

# **SKRIPSI**

## **PENGARUH PASIR PUYA LIMBAH TAMBANG EMAS SEBAGAI PENGANTI *FILLER* PADA CAMPURAN ASPAL AC - WC**

Diajukan untuk memenuhi sebagai persyaratan mencapai derajat Sarjana S – 1  
pada Program Studi Teknik Sipil



Disusun Oleh:

**ADI SAPUTRA**

**2021D1B029**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM**

**2025**

**HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING**

**PENGARUH PASIR PUYA LIMBAH TAMBANG EMAS SEBAGAI  
PENGANTI *FILLER* PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC**

Disusun Oleh:

**ADI SAPUTRA**

**2021D1B029**

Mataram, 02 Agustus 2025

**Pembimbing I**

**Pembimbing II**

**Ir. Titik Wahyuningsih, S.T., M.T.**

**NIDN.0819097401**

**Ir. Adryan Fitrayudha, S.T., M.T., IPM.**

**NIDN.0802058903**

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah Mataram**

**Dr. Ir. H. Aji Syailendra Ubaidillah, S.T., M.Sc.**

**NIDN. 0806027101**

**HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI**

**PENGARUH PASIR PUYA LIMBAH TAMBANG EMAS SEBAGAI  
PENGANTI *FILLER* PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC**

Disusun oleh:

**ADI SAPUTRA**

**2021D1B029**

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji  
Pada Hari/Tanggal : Mataram, 12 Agustus 2025  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat

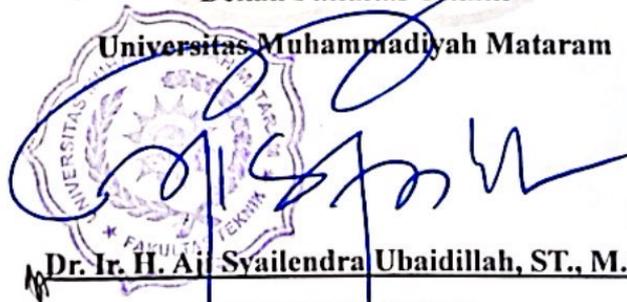
**Susunan Tim Penguji**

- |                |  |         |
|----------------|--|---------|
| 1. Penguji I   | : Ir. Titik Wahyuningsih, S.T., M.T.     | (.....) |
| 2. Penguji II  | : Ir. Adryan Fitrayudha, S.T., M.T.,IPM. | (.....) |
| 3. Penguji III | : Ahmad Zarkasi, S.T., M.T.              | (.....) |

**Mengetahui,**

**Dekan Fakultas Teknik**

**Universitas Muhammadiyah Mataram**



**Dr. Ir. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc.**

**NIDN. 0806027101**

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Peneliti yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Adi Saputra

NIM : 2021D1B029

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Pengaruh Pasir Puya Limbah Tambang Emas Sebagai Pengganti *Filler* Pada Campuran Aspal AC-WC

Dengan ini peneliti menyatakan dengan sesungguhnya bahwa penulisan skripsi ini sepenuhnya merupakan hasil karya peneliti sendiri. Peneliti tidak melakukan penjiplakan maupun pengutipan karya orang lain dengan cara yang bertentangan dengan etika ilmiah atau yang dikenal sebagai plagiarisme. Bagian-bagian tertentu yang bersumber dari karya orang lain telah peneliti cantumkan secara jelas pada sumber aslinya dan tercatat dalam daftar pustaka.

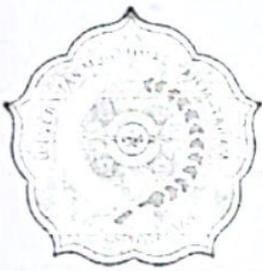
Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, peneliti bersedia menerima segala konsekuensi dan sanksi yang berlaku serta siap diproses sesuai ketentuan hukum yang ada.

Mataram, 12 Agustus 2025

Pembuat pernyataan



ADI SAPUTRA  
2021D1B029



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN  
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram  
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : [perpustakaan@ummat.ac.id](mailto:perpustakaan@ummat.ac.id)

SURAT PERNYATAAN BEBAS  
PLAGIARISME

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ADI SAPUTRA  
NIM : 2021013029  
Tempat/Tgl Lahir : Dadibou, 06 Februari 1999  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
No. Hp : 085 333 176 364  
Email : adisaputra6299@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis\* saya yang berjudul :

Pengaruh Pasir Puya Limbah Tambang Emas sebagai Pengganti  
Filler pada Campuran ASPAL AC-11C

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 43%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis\* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milih orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, 26 Agustus 2025

Penulis



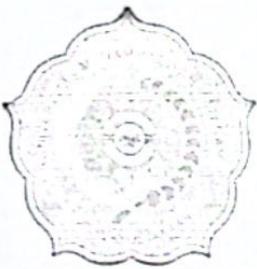
ADI SAPUTRA  
NIM. 2021013029

Mengetahui,  
Kepala UPT Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos.,M.A  
NIDN. 0802048904

\*pilih salah satu yang sesuai



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN  
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM  
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram  
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : [perpustakaan@ummat.ac.id](mailto:perpustakaan@ummat.ac.id)

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN  
PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ADI SAPUTRA  
NIM : 202101B029  
Tempat/Tgl Lahir : Dadibou, 06 february 1999  
Program Studi : Teknik Sipil  
Fakultas : Teknik  
No. Hp/Email : 085 333 176 364  
Jenis Penelitian :  Skripsi  KTI  Tesis  .....

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul :

Pengaruh Pasir Puya Limbah Tambang Emas Sebagai Pengganti Filler Pada campuran ASPAL AC-WC

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, 26 Agustus .....2025  
Penulis



ADI SAPUTRA  
NIM. 202101B029

Mengetahui,  
Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos., M.A.  
NIDN. 080204890

## MOTTO

"Karena setiap perjuangan membutuhkan niat, kesabaran, dan keyakinan bahwa perubahan besar selalu dimulai dari langkah kecil dan kemauan yang kuat dari dalam diri. Dan ketika manusia berusaha dengan sungguh-sungguh, maka Allah pasti membuka jalan."

"Setiap usaha akan berbuah hasil terbaik bila disertai kesabaran dan doa."

"Sesungguhnya Allah bersama orang-orang yang sabar." (QS. Al-Baqarah: 153)

"Ilmu adalah cahaya, dan cahaya itu hanya diberikan kepada hati yang bersih."

"Dan katakanlah: Ya Tuhanku, tambahkanlah kepadaku ilmu pengetahuan." (QS. Taha: 114)

"Bekerja keraslah dengan ikhlas, karena Allah tidak menyia-nyiakan amal yang baik."

"Sesungguhnya Allah tidak akan menyia-nyiakan pahala orang yang berbuat baik." (QS. Hud: 115)

"Belajar bukan hanya untuk diri sendiri, tetapi juga sebagai jalan memberi manfaat bagi sesama."

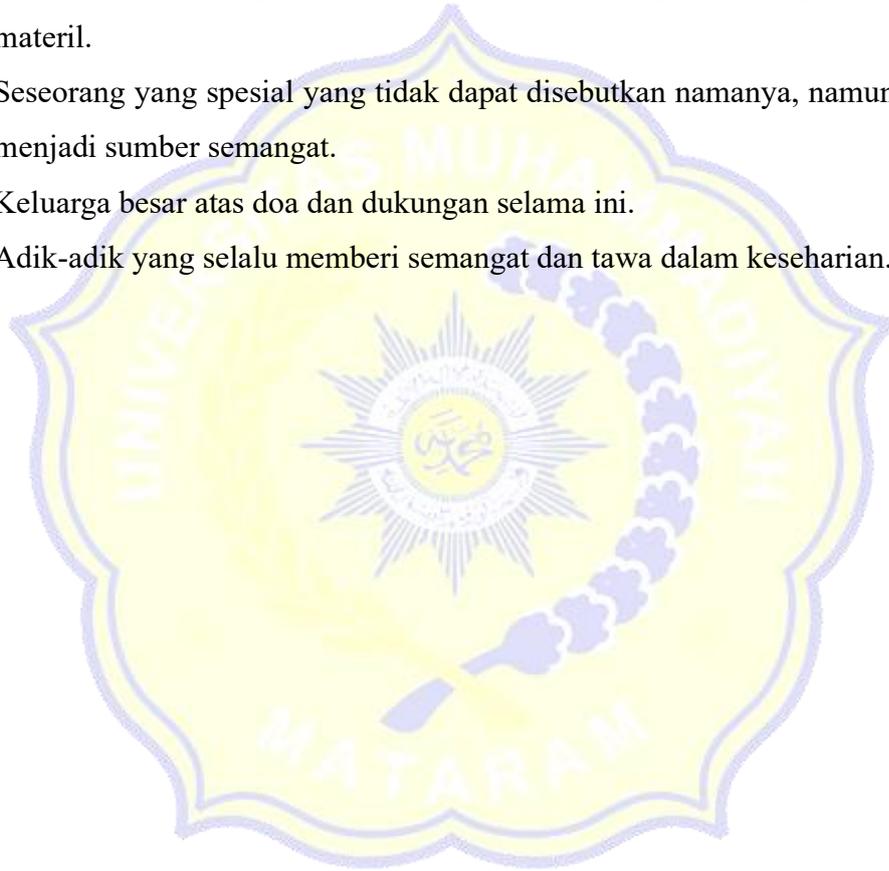
"Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi manusia lainnya." (HR. Ahmad, hadits pendukung Al-Qur'an tentang amal shaleh)

"Kegagalan adalah ujian, dan ujian adalah cara Allah meninggikan derajat hamba-Nya."

## PERSEMBAHAN

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa tanpa dukungan, dorongan, dan bantuan dari berbagai pihak, penyusunan skripsi ini tidak akan berjalan dengan lancar. Oleh karena itu, skripsi ini dipersembahkan untuk:

- 1) Allah SWT atas segala rahmat dan ridho-Nya.
- 2) Baba dan Mama tercinta atas doa, dukungan, dan kasih sayang yang tiada henti.
- 3) Ayah dan Mama angkat di Lombok Utara atas segala dukungan moril dan materil.
- 4) Seseorang yang spesial yang tidak dapat disebutkan namanya, namun selalu menjadi sumber semangat.
- 5) Keluarga besar atas doa dan dukungan selama ini.
- 6) Adik-adik yang selalu memberi semangat dan tawa dalam keseharian.



## UCAPAN TERIMAKASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan penyusunan skripsi ini dengan baik. Skripsi dengan judul “Pengaruh Pasir Puya Limbah Tambang Emas sebagai Pengganti *Filler* pada Campuran Aspal AC-WC” disusun sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil. Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) Bapak Drs. Abdul Wahab, MA, selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
- 2) Bapak Dr. Ir. H. Aji Syailendra Ubaidillah, S.T.,M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
- 3) Ibu Ir. Titik Wahyuningsih, S.T., M.T. selaku Pembimbing I dan Bapak Ir. Adryan Fitrayudha, S.T., M.T., IPM. selaku Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta masukan dalam penyusunan skripsi ini.
- 4) Seluruh civitas akademika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram, khususnya para dosen yang telah membagikan ilmu pengetahuan selama masa perkuliahan.
- 5) Rekan-rekan mahasiswa yang turut melakukan pengujian Marshall dan saling membantu dalam penelitian maupun penyusunan skripsi ini sehingga mempermudah proses penelitian serta pengolahan data.
- 6) Universitas Muhammadiyah Mataram sebagai wadah bagi mahasiswa/i untuk menimba ilmu dan pengalaman.
- 7) Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah memberikan bantuan dalam penyusunan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi kesempurnaan karya ini pada masa mendatang. Akhirnya, semoga segala bantuan dan kebaikan yang telah diberikan mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga peneliti dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Pengaruh Pasir Puya Limbah Tambang Emas Sebagai Pengganti *Filler* Pada Campuran Aspal AC - WC”

Penyusunan skripsi ini dilakukan dengan maksud untuk memenuhi salah satu syarat dalam menempuh ujian Tingkat sarjana strata 1 (S1) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram. Peneliti menyadari dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari doa, dukungan, bantuan, bimbingan, dan semangat yang diberikan dari berbagai pihak baik berupa moril maupun materil.

Akhir kata semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi rekan-rekan mahasiswa pada umumnya dan peneliti pada khususnya. Penulis menyadari bahwa dalam proses penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih sebesar-besarnya.

Mataram, 05 Agustus 2025

Peneliti

## ABSTRAK

Sistem perkerasan jalan merupakan elemen penting dalam infrastruktur transportasi yang rentan mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas berlebih, pengaruh cuaca, dan kualitas konstruksi yang kurang optimal. Salah satu upaya untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan sekaligus mengurangi dampak lingkungan adalah dengan memanfaatkan limbah industri sebagai bahan alternatif. Penelitian ini memanfaatkan pasir puya, yaitu limbah dari aktivitas tambang emas rakyat di Sekotong, Lombok Barat, sebagai pengganti *filler* dalam campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Pasir puya memiliki ukuran partikel sangat halus dan kandungan mineral non-logam yang berpotensi meningkatkan stabilitas campuran.

Penelitian dilakukan di laboratorium menggunakan metode *Marshall* untuk menilai karakteristik campuran. Benda uji dibuat dengan variasi campuran *filler* pasir puya dan semen, yaitu: 1% pasir puya : 0% semen, 0% pasir puya : 1% semen, 0,25% pasir puya : 0,75% semen, 0,5% pasir puya : 0,5% semen, dan 0,75% pasir puya : 0,25% semen. Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan sebesar 6,05% berdasarkan hasil perhitungan. Pengujian laboratorium meliputi stabilitas, *flow*, VIM (*Void in Mix*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), dan VFA (*Void Filled with Asphalt*), sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi dengan 0,75% pasir puya dan 0,25% semen menghasilkan nilai stabilitas tertinggi sebesar 1327 kg, sedangkan variasi dengan 1% pasir puya dan 0% semen memiliki stabilitas terendah sebesar 1247 kg. Seluruh variasi memenuhi spesifikasi untuk nilai *flow* (2 - 4 mm), VIM (3 - 5%), dan VFA (65%). Nilai VMA tertinggi ditemukan pada variasi 1% pasir puya : 0% semen (18,79%) dan terendah pada variasi 0% pasir puya : 1% semen (17,79%). Dengan demikian, pasir puya limbah tambang emas dapat digunakan sebagai alternatif *filler* dalam campuran AC-WC karena memenuhi parameter spesifikasi teknis.

**Kata kunci:** Pasir puya, *Filler*, Limbah tambang emas, AC-WC, *Marshall*

## ABSTRACT

Road pavement systems are a critical component of transportation infrastructure, vulnerable to deterioration from excessive traffic loads, climatic conditions, and inadequate construction quality. An initiative to enhance road pavement quality while minimizing environmental impact is the use of industrial waste as an alternative material. This research employs puya sand, a byproduct of small-scale gold mining in Sekotong, West Lombok, as a substitute for filler in Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) mixtures. Puya sand possesses an exceptionally fine particle size and non-metallic mineral composition, which may improve mixture stability. The study was conducted in a laboratory using the Marshall method to assess mixture characteristics. Test specimens were prepared with varying ratios of puya sand filler and cement: 1% puya sand : 0% cement, 0% puya sand: 1% cement, 0.25% puya sand: 0.75% cement, 0.5% puya sand: 0.5% cement, and 0.75% puya sand: 0.25% cement. The Optimum Asphalt Content (OAC) was determined to be 6.05% based on the calculation results. Laboratory testing included stability, flow, VIM (Void in Mix), VMA (Void in Mineral Aggregate), and VFA (Void Filled with Asphalt), in accordance with the 2018 General Specifications for Road Construction. Test results show that the variation with 0.75% puya sand and 0.25% cement yields the highest stability value of 1327 kg, while the variation with 1% puya sand and 0% cement has the lowest stability value of 1247 kg. All variations met the specifications for flow value (2–4 mm), VIM (3–5%), and VFA (65%). The highest VMA value was found in the 1% puya sand : 0% cement variation (18.79%), and the lowest in the 0% puya sand: 1% cement variation (17.79%). Thus, gold mine waste puya sand can be used as an alternative filler in AC-WC mixtures because it meets the technical specification parameters.

*Keywords: Puya sand, Filler, Gold mine waste, AC-WC, Marshall*



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	
<b>HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI</b> .....	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME</b> .....	<b>v</b>
<b>SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI</b> .....	<b>vi</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vii</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>viii</b>
<b>UCAPAN TERIMAKASIH</b> .....	<b>ix</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>x</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xi</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xviii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xx</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xxii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	3
1.5 Batasan Masalah .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI</b> .....	<b>5</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	5
2.1.1 Penelitian terdahulu .....	5
2.1.2 Aspal.....	7
2.1.3 Bahan pengisi ( <i>filler</i> ).....	8
2.1.4 Agregat .....	11
2.1.5 Lapis aspal beton (Laston).....	15

2.1.6	Struktur perkerasan jalan .....	18
2.1.7	Lapisan permukaan ( <i>surface course</i> ).....	19
2.1.8	Penyebaran beban pada perkerasan jalan .....	20
2.1.9	Karakteristik campuran .....	21
2.2	Landasan Teori.....	22
2.2.1	Pengujian gradasi.....	22
2.2.2	Pengujian <i>volumetrik</i> benda uji .....	23
2.2.3	Perhitungan kadar aspal rencana .....	25
2.2.4	Pengujian <i>marshall</i> .....	25
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>29</b>
3.1	Pengumpulan Data .....	29
3.2	Waktu Penelitian .....	29
3.3	Jenis Data .....	29
3.3.1	Data Primer .....	29
3.3.2	Data Sekunder .....	30
3.4	Metode Penelitian .....	30
3.5	Peralatan.....	30
3.6	Bahan .....	38
3.7	Rancangan Campuran Aspal Untuk Memperoleh KAO .....	40
3.8	Prosedur Pelaksanaan.....	41
3.8.1	Pembuatan benda uji.....	41
3.8.2	<i>Volumetrik test</i> .....	42
3.8.3	<i>Marshall test</i> .....	43
3.9	Tahapan Penelitian .....	44
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>46</b>
4.1	Umum .....	46
4.2	Pengujian Material .....	46
4.2.1	Hasil analisa pembagian butiran.....	46
4.2.2	Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat.....	48
4.2.3	Data pengujian aspal.....	52
4.3	Penentuan Gradasi Agregat.....	52

4.4	Perhitungan Kadar Aspal Rencana.....	58
4.5	Perencanaan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	58
4.6	<i>Job Mix</i> Formula pada Kadar Aspal Optimum (KAO), variasi campuran <i>filler</i> pasir puya dan <i>filler</i> semen. ....	66
4.6.1	<i>Job Mix</i> Formula pada variasi pasir puya 1% dan 0% semen .....	67
4.6.2	<i>Job Mix</i> Formula pada variasi pasir puya 0% dan 1% semen .....	67
4.6.3	<i>Job Mix</i> Formula pada variasi pasir puya 0,25% dan 0,75% semen 68	
4.6.4	<i>Job Mix</i> Formula pada variasi pasir puya 0,5% dan 0,5% semen .	68
4.6.5	<i>Job Mix</i> Formula pada variasi pasir puya 0,75% dan 0,25% semen 68	
4.7	Sifat <i>Volumetric</i> Campuran Beraspal.....	69
4.7.1	Hasil pengujian stabilitas.....	69
4.7.2	Hasil pengujian <i>flow</i> .....	70
4.7.3	Hasil pengujian rongga dalam campuran ( <i>Void in The Mix/VIM</i> )	72
4.7.4	Hasil pengujian rongga diantara mineral agregat ( <i>Void in Mineral Agregate/VMA</i> ).....	73
4.7.5	Hasil pengujian rongga terisi aspal ( <i>Void Filled with Asphalt /VFA</i> ) 74	
4.8	Rekapam Hasil Analisa Parameter <i>Marshall</i> .....	75
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>78</b>
5.1	Kesimpulan .....	78
5.2	Saran .....	78
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>80</b>
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Ketentuan untuk aspal keras .....	8
<b>Tabel 2.2</b>	Ketentuan <i>Filler</i> .....	10
<b>Tabel 2.3</b>	Kandungan semen portland sebagai <i>filler</i> LASTON .....	11
<b>Tabel 2.4</b>	Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal.....	11
<b>Tabel 2.5</b>	Ketentuan agregat kasar.....	13
<b>Tabel 2.6</b>	Ketentuan agregat halus.....	14
<b>Tabel 2.7</b>	Ketentuan sifat – sifat campuran laston (AC).....	18
<b>Tabel 3.1</b>	Variasi campuran pasir sisa tambang emas dan semen.....	30
<b>Tabel 3.2</b>	Jumlah Sampel Pengujian variasi campuran .....	41
<b>Tabel 4.1</b>	Analisa saringan pembagian agregat kasar ukuran 3/4” .....	47
<b>Tabel 4.2</b>	Analisa saringan pembagian agregat kasar ukuran 3/8” .....	47
<b>Tabel 4.3</b>	Analisa saringan pembagian agregat halus (tertahan #200).....	48
<b>Tabel 4.4</b>	Analisa saringan pembagian <i>filler</i> pasir puya (lolos #200).....	48
<b>Tabel 4.5</b>	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan fraksi agregat (3/4).....	49
<b>Tabel 4.6</b>	Pemeriksaan baret jenis dan penyerapan fraksi agregat (3/8).....	50
<b>Tabel 4.7</b>	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat abu batu....	50
<b>Tabel 4.8</b>	Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan <i>filler</i> pasir puya.....	51
<b>Tabel 4.9</b>	Karakteristik aspal penetrasi 60/70 .....	52
<b>Tabel 4.10</b>	Kombinasi analisa agregat ( <i>filler</i> PP 1% – <i>filler</i> S 0%).....	52
<b>Tabel 4.11</b>	Kombinasi analisa agregat ( <i>filler</i> PP 0% – <i>filler</i> S 1%).....	54
<b>Tabel 4.12</b>	Kombinasi analisa agregat ( <i>filler</i> PP 0,25% – <i>filler</i> S 0,75%)....	55
<b>Tabel 4.13</b>	Kombinasi analisa agregat ( <i>filler</i> PP 0,5% – <i>filler</i> S 0,5%).....	56
<b>Tabel 4.14</b>	Kombinasi analisa agregat ( <i>filler</i> PP 0,75% – <i>filler</i> S 0,25%)....	57
<b>Tabel 4.15</b>	kebutuhan agregat masing-masing kadar aspal dalam gram .....	59
<b>Tabel 4.16</b>	Persentase agregat masing-masing kadar aspal .....	60
<b>Tabel 4.17</b>	Hasil pengujian <i>marshall</i> pada campuran AC – WC.....	61
<b>Tabel 4.18</b>	<i>Job mix</i> formula variasi campuran agregat.....	67
<b>Tabel 4.19</b>	<i>Job Mix</i> formula pada variasi PP 1% dan 0% S.....	67
<b>Tabel 4.20</b>	<i>Job mix</i> formula pada variasi PP 0% dan 1% S .....	67
<b>Tabel 4.21</b>	<i>Job mix</i> formula pada variasi PP 0,25% dan 0,75% S .....	68

<b>Tabel 4.22</b>	<i>Job mix</i> formula pada variasi pasir PP 0,5% dan 0,5% S .....	68
<b>Tabel 4.23</b>	<i>Job mix</i> formula pada variasi PP 0,75% dan 0,25% S .....	68
<b>Tabel 4.24</b>	Hasil pengujian stabilitas .....	70
<b>Tabel 4.25</b>	Hasil pengujian <i>flow</i> (mm) .....	70
<b>Tabel 4.26</b>	Hasil pengujian VIM (%).....	72
<b>Tabel 4.27</b>	Hasil pengujian VMA (%) .....	73
<b>Tabel 4.28</b>	Hasil pengujian VFA (%).....	74
<b>Tabel 4.29</b>	Rekapan hasil parameter <i>Marshall</i> .....	76



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	Bentuk fisik pasir puya .....	9
<b>Gambar 2.2</b>	Lapis struktur perkerasan .....	19
<b>Gambar 2.3</b>	Distribusi beban pada struktur jalan .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Satu set alat uji saringan standar ASTM.....	31
<b>Gambar 3.2</b>	Alat pengujian <i>volumetrik</i> .....	31
<b>Gambar 3.3</b>	<i>Oven</i> dan pengaturan suhu.....	32
<b>Gambar 3.4</b>	Timbangan.....	32
<b>Gambar 3.5</b>	Termometer.....	33
<b>Gambar 3.6</b>	Satu set cetakan ( <i>mold</i> ).....	33
<b>Gambar 3.7</b>	Alat penumbuk ( <i>compactor</i> ).....	34
<b>Gambar 3.8</b>	Satu set alat pengangkat <i>briket</i> ( dongkrak hidrolis ).....	34
<b>Gambar 3.9</b>	<i>water bath</i> .....	35
<b>Gambar 3.10</b>	Satu set alat <i>marshall</i> .....	35
<b>Gambar 3.11</b>	Komprom.....	36
<b>Gambar 3.12</b>	Sendok dan Spatula .....	36
<b>Gambar 3.13</b>	Sarung tangan .....	37
<b>Gambar 3.14</b>	Wajan.....	37
<b>Gambar 3.15</b>	Agregat 3/4” dan Agregat 3/8” .....	38
<b>Gambar 3.16</b>	Abu batu .....	38
<b>Gambar 3.17</b>	Aspal.....	39
<b>Gambar 3.18</b>	Semen .....	39
<b>Gambar 3.19</b>	<i>Filler</i> pasir puya .....	40
<b>Gambar 3.20</b>	Diagram alir penelitian .....	45
<b>Gambar 4.1</b>	Grafik kombinasi agregat ( <i>filler</i> PP 1% - <i>filler</i> S 0%) .....	53
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik kombinasi agregat ( <i>filler</i> PP 0% - <i>filler</i> S 1%) .....	54
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik kombinasi agregat ( <i>filler</i> PP 0,25% – <i>filler</i> S 0,75%)... ..	55
<b>Gambar 4.4</b>	Grafik kombinasi agregat ( <i>filler</i> PP 0,5% – <i>filler</i> S 0,5%).....	56
<b>Gambar 4.5</b>	Grafik kombinasi agregat ( <i>filler</i> PP 0,75% – <i>filler</i> S 0,25%)... ..	57
<b>Gambar 4.6</b>	Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO).....	62
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik hasil pengujian <i>stability</i> .....	63

<b>Gambar 4.8</b>	Grafik hasil pengujian <i>flow</i> .....	63
<b>Gambar 4.9</b>	Grafik hasil pengujian VIM.....	64
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik hasil pengujian VMA .....	65
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik hasil pengujian VFA.....	66
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik hubungan nilai stabilitas dengan variasi campuran.....	69
<b>Gambar 4.13</b>	Grafik hubungan nilai <i>flow</i> dengan variasi campuran.....	71
<b>Gambar 4.14</b>	Grafik hubungan nilai VIM dengan variasi campuran .....	72
<b>Gambar 4.15</b>	Grafik hubungan nilai VMA dengan variasi campuran.....	74
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik hubungan nilai VFA dengan variasi campuran .....	75



## DAFTAR NOTASI

AC-WC	=	<i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i>
AASHITO	=	<i>American Association of stated highway and transport officials</i>
CLC	=	<i>Cellular Lighweight Concrete</i>
AAC	=	<i>Autoclaved Aerated Concrete</i>
KAO	=	Kadar Aspal Optimum
ASTM	=	<i>American Standard testing and material</i>
VMA	=	Rongga diantara mineral agregat (%)
VIM	=	Ringga didalam campuran (%)
VFA	=	Rongga terisi aspal (%)
A	=	Berat benda uji kering oven (gr)
B	=	Berat benda uji jenuh kering permukaan jenuh (gr)
<i>Bulk</i>	=	Berat jenis
C	=	Berat benda uji dalam air (gr)
<i>Sd</i>	=	Berat jenis curah (gr)
Ss	=	Indeks pelayanan kinerja jalan
Sa	=	Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas
Sw	=	<i>pounds per square inch</i>
<i>Bk</i>	=	Berat benda uji kering (gr)
<i>B</i>	=	Berat <i>picnometer</i> + berat air (gr)
<i>SSD</i>	=	Berat jenis kering permukaan
<i>S</i>	=	Stabilitas (kg)
<i>p</i>	=	Kalibrasi <i>proving ring</i> pada 0
<i>r</i>	=	Nilai pembacaan arlojo stabilitas
<i>MQ</i>	=	<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
<i>t</i>	=	Nilai kelelehan/ <i>flow</i> (mm)

<i>e</i>	=	Berat benda uji sebelum direndam (gr)
<i>f</i>	=	Berat benda uji jenuh air (gr)
<i>g</i>	=	Berat benda uji dalam air (gr)
<i>h</i>	=	Isi benda uji (ml)
<i>i</i>	=	Berat isi benda uji (gr/ml)
<i>VIM</i>	=	Rongga di dalam campuran (%)
<i>j</i>	=	Bj campuran maksimal
<i>VFA</i>	=	Rongga terisi aspal (%)
<i>VMA</i>	=	Rongga diantara mineral agregat (%)
<i>l</i>	=	Persenetase volume agregat (%)
<i>Bt</i>	=	Berat <i>picnometer</i> + benda uji + berat air (gr)
<i>W1</i>	=	Berat <i>picnometer</i> + <i>filler</i> (gr)
<i>W2</i>	=	Berat <i>picnometer</i> (gr)
<i>W3</i>	=	Berat <i>picnometer</i> + air + <i>filler</i> (gr)
<i>W4</i>	=	Berat <i>picnometer</i> + air pada t°C (gr)
<i>W5</i>	=	Isi <i>filler</i> (gr)
<i>Wt</i>	=	Berat <i>filler</i> (gr)
<i>Pb</i>	=	Perkiraan kadar aspal tengah terhadap campuran (%)
<i>CA</i>	=	Agregat tertahan saringan no. 8 (%)
<i>FA</i>	=	Agregat lolos saringan no. 8 dan tertahan saringan no. 200 (%)
<i>FF</i>	=	Bahan pengisi lolos saringan (%)
<i>K</i>	=	Kira-kira konstanta 0,5-1 untuk laston
<i>Gmm</i>	=	Berat jenis maksimum pada campuran (gr/cc)

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sistem perkerasan jalan kerap menjadi salah satu penyebab utama terjadinya kerusakan jalan. Di Indonesia, kualitas perkerasan jalan sering dinilai masih tertinggal dibandingkan dengan negara-negara lain. Umumnya, kerusakan dini pada perkerasan jalan dipicu oleh berbagai faktor, seperti beban lalu lintas yang berlebihan (*overloading*), pengaruh suhu dan cuaca, genangan air, serta desain atau konstruksi perkerasan yang tidak sesuai standar teknis. Seiring berkembangnya zaman, para ahli dan praktisi di bidang konstruksi terus berupaya mencari solusi terbaik untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Perkerasan jalan sendiri merupakan suatu konstruksi dengan ketebalan, kekuatan, kekakuan, dan stabilitas tertentu yang berfungsi menyalurkan beban lalu lintas dari permukaan ke tanah dasar secara aman. Lapisan perkerasan terletak di antara tanah dasar dan roda kendaraan, sehingga berinteraksi langsung dengan kendaraan maupun kondisi lingkungan. Akibatnya, lapisan ini rentan mengalami kerusakan, terutama yang disebabkan oleh air. Perkerasan jalan tersusun dari campuran agregat dengan bahan pengikat, dan berdasarkan jenis pengikatnya dibedakan menjadi tiga, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), serta perkerasan komposit (*composite pavement*). Dari ketiga jenis tersebut, perkerasan lentur merupakan yang paling banyak digunakan di Indonesia. Perkerasan ini menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, di mana lapisannya berfungsi menahan sekaligus menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Lapis Aspal Beton (Laston) adalah lapisan permukaan struktural yang berada pada bagian paling atas jalan raya. Laston dibuat dari campuran aspal keras, agregat bergradasi menerus, serta bahan pengisi (*filler*) yang dicampur, dihamparkan, dan dipadatkan pada kondisi panas. Laston memiliki sifat kedap air, daya tahan yang baik, nilai struktural yang tinggi, serta kadar aspal antara 4–7% dari berat campuran.

Jenis lapisan ini umumnya digunakan pada jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sering dikenal dengan istilah *Asphalt Concrete* (AC).

Salah satu jenis Laston adalah lapisan aus atau lapisan permukaan yang disebut *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Lapisan ini merupakan bagian perkerasan yang paling rentan mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas berulang, pengaruh lingkungan, maupun kondisi cuaca. Berbagai penelitian telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja lapisan ini, salah satunya dengan memanfaatkan bahan aditif dari material lokal yang ramah lingkungan. Penambahan bahan aditif tersebut dapat memodifikasi sifat aspal dalam campuran, sehingga meningkatkan kinerja dan umur layanan perkerasan jalan.

Pasir puya dipilih dalam penelitian ini sebagai bahan pengisi (*filler*) untuk menilai pengaruhnya terhadap kinerja karakteristik campuran aspal beton (AC-WC). Pasir puya yang digunakan diperoleh dari area tambang emas rakyat di Sekotong, Lombok Barat, melalui proses pengumpulan pasir puya yang tersebar di sekitar lokasi penambangan. Pasir puya merupakan material hasil proses pengolahan bijih emas yang tidak lagi mengandung logam berharga, tetapi masih menyisakan partikel halus dengan ukuran tertentu. Dalam penelitian ini, pasir puya tersebut dikeringkan terlebih dahulu, kemudian disaring hingga lolos saringan No. 200 (0,075 mm) agar sesuai dengan standar ukuran *filler* dalam campuran aspal. Karakteristik fisik dari pasir puya, seperti ukuran partikel yang sangat halus serta kandungan mineral non-logamnya, menjadikannya berpotensi sebagai *filler* pengganti bahan konvensional. Pemanfaatan pasir puya ini bertujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan akibat penumpukan limbah tambang yang tidak terkelola, sekaligus memberikan nilai tambah secara ekonomis bagi masyarakat sekitar tambang. Selain itu, penggunaan material limbah ini diharapkan dapat menjadi salah satu solusi dalam menciptakan material konstruksi jalan yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Pembangunan adalah salah satu alasan laju pertumbuhan penduduk di Indonesia, khususnya pada bidang infrastruktur yang kini telah menunjukkan peningkatan yang luar biasa, maka secara otomatis ketersediaan bahan/material akan sangat dibutuhkan. Dalam hal ini yang dimaksudkan adalah bahan batuan

sebagai bahan susun lapis perkerasan. Maka dari itu akan dilakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan pasir sisa tambang emas sebagai bahan pengganti *filler* untuk meninjau karakteristik beton aspal AC-WC dengan mengacu kepada spesifikasi Bina Marga 2018.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas dapat disimpulkan rumusan masalah yang terjadi adalah sebagai berikut:

- 1) Berapa nilai *Marshall test* terhadap campuran aspal AC-WC menggunakan pasir puya sebagai pengganti *filler*?
- 2) Berapa nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) terhadap campuran aspal AC-WC menggunakan pasir puya sebagai pengganti *filler*?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengetahui sejauh mana pengaruh penggunaan pasir puya sebagai pengganti *filler* terhadap karakteristik campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) berdasarkan parameter uji *Marshall* dan tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Untuk mengetahui nilai karakteristik *Marshall* terhadap campuran aspal AC-WC menggunakan pasir puya sebagai pengganti *filler*.
- 2) Untuk mengetahui nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) terhadap campuran aspal AC-WC menggunakan pasir puya sebagai pengganti *filler*.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat sebagai berikut:

- 1) Mengetahui sejauh mana pasir puya dapat digunakan sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran perkerasan AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*).
- 2) Memberikan pengetahuan baru dalam bidang ilmu konstruksi jalan, khususnya terkait pemanfaatan limbah tambang emas sebagai material alternatif.

- 3) Diharapkan dapat menjadi alternatif pilihan penggunaan bahan perkerasan yang baru, lebih ekonomis, dan ramah lingkungan, khususnya dalam bidang konstruksi jalan.

### **1.5 Batasan Masalah**

Studi kasus dilakukan dari limbah sisa gelondong emas warga Desa Sekotong Timur, Kecamatan Lembar, Nusa Tenggara Barat (NTB). Adapun batasan masalah sebagai berikut:

- 1) Pedoman acuan berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
- 2) Penelitian ini hanya membahas penggunaan pasir puya sebagai pengganti *filler* dalam campuran AC-WC.
- 3) Variasi kadar pasir puya sebagai pengganti *filler* dibatasi pada persentase tertentu terhadap berat total *filler*.
- 4) Pengujian kinerja campuran AC-WC dibatasi pada parameter uji Marshall, yaitu: *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Asphalt* (VFA).
- 5) Penelitian dilakukan di laboratorium Bahan Jalan, Balai Pengujian Material Konstruksi, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat, dengan metode pengujian Marshall sesuai standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

#### 2.1 Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1 Penelitian terdahulu

Perkerasan jalan dengan lapisan aspal beton, khususnya *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC), merupakan komponen penting dalam infrastruktur transportasi yang harus memiliki daya tahan terhadap beban lalu lintas dan kondisi cuaca ekstrem. AC-WC terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal sebagai bahan pengikat. *Filler* berperan dalam mengisi rongga antar agregat, meningkatkan kohesi campuran, dan mempengaruhi karakteristik mekanis seperti stabilitas dan keawetan.

Penelitian terkait campuran *Asphalt Concrete* telah banyak dilakukan di berbagai wilayah. Salah satunya adalah studi yang dilakukan oleh Putrowijoyo (2006) di Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang mengenai campuran lapisan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan menggunakan abu batu sebagai bahan *filler*. Dalam penelitian tersebut digunakan tiga variasi fraksi agregat sebagai pembanding serta aspal keras dengan penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran AC-WC dengan *filler* 100% abu batu menghasilkan nilai stabilitas sebesar 1399,25 kg dengan kelelehan 4,425 mm. Sementara itu, campuran dengan komposisi *filler* 50% abu batu dan 50% semen portland memiliki stabilitas 1499,38 kg dengan kelelehan 4,275 mm. Adapun campuran dengan *filler* 100% semen portland menghasilkan stabilitas tertinggi, yaitu 1739,9 kg dengan kelelehan 4,025 mm. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa penggunaan *filler* 100% semen portland memberikan nilai stabilitas yang lebih besar, namun campuran tersebut menjadi lebih kaku dibandingkan dengan campuran 50% abu batu – 50% semen portland maupun 100% abu batu.

Penelitian oleh Santosa (2019) menggunakan serbuk besi sebagai bahan tambah agregat halus dalam campuran AC-WC dengan variasi kadar 0%, 4%, 4.5%, dan 5%. Hasilnya menunjukkan bahwa pada kadar 4%, nilai stabilitas mendekati spesifikasi *Marshall*, meskipun tidak sepenuhnya memenuhi semua parameter. Hal

ini menunjukkan potensi penggunaan limbah logam berat sebagai *filler*, namun diperlukan pengolahan dan pengujian lebih lanjut untuk memastikan kesesuaian dan keamanan penggunaannya.

Penelitian oleh Umma Chintya Devi. (2021) mengevaluasi pemanfaatan limbah serbuk besi sebagai bahan tambah agregat halus dalam campuran AC-WC. Dengan variasi kadar 0%, 4%, 4,5%, dan 5% dari berat agregat halus, hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kadar 4%, nilai stabilitas mendekati spesifikasi *Marshall*. Namun, tidak semua parameter *Marshall Properties* terpenuhi sepenuhnya, sehingga disarankan untuk melakukan pengujian lebih lanjut guna memastikan kesesuaian penggunaan serbuk besi sebagai *filler* dalam campuran AC-WC.

Secara internasional, penelitian oleh Zhao. (2022) mengevaluasi penggunaan abu pembakaran limbah medis (*Medical Waste Incineration Fly Ash - MWIFA*) sebagai *filler* dalam campuran aspal. Studi ini menemukan bahwa MWIFA dapat meningkatkan sifat mekanis campuran aspal, seperti stabilitas dan ketahanan terhadap deformasi, setelah melalui proses stabilisasi untuk mengurangi toksisitas logam berat yang terkandung.

Dulaimi. (2023) dalam tinjauan mereka menyoroiti berbagai limbah sebagai *filler* alternatif dalam campuran aspal, termasuk abu sekam padi dan abu terbang. Penggunaan limbah-limbah ini menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap rutting dan kelelahan, serta pengurangan dampak lingkungan. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan limbah sebagai *filler* dapat menjadi solusi berkelanjutan dalam industri perkerasan jalan.

Penelitian oleh Bahri (2017) mengevaluasi pemanfaatan limbah serbuk besi sebagai agregat halus pada campuran aspal panas dengan variasi kadar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hanya pada variasi 0% dan 25% yang memenuhi standar spesifikasi aspal optimum dan uji *Marshall*. Kadar 25% merupakan kadar tertinggi yang memenuhi parameter *Marshall*, menunjukkan bahwa penggunaan serbuk besi sebagai *filler* memiliki batasan tertentu dalam aplikasinya.

### 2.1.2 Aspal

Aspal merupakan bahan pembentuk lapis permukaan dari perkerasan lentur maupun perkerasan komposit yang digunakan sebagai bahan pengikat dalam stabilisasi tanah dasar atau lapis pondasi. Aspal adalah material hasil penyaringan minyak mentah dan merupakan hasil dari industri perminyakan. Aspal merupakan material untuk perekat, yang berwarna coklat gelap sampai hitam, dengan unsur pokok yang dominan adalah bitumen. Hidrokarbon merupakan bahan dasar utama dari aspal yang sering disebut bitumen ini. Aspal pada lapis perkerasan jalan berfungsi sebagai bahan ikat antar butiran agregat agar terbentuk material yang padat, sehingga dapat memberikan kekuatan dan ketahanan campuran dalam mendukung beban kendaraan. Aspal dibutuhkan dalam jumlah tertentu untuk mengikat partikel-partikel agregat, mengisi rongga antar 7 agregat. Kadar aspal yang rendah dalam campuran akan mengurangi keawetan, kelenturan, kekuatan, kedap air terhadap air, dan mengurangi *workability*. Namun, bila aspal terlalu banyak juga akan mengakibatkan stabilitas dan kekakuan campuran Aspal merupakan salah satu material utama dalam pembentukan lapisan permukaan pada perkerasan lentur maupun perkerasan komposit, yang berfungsi sebagai bahan pengikat pada stabilisasi tanah dasar maupun lapis pondasi. Material ini berasal dari hasil penyulingan minyak mentah dan merupakan produk dari industri perminyakan. Aspal memiliki warna coklat tua hingga hitam dengan komponen utama berupa bitumen, yaitu senyawa hidrokarbon yang berperan sebagai perekat.

Dalam konstruksi perkerasan jalan, aspal berfungsi sebagai pengikat butiran agregat sehingga membentuk campuran yang padat, kuat, dan tahan terhadap beban lalu lintas. Jumlah aspal yang digunakan harus sesuai kebutuhan, karena aspal berperan dalam mengisi rongga antar agregat. Jika kadar aspal terlalu sedikit, maka campuran akan kehilangan daya tahan, kelenturan, kekuatan, kedap air, serta kemudahan pengerjaan (*workability*). Sebaliknya, apabila kadar aspal berlebihan, campuran akan kehilangan stabilitas dan kekakuannya. (Hardiyatmo, 2015). Adapun ketentuan untuk aspal keras dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

**Tabel 2.1** Ketentuan untuk aspal keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan <sup>1</sup>	
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ( $G^*/\sin\delta$ ) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) <sup>3</sup>	ASTM D2170-10	$\geq 300$	$\leq 3000$	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	$> 48$	Dilaporkan <sup>2</sup>	
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	$> 100$	-	
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	$> 232$	$> 230$	
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	$> 99$	$> 99$	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$> 1,0$	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	$\leq 2$		
<b>Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002):</b>					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$< 0,8$	$< 0,8$	
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ( $G^*/\sin\delta$ ) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	$> 54$	$> 54$	$> 54$
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	$> 50$	$> 50$	$\geq 25$
<b>Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa</b>					
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ( $G^*/\sin\delta$ ) pada osilasi 10 rad/detik $\leq 5000$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

(Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2018)

### 2.1.3 Bahan pengisi (*filler*)

*Filler* adalah material pengisi yang digunakan dalam lapisan campuran aspal. Dalam beton aspal, *filler* didefinisikan sebagai bahan yang seluruhnya (100%) dapat melewati saringan No. #100 dan minimal 75% lolos saringan No. #200. Peran utama *filler* adalah mengisi rongga di antara agregat halus maupun kasar, yang

dapat berasal dari hasil pemecahan batuan secara alami maupun buatan. Jenis *filler* yang umum digunakan antara lain abu batu, kapur padam, semen portland, debu dolomit, abu terbang, debu tanur tinggi untuk pembuatan semen, maupun bahan mineral lain yang bersifat nonplastis. Fungsi utamanya adalah meningkatkan viskositas bitumen serta mengurangi kerentanan terhadap pengaruh suhu. Selain itu, karena *filler* terserap dalam bitumen, volumenya akan bertambah. Kehadiran *filler* juga membantu mengurangi volume pori atau rongga dalam campuran, sehingga meningkatkan kepadatan sekaligus menurunkan permeabilitas lapisan aspal (Hamzah dkk., 2016). Dalam penelitian ini, jenis *filler* yang digunakan sekaligus dijadikan sebagai bahan perbandingan adalah sebagai berikut:

**1) Pasir puya limbah tambang emas**

Kegiatan penambangan emas, khususnya tambang rakyat, menghasilkan limbah berupa pasir puya dalam jumlah besar. Selama ini, limbah tersebut hanya dibiarkan menumpuk di sekitar lokasi penambangan atau terbawa aliran air hujan sehingga menimbulkan potensi pencemaran lingkungan. Untuk meningkatkan nilai guna dari aktivitas pertambangan dan mengurangi dampak limbah, perlu dilakukan upaya pemanfaatan pasir puya sebagai bahan baku alternatif dalam bidang konstruksi, khususnya pada campuran perkerasan jalan. Adapun bentuk fisik pasir puya dapat dilihat pada **Gambar 2.1** berikut.



**Gambar 2.1** Bentuk fisik pasir puya

(Sumber: PT. Celebessi metalindo utama)

Menurut Isnanda dkk. (2017), material sisa tambang, termasuk pasir halus, memiliki komposisi mineral yang dapat dimanfaatkan dalam campuran konstruksi. Kandungan pasir puya bervariasi tergantung pada jenis batuan asal dan metode pengolahan yang digunakan, namun pada umumnya mengandung senyawa silika ( $\text{SiO}_2$ ) yang cukup tinggi. Kandungan silika tersebut dapat memberikan kontribusi terhadap kestabilan dan kekuatan campuran aspal, terutama jika digunakan sebagai *filler*.

Pasir puya merupakan salah satu limbah yang secara karakteristik dapat memenuhi persyaratan sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam konstruksi jalan. Jika ditinjau dari proses terbentuknya sebagai hasil sisa dari pengolahan bijih tambang, serta dari kriteria bahan bekas dan klasifikasinya, maka material ini berpotensi sebagai alternatif agregat halus dalam campuran aspal beton. Sebelum digunakan, pasir ini perlu dikeringkan, ditumbuk (jika diperlukan), dan disaring hingga lolos saringan No. 200 (0,075 mm) untuk mencapai ukuran partikel yang sesuai dengan spesifikasi *filler*. Dengan karakteristik mineral non-logam dan ukuran partikel yang sangat halus, pasir puya dapat memberikan interaksi yang baik dalam matriks aspal serta meningkatkan stabilitas campuran.

Adapun ketentuan dari *filler* dapat dilihat pada **Tabel 2.2** sebagai berikut.

**Tabel 2.2** Ketentuan *Filler*

Pengujian	Standart	Nilai
Material lolos saringan no. 200	SNI 03-6723-2002	Min. 75%

(Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2010)

## 2) Semen

Semen merupakan material yang memiliki sifat adhesif dan kohesif, sehingga berfungsi sebagai bahan pengikat (*bonding material*) yang digunakan bersama agregat seperti pasir dan kerikil dengan tambahan air, yang kemudian akan mengeras membentuk massa padat (Zulfikar dkk., 2014).

Sebagai bahan perekat, semen mampu menyatukan butiran pasir dan batu menjadi suatu kesatuan yang kompak ketika dicampur dengan air. Kemampuan semen dalam mengikat dipengaruhi oleh komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Secara umum, fungsi utama semen adalah merekatkan butir agregat

sehingga terbentuk massa padat sekaligus mengisi rongga-rongga dalam campuran dengan kisaran 1%–2% (Bina Marga, 2018). Semen, khususnya semen portland, banyak digunakan sebagai material perekat pada berbagai pekerjaan konstruksi. Adapun komposisi senyawa kimia yang terdapat dalam semen portland dapat dilihat pada **Tabel 2.3** berikut.

Kandungan semen portland sebagai *filler* LASTON

Nama Senyawa	Persentase
Trikalsium Silikat (C3S)	50%
Dikalsium Silikat (C2S)	25%
Tricalcium Alumate (C3A)	12%
Tetracalsium Aluminoforit (C4AF)	8%
Calsium sulfat dihidrat (CSH <sub>2</sub> )	3.5%

(Sumber : Afrimirza,F. 2017)

#### 2.1.4 Agregat

Menurut ASTM (1995), batuan didefinisikan sebagai material yang tersusun atas mineral padat, baik dalam bentuk massa berukuran besar maupun fragmen-fragmen kecil. Berdasarkan proses terbentuknya, agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu agregat alami dan agregat buatan. Agregat alami sendiri masih dapat diklasifikasikan menjadi batuan endapan, batuan beku, dan batuan metamorf. Jika ditinjau dari proses pengolahannya, agregat dibagi menjadi agregat alami yang mengalami pengolahan secara alami terlebih dahulu, serta agregat buatan yang diproduksi dengan sengaja untuk tujuan tertentu (Waani, 2013). Agregat yang digunakan dalam campuran aspal harus memenuhi standar dan persyaratan tertentu sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 2.4** berikut.

**Tabel 2.4** Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal

No. Saringan	Ukuran Ayakan (mm)	% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
		Laston (AC)		
		WC	BC	Base
	37,5			100
1"	25		100	90-100

3/4"	19	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
#4	4,75	53-69	46-64	35-54
#8	2,36	33-53	30-49	23-41
#16	1,18	21-40	18-38	13-30
#30	0,600	14-30	12-28	10-22
#50	0,300	9-22	7-20	6-15
#100	0,150	6-15	5-13	4-10
#200	0,075	4-9	4-8	3-7

(Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2018)

Selain itu agregat juga dibagi berdasarkan ukuran butirannya menurut Bina Marga Tahun 2018 yaitu:

- a) Agregat Kasar (*Course Aggregate*), yakni yang tertahan saringan no. 8
- b) Agregat Halus (*Fine Aggregate*), yakni yang lolos saringan no. 4 dan tertahan saringan no. 200.

#### 1) Agregat kasar

Menurut Bina Marga, (2018) agregat kasar adalah agregat yang lolos pada saringan 3/4" (19,1 mm) dan tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm) terdiri dari batu pecah atau koral (kerikil pecah) berasal dari alam yang merupakan batu endapan. Stabilitas mekanis agregat harus mempunyai suatu kekerasan untuk menghindari terjadinya suatu kerusakan akibat beban lalu lintas dan kehilangan kestabilan. Pemeriksaan ketahanan terhadap abrasi dengan menggunakan mesin los angeles, jika dalam pemeriksaan ini kehilangan berat lebih dari nilai yang ditentukan, maka agregat tidak layak untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Bentuk butir sangat menentukan kekuatan selain gradasi, kekompakkan dan kekerasan. Bentuk yang bundar relatif kurang stabil dibandingkan permukaan dengan bidang patah. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen 9 terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih. Adapun ketentuan agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut.

**Tabel 2.5** Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Metode pengujian	Nilai
Kelelehan untuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	Maks 12%
		Magnesium sulfat	Maks 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC modifikasi dan SMA	100 putaran	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)

## 2) Agregat halus

Agregat halus merupakan bagian fraksi agregat yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) namun tertahan pada saringan No. 200 (0,075 mm). Agregat ini umumnya terdiri dari butiran tajam, bersudut, bertekstur kasar, serta bebas dari kotoran maupun material yang tidak diinginkan. Karakteristik utama agregat halus yang memengaruhi kekuatan campuran aspal ditentukan oleh jenis, bentuk, dan tekstur permukaannya (Bina Marga, 2018). Peran agregat halus sangat penting dalam meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi. Namun, peningkatan ketahanan ini juga berpengaruh terhadap penurunan daya tahan campuran secara keseluruhan jika melebihi proporsi yang disyaratkan. Fraksi agregat halus dan pasir harus ditumpuk terpisah sehingga pemakaian dalam

campuran dapat dikendalikan. Bahan baku untuk agregat halus harus dicuci terlebih dahulu sebelum digunakan.

Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini adalah abu batu. Abu batu merupakan hasil penghancuran bongkahan batu yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan, khususnya dalam campuran beton. Material ini jumlahnya cukup melimpah dan terus dikembangkan sebagai alternatif untuk mengurangi penggunaan pasir pada adukan beton. Butiran abu batu tergolong cukup kasar, namun berdasarkan ukuran partikel, material ini diklasifikasikan sebagai agregat halus. Dibandingkan dengan pasir alami, abu batu memiliki daya serap air yang lebih tinggi, sehingga untuk memperoleh tingkat kelecakan beton yang sama, diperlukan penyesuaian campuran ketika abu batu digunakan (Ibrahim dan Saelan, 2019). Dalam konstruksi perkerasan jalan, abu batu umumnya dipakai sebagai *filler* pada campuran aspal karena lolos saringan No. 200 dan tertahan pada pan. Bagian abu batu yang tertahan di pan berfungsi sebagai *filler*, sedangkan partikel yang lolos saringan No. 4 namun tertahan pada saringan No. 200 masih digolongkan sebagai agregat halus. Oleh karena itu, dalam penelitian ini abu batu yang tertahan pada saringan No. 200 digunakan sebagai agregat halus. Adapun spesifikasi agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 2.6** berikut,

**Tabel 2.6** Ketentuan agregat halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nila setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	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)

### 2.1.5 Lapis aspal beton (Laston)

Lapis Aspal Beton (Laston) pada konstruksi jalan raya merupakan lapisan yang tersusun dari campuran aspal keras dan agregat bergradasi menerus (*well graded*), dengan atau tanpa bahan tambahan. Material campuran ini diangkut ke lokasi pekerjaan, kemudian dicampur, dihamparkan, serta dipadatkan dalam kondisi panas pada suhu tertentu yang ditentukan berdasarkan jenis aspal yang digunakan. Agregat yang digunakan terdiri atas agregat kasar, agregat halus, serta *filler*. Untuk campuran dengan semen aspal, proses pencampuran umumnya dilakukan pada suhu 145–155°C, sehingga dikenal dengan istilah beton aspal campuran panas (*hotmix*) (Sukirman, 2003).

Laston sendiri tersusun dari campuran *Asphalt Concrete* (AC) dan agregat bergradasi menerus, yang dapat digunakan baik sebagai lapis permukaan struktural maupun sebagai lapis pondasi (*Asphalt Concrete Base / Asphalt Treated Base*). Sebagai lapisan aus (*Wearing Course*), Laston berhubungan langsung dengan roda kendaraan, sehingga biasa digunakan pada jalan dengan lalu lintas berat. Lapisan ini bersifat kedap air, tahan terhadap pengaruh cuaca, serta memiliki tebal nominal antara 4–6 cm (Bina Marga, 2010). Berdasarkan penggunaannya, AC-WC terbagi menjadi dua jenis, yaitu AC-WC bergradasi kasar, di mana agregat kasar lebih dominan (tertahan pada saringan No. 8 / 2,36 mm) yang umumnya digunakan di daerah pegunungan, gerbang tol, dan dekat persimpangan lampu lalu lintas; serta AC-WC bergradasi halus, di mana agregat halus lebih dominan (lolos saringan No. 8 / 2,36 mm), yang biasanya diaplikasikan pada jalan raya dengan risiko deformasi yang tidak terlalu besar.

Bahan penyusun Laston merupakan campuran homogen yang terdiri atas agregat kasar, agregat halus, serta *filler*, dengan aspal keras penetrasi 40/50, 60/70, atau 80/100 sebagai bahan pengikat. Aspal tersebut harus bersifat seragam, bebas dari air, tidak berbusa saat dipanaskan hingga suhu 175°C, dan memenuhi persyaratan teknis yang berlaku. Laston dirancang untuk menghasilkan lapisan permukaan perkerasan yang mampu memberikan daya dukung optimal sekaligus berfungsi sebagai lapisan kedap air guna melindungi struktur di bawahnya (Bina

Marga, 1987). Ada tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh aspal beton sebagai berikut:

1) Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapisan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas tanpa menimbulkan perubahan bentuk permanen, seperti gelombang, alur, atau *bleeding*. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi, khususnya yang didominasi kendaraan berat, membutuhkan perkerasan dengan tingkat stabilitas yang besar. Faktor utama yang memengaruhi nilai stabilitas campuran aspal beton adalah gesekan internal antar partikel agregat serta daya kohesi.

2) Keawetan (*Durability*)

Keawetan didefinisikan sebagai kemampuan aspal beton untuk menahan beban berulang dari lalu lintas, baik akibat berat kendaraan maupun interaksi gesekan roda dengan permukaan jalan, serta bertahan terhadap pengaruh lingkungan seperti udara, air, dan perubahan suhu. Durabilitas dipengaruhi oleh ketebalan selimut aspal, jumlah pori dalam campuran, serta tingkat kepadatan dan kedap airnya. Namun, jika film aspal terlalu tebal, risiko *bleeding* akan meningkat sehingga permukaan jalan menjadi licin.

3) Kelenturan (*Flexibility*)

Kelenturan adalah kemampuan lapisan aspal beton untuk beradaptasi terhadap penurunan tanah dasar atau pondasi (*settlement*) maupun pergerakan tanah tanpa menyebabkan keretakan. Penurunan ini dapat dipicu oleh beban lalu lintas berulang ataupun akibat berat sendiri timbunan di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan penggunaan agregat bergradasi terbuka serta kadar aspal yang lebih tinggi.

4) Ketahanan terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan menggambarkan kemampuan aspal beton untuk menahan lendutan berulang akibat repetisi beban tanpa menimbulkan kerusakan berupa retak atau alur permanen.

5) Kekesatan atau Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan permukaan perkerasan adalah kemampuan lapisan aspal, khususnya saat kondisi basah, untuk menyediakan gaya gesek yang cukup agar roda kendaraan tidak tergelincir atau slip. Agregat yang digunakan sebaiknya memiliki permukaan kasar serta ketahanan tinggi agar tidak mudah menjadi licin akibat lalu lintas berulang.

6) Kedap Air (*Impermeability*)

Kedap air berarti kemampuan campuran aspal beton untuk mencegah masuknya air maupun udara ke dalam lapisan. Masuknya air dan udara dapat mempercepat proses penuaan aspal serta menyebabkan pengelupasan selimut aspal dari agregat. Tingkat impermeabilitas suatu campuran berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

7) Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

*Workability* adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang memengaruhi tingkat kemudahan ini antara lain viskositas aspal, sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu, gradasi agregat, serta kondisi agregat yang digunakan.

Berdasarkan fungsinya, lapisan aspal beton (Laston) dibedakan menjadi tiga jenis campuran, yaitu:

- a) Laston sebagai lapisan aus, yang dikenal dengan sebutan AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), memiliki tebal nominal minimum 4 cm.
- b) Laston sebagai lapisan pengikat, disebut AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*), dengan tebal nominal minimum 5 cm. Lapisan ini berada di bawah lapisan aus (*Wearing Course*) dan di atas lapisan pondasi (*Base Course*).
- c) Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*), dengan ketebalan nominal minimum 6 cm.

Secara umum, lapisan aspal beton (Laston) yang banyak digunakan di berbagai negara dirancang agar memiliki kepadatan dan nilai struktural yang tinggi dengan kadar aspal yang relatif rendah. Kondisi ini membuat campuran aspal cenderung bersifat kaku, sehingga berimplikasi pada ketahanan dan keawetan yang lebih

rendah (Suhardi dkk., 2016). Syarat-syarat sifat campuran Laston (AC) secara lengkap dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 2.7** Ketentuan sifat – sifat campuran laston (AC)

Sifat-sifat campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 m dengan kadar aspal	Min	0,6		
	Max	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Max	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	max	4		6

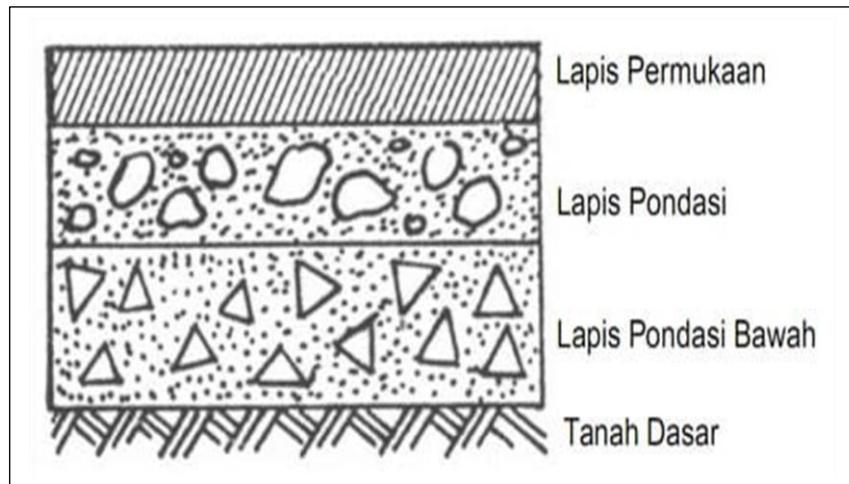
(Sumber : Spesifikasi umum Bina Marga 2018)

### 2.1.6 Struktur perkerasan jalan

Perkerasan jalan terdiri dari campuran agregat dan bahan pengikat (*binder*) yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan, dengan tujuan untuk menahan serta menyebarkan beban lalu lintas. Struktur perkerasan jalan dirancang agar dapat mengurangi tegangan atau tekanan dari beban roda hingga mencapai tingkat yang masih dapat ditanggung oleh tanah dasar.

Dalam penelitian ini digunakan jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu konstruksi perkerasan yang memakai aspal sebagai bahan pengikat. Jenis perkerasan ini memungkinkan terjadinya deformasi vertikal akibat beban kendaraan, sehingga disebut "lentur". Fungsinya adalah untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas dari lapisan permukaan hingga ke tanah dasar.

Di Indonesia, susunan lapisan perkerasan lentur umumnya mengacu pada standar dari Amerika Serikat, seperti ditunjukkan pada **Gambar 2.2** berikut,



**Gambar 2.2** Lapis struktur perkerasan

(Sumber: Artikel Darlan, S.T., M.T)

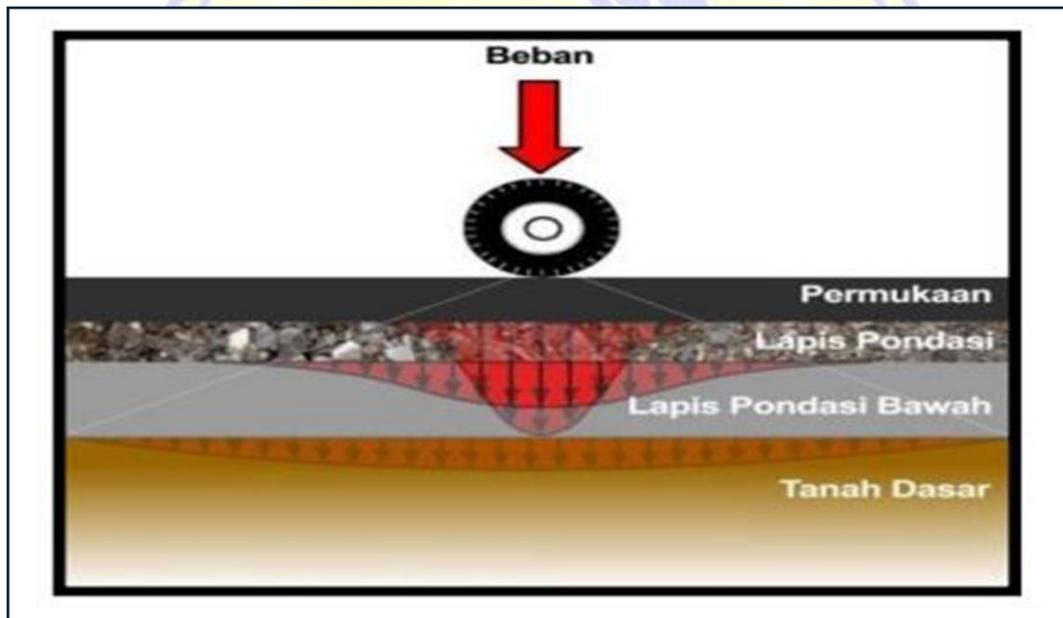
### 2.1.7 Lapisan permukaan (*surface course*)

Lapisan permukaan atau Lapisan Aus (*Wearing Course*) merupakan bagian paling atas dari konstruksi perkerasan jalan, yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan dan menjadi bagian jalan yang dilalui pengguna. Adapun fungsi utama lapisan aus antara lain:

- 1) Berperan sebagai lapisan yang menahan keausan akibat kontak langsung dengan roda kendaraan, sehingga seiring waktu ketebalannya berkurang dan perlu diganti. Oleh karena itu, lapisan ini harus memiliki tingkat stabilitas yang tinggi.
- 2) Bertindak sebagai lapisan kedap air untuk mencegah masuknya air hujan ke lapisan bawah, yang dapat menyebabkan melemahnya daya dukung lapisan tersebut.
- 3) Menyediakan permukaan jalan yang aman, kesat, dan tidak licin (anti selip).
- 4) Menyebarkan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya sehingga beban dapat dipikul secara bersama oleh seluruh struktur perkerasan.
- 5) Memberikan permukaan jalan yang rata dan nyaman dilalui oleh pengguna jalan.

### 2.1.8 Penyebaran beban pada perkerasan jalan

Ketika kendaraan berhenti di atas perkerasan, beban yang ditimbulkan bekerja secara vertikal dan terpusat pada area kontak kecil antara roda dengan permukaan jalan. Namun, saat kendaraan bergerak, muncul tambahan beban dinamis. Beban horizontal terjadi akibat percepatan atau perlambatan kendaraan, sedangkan beban vertikal timbul karena adanya pergerakan naik-turun kendaraan akibat kondisi perkerasan yang tidak rata. Pada konstruksi perkerasan lentur, lapisan-lapisan yang terletak di atas tanah dasar yang telah dipadatkan berfungsi menahan beban lalu lintas serta menyebarkannya ke lapisan di bawah. Beban dari kendaraan diteruskan ke perkerasan melalui kontak roda dalam bentuk beban terbagi rata ( $P_0$ ), kemudian beban tersebut diterima lapisan permukaan dan diteruskan ke tanah dasar sebagai  $P_1$  yang nilainya lebih kecil dari daya dukung tanah dasar. Ilustrasi lebih jelas dapat dilihat pada **Gambar 2.3** berikut.



**Gambar 2.3** Distribusi beban pada struktur jalan

(Sumber: Diklat perkerasan kaku, 2017)

Lapisan perkerasan jalan menerima dua jenis pembebanan, yaitu beban tekan dan beban tarik. Beban tarik inilah yang umumnya memicu terjadinya retak. Proses awal retakan (*crack initiation*) biasanya bermula dari bagian bawah lapisan perkerasan kemudian menjalar ke arah permukaan. Namun, dalam beberapa kasus,

retakan juga dapat dimulai dari bagian atas akibat lalu lintas, lalu berkembang ke lapisan bawah.

Kerusakan pada perkerasan jalan salah satunya disebabkan oleh peningkatan beban serta repetisi beban yang berulang, yang pada akhirnya menimbulkan retakan pada lapisan beraspal. Selain itu, pengaruh cuaca juga berkontribusi dalam mempercepat kerapuhan sehingga lapisan aspal menjadi lebih rentan terhadap retak. Jika retakan tersebut dibiarkan tanpa perbaikan, maka retakan akan terus melebar dengan cepat hingga membentuk lubang pada perkerasan.

### **2.1.9 Karakteristik campuran**

Menurut Sukirman (2003), terdapat tujuh sifat utama yang perlu dimiliki oleh campuran beton aspal, yaitu stabilitas, daya tahan (durabilitas), fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, serta kemudahan dalam pelaksanaan (*workability*). Dalam penelitian ini, karakteristik yang menjadi fokus adalah sebagai berikut:

- 1) Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa menimbulkan perubahan bentuk permanen seperti gelombang, alur, maupun bleeding. Tingkat stabilitas yang dibutuhkan ditentukan oleh fungsi jalan dan volume lalu lintas yang dilayani. Jalan dengan arus lalu lintas padat serta dominasi kendaraan berat menuntut perkerasan dengan stabilitas tinggi. Faktor-faktor yang memengaruhi stabilitas beton aspal meliputi:
  - Gesekan internal yang dipengaruhi oleh tekstur permukaan agregat, luas bidang kontak antar butir, bentuk butir, gradasi, kepadatan campuran, serta tebal film aspal.
  - Kohesi, yaitu daya ikat aspal terhadap agregat yang menjaga tekanan kontak antar butir tetap stabil.
- 2) Keawetan (durabilitas) adalah kemampuan beton aspal menahan beban berulang akibat kendaraan, gesekan roda dengan permukaan jalan, serta ketahanan terhadap pengaruh lingkungan seperti hujan, suhu udara, dan perubahan temperatur. Faktor yang menentukan durabilitas adalah:
  - Tebalnya lapisan aspal yang menyelimuti agregat.
  - Jumlah pori dalam campuran.

- Tingkat kepadatan serta kedap air dari campuran.
- 3) Fleksibilitas yaitu kemampuan perkerasan untuk menyesuaikan diri terhadap penurunan konsolidasi maupun pergerakan tanah dasar tanpa mengalami retak. Penurunan ini dapat terjadi akibat repetisi beban lalu lintas maupun beban tanah timbunan di atas tanah asli.
  - 4) Ketahanan geser adalah kemampuan lapisan aspal, terutama dalam kondisi basah, untuk memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga tidak terjadi selip atau tergelincir. Faktor yang memengaruhi antara lain:
    - Kekasaran permukaan agregat.
    - Luas bidang kontak dan bentuk butir agregat.
    - Gradasi agregat.
    - Kepadatan campuran.
    - Tebal film aspal.
  - 5) Kedap air adalah sifat beton aspal yang mampu mencegah masuknya air maupun udara ke dalam lapisan. Air dan udara dapat mempercepat proses penuaan aspal serta mengakibatkan pengelupasan lapisan aspal dari agregat. Faktor yang berpengaruh yaitu:
    - Rendahnya porositas.
    - Gradasi agregat yang sesuai.
    - Tingkat kepadatan campuran.

## **2.2 Landasan Teori**

### **2.2.1 Pengujian gradasi**

Pengujian agregat dilakukan untuk mengetahui sifat maupun karakteristik dari agregat yang dihasilkan melalui proses pemecahan batu menggunakan *stone crusher*. Gradasi atau susunan butiran merupakan distribusi ukuran partikel agregat yang dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu gradasi sela (*gap grade*), gradasi menerus (*continuous grade*), dan gradasi seragam (*uniform grade*). Untuk menentukan jenis gradasi tersebut, dilakukan analisis saringan (*sieve analysis*) dengan mengacu pada standar seperti BS 812, ASTM C-33, ASTM C-136, AASHTO T-26, maupun Standar Nasional Indonesia (SNI).

Pengujian ini memiliki peranan penting untuk menentukan komposisi briket atau sampel campuran aspal yang akan dijadikan acuan dalam pekerjaan pengaspalan di lapangan. Dari hasil uji gradasi diperoleh grafik amplop gradasi, yang digunakan untuk mengetahui persentase komposisi agregat yang sesuai dengan spesifikasi. Perlu dicatat bahwa saringan/ayakan untuk gradasi aspal berbeda dengan yang digunakan pada gradasi tanah maupun lapisan berbutir. Adapun ukuran saringan yang dipakai dalam pengujian gradasi aspal, mulai dari yang terbesar hingga terkecil, yaitu 1.5", 1", 3/4", 1/2", 3/8", No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, dan No.200.

### 2.2.2 Pengujian volumetrik benda uji

Pengujian volumetrik dilakukan dengan tujuan untuk membandingkan karakteristik volumetrik benda uji yang akan digunakan pada uji Marshall, khususnya terkait stabilitas dan *flow*. Proses pengujian ini mencakup perbandingan nilai density, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Asphalt* (VFA) pada benda uji dengan menggunakan peralatan uji baik digital maupun analog.

Data yang diperoleh dari hasil uji laboratorium selanjutnya dianalisis dengan menggunakan rumus-rumus perhitungan berikut,

- 1) Berat Jenis
- a) Berat jenis agregat kasar dengan rumus sebagai berikut ini.

$$Bulk = \frac{A}{(B-C)} \quad (2-1)$$

$$SSD = \frac{B}{(B-C)} \quad (2-2)$$

$$APPT = \frac{A}{(A-C)} \quad (2-3)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(B-A)}{BA} \times 100\% \quad (2-4)$$

dengan,

*Bulk* = Berat jenis

$SSD$  = Berat jenis kering permukaan

$APPT$  = Berat jenis semu

$A$  = berat benda contoh uji kering oven (gr)

$B$  = berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

$C$  = berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air (gr)

b) Berat jenis agregat halus & filler dengan rumus sebagai berikut :

$$Bulk = \frac{BK}{(B+500-Bt)} \quad (2-5)$$

$$SSD = \frac{500}{(B+500-Bt)} \quad (2-6)$$

$$APPT = \frac{BK}{(B+Bk-Bt)} \quad (2-7)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500-BK)}{Bk} \times 100\% \quad (2-8)$$

dengan,

$Bulk$  = Berat jenis

$SSD$  = Berat jenis kering permukaan

$APPT$  = Berat jenis semu

$500$  = Berat benda uji (gram)

$Bk$  = Berat uji kering (gram)

$B$  = Berat piknometer diisi air (25°C) (gram)

$Bt$  = Berat piknometer + berat benda uji (SSD) + air (25°C) (gram)

c) Berat jenis *bulk* gabungan ( $U$ )

$$U = \frac{100}{\left(\frac{a}{B_j a Bulk}\right) + \left(\frac{b}{B_j a Bulk}\right) + \left(\frac{c}{B_j a Bulk}\right) + \left(\frac{d}{B_j a Bulk}\right)} \quad (2-9)$$

d) Berat jenis *apparent* gabungan ( $App$ )

$$App = \frac{100}{\left(\frac{a}{B_j a App}\right) + \left(\frac{b}{B_j a App}\right) + \left(\frac{c}{B_j a App}\right) + \left(\frac{d}{B_j a App}\right)} \quad (2-10)$$

e) Berat jenis efektif ( $V$ )

$$V = \frac{U+App}{2} \quad (2-11)$$

Dari data tersebut diperoleh harga *Density*, Stabilitas, *Marshall Quotient*

### 2.2.3 Perhitungan kadar aspal rencana

Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah kadar aspal yang mampu menghasilkan stabilitas maksimum pada lapisan perkerasan, dengan tetap memenuhi persyaratan lainnya seperti stabilitas, kelelahan (*flow*), VIM, VFA, VMA, dan parameter terkait, sehingga menghasilkan mutu aspal yang baik. Penentuan KAO dilakukan dengan cara memperkirakan kadar aspal rencana secara empiris menggunakan persamaan 2-12.

$$P_b = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FFiller) + K \quad (2-12)$$

dengan,

$P_b$  = Kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran

$CA$  = Persen agregat tertahan saringan no.8

$FA$  = Persen agregat lolos saringan no.8 dn tertahan saringan no.200

$FFiller$  = Persen agregat minimal 75% lolos saringan no.200

$K$  = Konstanta (0.5 - 1 untuk laston, 2 - 3 untuk lataston; 1 - 25 untuk campuran lain).

### 2.2.4 Pengujian *marshall*

Pengujian menggunakan alat *Marshall* dilakukan berdasarkan prosedur yang ditetapkan oleh Bina Marga. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui karakteristik campuran serta menilai ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) pada campuran aspal.

Hubungan antara stabilitas dan *flow* bersifat sebanding, artinya semakin tinggi nilai stabilitas maka nilai *flow* juga meningkat, begitu pula sebaliknya. Dengan demikian, semakin besar stabilitas maka aspal akan lebih mampu menahan beban, dan jika nilai *flow* meningkat maka kemampuan aspal dalam menahan beban juga semakin baik.

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, dibuat grafik yang menunjukkan hubungan antara persentase kadar aspal dengan parameter-parameter seperti *Void Filled With Asphalt* (VFA), *Voids in Mineral Aggregates* (VMA), *Void in the Mix* (VIM), *flow*, stabilitas, serta *Marshall Quotient* (MQ). Berikut ini penjelasan dari kata-kata di atas :

- a) VMA (*Voids in Mineral Aggregate*) merupakan volume rongga di antara butir agregat dalam campuran yang telah mengalami pemadatan, termasuk rongga yang terisi oleh aspal. Nilai ini dinyatakan dalam bentuk persentase (%) terhadap total volume campuran.

Rumus VMA adalah :

$$VMA = 100 - \frac{Gmb - Ps}{Gsb} \quad (2-13)$$

dengan,

Gmb = berat jenis campuran padat (AASHTO T-166)

Gsb = berat jenis curah agregat

Ps = persen agregat terhadap berat total campuran

- b) VFA adalah volume pori di antara partikel-partikel agregat yang terisi aspal dalam campuran padat, yang dinyatakan dalam (%) terhadap volume total campuran.

Rumus VFA adalah :

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \quad (2-14)$$

dengan,

VFA = rongga terisi aspal persen terhadap VMA

VMA = rongga diantara mineral agregat, persen terhadap volume total campuran

VIM = rongga di dalam campuran, persen terhadap volume total campuran

- c) VIM (*Void in the Mix*) atau rongga dalam campuran adalah persentase ruang kosong yang terdapat di dalam campuran beraspal. Besarnya rongga udara dipengaruhi oleh susunan partikel agregat dan ketidakteraturan bentuk agregat. Rongga udara ini berfungsi sebagai indikator daya tahan (durabilitas) campuran beraspal, sehingga nilainya tidak boleh terlalu kecil maupun terlalu besar. Semakin tinggi nilai VIM, maka semakin besar rongga udara dalam campuran, yang menyebabkan campuran menjadi lebih berpori (*porous*) dan berpotensi menurunkan keawetan perkerasan.

Rumus VIM adalah :

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \quad (2-15)$$

dengan,

Gmm = berat jenis maksimum campuran

Gmb = berat jenis curah campuran padat (AASHTO T-166)

- d) Kelelehan (*flow*) merupakan deformasi vertikal yang terjadi sejak awal pembebanan hingga titik stabilitas mulai menurun, yang mencerminkan besarnya perubahan bentuk pada lapisan perkerasan akibat beban yang diterima. Nilai *flow* biasanya dinyatakan dalam satuan mm atau 0,01". Besar kecilnya nilai *flow* dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah tumbukan, serta temperatur saat pemadatan.
- e) Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan dalam menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen, seperti timbulnya gelombang, alur (*rutting*), atau *bleeding*. Besarnya nilai stabilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain kohesi atau penetrasi aspal, kadar aspal yang digunakan, gaya gesekan internal, *interlocking* antar partikel agregat, bentuk serta tekstur permukaan agregat, dan gradasinya.

Rumus stabilitas adalah :

$$S = P \times r \quad (2-16)$$

dengan,

P = Kalibrasi proving ring pada o

r = Nilai pembacaan arloji stabilitas

- f) *Marshall Quotient* (MQ) menunjukkan tingkat kekakuan suatu campuran. Apabila nilai MQ terlalu tinggi, campuran menjadi sangat kaku sehingga mudah mengalami retak. Sebaliknya, bila nilai MQ terlalu rendah, lapisan perkerasan cenderung terlalu lentur dan kurang memiliki kestabilan.

Rumus MQ adalah :

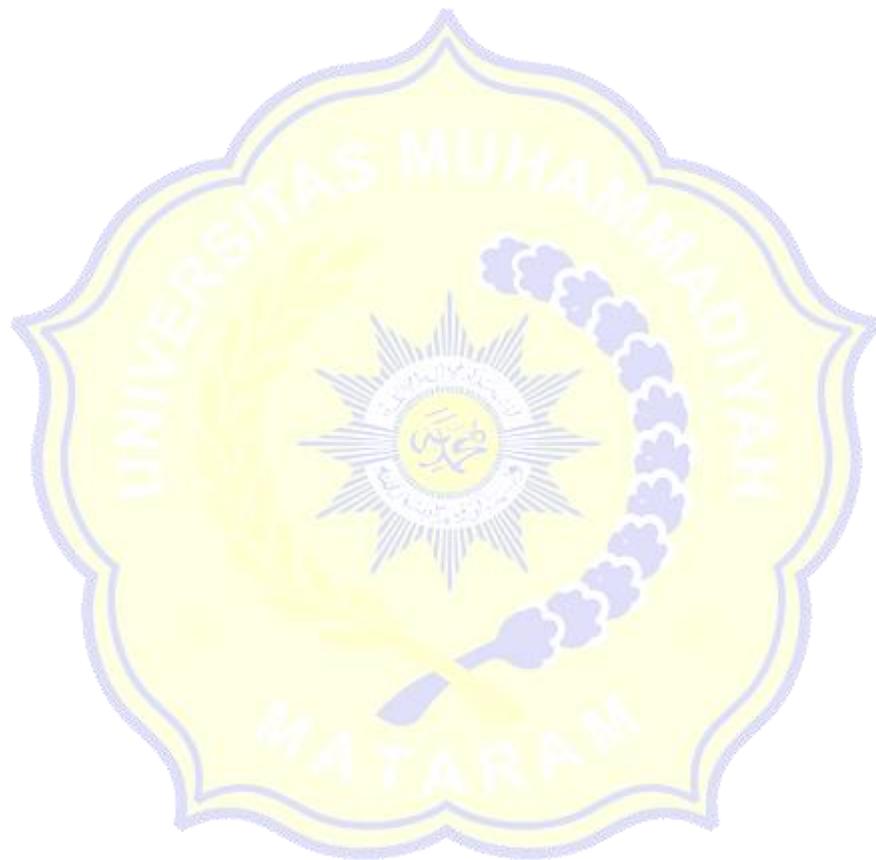
$$MQ = \frac{s}{t} \quad (2-17)$$

dengan,

S = Nilai stabilitas terpasang (Kg)

t = Nilai kelelehan/*flow* (mm)

Dalam perencanaan campuran aspal yang ideal, harus dipenuhi persyaratan berupa stabilitas yang tinggi, fleksibilitas yang memadai, rongga pori yang kecil, serta persentase rongga dalam campuran yang rendah. Berdasarkan kriteria pengujian Marshall, kadar aspal optimum (KAO) dapat ditentukan, sehingga dari nilai tersebut dapat diketahui kemampuan campuran apakah sudah sesuai dengan standar yang ditetapkan Bina Marga. Persyaratan campuran lapis aspal beton (laston) AC mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6.



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Pengumpulan Data**

Dalam penelitian ini dilakukan pengumpulan data agregat dan campuran untuk perkerasan *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan variasi kadar pasir puya sebesar 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1%, serta semen sebesar 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, dan 1% terhadap berat total agregat yang digunakan sebagai bahan pengisi (*filler*). Adapun kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

Sebelum tahap penelitian, terdapat beberapa prosedur yang harus dilalui, meliputi persiapan, pemeriksaan mutu material (agregat, aspal, dan *filler*), perencanaan campuran, hingga pelaksanaan pengujian dengan metode *Marshall*. Berdasarkan spesifikasi dan persyaratan yang ditetapkan, pengujian ini menghasilkan nilai-nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ.

Pengujian dilakukan menggunakan alat *Marshall* sebagai uji tekan aspal, di mana data diperoleh dengan mencatat besarnya gaya yang dibutuhkan untuk menghancurkan benda uji tersebut.

#### **3.2 Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada tanggal 11 Juni 2025 hingga 18 Juli 2025 di Laboratorium Bahan Jalan, Balai Pengujian Material Konstruksi, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat.

#### **3.3 Jenis Data**

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari:

##### **3.3.1 Data Primer**

Data primer merupakan data yang diperoleh langsung oleh peneliti melalui pengambilan data di lapangan, baik melalui pengujian maupun penelitian yang dilakukan secara mandiri berdasarkan pedoman manual yang berlaku. Oleh karena itu, data primer sering disebut sebagai data utama atau data pertama. Pada penelitian ini, data primer meliputi hasil pengujian berat jenis *filler* pasir puya, pengujian gradasi *filler* pasir puya, serta hasil uji *Marshall*.

### 3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder merupakan data penelitian yang diperoleh peneliti melalui sumber tidak langsung atau media perantara, sehingga peneliti berperan sebagai pihak kedua. Pada penelitian ini, data sekunder mencakup hasil pemeriksaan agregat, data gradasi agregat, serta data karakteristik aspal yang diperoleh dari Laboratorium Bahan Jalan, Balai Pengujian Material Konstruksi, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat.

### 3.4 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen, yaitu dengan melakukan pengujian terhadap campuran aspal menggunakan variasi *filler* berupa pasir puya dan semen sebagai bahan perbandingan. Variasi campuran tersebut disajikan pada **Tabel 3.1** berikut,

**Tabel 3.1** Variasi campuran pasir sisa tambang emas dan semen

No.	Perbandingan campuran	
	Pasir puya	Semen
1	1%	0%
2	0%	1%
3	0,25%	0,75%
4	0,5%	0,5%
5	0,75%	0,25%

(sumber: hasil perhitungan, 2025)

### 3.5 Peralatan

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- 1) Alat pemeriksaan agregat, terdiri dari :

- a) Alat uji saringan standar ASTM.



**Gambar 3.1** Alat uji saringan standar ASTM

*(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)*

- b) Alat uji volumetrik



**Gambar 3.2** Alat pengujian volumetrik

*(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)*

- 2) *Oven* dan pengatur suhu.



**Gambar 3.3** *Oven* dan pengaturan suhu

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

- 3) Timbangan.



**Gambar 3.4** Timbangan.

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

- 4) Termometer.



**Gambar 3.5** Termometer.

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

- 5) Alat pembuat *briket* campuran aspal hangat terdiri dari :
- a) Alat cetakan ( *mold* ) berbentuk silinder dengan diameter 101,60 mm,tinggi 80 mm.



**Gambar 3.6** Alat cetakan (*mold*)

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

- b) Alat penumbuk (*compactor*) yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg (10 lbs), tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18”).



**Gambar 3.7** Alat penumbuk (*compactor*).

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

- c) Alat pengangkat *briket* ( dongkrak hidrolis ).



**Gambar 3.8** Alat pengangkat *briket* ( dongkrak hidrolis ).

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

6) *Water bath*



**Gambar 3.9** *Water bath*

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

- 7) Alat *marshall*, terdiri dari :
- a) Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung.
  - b) Cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg dilengkapi arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025
  - c) Arloji pengukur alir (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm beserta pelengkapannya.



**Gambar 3.10** Alat *marshall*

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

8) Alat Penunjang

a) Kompor



**Gambar 3.11** Kompor

*(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)*

b) sendok, spatula



**Gambar 3.12** Sendok dan Spatula

*(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)*

c) sarung tangan



**Gambar 3.13** Sarung tangan

*(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)*

d) wajan



**Gambar 3.14** Wajan

*(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)*

### 3.6 Bahan

Penelitian ini memerlukan beberapa jenis bahan, antara lain:

1) Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari AMP Sinarbali, Muju, Lombok Tengah, yang terdiri atas agregat berukuran 3/4", agregat berukuran 3/8", serta abu batu (Tertahan #200). Data hasil pemeriksaan agregat diperoleh sebagai data sekunder dari Laboratorium Bahan dan Jalan, Balai Pengujian Material Konstruksi, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat.



**Gambar 3.15** Agregat 3/4" dan Agregat 3/8"

*(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)*



**Gambar 3.16** Abu batu

*(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)*

2) Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal penetrasi 60/70 produksi Pertamina yang berasal dari *Base Camp* Pringgabaya. Bahan aspal tersebut diperoleh dari Laboratorium Bahan dan Jalan, Balai Pengujian Material Konstruksi, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat.



**Gambar 3.17** Aspal

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

3) *Filler*

*Filler* merupakan mineral agregat berukuran sangat halus, di mana sebagian besar (Min 75%) partikel lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Dalam penelitian ini digunakan *filler* berupa pasir puya yang berasal dari limbah tambang emas di wilayah Sekotong, Lombok Barat.



**Gambar 3.18** Semen

(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)



**Gambar 3.19** *Filler* pasir puya  
(sumber: dokumentasi pribadi, 2025)

### 3.7 Rancangan Campuran Aspal Untuk Memperoleh KAO

Dalam menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), yang ditentukan terlebih dahulu ialah kadar aspal tengah (pb). Kadar aspal tengah selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam pembuatan benda uji untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada suatu campuran aspal. Dalam penentuan kadar aspal tengah, dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan 2.12.

Pada penelitian ini dibuat variasi kadar aspal sebanyak 5 variasi dan masing-masing variasi sebanyak 3 sampel atau benda uji, sehingga total benda uji yang dibuat untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) sejumlah 15 sampel. Dari hasil penentuan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) tersebut dibuatlah variasi campuran menggunakan pasir puya sebagai *filler* dan semen sebagai perbandingan variasi campuran seperti pada **Tabel 3.1**. Adapun jumlah sampel pengujian variasi campuran dapat dilihat pada **Tabel 3.2** berikut ini:

**Tabel 3.2** Jumlah Sampel Pengujian variasi campuran

No	Variasi pasir puya	Variasi Semen	Jumlah sampel
1	1%	0%	3
2	0%	1%	3
3	0.25%	0,75%	3
4	0.5%	0,5%	3
5	0.75%	0,25%	3
Total			15

(sumber: hasil perhitungan,2025)

Sehingga total sampel yang dibuat seperti perhitungan sebagai berikut :

Variasi campuran = 5 variasi

Sampel = 3

Jumlah sampel =  $5 \times 3 = 15$

Jumlah kadar aspal = 5

Total sampel = Jumlah sampel  $\times$  5 =  $15 \times 5 = 75$  buah

Jumlah total sampel yang diperlukan dalam pelaksanaan pengujian adalah sebanyak 75 sampel.

### **3.8** Prosedur Pelaksanaan

#### **3.8.1** Pembuatan benda uji

Sebelum melakukan pembuatan benda uji, terlebih dahulu dilakukan perencanaan rancang campur (*mix design*). Tahapan ini mencakup penyusunan gradasi agregat, penentuan kadar aspal, serta pengukuran komposisi masing-masing fraksi agregat, aspal, dan *filler*. Gradasi yang digunakan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan mengadaptasi spesifikasi gradasi rencana campuran. Adapun prosedur pembuatan benda uji dibagi ke dalam beberapa tahap, yaitu:

##### 1) Tahap I

Pada tahap awal dilakukan persiapan, yaitu menyiapkan bahan dan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian. Selanjutnya ditentukan persentase masing-masing butiran agregat. Penentuan ini bertujuan untuk mempermudah proses pencampuran serta memudahkan dalam penimbangan secara kumulatif, sehingga diperoleh proporsi campuran yang lebih akurat.

- 2) Tahap II  
Langkah selanjutnya adalah menentukan berat aspal penetrasi 60/70, *filler*, dan agregat yang akan dicampurkan sesuai dengan variasi kadar aspal yang telah direncanakan. Penentuan persentase dilakukan berdasarkan berat total campuran sebesar 1200 gram. Kadar aspal dihitung berdasarkan komposisi agregat campuran yang telah ditetapkan.
- 3) Tahap III  
Aspal penetrasi 60/70 dituang ke dalam wajan yang telah berisi agregat, kemudian diletakkan di atas timbangan sesuai dengan persentase kadar aspal (*bitumen content*) yang telah ditentukan berdasarkan berat total agregat.
- 4) Tahap IV  
Setelah aspal dituangkan ke dalam agregat, campuran diaduk hingga merata, kemudian didiamkan sampai mencapai suhu pemadatan. Selanjutnya, campuran tersebut dimasukkan ke dalam *mould* yang telah disiapkan, dengan melapisi bagian bawah dan atas *mould* menggunakan kertas sebelum dilakukan proses penumbukan.
- 5) Tahap V  
Campuran dipadatkan menggunakan alat pemadat dengan memberikan 75 kali tumbukan pada masing-masing sisi (total  $2 \times 75$  tumbukan). Setelah proses pemadatan selesai, benda uji didinginkan pada suhu ruang selama kurang lebih 2 jam, kemudian dikeluarkan dari *mould* dengan bantuan dongkrak hidrolik.
- 6) Tahap VI  
Setelah benda uji dikeluarkan dari *mould*, selanjutnya dilakukan pengujian karakteristik *volumetrik* dan pengujian *Marshall* dengan menggunakan alat uji *Marshall*.

### **3.8.2 Volumetrik test**

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh besaran VIM dari tiap benda uji. Prosedur pengujiannya meliputi tahap - tahap berikut,

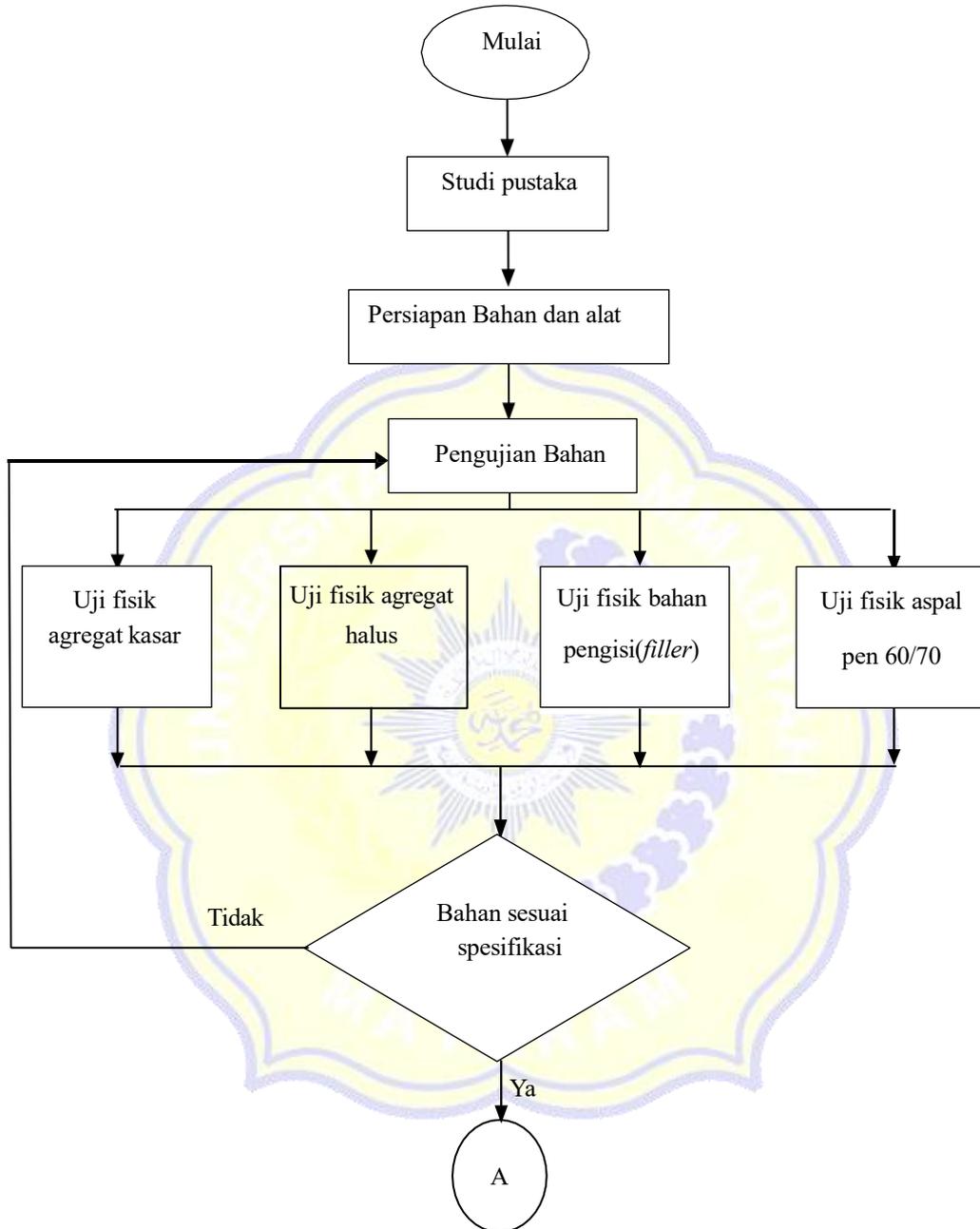
- 1) Tahap I  
Setiap benda uji yang sudah diklasifikasikan sesuai ukuran direndam selama 24 jam untuk membersihkan debu yang menempel, setelah itu dilakukan proses penjemuran.
- 2) Tahap II  
Dari data pengukuran tinggi, berat, dan diameter benda uji, volume *bulk* serta densitas dapat dihitung berdasarkan rumus pengujian *volumetrik*.
- 3) Tahap III  
Perhitungan berat jenis (*Specific Gravity*) setiap benda uji pada tahap ketiga dilakukan dengan mengacu pada rumus 2-1 sampai 2-11.
- 4) Tahap IV  
Pada tahap keempat dilakukan perhitungan karakteristik *Marshall* dengan menggunakan persamaan 2-12 hingga 2-17.
- 5) Tahap V  
Hasil perhitungan tersebut kemudian digambarkan dalam bentuk grafik yang selanjutnya akan digabungkan.

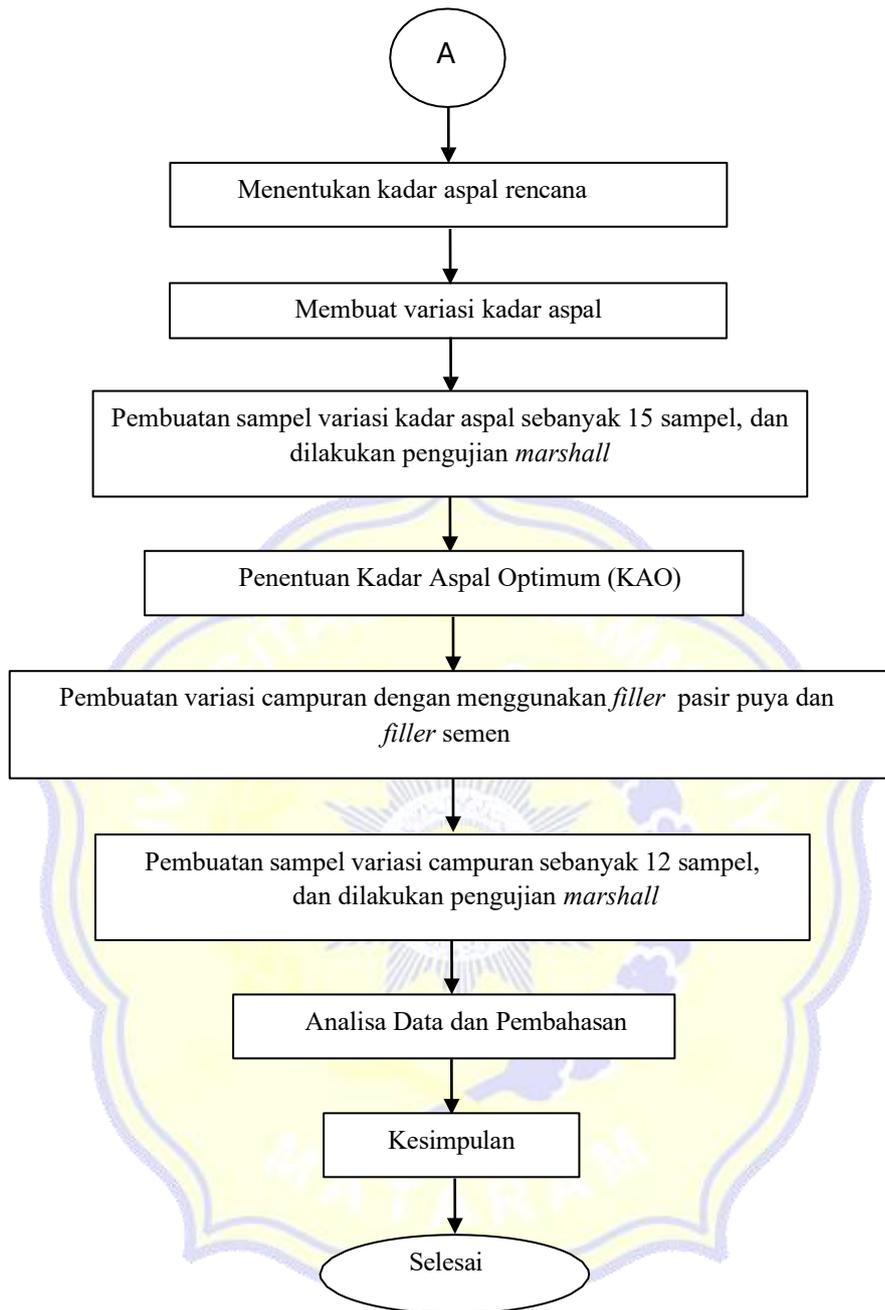
### 3.8.3 *Marshall test*

Metode pengujian ini dilaksanakan melalui tahapan berikut:

- 1) Benda uji direndam terlebih dahulu selama  $\pm 24$  jam.
- 2) Setelah itu, benda uji dimasukkan ke dalam bak perendam (*waterbath*) dengan suhu  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit.
- 3) Benda uji kemudian diangkat dan ditempatkan pada alat uji *Marshall* untuk dilakukan pengujian.
- 4) Dari hasil pengujian diperoleh nilai stabilitas serta nilai kelelehan (*flow*).
- 5) Nilai stabilitas dan *Marshall Quotient* selanjutnya dihitung menggunakan rumus yang telah ditetapkan.

### 3.9 Tahapan Penelitian





**Gambar 3.20** Diagram alir penelitian

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Umum**

Data-data yang disajikan merupakan data valid dari hasil pengujian di Laboratorium Bahan Jalan, Balai Pengujian Material Konstruksi, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat, dan dianalisa dalam bentuk tabel serta grafik. Hasil pengujian dari Laboratorium Bahan Jalan, Balai Pengujian Material Konstruksi, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat, berupa hasil pengujian agregat, pengujian aspal, analisa saringan, dan analisa saringan untuk *filler* pasir puya. Serta pembuatan *briket* aspal, variasi campuran agregat aspal dan pengujian Marshall dilakukan di Laboratorium Bahan Jalan, Balai Pengujian Material Konstruksi, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat. Seluruh pengujian yang telah dilakukan mengacu pada SNI. Apabila prosedur pengujian tidak terdapat dalam SNI, maka digunakan prosedur pengujian lainnya seperti AASHTO, Bina Marga, ASTM, dan lain-lain.

#### **4.2 Pengujian Material**

Bahan agregat yang digunakan pada penelitian ini yaitu Agregat kasar berukuran 3/4", 3/8", dan abu batu yang berasal dari stock pile AMP (*Asphalt Mixing Plant*) PT. Sinar Bali Binakarya jalan raya Mujur, Lombok Tengah, serta bahan pengganti berupa pasir puya. Hasil pemeriksaan dari karakteristik agregat sesuai dengan metode pengujian yang dipakai dan spesifikasi yang disyaratkan dengan acuan spesifikasi Bina Marga 2018.

##### **4.2.1 Hasil analisa pembagian butiran**

Hasil dari analisa pembagian butiran ini bertujuan untuk mengetahui persentase lolosnya butiran dari masing-masing fraksi agregat yang selanjutnya digunakan sebagai acuan dalam menentukan persentase masing- masing fraksi agregat yang dibutuhkan pada campuran aspal. Hasil dari analisa pembagian butiran ini dapat dilihat pada **Tabel 4.1** sampai **Tabel 4.4** sebagai berikut,

**Tabel 4.1** Analisa saringan pembagian butiran agregat kasar ukuran 3/4”

Saringan	Massa Tertahan Gram (a)	Jumlah Massa Tertahan Gram (b)	Presentase Kumulatif (%)		Rata - Rata	Massa Tertahan Gram (a)	Jumlah Massa Tertahan Gram (b)	Presentase Kumulatif (%)	
			Tertahan ©	Lolos (d)				Tertahan ©	Lolos (d)
			mm (inci)	mm (inci)				mm (inci)	mm (inci)
25.4 (1")	0	0	0,00	100,00	<b>100,00</b>	0	0	0,00	100,00
19.1 (3/4")	0	0	0,00	100,00	<b>100,00</b>	0	0	0,00	100,00
12.7 (1/2")	2144,8	2144,8	47,15	52,85	<b>55,35</b>	1848,2	1848,2	42,15	57,85
9.52 (3/8")	1287,2	3432	75,45	24,55	<b>25,01</b>	1419,4	3267,6	74,52	25,48
No. 4	875	4307	94,69	5,31	<b>5,40</b>	876,4	4144	94,51	5,49
No. 8	74	4381	96,32	3,68	<b>3,60</b>	86,6	4230,6	96,48	3,52
No. 10	6,4	4387,4	96,46	3,54	<b>3,44</b>	7,8	4238,4	96,66	3,34
No. 16	5,2	4392,6	96,57	3,43	<b>3,32</b>	5,6	4244	96,79	3,21
No. 30	2,6	4395,2	96,63	3,37	<b>3,27</b>	1,6	4245,6	96,83	3,17
No. 40	1	4396,2	96,65	3,35	<b>3,26</b>	0,6	4246,2	96,84	3,16
No. 50	0,8	4397	96,67	3,33	<b>3,24</b>	0,6	4246,8	96,85	3,15
No. 100	4	4401	96,76	3,24	<b>3,14</b>	4,6	4251,4	96,96	3,04
No. 200	12,6	4413,6	97,03	2,97	<b>2,95</b>	5	4256,4	97,07	2,93
Pan	503,6					512,8			

(Sumber: Hasil Pengujian, 2025)

**Tabel 4.2** Analisa saringan pembagian butiran agregat kasar ukuran 3/8”

Saringan	Massa Tertahan Gram (a)	Jumlah Massa Tertahan Gram (b)	Presentase Kumulatif (%)		Rata-Rata	Massa Tertahan Gram (a)	Jumlah Massa Tertahan Gram (b)	Presentase Kumulatif (%)	
			Tertahan ©	Lolos (d)				Tertahan ©	Lolos (d)
			mm (inci)	mm (inci)				mm (inci)	mm (inci)
19.1 (3/4")				100	<b>100</b>				100
12.7 (1/2")	34,2	34,2	1,59	98,41	<b>98,04</b>	42,8	42,8	2,33	97,67
9.52 (3/8")	58,8	93	4,33	95,67	<b>95,42</b>	46	88,8	4,83	95,17
No. 4	1049	1142	53,20	46,80	<b>46,85</b>	887,2	976	53,10	46,90
No. 8	820,6	1962,6	91,43	8,57	<b>8,96</b>	690	1666	90,64	9,36
No. 10	41,6	2004,2	93,37	6,63	<b>6,90</b>	40,2	1706,2	92,83	7,17
No. 16	48	2052,2	95,60	4,40	<b>4,64</b>	42	1748,2	95,11	4,89
No. 30	30	2082,2	97,00	3,00	<b>3,16</b>	28,8	1777	96,68	3,32
No. 40	10,8	2093	97,50	2,50	<b>2,62</b>	10,4	1787,4	97,25	2,75
No. 50	5,8	2098,8	97,77	2,23	<b>2,34</b>	5,4	1792,8	97,54	2,46
No. 100	18	2116,8	98,61	1,39	<b>1,51</b>	15,2	1808	98,37	1,63
No. 200	11,4	2128,2	99,14	0,86	<b>0,96</b>	10,4	1818,4	98,93	1,07
Pan	0					0			

(Sumber: Hasil Pengujian, 2025)

**Tabel 4.3** Analisa saringan pembagian butiran agregat halus abu batu (tertahan #200)

Berat Contoh I : 1196,2

Berat Contoh II : 1083,2

Saringan	Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Presentase Kumulatif (%)		Rata-Rata	Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Presentase Kumulatif(%)	
	Gram (a)	Gram (b)	Tertahan ©	Lolos (d)		Gram (a)	Gram (b)	Tertahan ©	Lolos (d)
9.52 (3/8")	0	0	0,00	100	<b>100</b>	0	0	0,00	100
No. 4	11	11	0,92	99,08	<b>99,23</b>	6,8	6,8	0,63	99,37
No. 8	224,4	235,4	19,68	80,32	<b>79,39</b>	226,6	233,4	21,55	78,45
No. 10	100	335,4	28,04	71,96	<b>71,38</b>	82,8	316,2	29,19	70,81
No. 16	186,6	522	43,64	56,36	<b>55,54</b>	174,2	490,4	45,27	54,73
No. 30	190,8	712,8	59,59	40,41	<b>40,04</b>	163,2	653,6	60,34	39,66
No. 40	96,6	809,4	67,66	32,34	<b>32,19</b>	82,4	736	67,95	32,05
No. 50	41,8	851,2	71,16	28,84	<b>28,78</b>	36,2	772,2	71,29	28,71
No. 100	141,6	992,8	83,00	17,00	<b>17,68</b>	112,2	884,4	81,65	18,35
No. 200	44,8	1037,6	86,74	13,26	<b>13,53</b>	49,4	933,8	86,21	13,79
Pan	0					0			

(Sumber: Hasil Pengujian, 2025)

**Tabel 4.4** Analisa saringan pembagian butiran *filler* pasir puya (lolos #200)

Berat Contoh I : 500

Berat Contoh II : 500

Saringan	Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Presentase Kumulatif (%)		Rata-Rata	Massa Tertahan	Jumlah Massa Tertahan	Presentase Kumulatif(%)	
	Gram (a)	Gram (b)	Tertahan ©	Lolos (d)		Gram (a)	Gram (b)	Tertahan ©	Lolos (d)
No. 50	0	0	0,00	100,00	<b>100,00</b>	0	0	0,00	100,00
No. 100	27,5	27,5	5,50	94,50	<b>93,49</b>	37,65	37,65	7,53	92,47
No. 200	46,3	73,8	14,75	85,25	<b>85,08</b>	37,85	75,5	15,10	84,90
Pan	256					256			

(sumber: Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan pada tabel-tabel diatas, dapat dilihat persentase lolos saringan masing- masing fraksi agregat yang dimana memiliki nilai yang berbeda. Data yang diperoleh akan digunakan dalam perencanaan gradasi agregat campuran.

#### 4.2.2 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Pengujian kualitas material dalam campuran aspal panas yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Hasil dari pengujian tersebut sangat menentukan kinerja campuran yang akan dihasilkan. Mutu agregat dapat diketahui dengan dua pengamatan, yaitu secara visual dan secara pengujian di laboratorium.

Pengamatan secara visual dapat dilakukan untuk mengetahui bentuk butiran dan tekstur agregat kasar, sedangkan secara pengujian di laboratorium untuk mengetahui kualitas dari agregat itu sendiri.

1) Agregat kasar

Proses pengujian berat jenis bulk, berat jenis SSD, berat jenis *apparent*, dan penyerapan air pada agregat kasar dilakukan secara berurutan karena terdapat keterkaitan parameter antara satu pengujian dengan yang lain, seperti berat benda uji kering oven, berat benda uji kering permukaan jenuh, dan berat benda uji dalam air. Hal ini memungkinkan pengujian tersebut dilakukan pada hari yang sama dan menjadi satu paket pengujian yang terintegrasi. Hasil dari pengujian agregat kasar terlampir pada **Tabel 4.5** sampai **Tabel 4.6** berikut,

**Tabel 4.5** Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat fraksi agregat (3/4)

Uraian	Notasi	Contoh No:		Satuan
		I	II	
Berat Benda Uji Kering Oven	A	938,1	855,9	Gram
Berat Benda Uji Jenuh Kering Permukaan Di Udara	B	950	867,6	Gram
Berat Benda Uji Dalam Air	C	605	554,4	Gram

Perhitungan	persamaan	I	II	Rata- Rata
Berat Jenis Curah (Sd)	$\frac{A}{B - C}$	2.719	2.733	2.726
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (Ss)	$\frac{B}{B - C}$	2.754	2.770	2.762
Berat Jenis Semu (Sa)	$\frac{A}{A - C}$	2.816	2.839	2.828
Penyerapan Air (Sw)	$\frac{B - A}{A} \times 100\%$	1.269	1.367	1.318

(Sumber: Hasil Pengujian, 2025)

**Tabel 4.6** Pemeriksaan baret jenis dan penyerapan agregat fraksi agregat (3/8)

Uraian	Notasi	Contoh No:		Satuan
		I	II	
Berat Benda Uji Kering Oven	A	713,8	837,8	Gram
Berat Benda Uji Jenuh Kering Permukaan Di Udara	B	725,7	851,1	Gram
Berat Benda Uji Dalam Air	C	448,2	529,2	Gram

Perhitungan	persamaan	I	II	Rata- Rata
Berat Jenis Curah (Sd)	$\frac{A}{B - C}$	2.572	2.603	2.587
Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (Ss)	$\frac{B}{B - C}$	2.615	2.644	2.630
Berat Jenis Semu (Sa)	$\frac{A}{A - C}$	2.688	2.715	2.867
Penyerapan Air (Sw)	$\frac{B - A}{A} \times 100\%$	1.667	1.587	1.627

(Sumber: Hasil Pengujian, 2025)

## 2) Agregat halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air antara agregat halus dan agregat kasar mempunyai perbedaan dalam metode dan peralatan pengujian yang digunakan, tetapi proses perhitungannya hampir serupa. Selain itu, tingkat ketelitian yang lebih tinggi diperlukan dalam pengujian agregat halus dibandingkan dengan agregat kasar. Hal ini disebabkan oleh gradasi agregat halus yang lebih halus dibandingkan dengan agregat kasar, sehingga kemungkinan terbuangnya material menjadi lebih besar. Berikut untuk hasil pengujian agregat halus dapat dilihat pada **Tabel 4.7** berikut,

**Tabel 4.7** Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat abu batu

No. Contoh	I	
	A	B
Berat <i>Picnometer</i>		
Berat benda uji kering permukaan jenuh + <i>picnometer</i>	500	500
Berat benda uji kering BK	488.7	489.2

Berat <i>picnometer</i> diisi air B		669.6		726,.9
Berat <i>picnometer</i> + benda uji (SSD) +air (25 C) Bt		991.7		1050.1
	Perhitungan	A	B	Rata- Rata
Berat Jenis ( <i>Bulk</i> )	$\frac{BK}{(B + 500 - Bt)}$	2.747	2.767	2.757
Berat Jenis Kering-perm. jenuh	$\frac{500}{(B + 500 - Bt)}$	3.001	2.828	2.915
Berat Jenis Semu( <i>Apparent</i> )	$\frac{BK}{(B + BK - Bt)}$	2.933	2.947	2.940
Penyerapan ( <i>Absorption</i> )	$\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2.312	2.208	2.260

(Sumber: Hasil Pengujian, 2025)

### 3) *Filler*

Pengujian berat jenis *filler* pasir puya dilakukan dengan membuat 2 sampel dengan berat yang berbeda untuk dijadikan sebagai perbandingan rata-rata dari kedua sampel tersebut yang menghasilkan nilai dari berat jenis untuk *filler* pasir puya. Berikut untuk hasil pengujian berat jenis *filler* pasir puya seperti pada **Tabel 4.8** berikut,

**Tabel 4.8** pemeriksaan berat jenis dan penyerapan *filler* pasir puya

Nomor Contoh / Kedalaman	Berat benda uji (gram)	
	<b>J</b>	<b>L</b>
Nomor Picnometer		
Berat Picnometer + Contoh ( W1 )	68,34	63,96
Berat Picnometer ( W2 )	48,59	44,50
Berat Tanah ( Wt ) = W1 - W2	19,75	19,46
Suhu		
Berat Picnometer Air Contoh ( W3 )	164,13	156,54
Berat Picnometer Air pada t <sup>0</sup> C ( W4 )	151,19	143,92
Isi Tanah ( W5 ) = W1 - W2 + W4 - W3	6,81	6,84
Berat Jenis = Wt/W5	<b>2,900</b>	<b>2,845</b>
<b>Berat Jenis Rata - rata</b>	<b>2,873</b>	

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

### 4.2.3 Data pengujian aspal

Analisis hasil pengujian mutu aspal penetrasi 60/70 pada tabel dibawah ini menunjukkan bahwa aspal tersebut memenuhi standar yang telah ditetapkan dan cocok untuk digunakan sebagai bahan campuran perkerasan aspal karena telah memenuhi spesifikasi. Detail hasil pengujian untuk aspal penetrasi 60-/dapat dilihat pada **Tabel 4.9** di bawah,

**Tabel 4.9** Karakteristik aspal penetrasi 60/70

No	Pengujian	Hasil	Syarat
1	Penetrasi	61,9 mm	60 70 mm
2	Titik lembek	49,5 °C	≥48 °C
3	Daktilitas	140 mm	≥100 mm
4	Titik nyala	300°C	≥232 °C
5	Berat jenis	1.039 gr/cc	≥1,0 gr/cc
6	Kehilangan berat	0.0265 % berat	≤0,8 % berat
7	Penetrasi setelah kehilangan berat	54 mm	≥54 mm
8	Daktilitis setelah kehilangan berat	130 mm	≥100 mm

(Sumber: PT. Sinar Bali Binakarya, 2021)

### 4.3 Penentuan Gradasi Agregat

Persentase agregat berdasarkan *Job Mix Design* (JMD) dari PT. Sinar Bali Binakarya dengan persentase agregat sebagai berikut: agregat kasar 3/4“ = 15%, agregat kasar 3/8” = 35%, abu batu = 49%. Mengacu pada persentase masing-masing agregat tersebut, maka dibuatlah variasi campuran menggunakan *filler* pasir puya dan *filler* semen sebagai berikut :

- 1) Kombinasi analisa agregat (*filler* pasir puya 1% – *filler* semen 0%)

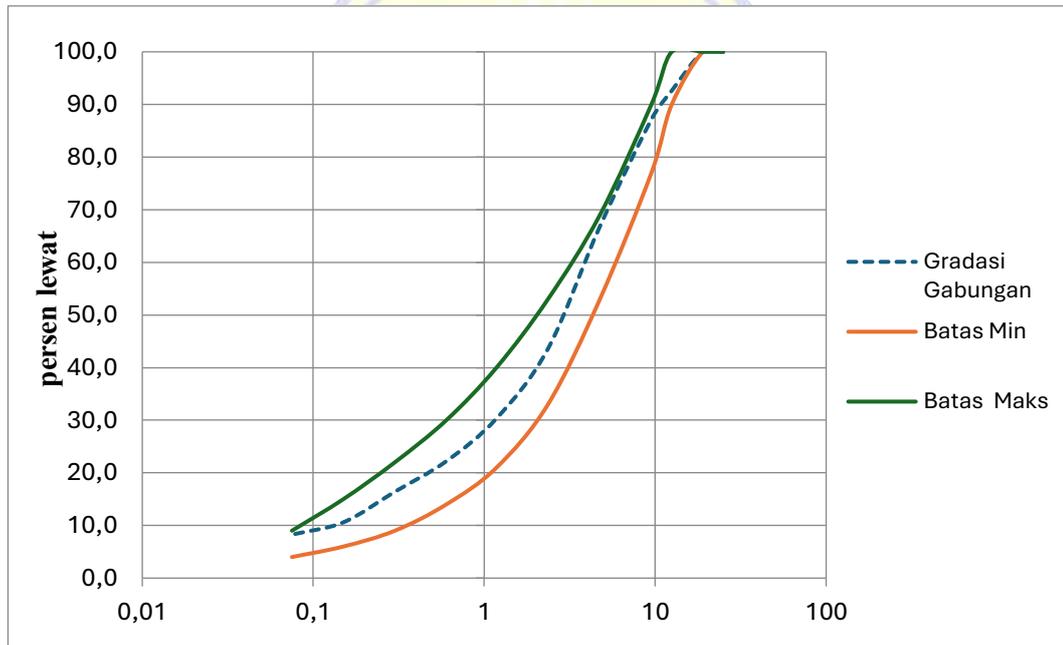
**Tabel 4.10** Kombinasi analisa agregat (*filler* pasir puya 1% – *filler* semen 0%)

<u>Inci</u>	1	3/4	1/2	3/8	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
<u>mm</u>	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
3/4	100,00	100,00	55,35	25,01	5,40	3,60	3,32	3,27	3,24	3,14	2,95
3/8	100	100,00	98,04	95,42	46,85	8,96	4,64	3,16	2,34	1,51	0,96
ABU BATU	100	100	100	100	99,23	79,39	55,54	40,04	28,78	17,68	13,53
FILLER SEMEN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,77	96,74
FILLER PASIR PUYA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93,49	85,08

**Kombinasi Agregat**

Agregat 3/4	15	15,00	15,00	8,30	3,75	0,81	0,54	0,50	0,49	0,49	0,47	0,44
Agregat 3/8	35	35,00	35,00	34,31	33,40	16,40	3,14	1,62	1,11	0,82	0,53	0,34
ABU BATU	49	49,00	49,00	49,00	49,00	48,62	38,90	27,22	19,62	14,10	8,66	6,63
FILLER SEMEN	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
FILLER PASIR PUYA	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,93	0,85
<b>Total Campuran</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>92,6</b>	<b>87,1</b>	<b>66,8</b>	<b>43,6</b>	<b>30,3</b>	<b>22,2</b>	<b>16,4</b>	<b>10,6</b>	<b>8,3</b>
Max			100,0	100,0	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	9,0
Min			100,0	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)



**Gambar 4.1** Grafik kombinasi analisa agregat (*filler* pasir puya 1% - *filler* semen 0%)

2) Kombinasi analisa agregat (*filler* pasir puya 0% – *filler* semen 1%)

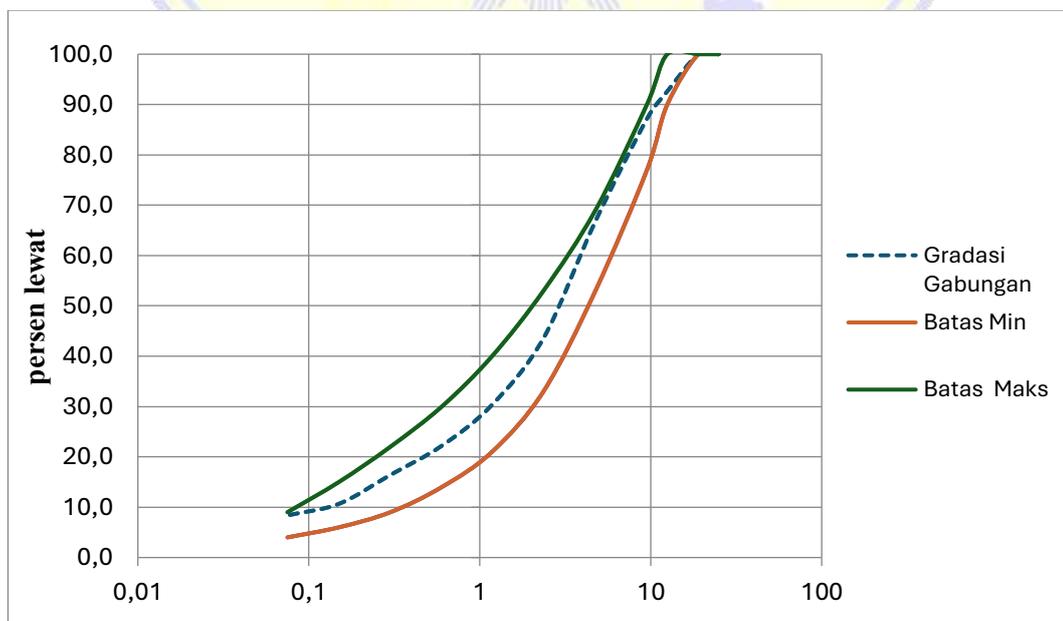
**Tabel 4.11** Kombinasi analisa agregat (*filler* pasir puya 0% – *filler* semen 1%)

<u>Inci</u>	1	3/4	1/2	3/8	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
<u>mm</u>	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
3/4	100,00	100,00	55,35	25,01	5,40	3,60	3,32	3,27	3,24	3,14	2,95
3/8	100	100,00	98,04	95,42	46,85	8,96	4,64	3,16	2,34	1,51	0,96
ABU BATU	100	100	100	100	99,23	79,39	55,54	40,04	28,78	17,68	13,53
FILLER SEMEN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,77	96,74
FILLER PASIR PUYA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93,49	85,08

**Kombinasi Agregat**

Agregat 3/4	15	15,00	15,00	8,30	3,75	0,81	0,54	0,50	0,49	0,49	0,47	0,44
Agregat 3/8	35	35,00	35,00	34,31	33,40	16,40	3,14	1,62	1,11	0,82	0,53	0,34
ABU BATU	49	49,00	49,00	49,00	49,00	48,62	38,90	27,22	19,62	14,10	8,66	6,63
FILLER SEMEN	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,97
FILLER PASIR PUYA	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Total Campuran</b>	100	100,0	100,0	92,6	87,1	66,8	43,6	30,3	22,2	16,4	10,7	8,4
Max			100,0	100,0	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	9,0
Min			100,0	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)



**Gambar 4.2** Grafik kombinasi analisa agregat (*filler* pasir puya 0% - *filler* semen 1%)

3) Kombinasi analisa agregat (*filler pasir puya 0,25% – filler semen 0,75%*)

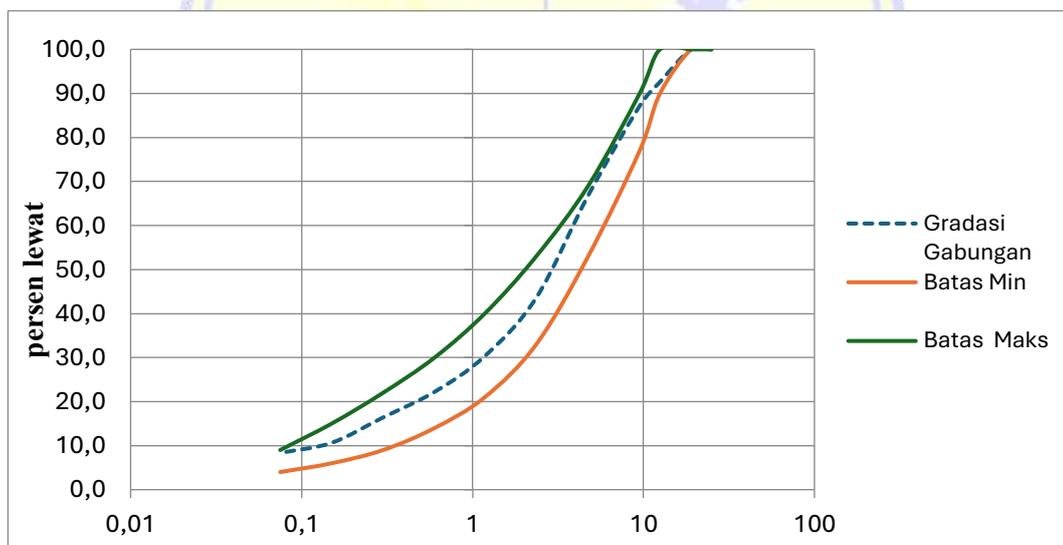
**Tabel 4.12** Kombinasi analisa agregat (*filler pasir puya 0,25% – filler semen 0,75%*)

<b>Inci</b>	<b>1</b>	<b>3/4</b>	<b>1/2</b>	<b>3/8</b>	<b>#4</b>	<b>#8</b>	<b>#16</b>	<b>#30</b>	<b>#50</b>	<b>#100</b>	<b>#200</b>
<b>mm</b>	<b>25</b>	<b>19</b>	<b>12,5</b>	<b>9,5</b>	<b>4,75</b>	<b>2,36</b>	<b>1,18</b>	<b>0,6</b>	<b>0,3</b>	<b>0,15</b>	<b>0,075</b>
3/4	100,00	100,00	55,35	25,01	5,40	3,60	3,32	3,27	3,24	3,14	2,95
3/8	100	100,00	98,04	95,42	46,85	8,96	4,64	3,16	2,34	1,51	0,96
ABU BATU	100	100	100	100	99,23	79,39	55,54	40,04	28,78	17,68	13,53
FILLER SEMEN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,77	96,74
FILLER PASIR PUYA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93,49	85,08

**Kombinasi Agregat**

Agregat 3/4	15	15,00	15,00	8,30	3,75	0,81	0,54	0,50	0,49	0,49	0,47	0,44
Agregat 3/8	35	35,00	35,00	34,31	33,40	16,40	3,14	1,62	1,11	0,82	0,53	0,34
ABU BATU	49	49,00	49,00	49,00	49,00	48,62	38,90	27,22	19,62	14,10	8,66	6,63
FILLER SEMEN	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,73
FILLER PASIR PUYA	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,23	0,21
<b>Total Campuran</b>	<b>100</b>	<b>100,0</b>	<b>100,0</b>	<b>92,6</b>	<b>87,1</b>	<b>66,8</b>	<b>43,6</b>	<b>30,3</b>	<b>22,2</b>	<b>16,4</b>	<b>10,6</b>	<b>8,3</b>
Max			100,0	100,0	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	9,0
Min			100,0	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)



**Gambar 4.3** Grafik kombinasi analisa agregat (*filler pasir puya 0,25% – filler semen 0,75%*)

4) Kombinasi analisa agregat (*filler pasir puya 0,5% – filler semen 0,5%*)

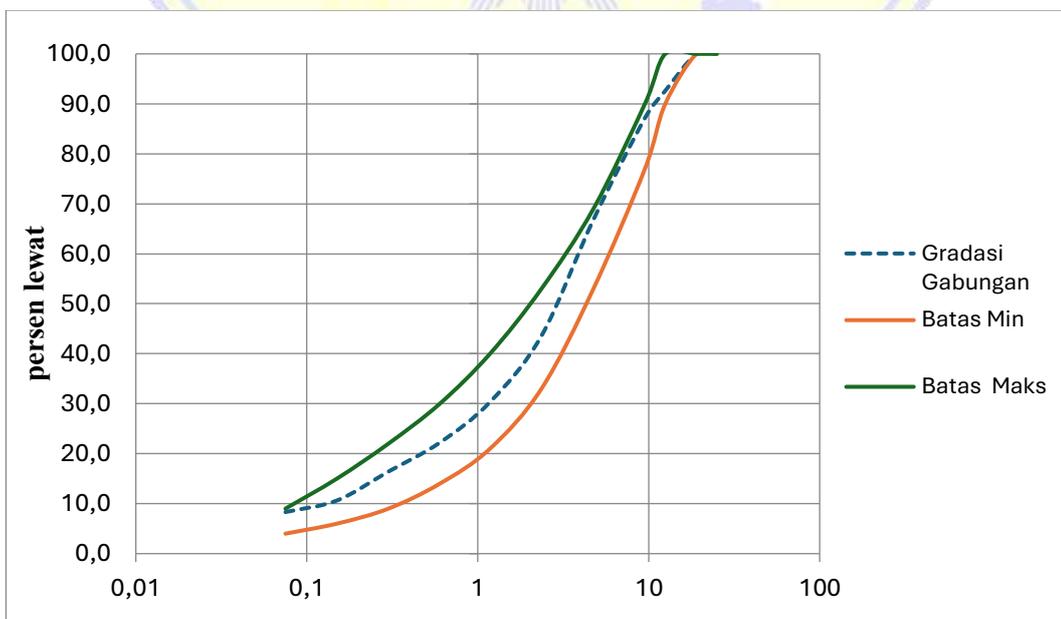
**Tabel 4.13** Kombinasi analisa agregat (*filler pasir puya 0,5% – filler semen 0,5%*)

<u>Inci</u>	1	3/4	1/2	3/8	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
<u>mm</u>	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
3/4	100,00	100,00	55,35	25,01	5,40	3,60	3,32	3,27	3,24	3,14	2,95
3/8	100	100,00	98,04	95,42	46,85	8,96	4,64	3,16	2,34	1,51	0,96
ABU BATU	100	100	100	100	99,23	79,39	55,54	40,04	28,78	17,68	13,53
FILLER SEMEN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,77	96,74
FILLER PASIR PUYA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93,49	85,08

**Kombinasi Agregat**

Agregat 3/4	15	15,00	15,00	8,30	3,75	0,81	0,54	0,50	0,49	0,49	0,47	0,44
Agregat 3/8	35	35,00	35,00	34,31	33,40	16,40	3,14	1,62	1,11	0,82	0,53	0,34
ABU BATU	49	49,00	49,00	49,00	49,00	48,62	38,90	27,22	19,62	14,10	8,66	6,63
FILLER SEMEN	0,5	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,48
FILLER PASIR PUYA	0,5	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,47	0,43
<b>Total Campuran</b>	100	100,0	100,0	92,6	87,1	66,8	43,6	30,3	22,2	16,4	10,6	8,3
Max			100,0	100,0	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	9,0
Min			100,0	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)



**Gambar 4.4** Grafik kombinasi analisa agregat (*filler pasir puya 0,5% – filler semen 0,5%*)

5) Kombinasi analisa agregat (*filler pasir puya 0,75% – filler semen 0,25%*)

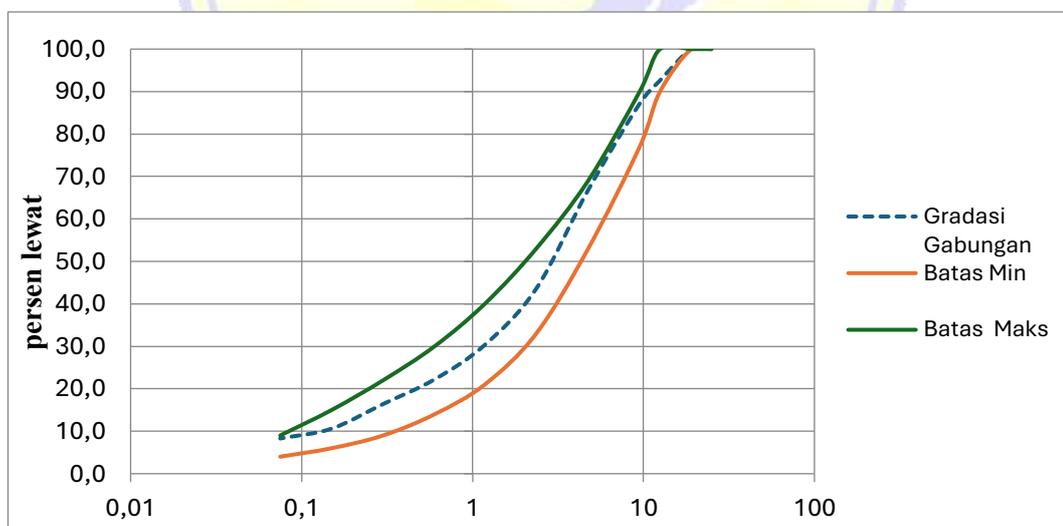
**Tabel 4.14** Kombinasi analisa agregat (*filler pasir puya 0,75% – filler semen 0,25%*)

<u>Inci</u>	1	3/4	1/2	3/8	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
<u>mm</u>	25	19	12,5	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
3/4	100,00	100,00	55,35	25,01	5,40	3,60	3,32	3,27	3,24	3,14	2,95
3/8	100	100,00	98,04	95,42	46,85	8,96	4,64	3,16	2,34	1,51	0,96
ABU BATU	100	100	100	100	99,23	79,39	55,54	40,04	28,78	17,68	13,53
FILLER SEMEN	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99,77	96,74
FILLER PASIR PUYA	100	100	100	100	100	100	100	100	100	93,49	85,08

**Kombinasi Agregat**

Agregat 3/4	15	15,00	15,00	8,30	3,75	0,81	0,54	0,50	0,49	0,49	0,47	0,44
Agregat 3/8	35	35,00	35,00	34,31	33,40	16,40	3,14	1,62	1,11	0,82	0,53	0,34
ABU BATU	49	49,00	49,00	49,00	49,00	48,62	38,90	27,22	19,62	14,10	8,66	6,63
FILLER SEMEN	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,24
FILLER PASIR PUYA	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,70	0,64
<b>Total Campuran</b>	100	100,0	100,0	92,6	87,1	66,8	43,6	30,3	22,2	16,4	10,6	8,3
Max			100,0	100,0	90,0	69,0	53,0	40,0	30,0	22,0	15,0	9,0
Min			100,0	90,0	77,0	53,0	33,0	21,0	14,0	9,0	6,0	4,0

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)



**Gambar 4.5** Grafik kombinasi analisa agregat (*filler pasir puya 0,75% – filler semen 0,25%*)

Dapat dilihat pada tabel dan grafik diatas, hasil analisa kombinasi agregat dikatakan memenuhi persyaratan karena rencana kombinasi agregat tidak kurang dari komposisi minimum dan tidak lebih dari komposisi maksimum.

#### 4.4 Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Sebelum menentukan kadar aspal optimum, hal pertama yang perlu ditentukan adalah kadar aspal tengah atau kadar aspal rencana. Dalam perencanaan suatu komposisi campuran beraspal AC-WC, maka kadar aspal rencana ditentukan menggunakan persamaan 2.12, sehingga menghasilkan nilai  $P_b$  seperti berikut ini :

$$P_b = 0,035 (100 - 43,6) + 0,045 (43,6 - 8,3) + 0,18 (8,3) + 1$$

$$P_b = 0,035 (56,4) + 0,045 (35,3) + 0,18 (8,3) + 1$$

$$= 6,05\%$$

Karena didapat nilai  $P_b$  sebesar 6% maka dibuatlah variasi kadar aspal sebagai berikut: 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Sehingga dengan menggunakan variasi kadar aspal tersebut, dibuatlah sampel atau benda uji sebanyak 3 sampel pada tiap variasi kadar aspal tanpa bahan pengganti seperti pasir sisa tambang emas untuk memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO).

#### 4.5 Perencanaan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum merupakan kadar aspal yang memenuhi seluruh spesifikasi dari parameter *marshall* mulai dari parameter stabilitas, *flow*, MQ, VIM, VMA, dan VFA yang diketahui dengan serangkaian pengujian yang telah dilakukan di laboratorium.

Berdasarkan persentase masing-masing fraksi agregat yang sudah diketahui, maka dilakukan perhitungan penentuan proporsi masing-masing fraksi agregat pada tiap kadar aspal dengan perhitungan sebagai berikut :

1) Kadar aspal 5%

$$\text{Kadar aspal } 5,0\% \text{ dari } 1200 \text{ gram} = 60 \text{ gram}$$

$$\text{Kandungan agregat : } 1200 - 60 = 1140 \text{ gram}$$

Berat seluruh campuran :

$$\text{Agregat kasar } 3/4 = 15\% \times 1140 = 171 \text{ gram}$$

$$\text{Agregat kasar } 3/8 = 35\% \times 1140 = 399 \text{ gram}$$

$$\text{Abu batu} = 49\% \times 1140 = 558,6 \text{ gram}$$

Semen = 1% x 1140 = 11,4 gram  
 Aspal = 5% x 1200 = 60 gram  
 Total = 1200 gr

2) Kadar aspal 5,5%

Kadar aspal 5,5% dari 1200 gram = 66 gram  
 Kandungan agregat : 1200 – 66 = 1134 gram

Berat seluruh campuran :

Agregat kasar 3/4 = 15% x 1134 = 170,1 gram  
 Agregat kasar 3/8 = 35% x 1134 = 396,9 gram  
 Abu batu = 49% x 1134 = 555,7 gram  
 Semen = 1% x 1134 = 11,3 gram  
 Aspal = 5,5% x 1200 = 66 gram  
 Total = 1200 gram

Perhitungan selanjutnya untuk kadar aspal 6%, 6,5% dan 7% disajikan dalam **Tabel 4.15** berikut ini.

**Tabel 4.15** kebutuhan agregat masing-masing kadar aspal dalam gram

Kadar aspal (%)	kandungan agregat (gram)	Ag. Kasar 3/4 (gram)	Ag. Kasar 3/8 (gram)	Abu batu (gram)	Semen (gram)	Aspal (gram)	total (gram)
6	1128	169,2	394,8	552,7	11,3	72	1200
6.5	1122	168,3	392,7	549,8	11,2	78	1200
7	1116	167,4	390,6	546,8	11,2	84	1200

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

Setelah mengetahui kebutuhan agregat masing-masing kadar aspal dalam bentuk gram, selanjutnya menentukan persentase agregat masing-masing kadar aspal dalam bentuk persen.

1) Kadar aspal 5%

Total berat agregat = 1200 gram  
 Agregat kasar 3/4” = (171 / 1200) x 100 = 14,25%  
 Agregat kasar 3/8” = (399 / 1200) x 100 = 33,25%  
 Agregat halus (abu batu) = (558,6 / 1200) x 100 = 46,55%

$$\begin{aligned} \text{Filler semen} &= (11,4 / 1200) \times 100 = 0,95\% \\ \text{Kadar aspal} &= (60 / 1200) \times 100 = 5\% \\ \text{Total} &= 100\% \end{aligned}$$

2) Kadar aspal 5,5%

$$\begin{aligned} \text{Total berat agregat} &= 1200 \text{ gram} \\ \text{Agregat kasar } \frac{3}{4}'' &= (170,1 / 1200) \times 100 = 14,175\% \\ \text{Agregat kasar } \frac{3}{8}'' &= (396,9 / 1200) \times 100 = 33,075\% \\ \text{Agregat halus (abu batu)} &= (555,7 / 1200) \times 100 = 46,308\% \\ \text{Filler semen} &= (11,3 / 1200) \times 100 = 0,94\% \\ \text{Kadar aspal} &= (66 / 1200) \times 100 = 5,5\% \\ \text{Total} &= 100\% \end{aligned}$$

Perhitungan selanjutnya untuk kadar aspal 6%, 6,5% dan 7% disajikan dalam **Tabel 4.16** berikut ini.

**Tabel 4.16** Persentase agregat masing-masing kadar aspal

Variasi Kadar Aspal (%)	Agregat Kasar 3/4 (%)	Agregat Kasar 3/8 (%)	Agregat Halus (Abu Batu) (%)	Filler Semen (%)	Total (%)
6	14,1	32,9	46,058	0,94	100
6.5	14,025	32,725	45,816	0,93	100
7	13,95	32,55	45,56	0,93	100

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

Dari hasil variasi kadar aspal tersebut akan ditemukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada saat pengujian. Hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Bahan Jalan, Balai Pengujian Material Konstruksi, Dinas Pekerjaan Umum Provinsi Nusa Tenggara Barat diperoleh nilai-nilai stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), VIM (*Void In the Mix*), VMA (*Void in Mineral Agregate*), dan VFA (*Void Filled with Asphalt*). Hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 4.17** berikut,

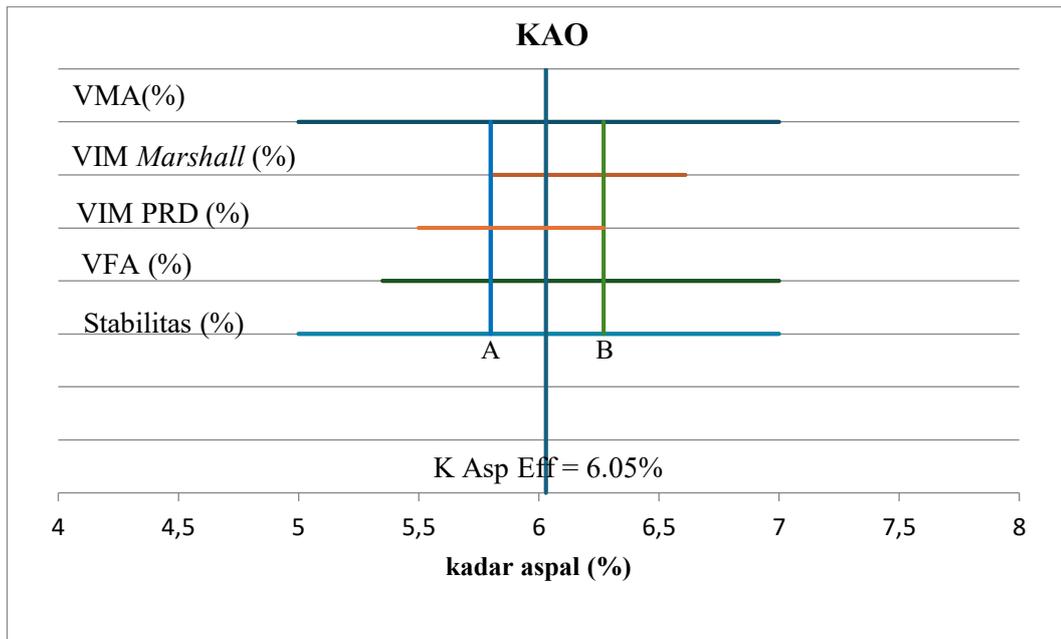
**Tabel 4.17** Hasil pengujian *marshall* pada campuran AC - WC

<b>Kadar Aspal (%)</b>	<b>5%</b>	<b>5.5%</b>	<b>6%</b>	<b>6.5%</b>	<b>7%</b>	<b>Spek</b>
Berat Jenis	2,315	2,333	2,355	2,365	2,373	
<i>Stability</i> (Kg)	1157	1249	1315	1322	1363	<b>min 800</b>
<i>Flow</i> (mm)	3,10	3,25	3,25	3,40	3,40	<b>2.0 - 4.0</b>
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	373	384	405	389	401	
<i>Air Voids</i> (%)	7,44	6,01	4,44	3,35	2,29	<b>3.0 - 5.0</b>
VIM (%)		3,54	2,52	1,70		<b>min 2.0</b>
VMA (%)	18,37	18,15	17,83	17,93	18,07	<b>min15</b>
VFA (%)	59,49	66,88	75,08	81,33	87,33	<b>min65</b>

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan **Tabel 4.17** diatas, nilai-nilai untuk stabilitas, *flow*, dan VMA sudah memenuhi spesifikasi pada semua kadar aspal mulai dari yang terendah 5% sampai yang tertinggi 7%, sedangkan nilai VIM mulai memasuki batas minimum spesifikasi yaitu mulai dari kadar aspal 5,5% sampai kadar aspal 6% dengan ketentuan tidak kurang dari 5% dan tidak melebihi 7%. Sedangkan nilai VFA, kadar aspal yang memenuhi batas minimum spesifikasi yaitu kadar aspal 5,5% sampai 7% dengan ketentuan minimum 65%.

Setelah menganalisa ke 15 benda uji, selanjutnya menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) berdasarkan 5 parameter *marshall* yaitu nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA dan VFA. KAO merupakan hasil dari penjumlahan dari batas kiri (a) dan batas kanan (b) lalu dibagi 2. Yang dimana batas-batas tersebut diperoleh dari grafik *marshall* yang memenuhi semua spesifikasi pada tiap parameter. Untuk nilai KAO dapat dilihat pada grafik berikut,

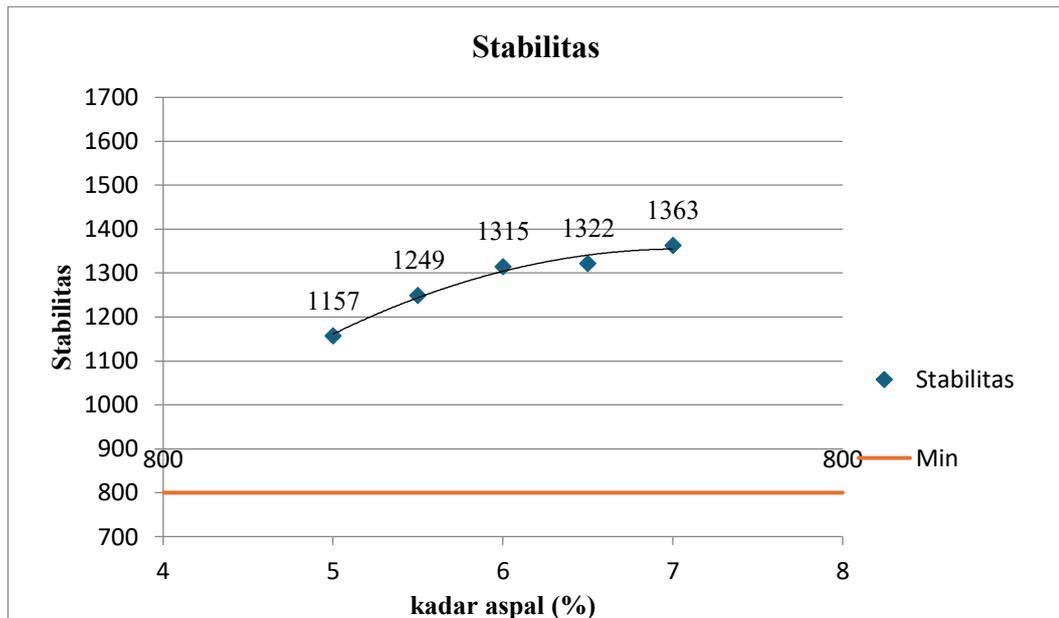


**Gambar 4. 6** Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dari grafik diatas, didapatkan nilai KAO sebesar 6.05%, selanjutnya pada kadar aspal ini dibuatlah variasi campuran menggunakan *filler* semen pada pengujian selanjutnya.

1) Stabilitas (*stability*)

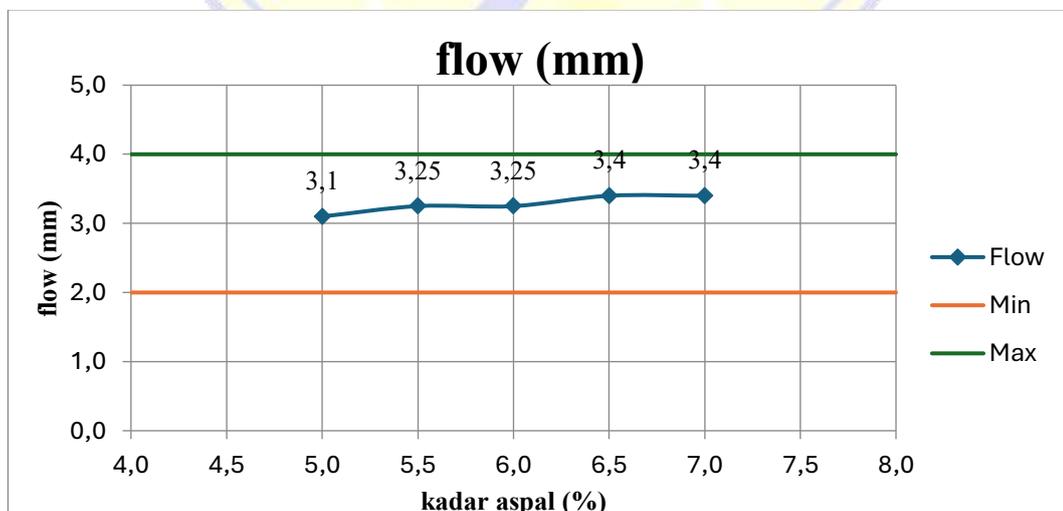
Stabilitas ialah kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen, seperti munculnya gelombang permukaan (*washboarding*), alur (*rutting*), dan *bleeding*. Ketahanan terhadap kuat geser dan kekuatan saling mengunci antar agregat maupun kelekatan dari aspal merupakan kunci dari stabilitas itu sendiri. Penggunaan kadar aspal juga sangat mempengaruhi nilai dari stabilitas campuran. Semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka semakin tinggi pula stabilitas yang dipeoreh sampai mencapai batas maksimum, akan tetapi apabila penggunaan kadar aspal terlalu tinggi atau melebihi batas maksimum dari yang dibutuhkan, maka stabilitas campuran akan menurun yang menyebabkan perkerasan yang terbentuk akan cenderung lebih kaku dan mudah retak. Berikut merupakan grafik hubungan antara kadar aspal terhadap nilai stabilitas terlampir pada **Gambar 4.7** berikut,



**Gambar 4.7** Grafik hasil pengujian *stability*

2) Kelelahan (*flow*)

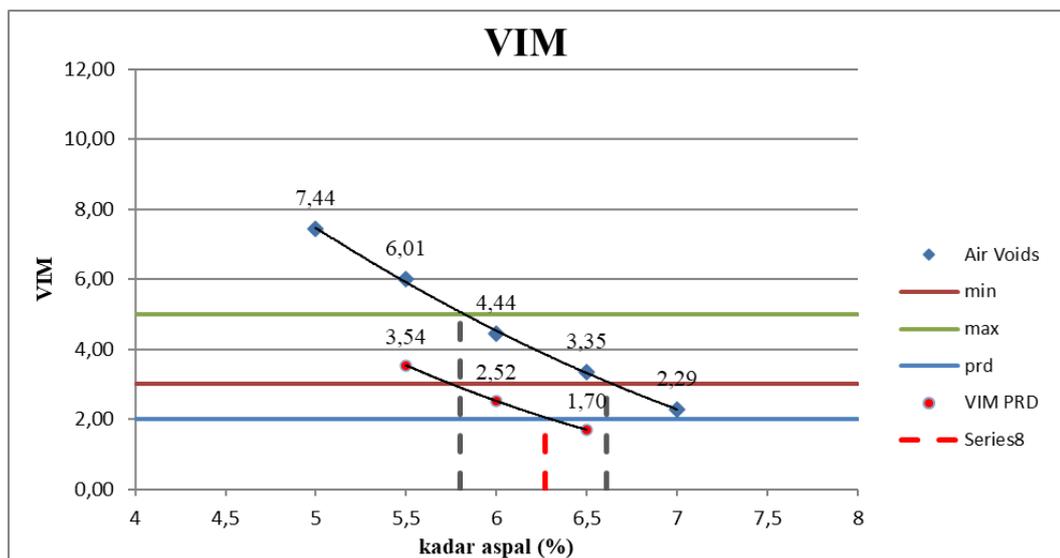
Kelelahan (*flow*) ialah ketika campuran mengalami perubahan bentuk pada saat diberi pembebanan sampai pada batas runtuh, yang diikuti dengan penurunan stabilitas yang menandakan besarnya deformasi yang terjadi pada campuran akibat beban yang diterima. Kadar aspal, kekentalan aspal, gradasi agregat, jumlah pemadatan, dan suhu pemadatan merupakan faktor yang mempengaruhi nilai dari kelelahan (*flow*) itu sendiri. Berikut di bawah ini merupakan grafik hubungan antara kadar aspal dengan kelelahan (*flow*) dapat dilihat pada **Gambar 4.8** berikut,



**Gambar 4.8** Grafik hasil pengujian *flow*

### 3) Rongga dalam campuran (*Void In the Mix/VIM*)

Rongga dalam campuran (*Void In the Mix/VIM*) merupakan persentase rongga udara yang terdapat dalam campuran beraspal atau volume pori yang masih tersisa dalam campuran aspal yang telah dipadatkan. Berikut di bawah ini merupakan grafik hubungan antara kadar aspal dengan rongga dalam campuran (VIM) dapat dilihat pada **Gambar 4.9** berikut,

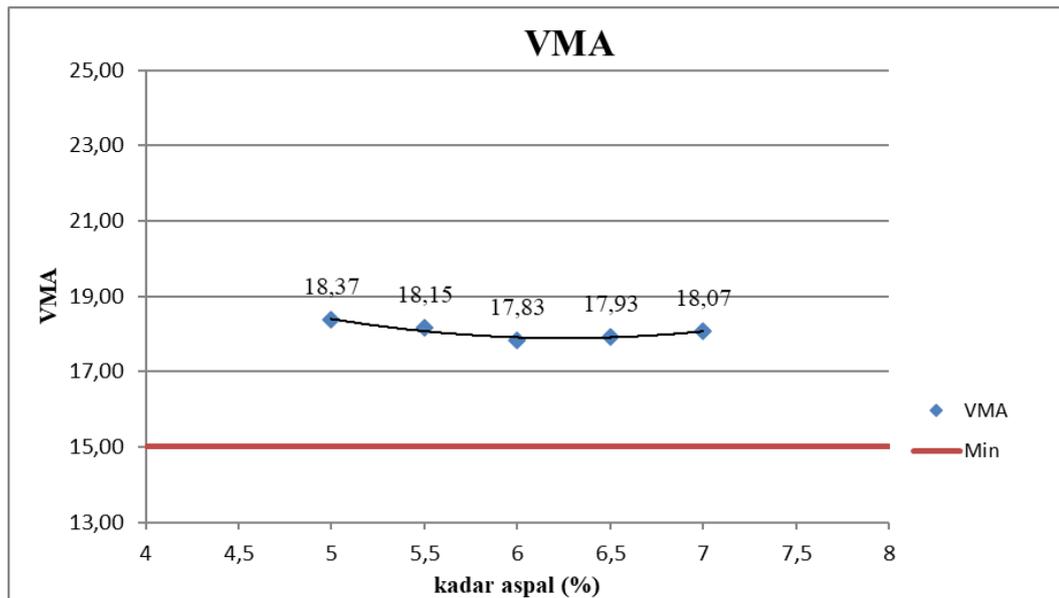


**Gambar 4.9** Grafik hasil pengujian VIM

Pada grafik parameter VIM, yang memenuhi spesifikasi maksimal 5% dan minimal 3% yaitu mulai dari kadar aspal 5% yang ditandai dengan garis putus-putus sampai dengan kadar aspal 7%. Sehingga pada kadar aspal 5% tidak memenuhi spesifikasi karena nilai VIM yang diperoleh melebihi batas maksimum 5%.

### 4) Rongga dalam mineral agregat (*Void in Mineral Agregate/VMA*)

Rongga dalam mineral agregat (*Void in Mineral Agregate/VMA*) Merupakan rongga udara yang berada diantara butir-butir agregat dalam campuran agregat aspal yang telah dipadatkan. Termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, yang merupakan persen volume rongga didalam agregat yang terisi aspal, dinyatakan dalam persen terhadap volume. Tekstur permukaan, ukuran, dan bentuk permukaan agregat, serta metode pematatannya merupakan faktor yang menentukan nilai VMA pada campuran yang terbentuk. Berikut grafik hubungan kadar aspal terhadap nilai Rongga dalam mineral agregat (*Void in Mineral Agregate/VMA*) terlampir pada **Gambar 4.10** berikut,

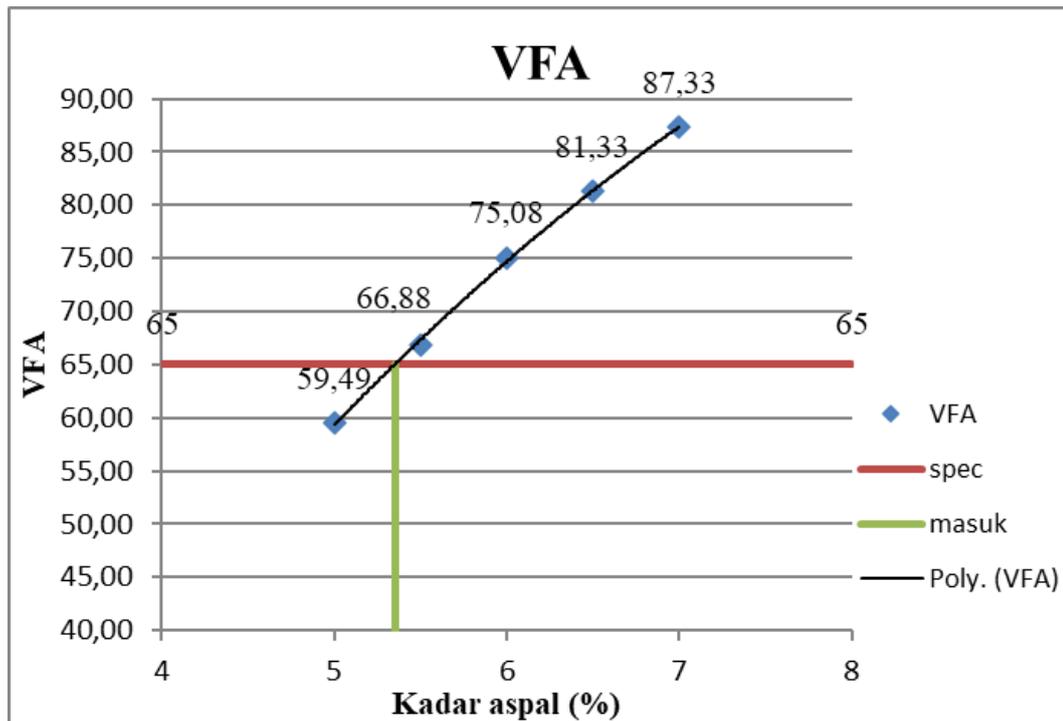


**Gambar 4.10** Grafik hasil pengujian VMA

5) Rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt/VFA*)

VFA merupakan persentase rongga yang terisi oleh aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap agregat. Untuk mendapatkan lapisan aspal yang baik, maka rongga-rongga antara agregat harus terisi aspal yang cukup, karena mempengaruhi kedekatan terhadap air dan udara dari campuran yang terbentuk. Nilai dari stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas pada lapis perkerasan juga ditentukan oleh nilai VFA yang diperoleh.

Nilai VFA yang tinggi menandakan semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal, sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi. Namun apabila nilai VFA terlalu tinggi, maka akan menyebabkan terjadinya bleeding pada lapis perkerasan. Jika nilai VFA terlalu rendah, maka akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapis film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak apabila menerima beban sehingga akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Berikut ini merupakan grafik hubungan antara kadar aspal terhadap nilai Rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt/VFA*) dapat dilihat pada **Gambar 4.11** berikut,



**Gambar 4.11** Grafik hasil pengujian VFA

Pada grafik parameter VFA, didapat garis perpotongan antara nilai VFA masing-masing kadar aspal dengan batas spesifikasi dari VFA itu sendiri yaitu minimal 65%. Maka ditariklah garis mulai dari garis perpotongan tersebut secara lurus kebawah sehingga didapatkan tepat berada pada kadar aspal 5,4% yang ditandai dengan garis. Mulai dari sebelah kiri garis tersebut menandakan bahwa tidak memenuhi spesifikasi yaitu mulai dari kadar aspal 5% sampai kadar aspal 5,4%, dan sebelah kanan garis putus-putus tersebut menandakan bahwa nilai yang didapat telah memenuhi spesifikasi yaitu mulai dari kadar aspal 5,4% sampai kadar aspal 7%.

#### **4.6 Job Mix Formula pada Kadar Aspal Optimum (KAO), variasi campuran filler pasir puya dan filler semen.**

*Job mix* formula (formula campuran kerja) yaitu suatu pedoman formula yang akan digunakan sebagai acuan untuk pembuatan sampel atau benda uji. Formula campuran kerja untuk perancangan Kadar Aspal Optimum 6,0%, dengan variasi campuran *filler* pasir puya dan *filler* semen dapat dilihat pada **Tabel 4.18** berikut,

**Tabel 4.18** Job mix formula variasi campuran agregat

Komposisi campuran	Variasi pasir puya dan semen				
	1%PP:0% S	0%PP:1% S	0,25%PP:0,75% S	0,5%PP:0,5% S	0,75%PP:0,25% S
A.K3/4" (gr)	169,2	169,2	169,2	169,2	169,2
A.K3/8" (gr)	394,8	394,8	394,8	394,8	394,8
Abu Batu (gr)	552,7	552,7	552,7	552,7	552,7
Semen (gr)	0	11,3	8,46	5,64	2,82
Pasir Puya (gr)	11,3	0	2,82	5,64	8.46
Aspal (gr)	72	72	72	72	72
TOTAL (gr)	1200	1200	1200	1200	1200

(Sumber: Hasil perhitungan, 2025)

#### 4.6.1 Job Mix Formula pada variasi pasir puya 1% dan 0% semen

**Tabel 4.19** Job Mix Formula pada variasi pasir puya 1% dan 0% semen

Jenis Bahan	proporsi agregat (%)	Berat seluruh campuran (gr)
Agregat Kasar ukuran 3/4"	15	169,2
Agregat Kasar ukuran 3/8"	35	394,8
Abu Batu	49	552,7
Semen	0	-
Pasir Puya	1	11,3
Aspal	6	72
Total	100%	1200 gr

(Sumber: Hasil perhitungan, 2025)

#### 4.6.2 Job Mix Formula pada variasi pasir puya 0% dan 1% semen

**Tabel 4.20** Job mix formula pada variasi pasir puya 0% dan 1% semen

Jenis Bahan	proporsi agregat (%)	Berat seluruh campuran (gr)
Agregat Kasar ukuran 3/4"	15	169,2
Agregat Kasar ukuran 3/8"	35	394,8
Abu Batu	49	552,7
Semen	1	11,3
Pasir Puya	0	-
Aspal	6	72
Total	100%	1200 gr

(Sumber: Hasil perhitungan, 2025)

#### 4.6.3 Job Mix Formula pada variasi pasir puya 0,25% dan 0,75% semen

**Tabel 4.21** Job mix formula pada variasi pasir puya 0,25% dan 0,75% semen

Jenis Bahan	proporsi agregat (%)	Berat seluruh campuran (gr)
Agregat Kasar ukuran 3/4"	15	169,2
Agregat Kasar ukuran 3/8"	35	394,8
Abu Batu	49	552,7
Semen	0,75	8,46
Pasir Puya	0,25	2,82
Aspal	6	72
Total	100%	1200 gr

(Sumber: Hasil perhitungan, 2025)

#### 4.6.4 Job Mix Formula pada variasi pasir puya 0,5% dan 0,5% semen

**Tabel 4.22** Job mix formula pada variasi pasir puya 0,5% dan 0,5% semen

Jenis Bahan	proporsi agregat (%)	Berat seluruh campuran (gr)
Agregat Kasar ukuran 3/4"	15	169,2
Agregat Kasar ukuran 3/8"	35	394,8
Abu Batu	49	552,7
Semen	0,5	5,64
Pasir Puya	0,5	5,64
Aspal	6	72
Total	100%	1200 gr

(Sumber: Hasil perhitungan, 2025)

#### 4.6.5 Job Mix Formula pada variasi pasir puya 0,75% dan 0,25% semen

**Tabel 4.23** Job mix formula pada variasi pasir puya 0,75% dan 0,25% semen

Jenis Bahan	proporsi agregat (%)	Berat seluruh campuran (gr)
Agregat Kasar ukuran 3/4"	15	169,2
Agregat Kasar ukuran 3/8"	35	394,8
Abu Batu	49	552,7
Semen	0,25	2,82
Pasir Puya	0,75	8,46
Aspal	6	72
Total	100%	1200 gr

(Sumber: Hasil perhitungan, 2025)

#### 4.7 Sifat Volumetric Campuran Beraspal

Pemeriksaan *Volumetric* Campuran dari aspal terdiri dari stabilitas (*stability*), kelelehan (*flow*), rongga dalam campuran (*Void in The Mix/VIM*), rongga diantara mineral agregat (*Void in Mineral Agregate/VMA*), dan rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt /VFA*). Hasil pengujian dari parameter *Marshall* tersebut dapat dilihat pada Tabel dan grafik berikut ini:

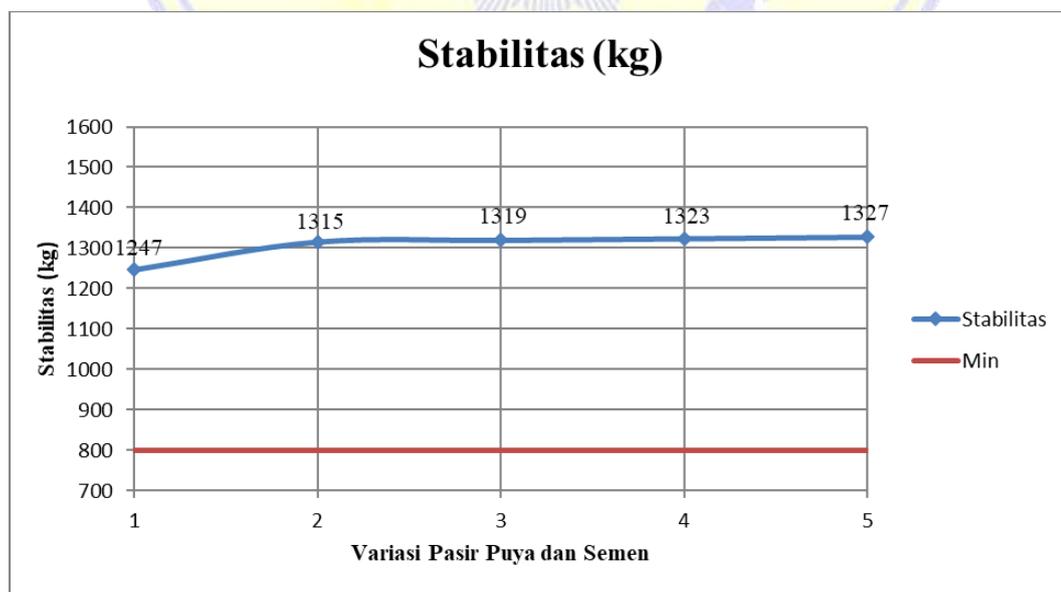
##### 4.7.1 Hasil pengujian stabilitas

**Tabel 4.24** Hasil pengujian stabilitas

Variasi pasir puya dan semen	Stabilitas (kg)	Spesifikasi
1% PP : 0% S	1247	Min. 800 Kg
0% PP : 1% S	1315	Min. 800 Kg
0.25% PP : 0.75% S	1319	Min. 800 Kg
0.5% PP : 0.5% S	1323	Min. 800 Kg
0.75% PP : 0.25% S	1327	Min. 800 Kg

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan **Tabel 4.24**, didapatkan hasil perhitungan bahwa seluruh variasi memenuhi spesifikasi nilai stabilitas minimum yaitu 800 kg.



**Gambar 4.12** Grafik hubungan nilai stabilitas dengan variasi campuran

Dari **Gambar 4.12** diatas, terlihat bentuk kurva nilai stabilitas tiap variasi cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar variasi pasir puya dan semen, dan mencapai puncaknya pada variasi ke-5 (0,75%PP:0,25%S) dan mengalami penurunan pada variasi ke-1 (1%PP:0%S) namun tidak melebihi batas minimum spek yaitu minimal 800 kg. Kombinasi antara semen dengan pasir puya dengan perbandingan 0,75%PP:0,25%S tidak terjadi perubahan signifikan terhadap daya ikat semen tersebut terhadap agregat. Jika nilai stabilitas kurang dari spesifikasi minimal 800 kg, maka campuran aspal tidak cukup kuat menahan beban lalu lintas, terutama kendaraan berat. Hal ini dapat menyebabkan jalan mengalami deformasi berupa gelombang, alur (rutting), atau penurunan permukaan secara permanen. Sebaliknya, jika stabilitas terlalu tinggi, campuran menjadi terlalu kaku, sehingga kurang fleksibel terhadap pergerakan tanah atau perubahan suhu. Hal ini bisa menimbulkan retak-retak pada permukaan jalan, baik karena kelelahan (fatigue) maupun retak termal akibat suhu ekstrem.

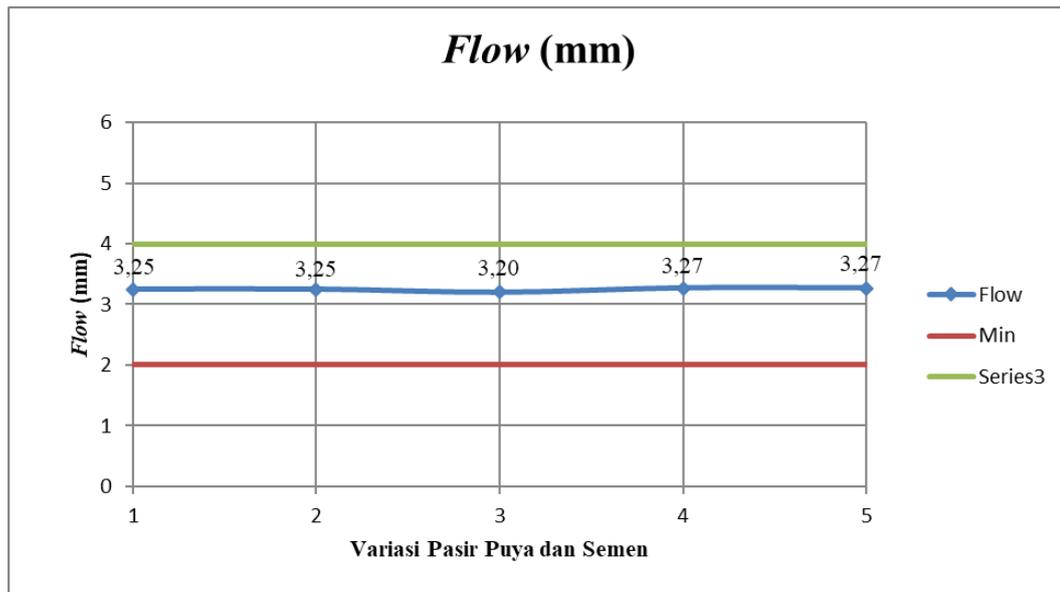
#### 4.7.2 Hasil pengujian *flow*

**Tabel 4.25** Hasil pengujian *flow* (mm)

Variasi pasir puya dan semen	<i>Flow</i> (mm)	Spesifikasi	
		Min	Max
1% PP : 0% S	3,25	2 mm	4 mm
0% PP : 1% S	3,25	2 mm	4 mm
0.25% PP : 0.75% S	3,20	2 mm	4 mm
0.5% PP : 0.5% S	3,27	2 mm	4 mm
0.75% PP : 0.25% S	3,27	2 mm	4 mm

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

Dari hasil perhitungan *flow* pada **Tabel 4.25** diatas, seluruh variasi kadar campuran pasir puya dan semen telah memenuhi spesifikasi yaitu minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Berikut untuk grafik hubungan nilai *flow* dengan variasi campuran dapat dilihat pada **Gambar 4.13** berikut,



**Gambar 4.13** Grafik hubungan nilai *flow* dengan variasi campuran

*Flow* atau kelelahan adalah besarnya deformasi vertikal yang terjadi pada campuran aspal saat menerima beban, mulai dari awal pembebanan hingga titik maksimum stabilitas tercapai. Nilai ini menunjukkan tingkat kelenturan campuran dalam menahan beban lalu lintas. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, nilai *flow* yang disyaratkan berada dalam rentang 2 mm hingga 4 mm. Apabila nilai *flow* kurang dari 2 mm, hal ini menunjukkan bahwa campuran aspal terlalu kaku. Campuran yang terlalu kaku akan sulit beradaptasi terhadap beban lalu lintas berulang, terutama pada kondisi tanah dasar yang tidak stabil atau saat terjadi perubahan suhu. Akibatnya, jalan menjadi mudah mengalami retak-retak halus, retak termal, atau retak kelelahan (*fatigue cracking*) yang dapat berkembang menjadi kerusakan lebih parah bila tidak segera ditangani. Sebaliknya, apabila nilai *flow* melebihi 4 mm, maka campuran dianggap terlalu lunak atau terlalu lentur. Kondisi ini menyebabkan campuran mudah mengalami deformasi permanen, terutama pada jalur kendaraan berat atau saat cuaca panas. Kerusakan yang umum terjadi akibat nilai *flow* yang terlalu tinggi adalah alur (*rutting*) dan gelombang pada permukaan jalan, yang tidak hanya mengganggu kenyamanan pengguna jalan, tetapi juga membahayakan keselamatan. Oleh karena itu, nilai *flow* yang ideal berada antara 2 hingga 4 mm, agar campuran aspal memiliki keseimbangan antara

kelenturan dan kestabilan, sehingga mampu menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan dini maupun perubahan bentuk yang signifikan.

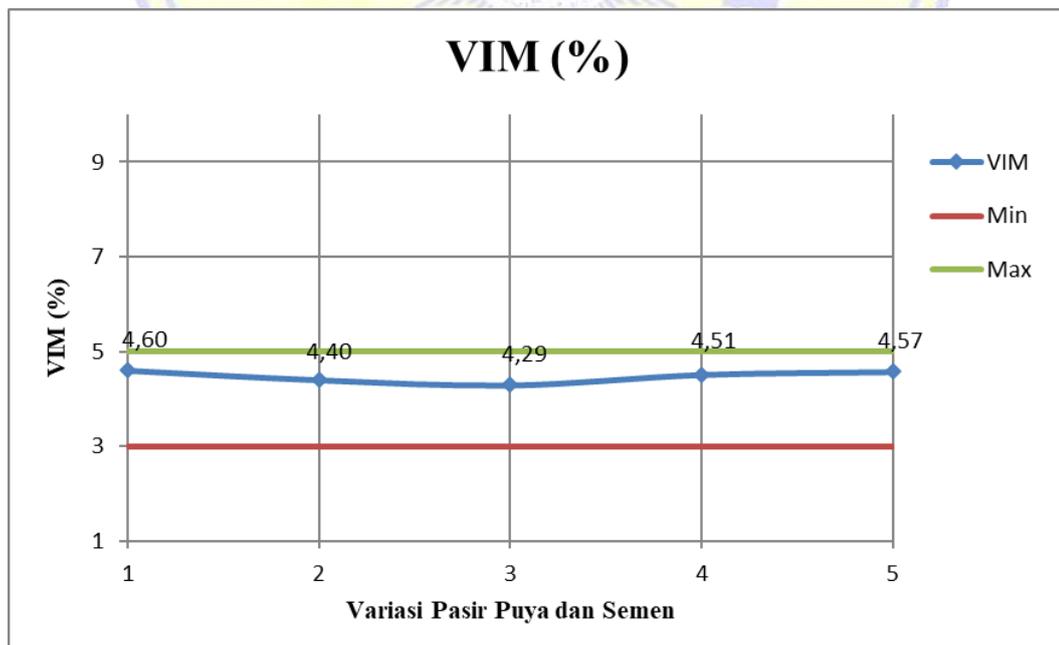
#### 4.7.3 Hasil pengujian rongga dalam campuran (*Void in The Mix/VIM*)

**Tabel 4.26** Hasil pengujian VIM (%)

Variasi pasir puya dan semen	VIM (%)	Spesifikasi	
		Min	Max
1% PP : 0% S	4,60	3%	5%
0% PP : 1% S	4,40	3%	5%
0.25% PP : 0.75% S	4,29	3%	5%
0.5% PP : 0.5% S	4,51	3%	5%
0.75% PP : 0.25% S	4,57	3%	5%

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan **Tabel 4.26**, didapatkan hasil perhitungan VIM untuk seluruh variasi yang ditambahkan pasir puya dan semen sudah memenuhi spesifikasi yaitu minimal 3% dan maksimal 5%. Mulai dari kadar variasi campuran 1% pasir puya dan 0% semen, sampai dengan variasi campuran 0,75% pasir puya dan 0,25% semen nilai VIM-nya dibawah batas maksimum yaitu 5%. Berikut grafik hubungan nilai VIM dengan variasi campuran ditampilkan pada **Gambar 4.14** berikut,



**Gambar 4.14** Grafik hubungan nilai VIM dengan variasi campuran

Nilai maksimum VIM didapatkan pada variasi ke-1 (1%PP:0%S) dengan nilai 4,60% dan menurun seiring bertambahnya kadar variasi campuran pasir puya dan semen. Yang artinya, semakin sedikit kadar variasi campuran pada agregat maka semakin besar pula pori udara pada sampel tersebut, dan semakin banyak variasi campuran pada agregat tersebut maka semakin rapat pori udara pada sampel tersebut. Jika nilai VIM kurang dari 3%, artinya rongga udara dalam campuran terlalu sedikit, sehingga aspal cenderung keluar ke permukaan, ketika terkena panas. Akibatnya, permukaan jalan menjadi licin, berbahaya bagi pengguna jalan, dan umur jalan akan lebih pendek. Sementara itu, jika nilai VIM lebih dari 5%, rongga udara terlalu banyak sehingga campuran menjadi berpori, memungkinkan air dan udara masuk ke dalam campuran. Hal ini mempercepat proses penuaan aspal dan menyebabkan pengelupasan serta keretakan dini.

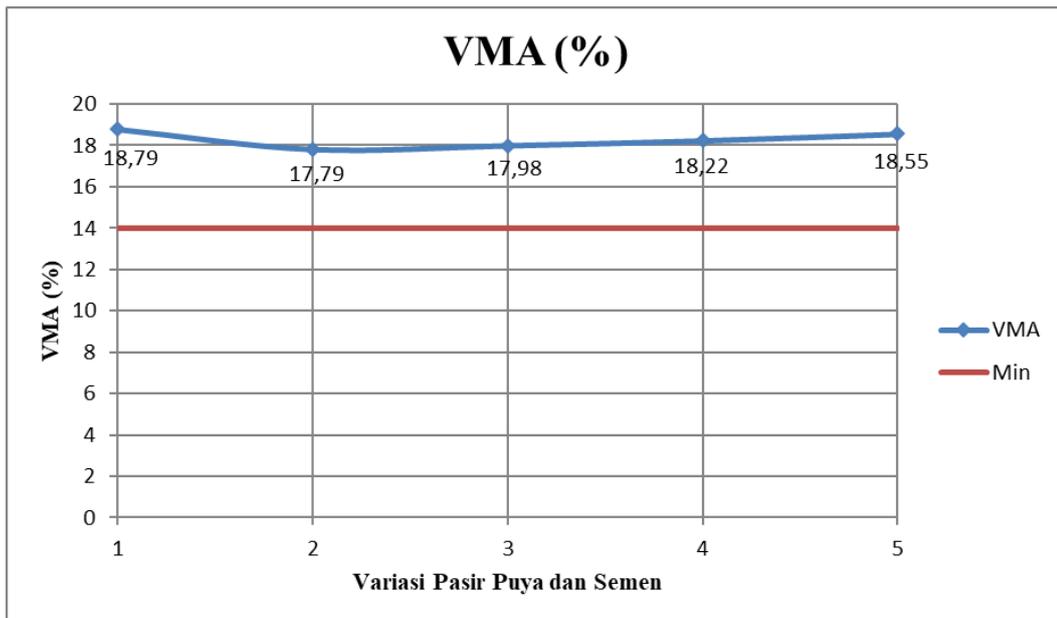
#### 4.7.4 Hasil pengujian rongga diantara mineral agregat (*Void in Mineral Agregate/VMA*)

**Tabel 4.27** Hasil pengujian VMA (%)

Variasi pasir puya dan semen	VMA (%)	Spesifikasi
1% PP : 0% S	18,79	Min. 14%
0% PP : 1% S	17,79	Min. 14%
0.25% PP : 0.75% S	17,98	Min. 14%
0.5% PP : 0.5% S	18,22	Min. 14%
0.75% PP : 0.25% S	18,55	Min. 14%

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

Berdasarkan pada **Tabel 4.27** diatas, didapatkan hasil perhitungan bahwa seluruh variasi memenuhi spesifikasi nilai VMA minimum yaitu 14%. Berikut untuk grafik hubungan nilai VMA dengan variasi campuran dapat dilihat pada **Gambar 4.15** berikut,



**Gambar 4.15** Grafik hubungan nilai VMA dengan variasi campuran

Jika nilai VMA kurang dari 14%, maka volume rongga antara agregat terlalu kecil dan aspal tidak cukup mengisi rongga tersebut. Akibatnya, kohesi campuran rendah, campuran menjadi rapuh dan mudah retak atau pecah, terutama saat terkena beban berulang. Jika nilai VMA terlalu tinggi, maka diperlukan kadar aspal yang lebih besar untuk mengisi rongga tersebut. Hal ini dapat menyebabkan kelebihan aspal, yang akhirnya membuat campuran menjadi licin dan mudah terdeformasi saat suhu tinggi.

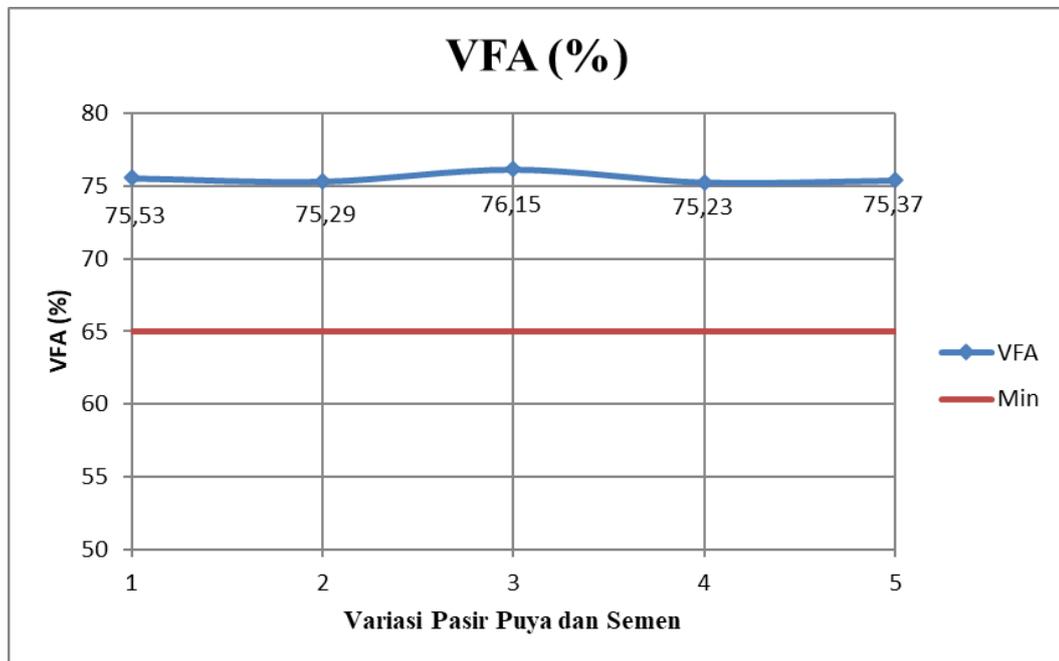
#### 4.7.5 Hasil pengujian rongga terisi aspal (*Void Filled with Asphalt /VFA*)

**Tabel 4.28** Hasil pengujian VFA (%)

Variasi pasir puya dan semen	VFA (%)	Spesifikasi
1% PP : 0% S	75,53	Min. 65%
0% PP : 1% S	75,29	Min. 65%
0.25% PP : 0.75% S	76,15	Min. 65%
0.5% PP : 0.5% S	75,23	Min. 65%
0.75% PP : 0.25% S	75,37	Min. 65%

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

Pada **Tabel 4.28** diatas, didapatkan untuk hasil perhitungan nilai VFA terkecil terdapat pada variasi 0,5% pasir puya dan 0.5% semen dengan nilai sebesar 75,23% dan telah memenuhi spesifikasi yaitu minimal 65%. Berikut untuk grafik hubungan nilai VFA dengan variasi campuran dapat dilihat pada **Gambar 4.16** berikut ,



**Gambar 4.16** Grafik hubungan nilai VFA dengan variasi campuran

Dari grafik diatas, dapat dilihat nilai rongga terisi aspal (VFA) pada semua variasi telah memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu minimal 65%. Nilai VFA cenderung naik seiring bertambahnya kadar variasi campuran pasir puya dan semen. Jika nilai VFA kurang dari 65%, maka jumlah aspal yang mengisi rongga dalam agregat tidak cukup, sehingga daya tahan campuran terhadap air dan beban menjadi rendah. Hal ini menyebabkan pengelupasan aspal dan kerusakan lebih cepat. Sebaliknya, jika nilai VFA terlalu tinggi (misalnya >85%), maka hampir seluruh rongga terisi aspal, sehingga terjadi kelebihan aspal dalam campuran. Akibatnya, dapat terjadi bleeding, permukaan jalan menjadi licin, dan dapat menurunkan keselamatan berkendara.

#### 4.8 Rekapam Hasil Analisa Parameter *Marshall*

Pada sub bab ini, menampilkan hasil dari rekapam analisa parameter *marshall* seluruh variasi campuran antara pasir puya dan semen, mulai dari variasi ke-1 (pasir puya 1% : 0% semen), variasi ke-2 (pasir puya 0% : 1% semen), variasi ke-3 (pasir

puya 0,25% : 0,75% semen), variasi ke-4 (pasir puya 0,5% : 0,5% semen), dan variasi ke-5 (pasir puya 0,75% : 0,25% semen). Dianalisa dari segi parameter *marshall* mulai dari parameter stabilitas, *flow*, VIM, VMA, dan VFA. Berikut untuk rekapitan hasil parameter *marshall* terlampir pada **Tabel 4.29** berikut,

**Tabel 4.29** Rekapitan hasil parameter *Marshall*

Variasi pasir puya dan semen	1% PP : 0% S	0% PP : 1% S	0.25% PP : 0.75% S	0.5% PP : 0.5% S	0.75% PP : 0.25% S	Spesifikasi
Berat jenis	2,325	2,356	2,350	2,343	2,334	-
Stabilitas (kg)	1247	1315	1319	1323	1327	min 800 kg
<i>Flow</i> (mm)	3,25	3,25	3,20	3,27	3,27	2mm-4mm
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	384	405	412	405	406	-
VIM (%)	4,60	4,40	4,29	4,51	4,57	3% - 5%
VMA (%)	18,79	17,79	17,98	18,22	18,55	min 14%
VFA (%)	75,53	75,29	76,15	75,23	75,37	min 65%

(Sumber: Hasil pengujian, 2025)

- 1) Stabilitas maksimum dicapai pada variasi ke-5 (0,75% pasir puya : 0,25% semen) dengan nilai sebesar 1327 kg, sedangkan stabilitas terendah ditemukan pada variasi ke-1 (1% pasir puya : 0% semen) yaitu 1247 kg. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi proporsi pasir puya dalam campuran, maka nilai stabilitas cenderung menurun. Meskipun demikian, seluruh variasi tetap memenuhi syarat minimum spesifikasi stabilitas yaitu 800 kg.
- 2) Seluruh variasi campuran memiliki nilai *flow* yang berada dalam rentang spesifikasi, yaitu antara 2 mm hingga 4 mm. Nilai *flow* tertinggi sebesar 3,27 mm diperoleh pada variasi ke-4 (0,5% pasir puya : 0,5% semen) dan ke-5 (0,75% pasir puya : 0,25% semen), sedangkan nilai terendah sebesar 3,20 mm terdapat pada variasi ke-3 (0,25% pasir puya : 0,75% semen).
- 3) Nilai VIM mendekati batas bawah ditemukan pada variasi ke-3 (0,25% pasir puya : 0,75% semen) yaitu 4,29%, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada variasi ke-1 (1% pasir puya : 0% semen) sebesar 4,60%.

- 4) Untuk nilai VMA, seluruh campuran memenuhi kriteria minimal 14%. Nilai terendah sebesar 17,79% diperoleh pada variasi ke-2 (0% pasir puya : 1% semen), sementara nilai tertinggi sebesar 18,79% terdapat pada variasi ke-1 (1% pasir puya : 0% semen).
- 5) Seluruh variasi campuran juga memenuhi standar minimal 65% untuk nilai VFA. Nilai terendah dicapai oleh variasi ke-4 (0,5% pasir puya : 0,5% semen) sebesar 75,23%, sedangkan nilai tertinggi yaitu 76,15% didapatkan pada variasi ke-3 (0,25% pasir puya : 0,75% semen).

Berdasarkan hasil tersebut, seluruh karakteristik campuran AC-WC berada dalam batas spesifikasi yang ditetapkan. Oleh karena itu, penggunaan pasir puya sebagai bahan *filler* dinilai layak dan dapat diterapkan dalam proses pencampuran aspal jenis AC-WC untuk menunjang performa perkerasan jalan.



## BAB V PENUTUP

### 5.1 Kesimpulan

- 1) Karakteristik *Marshall* dari campuran AC-WC yang menggunakan pasir puya sebagai *filler* menunjukkan hasil sebagai berikut:
  - a) **Stabilitas tertinggi** ditemukan pada variasi ke-5 (0,75% pasir puya : 0,25% semen) dengan nilai **1327 kg**, sementara nilai **stabilitas terendah** terdapat pada variasi ke-1 (1% pasir puya : 0% semen) sebesar **1247 kg**.
  - b) **Nilai flow tertinggi** sebesar **3,27 mm** dicapai pada variasi ke-4 dan ke-5, sedangkan **nilai flow terendah** sebesar **3,20 mm** terdapat pada variasi ke-3.
  - c) **Nilai VIM terendah** diperoleh pada variasi ke-3 sebesar **4,29%**, sedangkan **nilai VIM tertinggi** terdapat pada variasi ke-1 sebesar **4,60%**.
  - d) **Nilai VMA tertinggi** berada pada variasi ke-1 (1% pasir puya : 0% semen) yaitu **18,79%**, dan cenderung meningkat seiring dengan peningkatan proporsi semen dan pasir puya.
  - e) Untuk **nilai VFA**, seluruh variasi memenuhi standar minimal 65%, dengan **nilai tertinggi** sebesar **76,15%** pada variasi ke-3. Nilai VFA juga meningkat seiring bertambahnya kadar campuran semen dan pasir puya.
- 2) Berdasarkan hasil uji *Marshall* terhadap campuran aspal AC-WC dengan penggunaan pasir puya sebagai bahan pengganti *filler*, yang dikombinasikan dalam 5 variasi campuran (1% pasir puya : 0% semen), (0% pasir puya : 1% semen), (0,25% pasir puya : 0,75% semen), (0,5% pasir puya : 0,5% semen), dan (0,75% pasir puya : 0,25% semen), diperoleh **kadar aspal optimum (KAO)** sebesar **6,05%**.

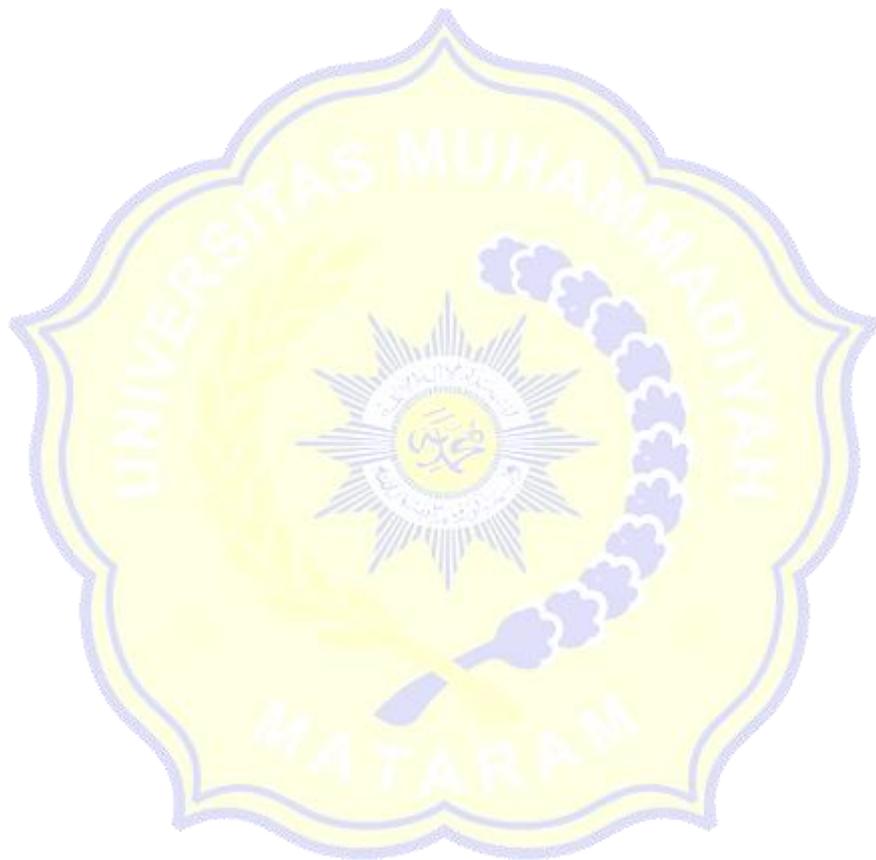
### 5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisis dan hasil kesimpulan dari penelitian ini, maka saran dari peneliti adalah sebagai berikut:

- 1) Pemanfaatan pasir puya limbah tambang emas sebagai *filler* dalam campuran aspal AC-WC menunjukkan hasil yang memenuhi spesifikasi Bina Marga. Oleh karena itu, disarankan untuk dilakukan pengujian lebih lanjut dalam

skala yang lebih besar atau pengujian lapangan, guna mengetahui kinerja campuran secara nyata terhadap lalu lintas dan cuaca ekstrem.

- 2) Diharapkan kepada instansi terkait seperti Dinas Pekerjaan Umum dan pengelola tambang rakyat agar lebih memperhatikan potensi pemanfaatan limbah tambang sebagai material konstruksi, sehingga dapat mendukung pembangunan berkelanjutan dan pengurangan limbah di lingkungan sekitar tambang.



## DAFTAR PUSTAKA

- Bahri, M. (2017). *Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas*. [Skripsi]. Universitas Negeri.
- Bina Marga. (1987). *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton (Laston)*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Departemen Pekerjaan Umum.
- Bina Marga. (2010). *Spesifikasi Umum Bina Marga untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR.
- Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga Divisi 6*. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR.
- Dulaimi, A. (2023). *Review of Alternative Fillers in Asphalt Mixtures: Performance and Environmental Benefits*. *Construction and Building Materials*, 347, 128572.
- Hamzah, A., dkk. (2016). *Studi Pengaruh Bahan Pengisi terhadap Karakteristik Campuran Beraspal*. *Jurnal Teknik Sipil*, 25(2), 107-114.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). *Teknologi Bahan Konstruksi Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Ibrahim, A., & Saelan, M. (2019). *Pemanfaatan Abu Batu sebagai Pengganti Pasir dalam Campuran Beton*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 8(1), 45-52.
- Isnanda, R., dkk. (2017). *Pemanfaatan Material Sisa Tambang sebagai Filler Alternatif dalam Campuran Aspal*. *Jurnal Teknik Sipil*, 6(2), 55-62.
- Putrowijoyo. (2006). *Pengaruh Filler Abu Batu dan Semen terhadap Karakteristik AC-WC*. [Skripsi]. Universitas Diponegoro, Semarang.
- Santosa, R. (2019). *Pemanfaatan Serbuk Besi sebagai Bahan Tambah pada Campuran AC-WC*. *Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 35-41.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Nova.
- Suhardi, A., dkk. (2016). *Analisis Perbandingan Gradasi Aspal Beton (AC) pada Laston*. *Jurnal Konstruksia*, 8(1), 20-28.
- Umma Chintya Devi, dkk. (2021). *Pengaruh Serbuk Besi terhadap Kinerja Campuran Aspal AC-WC*. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Desain*, 4(1), 19-27.
- Waani, D. (2013). *Karakteristik Agregat dalam Konstruksi Jalan Raya*. *Jurnal Sipil Statik*, 1(2), 122–130.

- Zhao, Y. (2022). *Mechanical Performance of Asphalt Mixtures with Medical Waste Incineration Fly Ash (MWIFA)*. *Journal of Cleaner Production*, 336, 130387.
- Zulfikar, M., dkk. (2014). *Pengaruh Penggunaan Semen sebagai Filler terhadap Stabilitas Campuran Laston*. *Jurnal Konstruksi*, 3(1), 60-66.
- Haryati, N. (2016). *Pengaruh Abu Batu terhadap Karakteristik Marshall pada Laston AC-WC*. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Negeri Semarang*, 5(2), 110–117.
- Nasution, A. A., & Siregar, S. B. (2020). *Studi Penggunaan Serbuk Besi sebagai Filler terhadap Karakteristik Campuran AC-WC*. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 24(1), 35–42.

