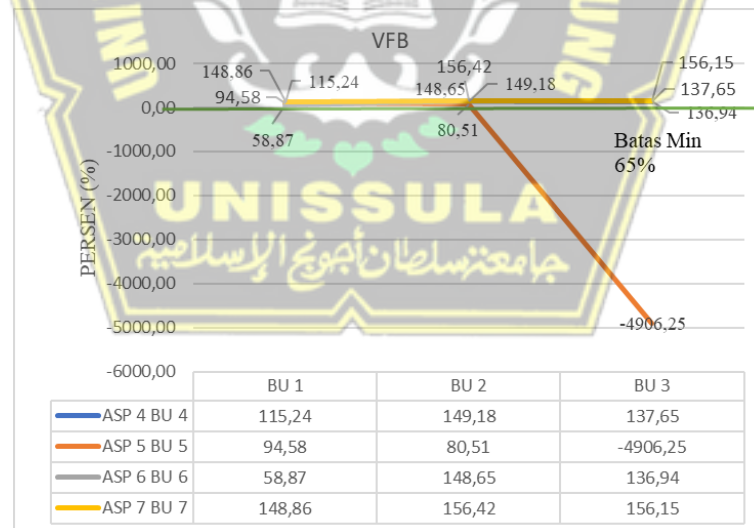
Grafik 4. 8 Nilai VIM Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%; 1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%

Berdasarkan **Grafik 4. 8** diatas nilai VIM dari hasil uji *Marshall Test* variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 4,5,6,7 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 3% dan maksimum 5%.



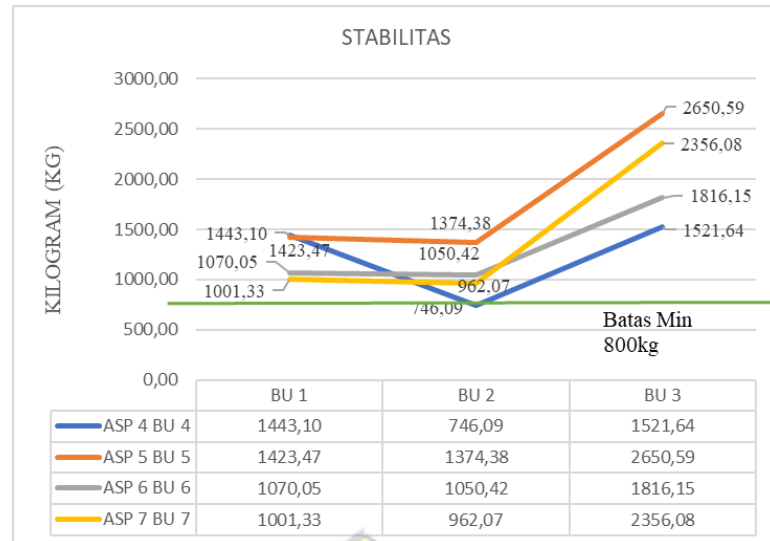
Grafik 4. 9 Nilai VMA Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%

Berdasarkan **Grafik 4. 9** diatas nilai VMA dari hasil uji **Marshall Test** variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 4,5,6,7 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 15%.



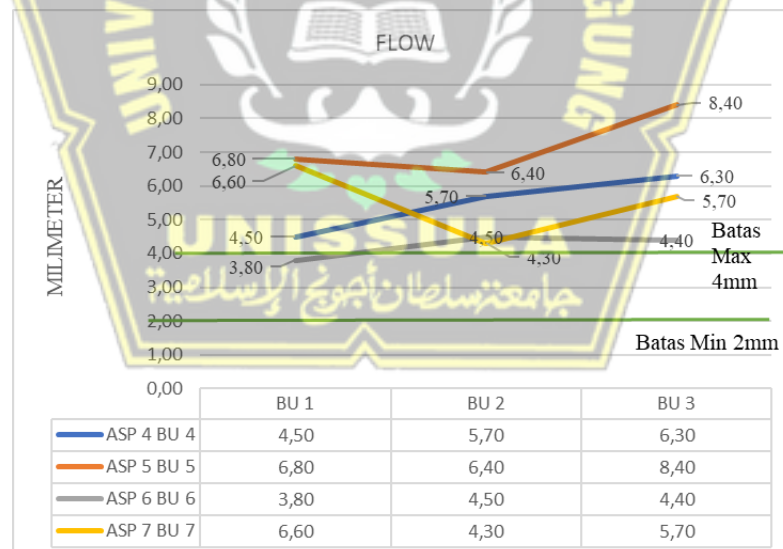
Grafik 4. 10 Nilai VFB Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%

Berdasarkan **Grafik 4. 10** diatas nilai VFB dari hasil uji **Marshall Test** variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 4,5,6,7 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 65%.



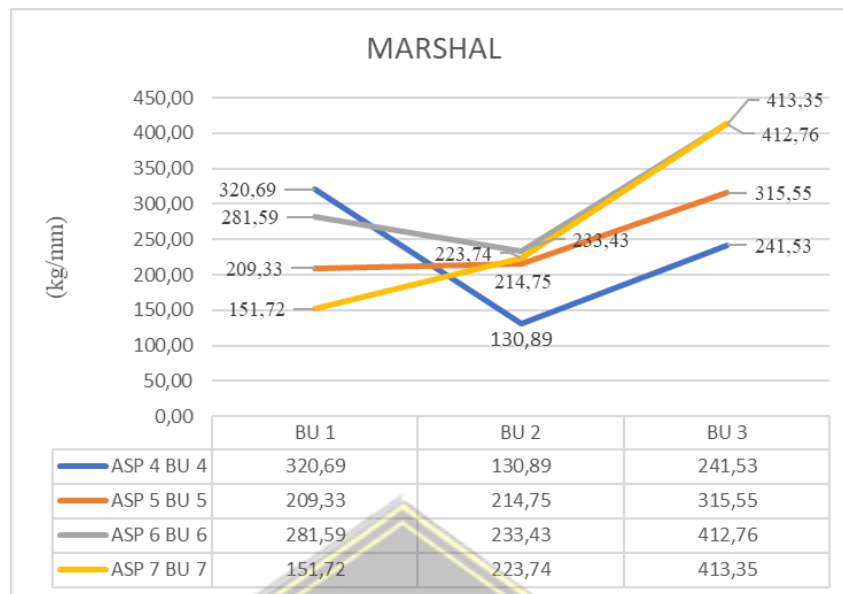
Grafik 4. 11 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%

Berdasarkan **Grafik 4. 11** diatas nilai Stabilitas dari hasil uji *Marshall Test* variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 4,5,6,7 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 12 Nilai Flow Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%

Berdasarkan **Grafik 4. 12** diatas nilai *Flow* dari hasil uji *Marshall Test* variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 4,5,6,7 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 2mm dan maksimum 4mm.



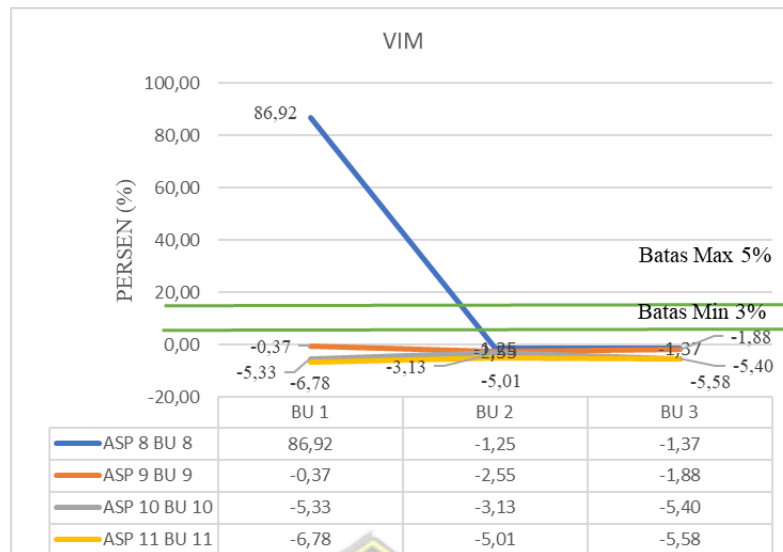
Grafik 4. 13 Nilai MQ Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 2%

Berdasarkan **Grafik 4. 13** diatas nilai MQ dari hasil uji **Marshall Test** variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 4,5,6,7 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

4.8.3 Hasil Uji **Marshall Test** Variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%dengan Pasir pantai 4%)

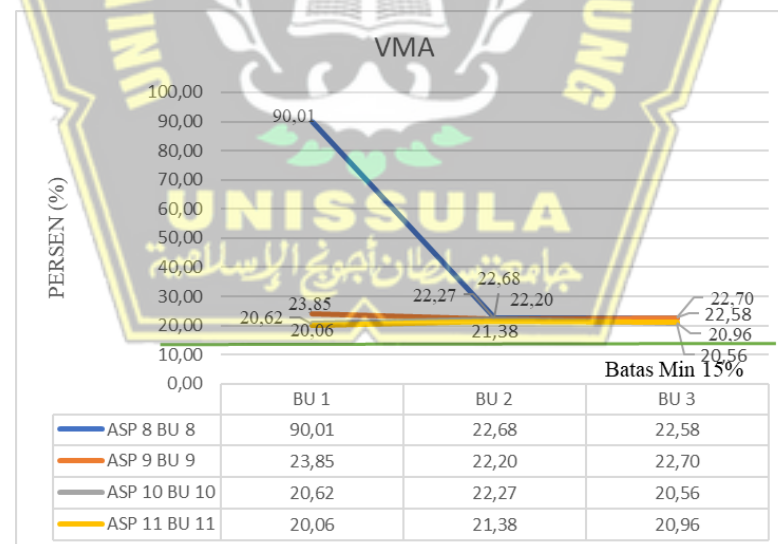
Tabel 4. 15 Hasil **Marshall Test** variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 4%)

Variasi	Benda Uji	Ampas Tebu %	Pasir Pantai %	Parameter Hasil Pengujian Marshall				
				VIM	VMA	Stabilitas	Flow	MQ
ASP8BU8	1	0	4	86,92	90,01	2218,64	2,40	924,43
	2	0	4	-1,25	22,68	942,43	4,90	192,33
	3	0	4	-1,37	22,58	1717,98	6,70	256,41
ASP9BU9	1	1	4	-0,37	23,85	912,98	4,20	217,38
	2	1	4	-2,55	22,20	1030,79	3,20	322,12
	3	1	4	-1,88	22,70	1570,72	4,00	392,68
ASP10BU10	1	2	4	-5,33	20,62	1227,13	3,60	340,87
	2	2	4	-3,13	22,27	863,90	6,50	132,91
	3	2	4	-5,40	20,56	3239,61	2,70	1199,86
ASP11BU11	1	3	4	-6,78	20,06	1050,42	2,90	362,21
	2	3	4	-5,01	21,38	814,81	2,30	354,27
	3	3	4	-5,58	20,96	2601,51	7,60	342,30
BATASAN	Min Max	-		3% 5%	15% -	800 kg	2mm 4mm	-



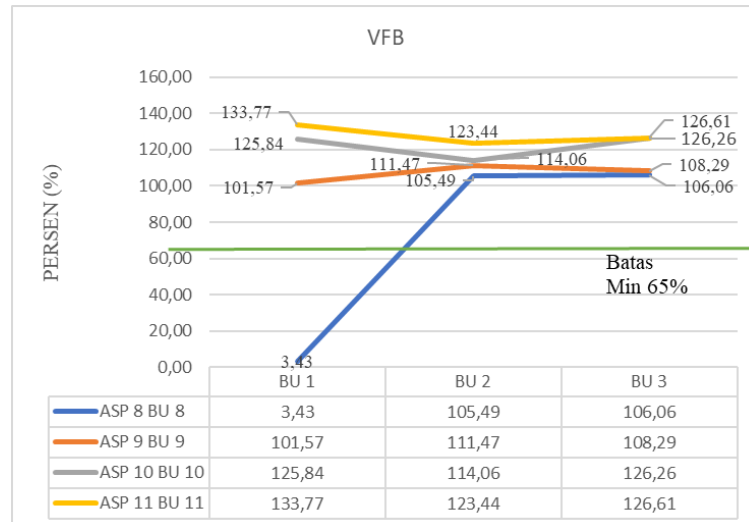
Grafik 4. 14 Nilai VIM Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%; 1%; 2%; 3% dengan Pasir Pantai 4%

Berdasarkan **Grafik 4. 14** diatas nilai VIM dari hasil uji **Marshall Test** variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 8,9,10,11 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 3% dan maksimum 5%.



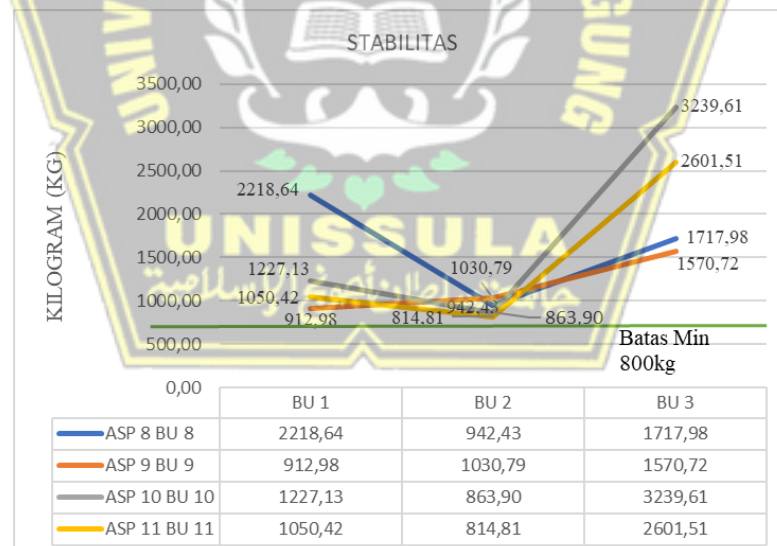
Grafik 4. 15 Nilai VMA Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%; 1%; 2%; 3% dengan Pasir Pantai 4%

Berdasarkan **Grafik 4. 15** diatas nilai VMA dari hasil uji **Marshall Test** variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 8,9,10,11 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 15%.



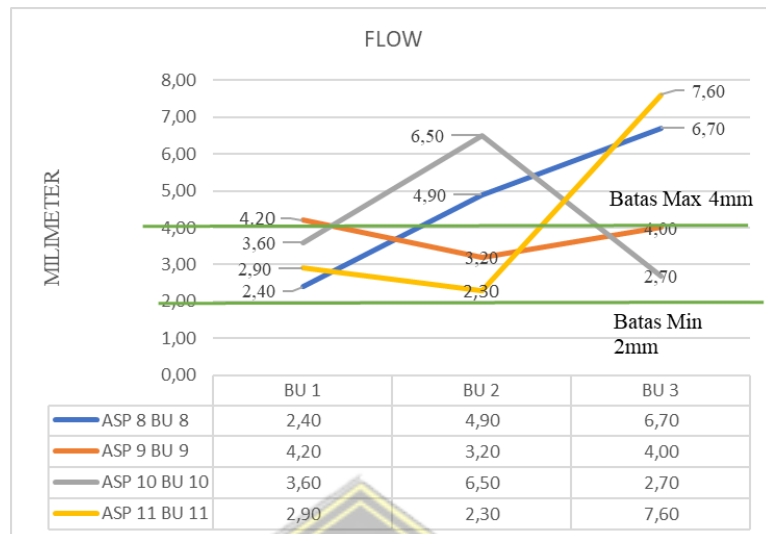
Grafik 4. 16 Nilai VFB Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%; dengan Pasir Pantai 4%

Berdasarkan **Grafik 4. 16** diatas nilai VFB dari hasil uji **Marshall Test** variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 8,9,10,11 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 65%.



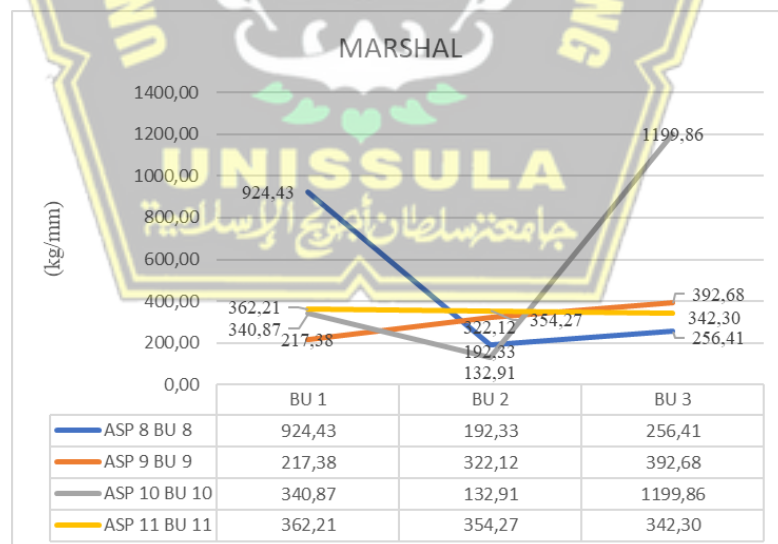
Grafik 4. 17 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 4%

Berdasarkan **Grafik 4.17** diatas nilai Stabilitas dari hasil uji **Marshall Test** variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 8,9,10,11 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 18 Nilai Flow Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 4%

Berdasarkan **Grafik 4. 18** diatas nilai *Flow* dari hasil uji **Marshall Test** variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 8,9,10,11 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 2mm dan maksimum 4mm



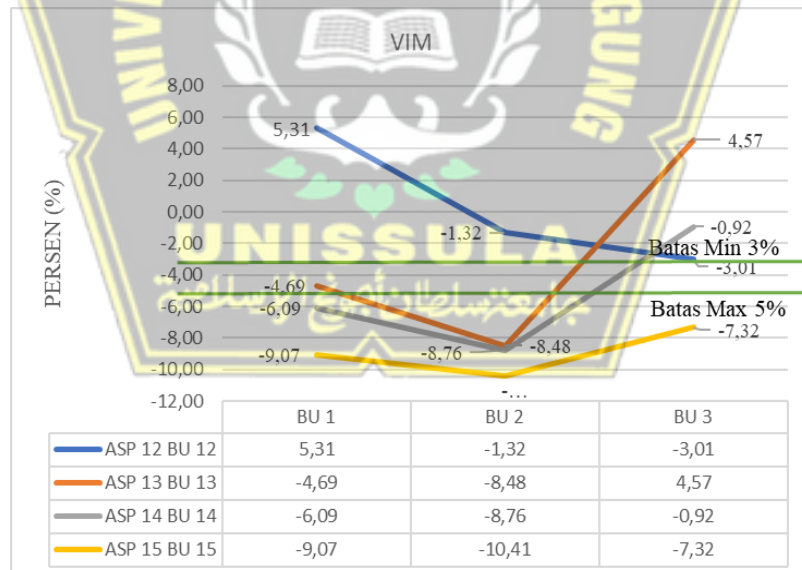
Grafik 4. 19 Nilai MQ Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 4%

Berdasarkan **Grafik 4. 19** diatas nilai MQ dari hasil uji **Marshall Test** variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 8,9,10,11 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

4.8.3 Hasil Uji *Marshall Test* Variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%dengan Pasir pantai 6%)

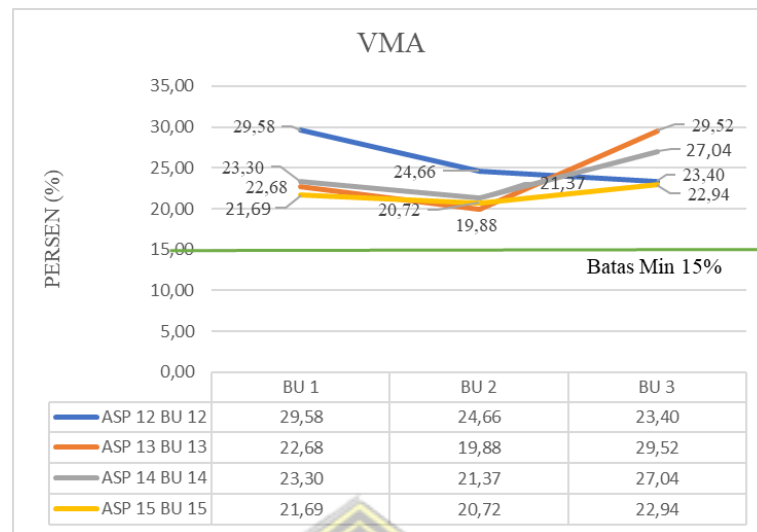
Tabel 4. 16 Hasil *Marshall Test* variasi (Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir pantai 6%)

Variasi	Benda Uji	Ampas Tebu %	Pasir Pantai %	Parameter Hasil Pengujian Marshall				
				VIM	VMA	Stabilitas	Flow	MQ
ASP12BU12	1	0	6	5,31	29,58	1070,05	2,00	535,03
	2	0	6	-1,32	24,66	559,57	2,60	215,22
	3	0	6	-3,01	23,40	2071,39	4,20	493,19
ASP13BU13	1	1	6	-4,69	22,68	510,48	2,00	255,32
	2	1	6	-4,48	19,88	883,53	2,50	355,41
	3	1	6	4,57	29,52	2159,74	7,50	287,97
ASP14BU14	1	2	6	-6,09	23,30	1050,42	4,50	233,43
	2	2	6	-8,76	21,37	1079,87	6,50	166,13
	3	2	6	-0,92	27,04	2199,01	6,40	343,60
ASP15BU15	1	3	6	-9,07	21,69	422,13	4,80	87,94
	2	3	6	-10,41	20,72	804,99	5,20	154,81
	3	3	6	-7,32	22,94	3386,87	5,60	604,80
BATASAN	Min	-	-	3%	15%	800 kg	2mm	-
	Max	-	-	5%	-	-	4mm	-



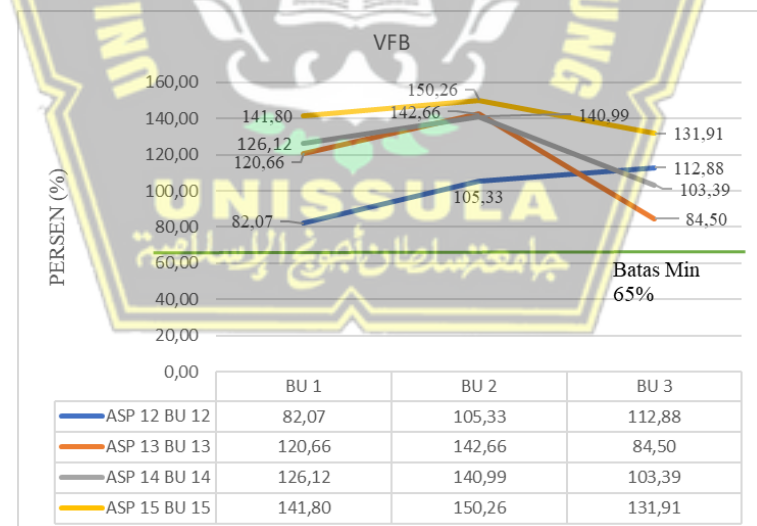
Grafik 4. 20 Nilai VIM Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%; 1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%

Berdasarkan **Grafik 4. 20** diatas nilai VIM dari hasil uji *Marshall Test* variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 12,13,14,15 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 3% dan maksimum 5%.



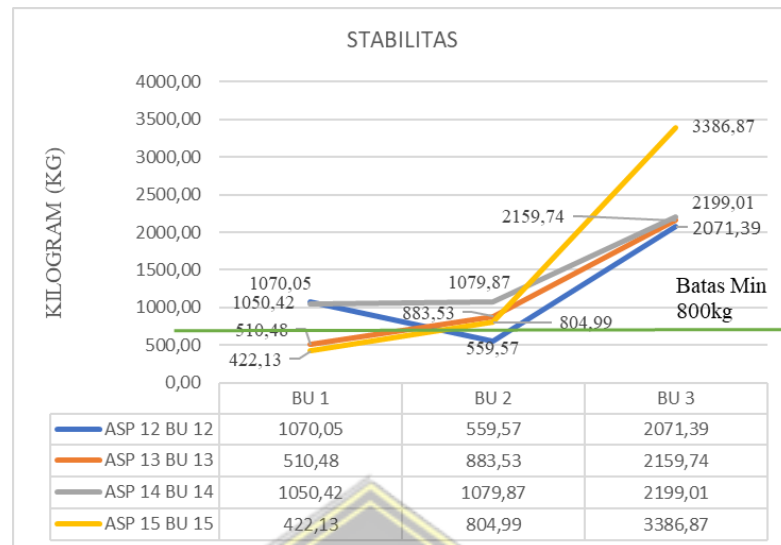
Grafik 4. 21 Nilai VMA Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%

Berdasarkan **Grafik 4. 21** diatas nilai VMA dari hasil uji *Marshall Test* variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 12,13,14,15 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 15%.



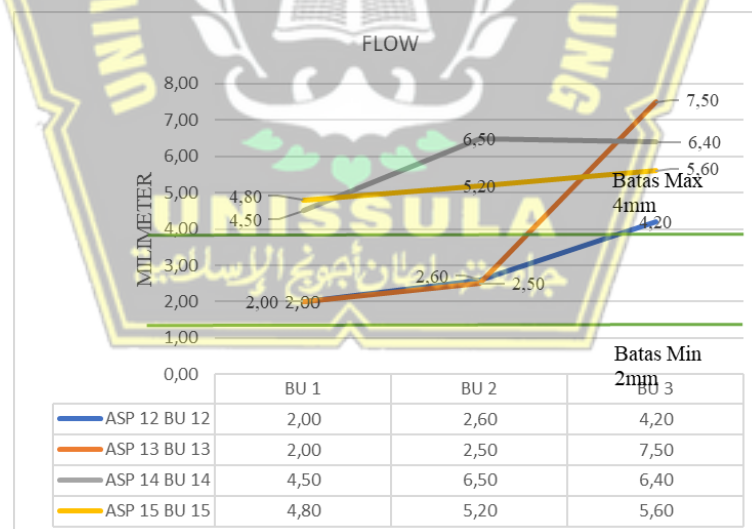
Grafik 4. 22 Nilai VFB Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3%;dengan Pasir Pantai 6%

Berdasarkan **Grafik 4. 22** diatas nilai VFB dari hasil uji *Marshall Test* variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 12,13,14,15 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 65%.



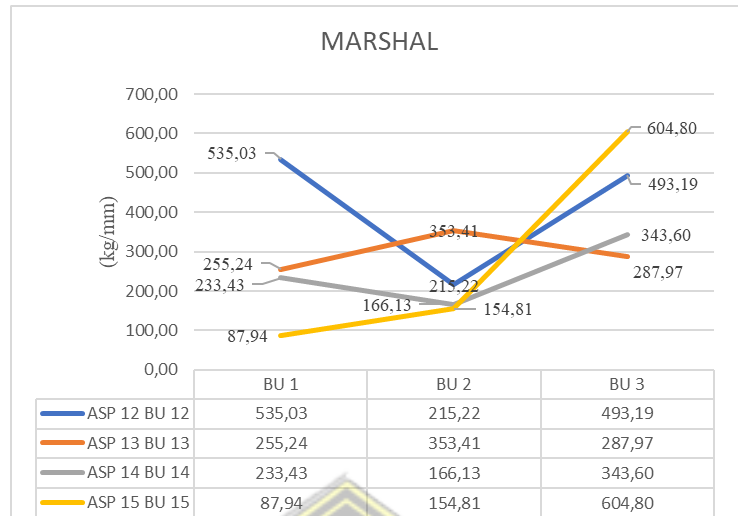
Grafik 4. 23 Nilai Stabilitas Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%

Berdasarkan **Grafik 4.23** diatas nilai Stabilitas dari hasil uji *Marshall Test* variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 12,13,14,15 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 24 Nilai Flow Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%

Berdasarkan **Grafik 4. 24** diatas nilai *Flow* dari hasil uji *Marshall Test* variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 12,13,14,15 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018. Dengan nilai minimum 2mm dan maksimum 4mm



Grafik 4. 25 Nilai MQ Pada Variasi Abu Ampas Tebu 0%;1%;2%;3% dengan Pasir Pantai 6%

Berdasarkan **Grafik 4. 25** diatas nilai MQ dari hasil uji *Marshall Test* variasi Abu Ampas Tebu dan Pasir Pantai untuk sampel benda uji 12,13,14,15 telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

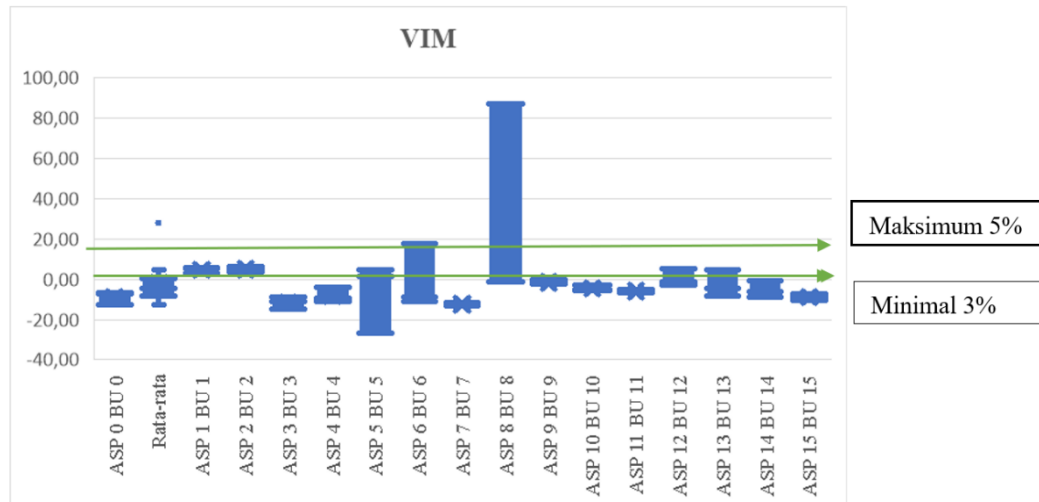
4.9 Rekap Hasil Pengujian Marshall Semua Variasi Bahan Tambah

Pada hasil pengujian marshall test test untuk komposisi aspal modifikasi pada semua variasi ampas tebu dan pasir pantai

Tabel 4. 17 Rekap Uji Marshall Semua Variasi Bahan Tambah

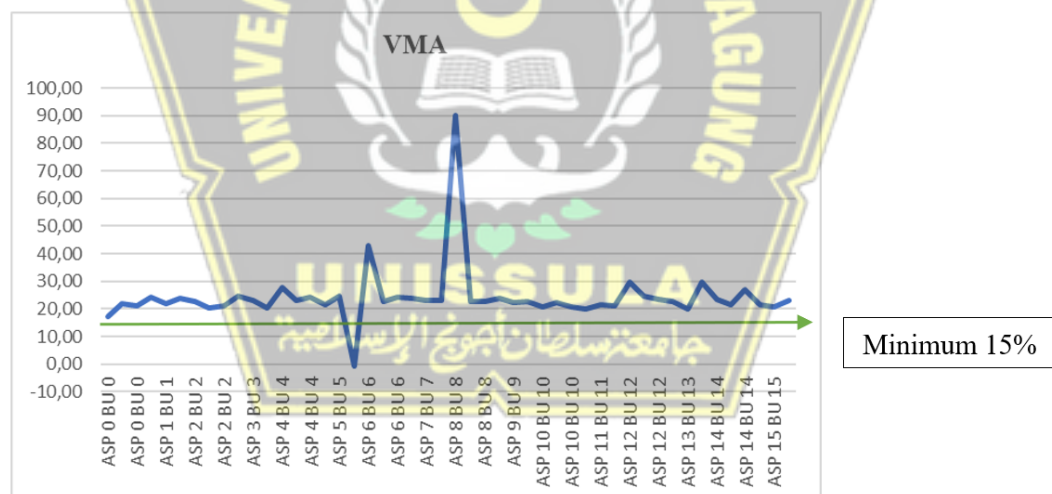
Variasi	Benda Uji	Ampas Tebu %	Pasir Pantai %	Parameter Hasil Pengujian Marshall					
				VIM	VMA	VFB	Stabilitas	Flow	MQ
ASP0B0	1	0	0	-12,76	17,13	174,50	1492,18	2,00	746,09
	2	0	0	-6,45	21,76	76,31	1079,87	3,50	308,53
	3	0	0	-7,07	21,31	133,20	1109,32	5,00	221,86
ASP1BU1	1	1	2	5,76	24,33	76,31	1590,35	3,50	454,39
	2	1	2	2,90	22,03	86,83	765,73	3,50	218,78
	3	1	2	5,15	23,84	78,40	1904,50	2,50	761,80
ASP2BU2	1	2	4	6,44	22,82	71,78	1767,06	4,50	392,68
	2	2	4	3,53	20,42	148,65	1040,60	2,50	416,24
	3	2	4	4,59	21,29	172,63	1197,67	4,10	292,12
ASP3BU3	1	3	6	-8,68	24,65	90,95	912,98	4,40	207,50
	2	3	6	-11,16	22,94	80,92	1187,86	4,30	276,25
	3	3	6	-14,82	20,40	79,50	1335,11	5,40	247,24
ASP4BU4	1	0	0	-4,24	27,82	115,24	1443,10	4,50	320,69
	2	0	0	-11,28	22,94	149,18	746,09	5,70	130,89

	3	0	0	-9,18	24,40	137,65	1521,64	6,30	241,53
ASP5BU5	1	1	2	1,17	21,66	94,58	1423,47	6,80	209,33
	2	1	2	4,78	24,51	80,51	1374,38	6,40	214,75
	3	1	2	-26,82	-0,54	-490,25	2650,59	8,40	315,55
ASP6BU6	1	2	4	17,59	42,78	58,87	1070,05	3,80	281,59
	2	2	4	-11,12	22,85	148,65	1050,42	4,50	233,43
	3	2	4	-8,99	24,32	136,94	1816,15	4,40	412,76
ASP7BU7	1	3	6	-11,67	23,89	148,86	1001,33	6,60	151,72
	2	3	6	-12,98	23,00	156,42	962,07	4,30	223,74
	3	3	6	-12,93	23,03	156,15	2356,08	5,70	413,35
ASP8BU8	1	0	0	86,92	90,01	3,43	2218,64	2,40	924,43
	2	0	0	-1,25	22,68	105,49	942,43	4,90	192,33
	3	0	0	-1,37	22,58	106,06	1717,98	6,70	256,41
ASP9BU9	1	1	2	-0,37	23,85	101,57	912,98	4,20	217,38
	2	1	2	-2,55	22,20	111,47	1030,79	3,20	322,12
	3	1	2	-1,88	22,70	108,29	1570,72	4,00	392,68
ASP10BU10	1	2	4	-5,33	20,62	125,84	1227,13	3,60	340,87
	2	2	4	-3,13	22,27	114,06	863,90	6,50	132,91
	3	2	4	-5,40	20,56	126,06	3239,61	2,70	1199,86
ASP11BU11	1	3	6	-6,78	20,06	133,77	1050,42	2,90	362,21
	2	3	6	-5,01	21,38	123,44	814,81	2,30	354,27
	3	3	6	-5,58	20,96	126,61	2601,51	7,60	342,32
ASP12BU12	1	0	0	5,31	29,58	82,07	1070,05	2,00	545,03
	2	0	0	-1,32	24,66	105,33	559,57	2,60	215,22
	3	0	0	-3,01	23,40	112,88	2071,39	4,20	493,19
ASP13BU13	1	1	2	-4,69	22,68	120,66	510,48	2,00	255,24
	2	1	2	-8,48	19,88	142,66	883,53	2,50	355,41
	3	1	2	4,57	29,52	84,50	2159,74	7,50	287,97
ASP14BU14	1	2	4	-6,09	23,30	126,12	1050,42	4,50	233,43
	2	2	4	-8,76	21,37	140,99	1079,87	6,50	166,13
	3	2	4	-0,92	27,04	103,39	2199,01	6,40	343,60
ASP15BU15	1	3	6	-9,07	21,69	141,80	422,13	4,80	87,94
	2	3	6	-10,41	20,72	150,26	804,99	5,20	154,81
	3	3	6	-7,32	22,94	131,91	3386,87	5,60	604,80
BATASAN	Min Max	-	-	3% 5%	15% -	65% -	800 kg -	2 mm 4 mm	-



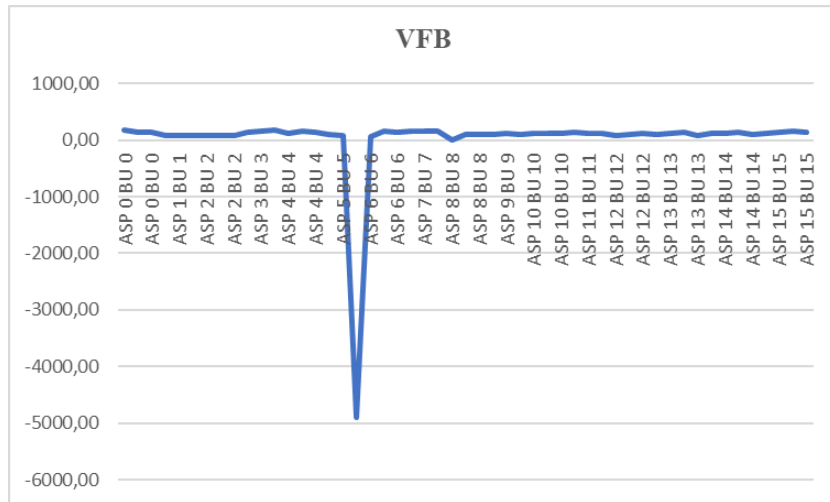
Grafik 4. 26 Rekap Nilai VIM Semua Variasi Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.26** diatas rekap nilai VIM dari hasil uji *Marshall* banyak variasi yang tidak lolos batas minimum pada VIM yaitu 3%, namun kode variasi ASP1BU1 dan ASP2BU2 semua sampel uji mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dengan nilai minimum 3% dan maksimum 5%.



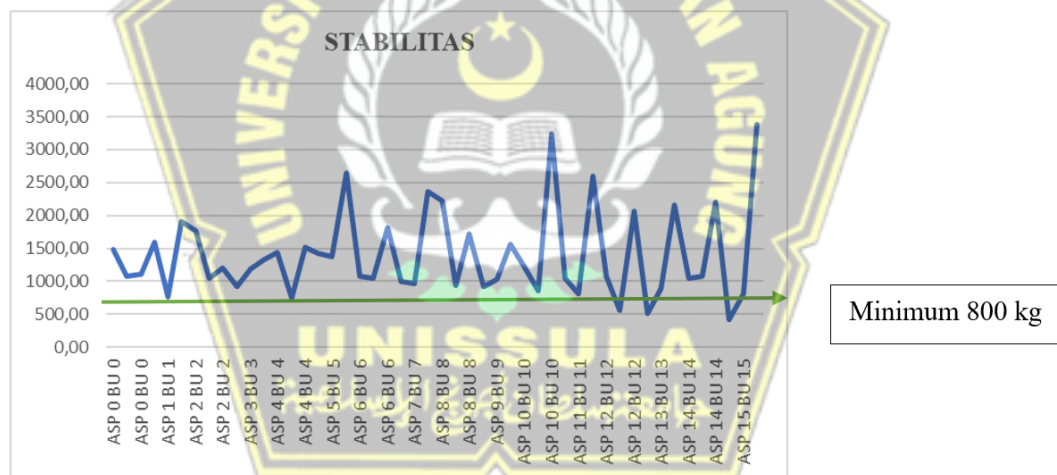
Grafik 4. 27 Rekap Nilai VMA Semua Variasi Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.27** diatas rekap nilai VMA dari hasil uji *Marshall* dengan kode variasi ASP1BU1, ASP3BU3, ASP6BU6, ASP8BU8, dan ASP12BU12 pada sampel uji mampu memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dengan nilai minimum 15%.



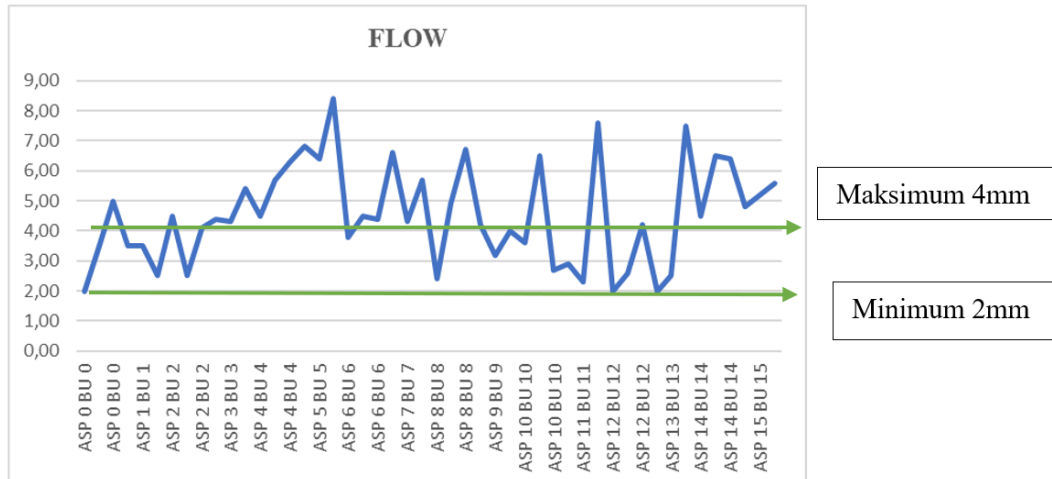
Grafik 4. 28 Rekap Nilai VFB Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4.28** diatas rekap nilai VFA dari hasil uji *Marshall* untuk semua variasi telah mamapu memenuhi Spesifikasi Umum Binaa Marga Tahun 2018.



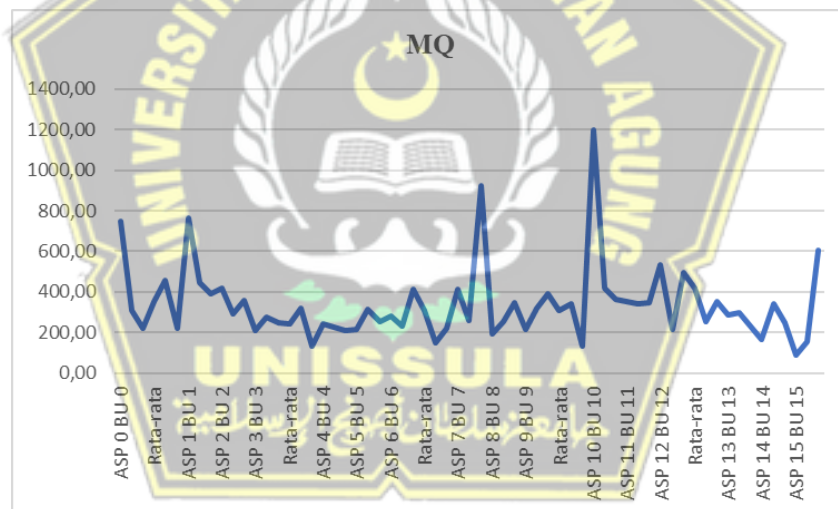
Grafik 4. 29 Rekap Nilai Stabilitas Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4. 29** diatas rekap nilai Stabilitas dari hasil uji *Marshall* untuk semua variasi telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dengan nilai minimum 800 kg.



Grafik 4. 30 Rekap Nilai Flow Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4. 30** diatas rekap nilai *Flow* dari hasil uji *Marshall* untuk semua variasi telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 dengan batas minimum 2mm dan maksimu 4mm.



Grafik 4. 31 Rekap Nilai MQ Semua Variasi Bahan Tambah

Berdasarkan **Grafik 4. 31** diatas rekap nilai MQ dari hasil uji *Marshall* semua variasi aspal telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Hasil *Job Mix Design* tertinggi menggunakan penambahan abu ampas tebu dan pasir pasir pantai untuk perkerasan jalan diperoleh dari komposisi 2% abu ampas tebu dan 4% pasir pantai pada sampel ASP2BU2, dimana komposisi bahan tambah tersebut mampu memenuhi Spesifikasi umum Bina Marga Tahun 2018 dengan hasil terbaik pada *Marshall test* untuk variasi tersebut yaitu nilai VIM sebesar 3,53%, nilai VMA sebesar 20,42%, nilai VFB sebesar 148,65%, nilai stabilitas sebesar 1040,60 kg, nilai flow sebesar 2,50 mm dan untuk nilai MQ sebesar 416,24 kg/mm.
2. Pada hasil uji *Marshall* untuk nilai Stabilitas tertinggi diperoleh dari komposisi 3% ampas tebu dan 6% pasir pantai dengan hasil nilai stabilitas sebesar 3386,87 kg. Nilai stabilitas komposisi bahan tambah tersebut memenuhi spesifikasi umum Bina Marga Tahun 2018 dengan nilai minimum stabilitas, yaitu 800 kg.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian, terdapat beberapa saran yang dapat diterapkan untuk meningkatkan ketelitian serta kesesuaian hasil pada penelitian selanjutnya. Adapun saran tersebut sebagai berikut :

1. Penyesuaian komposisi campuran perlu dilakukan dengan mempertimbangkan variasi kadar abu ampas tebu dan pasir pantai sesuai kondisi agregat di lapangan serta spesifikasi teknis yang berlaku.
2. Memperhatikan dan menjaga kondisi laboratorium agar tidak mempengaruhi penimbangan material maupun proses pembuatan sampel.
3. Pada saat pelaksanaan uji *Marshall*, penggunaan alat perekam digital direkomendasikan agar pembacaan nilai stabilitas (O) dan kelelahan (R) dapat terekam dengan lebih akurat dan objektif.

4. Disarankan dilakukan penghamparan langsung di lapangan guna mengevaluasi performa campuran AC-WC modifikasi dalam kondisi nyata.
5. Penggunaan metode pengujian tambahan seperti uji permeabilitas dan uji peredaman air direkomendasikan untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap pengaruh air secara berkala.



DAFTAR PUSTAKA

- Affandi. (2006) Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Dengan Bitumen Hasil Ekstrasi. Universitas Diponegoro.
- Alamsyah, A. A., & Meiyanto, H. E. (2016). Penggunaan Abu Ampas Tebu (Bagasse Ash Of Sugar Cane) sebagai Bahan Pengganti Filler pada Campuran Aspal Panas (*Hot Mix*) Latasir B. *Media Teknik Sipil*, 14(1), 15-26.
- ASTM C 618-05 (2003) *Standard Specification For Coal Fly Ash Andraw Or Calcined Natural Pozzolan For Use As A Mineral Admixture In Concrete*, 2003.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2417-2008, Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles, Jakarta, 2008.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2439-2011, Metode Pengujian Kelekatan Agregat terhadap aspal pen 60/70, Jakarta, 2011.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran, Jakarta, 1991.
- Budiarto, A., Sarwono, D., & Hartono, A. K. (2020). Analisis Perbandingan Kinerja Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Menggunakan Bahan Tambah Natural Sand Pasir Pantai dan Pasir Gunung. *Matriks Teknik Sipil*, 8(2).
- Gasruddin, A. (2019). Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Aspal Berongga Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal MEDIA INOVASI Teknik Sipil Unidayan*, 8(1), 70–80.
- Ginting, D. K. (2019). *Kajian Eksperimental Perbandingan Kadar Aspal Variasi Pada Campuran Ac Wc*.
- Gunarto, A., & Candra, A. I. (2019). Penelitian Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan Filler Bunga Pinus. *UKaRsT*, 3(1).
- Gutama, D. S. L. W., Sulistyorini, D., Pamulatsih, W. R., & Handayani, E. F. (2023). Pengaruh Substitusi Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Terhadap

- Kualitas Campuran *Asphalt Concrete-Binder Course* (Ac-Bc) Berdasarkan Uji Marshall. *Bangun Rekaprima*, 9(2), 247-256.
- Idayani, I. (2022). Pemanfaatan Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Pada Campuran HRS-WC. *Jurnal Sains Riset*, 12(3), 747-754.
- Katjo, S., Indrawan, A. S., & Isdyanto, A. (2023). Pemanfaatan Limbah Batok Kelapa Dan Pasir Pantai Dalam Pembuatan Paving Block Di Kelurahan Lembang Kab. Majene. *Beru'-beru': Jurnal Pengabdian kepada Masyarakat*, 2(1), 51-59.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2017). Manual Desain Perkerasan Jalan Nomor 02/M/BM/2017. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Korompis, S. P., Kaseke, O. H., & Diantje, S. (2015). Kajian Laboratorium Penggunaan Material Agregat Bersumber Dari Kaki Gunung Soputan Untuk Campuran Beraspal Panas. *Jurnal Sipil Statik*, 3(2), 91–98.
- Kusumaningtyas, F. (2015). *Pemanfaatan abu ampas tebu sebagai substitusi filler untuk campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* (Doctoral dissertation, Universitas Negeri Malang).
- Kristanti, H., & Widhiastuti, Y. (2024, November). Analisis Perbandingan Filler Semen Dengan Filler Abu Ampas Tebu Pada Campuran Aspal Ac–Wc Terhadap Karakteristik Marshall. In *Seminar Nasional Teknik Sipil* (Vol. 2, No. 1, pp. 94-100).
- Langit, D. S., Gutama, W., Sulistyorini, D., Pamulatsih, W. R., & Handayani, E. F. (2023). *Pengaruh Substitusi Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Terhadap Kualitas Campuran Asphalt Concretebinder Course (AC-BC) Berdasarkan Uji Marshall*. 09.
- Masykur, & Susilo, R. (2018). *Analisis Perencanaan Tebal Lapis Perkerasan Jalan Raya*. 7(2).
- Maulana, F. S. A., & MUHLIS, M. (2024). Efisiensi dan Efektivitas Penggunaan Aspal pada Perkerasan Jalan Raya. *Jurnal Daktilitas*, 4(2), 93-101.
- Mentari. (2023). *Pengaruh Bahan Additive Karet Alam Terhadap Durabilitas Aspal Porus Dengan Metode Pencampuran Bertahap Dibandingkan Dengan Pencampuran Konvensional*.

- Pasaribu, H., & Simanullang, M. T. (2021). Hubungan Kekuatan Tanah Dasar Dengan Perkerasan Kaku (Rigid Pavement). *Jurnal Teknik Sipil*, 1(1).
- Pebila, T. P., Lalamentik, L. G., & Sendow, T. K. (2024). Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Pulau Salibabu Sebagai Bahan Tambah Pada Agregat Halus Dalam Campuran Asphalt Concrete–Wearing Course (AC-WC). *TEKNO*, 22(88), 843-853.
- Pratama, F. Y., Abrar, A., & Putra, S. A. (2023). Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Ketapang Sebagai Agregat Halus dengan Penambahan Filler Semen Pada Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Marshall. *SLUMP TeS: Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 59-68.
- Rafianto, A., & Yuwono, T. (2022). Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Sadranan Sebagai Bahan Tambah Campuran (AC-BC) Terhadap Sifat Marshall. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 27(2), 36-43.
- Rahmania, A., Sulaiman, A. R., & Gani, F. A. (2021). Susbtitusi Filler Abu Ampas Tebu pada Laston Ac-Wc dan Buton Granular Asphalt Sebagai Agregat Halus. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 5, No. 1, pp. 51-57).
- Riyanto, A., & Prasetya, R. D. (2020). Pengaruh Kadar Filler Fly Ash dalam Campuran AC-WC dengan Pasir Pantai Takisung sebagai Agregat Halus Ditinjau dari Aspek Ketidakrataan dan Properties Marshall. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 13(2), 37-47.
- Rosuli, M. F., Lestari, A. D., & Suryadi, A. (2024). Pengaruh Limbah Bata Merah Sebagai Filler Pada Laston AC-WC Terhadap Karakteristik Campuran. *Jurnal Online Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi (JOS-MRK)*, 5(4), 175-184.
- Rosyad, F., & Putri, D. (2024). Analisis Pengaruh Penambahan Abu Ampas Tebu Sebagai Filler terhadap Karakteristik Marshall pada Aspal AC-WC. *Ensiklopedia of Journal*, 6(3), 91-97.
- Setiobudi, A., Amiwarti, A., & Tamara, D. (2020). Analisis Penambahan Limbah Bakaran Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Campuran Aspal AC WC. *Jurnal Deformasi*, 5(2), 63-68.

- Shabrina, A., Riyanto, A., Sunarjono, S., & Harnaeni, S. R. (n.d.). Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Kemala Sebagai Bahan Tambah Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) Terhadap Marshall Properties Dan Nilai Struktural. *Prosiding Simposium Nasional Rekayasa Aplikasi Perancangan Dan Industri*, 295–302.
- Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018 Revisi 2, Perkerasan Konstruksi Jalan dan Jembatan, 2018.
- Suherminanta, S., Ikanubun, E. R., Risdiyanto, R., & Kresnanto, N. C. (2021). Penggunaan Pasir Pantai Ngur Bloat Maluku Tenggara sebagai Filler pada Campuran Aspal Panas AC-WC Menurut Karakteristik Marshall. *RANCANG BANGUN TEKNIK SIPIL*, 8(1), 13.
- Widya, G. N. (2021). *Pengaruh Penambahan Serbuk Ampas Tebu terhadap Lapis Aspal Beton Wearing Course (AC-WC) di Tinjau Terhadap Marsall Properties* (Doctoral dissertation, Universitas Islam Lamongan).

