

**STUDI PENGARUH ZEOLIT SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER  
TERHADAP CAMPURAN ASPAL  
AC-WC MENGGUNAKAN SPESIFIKASI BINA MARGA  
TUGAS AKHIR**

**Karya Tulis sebagai salah satu syarat  
untuk memperoleh gelar sarjana dari  
Universitas Fajar**

**Oleh  
Revaldo Charles Patandean  
1920121084**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR  
2024**

**STUDI PENGARUH ZEOLIT SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI  
FILLER TERHADAP ASPAL AC-WC MENGGUNAKAN  
SPESIFIKASI BINA MARGA**

Disusun dan diajukan oleh:

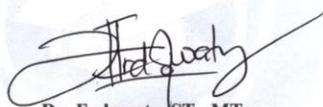
**Revaldo Charles Patandean**  
1920121084

Menyetujui

Tim Pembimbing

Makassar, 06 Februari 2024

Pembimbing



**Dr. Erdawaty, ST., MT.**  
NIDN. 0921047802

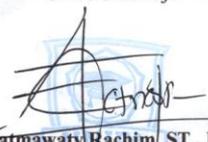
Mengetahui:

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Fajar



**Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT.**  
NIDN. 0906107701

Ketua Program Studi Teknik Sipil  
Universitas Fajar



**Fatmawaty Rachim, ST., MT.**  
NIDN. 0919117903

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa tugas akhir dengan judul “ **STUDI PENGARUH ZEOLIT SEBAGAI BAHAN SUBSTITUSI FILLER TERHADAP ASPAL AC-WC MENGGUNAKAN**” adalah karya orisinal penulis dan setiap serta seluruh sumber acuan telah ditulis sesuai dengan penulisan ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar Makassar

Makassar, 13 Mei 2024

Yang Menyatakan

  
  
**Revaldo Charles Patandean**

## ABSTRAK

### **Studi pengaruh Zeolit Sebagai Substitusi Filler Terhadap Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Spesifikasi Bina Marga, Revaldo Charles Patandean.**

Salah satu bahan pengganti filler yang berpotensi adalah batu zeolit. Di Indonesia tercatat endapan zeolit di 20 lokasi dengan jumlah sumber daya 447.490.160 ton, seperti di provinsi Jawa Barat mempunyai sumber daya 185.595.160 ton provinsi Lampung sumber daya 43.800.000 ton, Provinsi Nusa Tenggara Timur sumber daya 6.115.000 ton, Provinsi Sulawesi Barat sumber dayanya 26.400.000 ton, Provinsi Sulaesi Selatan sumber dayanya 169.880.000 ton, dan Provinsi Sumatra Utara sumber dayanya 16.200.000. Batu zeolit mempunyai potensi untuk menggantikan agregat pada perkerasan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh Batu Zeolit terhadap campuran perkerasan aspal AC-WC, dengan spesifikasi umum Bina Marga. Variabel bebas pada penelitian ini yaitu variasi kadar aspal 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; dan 7%, dan variasi limbah aspal yang digunakan yaitu 0/100; 50/50; dan 100/0, jumlah tumbukan yang digunakan adalah 2x75. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah marshall dan cantabro guna mengetahui karakteristik campuran. Hasil pengujian menunjukkan pada penggunaan Batu Zeolit sebagai substitusi filler dengan variasi 50/50 yang menggunakan jumlah tumbukan 2x75 mempunyai pengaruh yang stabil dan terbaik terhadap karakteristik marshall seperti nilai stabilitas sebesar 942,40 Kg, Flow sebesar 2,84 mm, VFB sebesar 74,48%, VMA sebesar 16,37%, VIM sebesar 4,19% dan MQ sebesar 332,82 Kg/mm. Pada variasi 100/0 dengan jumlah tumbukan 2x75 juga mendapatkan pengaruh yang stabil seperti nilai stabilitas sebesar 932,44 Kg, Flow sebesar 3,31 mm, VFB sebesar 72,67%, VMA sebesar 19,90%, VIM sebesar 4,79% dan MQ sebesar 284,93 Kg/mm. Pengujian cantabro juga mendapatkan nilai tertinggi pada variasi 100/0 memenuhi dengan nilai rata-rata kehilangan sebesar 7,901. Dengan demikian, campuran tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018.

**Kata kunci:** *Kadar Aspal Optimum, Karakteristik Marshall, Batu Zeolit, Cantabro.*

## **ABSRTACT**

*Study on the Influence of Zeolite as a Filler Substitute on AC-WC Asphalt Mixtures Using Bina Marga Specifications, Revaldo Charles Patandean. One potential substitute material for filler is zeolite stone. In Indonesia, zeolite deposits are recorded in 20 locations with a total resource of 447,490,160 tons, such as in West Java province with resources of 185,595,160 tons, Lampung province with resources of 43,800,000 tons, East Nusa Tenggara province with resources of 6,115,000 tons, West Sulawesi province with resources of 26,400,000 tons, South Sulawesi province with resources of 169,880,000 tons, and North Sumatra province with resources of 16,200,000 tons. Zeolite stone has the potential to replace aggregates in road pavement. This study aims to determine the extent of the influence of Zeolite Stone on AC-WC asphalt pavement mixtures, with Bina Marga's general specifications. The independent variables in this study are variations in asphalt content of 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%, 6.5%, and 7%, and variations in asphalt waste used are 0/100, 50/50, and 100/0, with a total compaction of 2x75. The methods used in this study are Marshall and Cantabro to determine the mixture characteristics. The test results show that the use of Zeolite Stone as a filler substitute with a 50/50 variation using a total compaction of 2x75 has a stable and optimal effect on Marshall characteristics such as stability value of 942.40 Kg, Flow value of 2.84 mm, VFB (Voids Filled with Bitumen) value of 74.48%, VMA (Voids in Mineral Aggregate) value of 16.37%, VIM (Voids in Mineral Aggregate) value of 4.19%, and MQ (Marshall Quotient) value of 332.82 Kg/mm. In the 100/0 variation with a total compaction of 2x75, it also shows stable effects such as stability value of 932.44 Kg, Flow value of 3.31 mm, VFB value of 72.67%, VMA value of 19.90%, VIM value of 4.79%, and MQ value of 284.93 Kg/mm. Cantabro testing also obtains the highest value in the 100/0 variation, meeting the average loss value of 7.901. Thus, the mixture meets the requirements of the 2018 Bina Marga specifications*

**Keywords:** *Optimum Asphalt Content, Marshall Characteristics, Zeolite Stone, Cantabro.*

## KATA PENGANTAR

Ucapan syukur penulis panjatkan kepada TUHAN yang Maha Esa, atas berkat dan anugerahnya penulisan karya ilmiah berupa skripsi dapat terselesaikan dengan baik. Tesis menjadi syarat untuk meraih gelar sarjana pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Fajar Makassar. Skripsi merupakan karya ilmiah, yang menjadi sarana untuk mengembangkan keinginan untuk terus mengembangkan diri dalam ilmu pengetahuan.

Dalam skripsi penelitian ini membahas tentang “**Studi pengaruh Zeolit Sebagai Substitusi Filler Terhadap Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Spesifikasi Bina Marga**”. Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam penulisan ini, oleh sebab itu penulis memohon kritik dan saran yang membangun dari pembaca, agar kedepannya penulisan karya ilmiah selanjutnya dapat lebih baik lagi. Tidak lupa penulis menyadari proposal ini dapat terselesaikan berkat dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh sebab itu izinkanlah penulis mengungkapkan rasa terima kasih kepada beberapa pihak yang terkait yaitu:

1. Dekan Fakultas Teknik Universitas Fajar Makassar, Ibu Prof. Dr. Erniati, ST., MT.
2. Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Fajar, Ibu Fatmawaty Rachim, ST., MT.
3. Dosen Pembimbing, Ibu Dr Erdawaty, ST., MT.
4. Kedua Orang Tua dan keluarga besar saya yang selalu memberi dukungan, bimbingan serta doanya, agar penulis selalu diberi kemudahan dan keberhasilan.
5. Kristiani Tesi Patattan S.Kom yang selalu memberikan dukungan dan bantuan dalam segala hal.
6. Teman – teman seangkatan 2019, di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Fajar.
7. Serta semua pihak dengan segala kerendahan hati mau membantu saya dalam penyelesaian karya tulis ini.

Semoga segala amal kebaikan yang telah ditabur dapat dibalaskan oleh Tuhan Yang Maha Esa. Semoga penelitian ini dapat berguna dan bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan khususnya penelitian dibidang campuran perkerasan yang menggunakan batu zeolit. Sehingga kedepannya diharapkan batu zeolite dapat digunakan.

Makassar, 29 Februari 2024

Penyusun

**Revaldo Charles Patandean**

(1920121084)

## DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL .....	i
LEMBAR PENGESAHAN .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
ABSTRAK .....	iv
<i>ABSRTACT</i> .....	v
KATA PENGANTAR .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	xi
DAFTAR TABEL .....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
DAFTAR SINGKATAN .....	xv
BAB I .....	1
PENDAHULUAN .....	1
I.1    Latar Belakang .....	1
I.2    Rumusan Masalah .....	3
I.3    Maksud dan Tujuan .....	3
I.4    Batasan Masalah .....	3
BAB II .....	5
KAJIAN PUSTAKA .....	5
II.1    Perkerasan Jalan .....	5
II.1.1    Konstruksi Perkerasan Lentur .....	5
II.2    Agregat .....	7
II.2.1    Agregat Kasar .....	8
II.2.2    Batu Zeolit .....	8
II.2.3    Agregat Halus .....	9
II.2.4    Bahan Pengisi (Filler) .....	10

II.3	Aspal.....	10
II.3.1	Sifat Aspal.....	11
II.3.2	Aspal Minyak.....	11
II.4	Pemadatan Aspal .....	13
II.4.1	Faktor Pengaruh Pemadatan.....	14
II.5	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	16
II.6	Karakteristik Marshall .....	17
II.7	Karakteristik <i>Cantabro</i> .....	20
II.8	Penelitian Terdahulu.....	21
BAB III-----		27
METODE PENELITIAN-----		27
III.1	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	27
III.2	Alat dan Bahan Penelitian .....	27
III.2.1	Alat yang digunakan dalam penelitian.....	27
III.2.2	Bahan yang digunakan dalam penelitian.....	29
III.3	Langkah Kerja .....	29
III.4	Uji <i>Marshall</i> .....	31
III.5	Uji <i>Cantabro</i> .....	32
III.6	Olah Data.....	33
III.7	Analisis Data .....	36
III.8	Bagan Alir Penelitian .....	37
Gambar III. 4 Bagan Alur Penelitian-----		37
III.9	Pembuatan Benda Uji.....	38
BAB IV-----		39
HASIL DAN PEMBAHASAN-----		39
IV.1	Hasil Uji Karakteristik Material .....	39
IV.1.1	Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat.....	39
IV. 2	Pengujian Kadar Aspal Optimum.....	41
IV.3	Gradasi Gabungan Agregat .....	51

IV.4	Pembuatan Benda Uji Menggunakan Filler Substitusi Batu Zeolit 0/100, 50/50, dan 100/0 .....	53
IV.4.1	Proporsi Perbandingan Agregat Alam dengan Filler Batu Zeolit.....	53
IV.5	Pengujian Campuran Aspal .....	55
IV.5.1	Marshall Test .....	55
IV.5.2	Pengujian Cantabro.....	61
BAB V	-----	64
PENUTUP	-----	64
V.1	Kesimpulan.....	64
V.2	Saran .....	64
DAFTAR PUSTAKA	-----	65
LAMPIRAN	-----	67

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1 Struktur Perkerasan Jalan .....	6
Gambar II.2 Batu Zeolit .....	9
Gambar II.3 Pemadatan Campuran Beraspal .....	13
Gambar II.4 Benda Uji Sebelum Dan Sesudah Mengalami Keausan .....	20
Gambar III.1 Lokasi Penelitian .....	27
Gambar III.2 Alat Pengujian Marshall.....	32
Gambar III.3 Alat Uji Cantabro .....	33
Gambar III.4 Bagan Alur Penelitian .....	37
Gambar IV.1 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Berat Isi.....	45
Gambar IV.2 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan VIM.....	46
Gambar IV.3 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan VMA .....	47
Gambar IV. Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan VFB .....	48
Gambar IV. Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Flow .....	48
Gambar IV.6 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas .....	49
Gambar IV.7 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Marshall quotient .....	49
Gambar IV.8 Kurva Gradasi Gabungan Agregat .....	52
Gambar IV.9 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai VIM .....	56
Gambar IV.10 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai VFB .....	57
Gambar IV.11 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai VMA.....	58
Gambar IV.12 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai Stabilitas .....	59
Gambar IV.13 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai Kelelehan.....	60
Gambar IV.14 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai MQ .....	61
Gambar IV.15 Grafik Uji Cantabro .....	62

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel II.1 Persyaratan dan spesifikasi agregat kasar .....	8
Tabel II.2 Persyaratan dan spesifikasi agregat halus .....	10
Tabel II.3 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Minyak Pen 60/70.....	13
Tabel II.4 Ketentuan Viskositas Aspal pada Saat Pemasatan.....	15
Tabel III.1 Alat Pengujian Aspal .....	27
Tabel III.2 Alat Pengujian Agregat.....	28
Tabel III.3 Alat Bantu Lainnya .....	29
Tabel III.4 Alat Pengujian.....	29
Tabel III.5 Pengujian Agregat.....	30
Tabel III.6 Jumlah Benda Uji.....	31
Tabel III.7 Metode Pengujian Karakteristik Campuran Aspal.....	33
Tabel III.8 Ketentuan Spesifikasi Lapisan Aspal.....	36
Tabel IV. 1 Sifat-Sifat Fisik Agregat Kasar.....	39
Tabel IV.2 Sifat-Sifat Fisik Agregat Halus.....	40
Tabel IV.3 Sifat -Sifat Fisik Batu Zeolit.....	41
Tabel IV.4 Kadar Aspal Optimum 4,5%.....	41
Tabel IV.5 Kadar Aspal Optimum 5% .....	42
Tabel IV. 6Kadar Aspal Optimum 5,5%.....	42
Tabel IV7 Kadar Aspal Optimum 6% .....	43
Tabel IV.8 Kadar Aspal Optimum 6,5% .....	44
Tabel IV.9 Kadar Aspal Optimum 7% .....	44
Tabel IV.10 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum.....	45
Tabel IV.11 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum.....	50
Tabel IV.12 Gradasi Gabungan Agregat.....	52
Tabel IV.13 Proporsi Campuran Agregat Alam dengan Agregat Abu Batu Zeolit 0/100.....	53
Tabel IV.14 Proporsi Campuran Agregat Alam dengan Agregat Abu Batu Zeolit Aspal 50/50 .....	54

Tabel IV.15 Proporsi Campuran Agregat Alam dengan Agregat Abu Batu Zeolit 100/0.....	54
Tabel IV.16 Pengujian Marshall .....	55
Tabel IV.17 Hasil Pengujian Cantabro .....	62

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1 Pemeriksaan Absorpsi dan Berat Jenis Agregat Kasar.....	69
Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus .....	70
Lampiran 3 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar.....	71
Lampiran 4 Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat Kasar .....	72
Lampiran 5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus.....	73
Lampiran 6 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar .....	74
Lampiran 7 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus .....	75
Lampiran 8 Pemeriksaan Analisa Saringan .....	76
Lampiran 9 Analisa Data Bricket Gradasi Bina Marga .....	77
Lampiran 10 Analisa Nilai Variasi Penggunaan Limbah Aspal .....	78
Lampiran 11 Analisa Data Pengujian Marshal .....	79
Lampiran 12 Analisa Data Pengujian Cantabro.....	78
Lampiran 13 Dokumentasi Pengujian.....	79

## DAFTAR SINGKATAN

SINGKATAN	NAMA	Pemakaian Pertama Kali Pada Halaman
RAP	<i>Reclaimed Asphalt Pavement</i>	2
KAO	Kadar Aspal Optimum	3
AASHTO	<i>American Association Of State Highway and Transportation</i>	3
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>	10
VMA	<i>Void in Mineral Agregat</i>	16
VIM	<i>Void in Mix</i>	16
VFB	<i>Void Filled With Bitumen</i>	16
MQ	<i>Marshall Quetient</i>	22
AC-BC	<i>Aspal Concrete–Binder Course</i>	24
AC-WC	<i>Asphal Concrete-Wearing Course</i>	25
AAPA	<i>Australian Asphalt Pavement Association</i>	26

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **I.1 Latar Belakang**

Negara-negara Asia memiliki curah hujan dan kelembapan yang relatif signifikan, sehingga iklim secara keseluruhan lembab. Kerusakan jalan di Indonesia 40% disebabkan oleh air dan 30% disebabkan oleh kelebihan muatan dan sisanya karena bencana alam (Kemenhub, 2014). Kerusakan jalan di ibu kota dan kota-kota terdekat. Kerusakan jalan seringkali menyebabkan kerusakan ringan hingga serius pada kendaraan kita. Akibatnya, kita membahayakan keselamatan kita sebagai pengguna jalan. Kerusakan terjadi akibat faktor cuaca, kontur tanah yang tidak stabil, bahkan kualitas aspal yang buruk semuanya dapat menyebabkan kerusakan. Jumlah kendaraan yang melintas di jalur tersebut cukup banyak, terutama didominasi oleh truk-truk besar. Ini meningkatkan tekanan pada tanah, menciptakan lapisan aspal tidak stabil dan tidak rata. Oleh karena itu perlu menjadi pertimbangan dan perhatian khusus Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Provinsi Sulawesi Selatan.

Penggunaan aspal sebagai bahan konstruksi jalan telah menjadi salah satu pilihan yang umum digunakan di seluruh dunia. Namun, semakin terbatasnya pasokan material pada campuran aspal yang berkualitas dan semakin meningkatnya harga bahan tersebut telah menimbulkan kekhawatiran dalam industri konstruksi jalan. Oleh karena itu, alternatif pengganti material pada campuran aspal perlu dipertimbangkan.

Aspal Beton (AC) adalah salah satu material konstruksi jalan yang sangat umum digunakan di Indonesia. Campuran Aspal Beton dengan agregat halus (AC-WC) digunakan untuk memenuhi kebutuhan struktural dan fungsional pada jalan raya. Namun, penggunaan filler yang semakin meningkat menyebabkan pengurangan sumber daya alam yang semakin terbatas, serta meningkatkan biaya produksi dan transportasi material. Oleh karena itu, alternatif bahan pengganti agregat halus sangat dibutuhkan. Salah satu bahan pengganti agregat halus yang berpotensi adalah batu zeolit. Di Indonesia tercatat endapan zeolit di 20 lokasi

dengan jumlah sumber daya 447.490.160 ton, seperti di provinsi Jawa Barat mempunyai sumber daya 185.595.160ton provinsi Lampung sumber daya 43.800.000 ton, Provinsi Nusa Tenggara Timur sumber daya 6.115.000 ton, Provinsi Sulawesi Barat sumber dayanya 26.400.000 ton, Provinsi Sulaesi Selatan sumber dayanya 169.880.000 ton, dan Provinsi Sumatra Utara sumber dayanya 16.200.000

Spesifikasi Bina Marga merupakan salah satu pedoman teknis yang umum digunakan dalam pembangunan perkerasan jalan di Indonesia. Pedoman ini mengatur tentang bahan-bahan dan teknis yang harus dipenuhi dalam proses pembangunan perkerasan jalan. Oleh karena itu, penelitian mengenai batu zeolit terhadap perkerasan jalan dengan memperhatikan spesifikasi Bina Marga menjadi sangat penting, terutama dalam memenuhi persyaratan teknis yang diperlukan pada perkerasan jalan. Zeolit merupakan suatu kelompok mineral yang dihasilkan dari proses hidrotermal pada batuan beku basa.

Zeolit memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi. Partikel-partikel kecil zeolit dapat mengisi celah-celah di antara butiran agregat dalam struktur campuran perkerasan jalan. Selain itu, zeolit juga memiliki sifat sementasi (pozzolan) karena kandungan silica yang tinggi, yang berperan sebagai pengikat agregat untuk meningkatkan kepadatan campuran. Dengan potensi dan manfaat mineral zeolit yang signifikan, penulis melakukan penelitian untuk mengevaluasi dampak penggunaan zeolit sebagai agregat halus dalam campuran aspal beton hangat.

Pemadatan adalah langkah untuk memampatkan campuran beraspal sehingga mendapatkan kekuatan, stabilitas, dan rongga yang memadai. Di lapangan, pemadatan dilakukan menggunakan Roller Tandem, sementara di laboratorium, proses ini disimulasikan dengan membebani campuran dalam cetakan. Pembebanan aspal di laboratorium menggunakan whole hummer untuk menumbuk permukaan campuran hingga padat, yang berdampak pada kekuatan aspal dalam menahan beban lalu lintas dan stabilitasnya, yang memengaruhi kualitas umur perkerasan lentur. (Andhikatama, 2013).

Maka, penulis melakukan penelitian dengan judul: **Studi pengaruh Zeolit Sebagai Substitusi Filler Terhadap Campuran Aspal AC-WC Menggunakan Spesifikasi Bina Marga**". Diharapkan hasil penelitian ini dapat memberikan rekomendasi yang bisa digunakan untuk pengembangan teknologi penggunaan batu zeolit pada perkerasan jalan.

## **I.2 Rumusan Masalah**

Dengan mengacu pada informasi yang telah dijelaskan sebelumnya dan mempertimbangkan masalah yang teridentifikasi, maka masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Berapa nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang akan digunakan pada campuran aspal AC-WC?
2. Bagaimana nilai karakteristik *marshall* dengan penggunaan batu zeolit terhadap aspal AC-WC, spesifikasi Bina Marga, 2018?
3. Bagaimana nilai cantabro dengan penggunaan batu zeolit terhadap aspal AC-WC, spesifikasi Bina Marga, 2018?

## **I.3 Maksud dan Tujuan**

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan batu zeolit dengan variasi tumbukan terhadap campuran aspal AC-WC dengan spesifikasi umum Bina Marga. Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang akan digunakan pada campuran aspal AC-WC.
2. Mengetahui nilai karakteristik *marshall* dengan penggunaan batu zeolite terhadap aspal AC-WC, spesifikasi Bina Marga, 2018.
3. Mengetahui nilai cantabro dengan penggunaan batu zeolit terhadap aspal AC-WC, spesifikasi Bina Marga, 2018.

## **I.4 Batasan Masalah**

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan baik dan lebih terarah maka dibutuhkan batasan-batasan masalah, sehingga penelitian bersifat objektif dan

sistematis serta memberikan hasil sesuai apa yang diharapkan. Adapun batasan-batasan masalahnya yaitu:

1. Penelitian ini dilakukan dengan pengujian skala laboratorium.
2. Menggunakan peraturan Spesifikasi Bina Marga 2018.
3. Variasi penggunaan batu zeolit yang digunakan adalah 0% 50% 100%
4. Menggunakan penetrasi 60/70
5. Pengujian yang dilaksanakan dalam penelitian ini yaitu *Marshall Test* dan *Cantabro Loss*.
6. Menggunakan batu zeolit yang lolos saringan 200.
7. Sebagai substitusi abu batu.

## **BAB II**

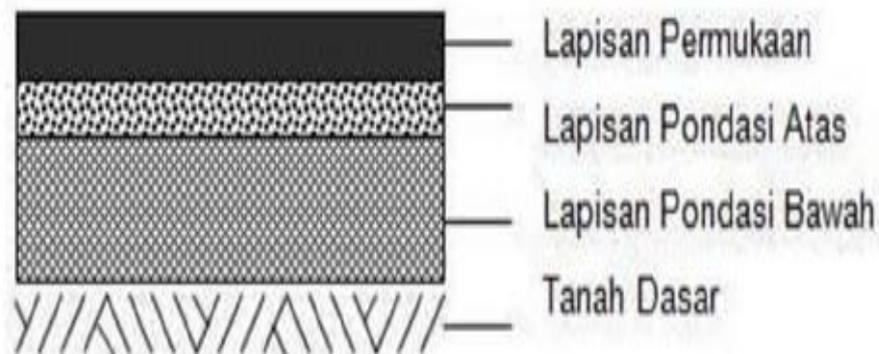
### **KAJIAN PUSTAKA**

#### **II.1 Perkerasan Jalan**

Perkerasan jalan adalah campuran dari agregat dan bahan pengikat yang ditempatkan di atas tanah dasar melalui pemadatan, bertujuan untuk melayani beban lalu lintas dan mengurangi tegangan yang dihasilkan oleh beban roda sehingga mencapai tingkat nilai yang dapat diterima oleh tanah yang menopang beban tersebut. Fungsinya sebagai lapisan perkerasan antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan diharapkan dapat bertahan selama masa pelayanan tanpa kerusakan yang signifikan. Perkerasan jalan adalah lapisan yang ditempatkan di antara tanah dasar dan roda kendaraan dengan tujuan memberikan pelayanan yang optimal dan menghindari kerusakan yang signifikan selama digunakan. Untuk memastikan kualitas yang diinginkan dari perkerasan jalan, pengetahuan tentang sifat, sumber daya, dan pemrosesan bahan yang digunakan dalam pembuatannya sangat penting (Sukirman, 2003).

##### **II.1.1 Konstruksi Perkerasan Lentur**

Perkerasan Lentur (*flexible pavement*) menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya sehingga memiliki sifat perkerasan yang lebih lentur dengan deformasi yang lebih besar. Perkerasan ini direncanakan dapat bertahan selama 20 tahun dengan mempertimbangkan peningkatan lalu-lintas setiap tahunnya, namun bila konstruksinya dikerjakan dengan baik dan bahan material yang sesuai dengan standar spesifikasi dan desain digunakan dengan benar, umur perkerasan dapat melebihi 20 tahun. Perkerasan jalan yang lentur dibuat dengan beberapa lapisan agar mampu menahan beban kendaraan dan meneruskannya ke lapisan di bawahnya:



Gambar II. 1 Struktur Perkerasan

Sumber: *Perkerasan Jalan Raya, 2015*

Berdasarkan fungsinya, Struktur Perkerasan Lentur pada gambar di atas terdiri dari:

1. Tanah Dasar (*Subgrade*)

Permukaan tanah yang belum diolah atau permukaan tanah yang telah diolah dan dipadatkan merupakan dasar untuk meletakkan elemen-elemen perkerasan yang lain. Hal ini disebut sebagai tanah dasar. Karakteristik dan daya tahan perkerasan jalan sangat tergantung pada kekuatan dan kapasitas dukung tanah dasar. Beberapa masalah umum yang muncul pada tanah dasar meliputi:

- a. Karakteristik tanah tertentu dapat mengalami perubahan volume karena perubahan kadar air yang mempengaruhi sifat mengembang dan menyusut.
- b. Dampak dari beban lalu lintas pada jenis tanah tertentu dapat menyebabkan perubahan bentuk yang permanen (deformasi permanen).
- c. Penentuan daya dukung tanah yang sulit dan tidak merata karena terpengaruh oleh kondisi pelaksanaan atau variasi jenis dan lokasi tanah yang berbeda

## 2. Lapisan Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapisan Pondasi Bawah terletak di antara Lapisan Pondasi dan tanah dasar pada struktur perkerasan jalan. Lapis pondasi bawah berfungsi:

- a. Komponen struktural jalan yang bertanggung jawab untuk menahan dan menyalurkan beban kendaraan roda.
- b.
- c. Efisiensi penggunaan bahan yang ekonomis dapat dicapai dan dapat mengurangi ketebalan sisa lapisan (mengurangi biaya konstruksi).
- d. Menghindari masuknya tanah dasar ke dalam lapisan pondasi.
- e. Untuk mempermudah pelaksanaan, lapisan ini ditempatkan sebagai lapisan pertama.

## 3. Lapisan Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis Pondasi atas adalah bagian perkerasan yang berada di antara lapisan permukaan jalan dan lapis pondasi bawah (atau tanah dasar jika tidak ada lapis pondasi bawah yang digunakan). Fungsi lapis pondasi ini adalah:

- a. Berperan sebagai komponen perkerasan yang mendukung beban kendaraan
- b. Berfungsi sebagai lapisan penempatan untuk lapisan permukaan.

## 4. Lapisan Permukaan (*Surface Course*)

Lapis Permukaan adalah bagian perkerasan jalan yang terletak di paling atas. Lapisan teratas perkerasan jalan memiliki peran, yaitu:

- a. Berfungsi sebagai struktur teratas yang menahan dan menopang beban kendaraan.
- b. pelindung jalan dari kerusakan akibat cuaca dengan menjadi lapisan kedap air.
- c. Berfungsi sebagai *wearing course* atau lapisan keausan

## II.2 Agregat

Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yang sangat penting dan memainkan peran dalam menentukan daya dukung dan ketahanan perkerasan jalan terhadap cuaca. Agregat membentuk sekitar 90-95%

dari berat total atau 75-85% dari volume total lapisan perkerasan jalan. Oleh karena itu, karakteristik agregat dan hasil pencampuran dengan material lain sangat mempengaruhi daya dukung, ketahanan dan kualitas perkerasan jalan.

### II.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan jenis agregat yang lolos saringan dengan ukuran  $\frac{3}{4}$  (19,1 mm) dan tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm). Pada campuran aspal, agregat kasar terdiri dari batu pecah yang tidak mengandung lempung, kuat, kering, bersudut, serta memiliki tekstur permukaan yang tidak membulat. Agregat kasar harus mengandung partikel halus yang tidak lebih dari 20% dari berat total agregat. Penggunaan agregat kasar pada campuran aspal berfungsi sebagai pengunci (interlocking) antara material lainnya. Selain itu, bentuk dan tekstur partikel agregat kasar, seperti bulat, lonjong, kubus, pipih, dan tidak beraturan, juga dapat mempengaruhi sifat lapisan perkerasan, pengerjaan campuran, pemadatan, dan kekuatan perkerasan. Oleh karena itu, sifat agregat dan hasil campuran dengan material lain sangat menentukan daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan.

Tabel II 1 Persyaratan dan spesifikasi agregat kasar

Ukuran Saringan	Persentase Lolos atau Berat (%)
19,0 mm	100
12,5 mm	30 – 100
9,5 mm	0 – 55
4,75 mm	0 – 10
0,075 mm	0 – 1

Sumber: Buku 3 Spesifikasi PPJ PU Bina Marga 2018

### II.2.2 Batu Zeolit

Zeolit adalah struktur silikat dengan ruang kosong yang besar, yang mampu menahan kation seperti natrium (Na<sup>+</sup>) dan kalsium (Ca<sup>2+</sup>) serta molekul air (H<sub>2</sub>O). Sebagian besar zeolit memiliki kemampuan untuk menyerap atau melepaskan air tanpa merusak struktur kristal mereka. Zeolit sintetis yang saat ini digunakan dalam

desain campuran aspal, seperti Aspha-min dari Jerman (Eurovia) dan Advera dari Amerika Serikat, mampu mengurangi suhu pencampuran, penghampaan, dan pemadatan campuran beraspal tanpa mengganggu workability dan kualitasnya (Alonso, dkk, 2013). Kedua jenis zeolit tersebut mampu menahan air hingga 18–21% dari berat zeolit.



Gambar II. 2 Batu Zeolit

### II.2.3 Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat yang memiliki ukuran lebih kecil dari saringan No. 8 (2,36 mm) dan lebih besar dari saringan No. 200 (0,075 mm). Agregat ini terdiri dari batu pecah yang sudah tersaring atau pasir alam yang bersih, keras, dan tidak mengandung lempung atau bahan yang tidak diinginkan. Karakteristik agregat halus terutama bergantung pada jenis, bentuk, dan tekstur permukaan dari agregat tersebut. Agregat halus pada campuran aspal berfungsi sebagai:

1. Memperkecil pori-pori agregat kasar untuk meningkatkan stabilitas campuran dan memperkuat sifat interlocking agregat kasar.
2. Untuk mendapatkan permukaan yang tidak licin dengan kadar aspal yang diinginkan, penting untuk menyeimbangkan komposisi penggunaan agregat kasar dan halus. Selain itu, agregat halus juga berperan penting dalam menjaga keawetan campuran. Namun, harus diingat bahwa keawetan ini dapat menurun jika proporsi campuran secara keseluruhan tidak seimbang atau tidak sesuai dengan kebutuhan.

Tabel II 2 Persyaratan dan spesifikasi agregat halus

Ukuran Saringan		Persen Berat Yang Lolos Berat
Mm	ASTM	
9,50	3/8 “	100
4,74	No. 4	90 – 100
2,36	No. 8	80 – 100
0,60	No. 30	24 – 100
0,075	No. 200	3 – 11

Sumber: Buku 3 Spesifikasi PPJ PU Bina Marga 2018

#### II.2.4 Bahan Pengisi (Filler)

*Filler* adalah bahan pengisi yang memiliki peran penting dalam mengisi rongga-rongga dalam campuran material. Pada perkerasan jalan, *filler* digunakan untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran. Bahan pengisi umumnya terdiri dari bahan non-plastis yang lolos saringan No. 200 dengan komposisi sekitar 75%. Contoh bahan pengisi yang dapat digunakan adalah abu batu, debu batu kapur, semen portland, atau bahan non-plastis lainnya. *Filler* harus dalam keadaan kering atau memiliki kadar air maksimum 1%. Pemberian *filler* pada campuran aspal berperan penting untuk mengurangi jumlah pori dalam campuran sehingga rongga yang disebabkan oleh bahan berukuran besar dapat dikurangi, sehingga material dapat terikat satu sama lain.

#### II.3 Aspal

Aspal adalah bahan yang pada suhu normal berwujud padat hingga semi padat, dan memiliki sifat termoplastik. Oleh karena itu, aspal bisa mencair apabila dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu, dan akan kembali membeku ketika suhunya turun. Aspal bersama dengan agregat merupakan bahan pembentuk campuran perkerasan jalan. (Sukirman, 2003). Saodang (2005) menyatakan bahwa aspal adalah bahan alami yang terdiri terutama dari hidrokarbon dan diperoleh melalui eksplorasi. Aspal memiliki warna hitam dan dapat berbentuk plastik atau cair. Aspal tidak larut dalam larutan asam lemah dan alkali serta air, tetapi sebagian

besar dapat larut dalam aether, CS<sub>2</sub>, benzene, dan chloroform.

Bahan utama dari aspal yang dikenal sebagai bitumen adalah *hydrocarbon*. Karena itu, istilah aspal dan bitumen sering dipakai secara bergantian. Menurut definisi, aspal adalah sebuah substansi berwarna hitam atau coklat tua yang biasanya berbentuk padat atau agak padat pada suhu ruang. Jika dipanaskan pada suhu tertentu, aspal dapat menjadi lembut atau bahkan cair, sehingga dapat digunakan untuk melapisi partikel agregat saat membuat aspal beton atau menembus pori-pori saat melakukan penyemprotan atau penyiraman pada perkerasan macadam atau pelaburan (Sukiman, 2003).

### **II.3.1 Sifat Aspal**

Aspal, juga dikenal dengan istilah *asphaltic bitumen*, terdiri dari unsur karbon (C) sebagai komponen utama sekitar 80% dalam bentuk koloid yang disebut *asphaltene*, yang dicampur dengan cairan *maltene*, dan sekitar 10% unsur hidrogen (H) serta unsur sulfur (S), membentuk berbagai senyawa hidrokarbon. Aspal dihasilkan dari proses destilasi residu minyak bumi, di mana bahan bakar seperti bensin, solar, dan minyak tanah dihasilkan melalui destilasi pada suhu yang berbeda (Saodang, 2005). Pada konstruksi perkerasan jalan, aspal berfungsi sebagai:

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

Ini berarti bahwa aspal harus memiliki ketahanan terhadap cuaca yang baik sehingga tidak mudah retak, serta memiliki kemampuan adhesi dan kohesi yang baik untuk memberikan sifat elastis yang optimal.

### **II.3.2 Aspal Minyak**

Aspal minyak adalah hasil sampingan dari proses penyulingan minyak bumi di kilang minyak yang dianggap tidak lagi menguntungkan secara ekonomi. Bahan ini dikelompokkan menjadi tiga kelas berdasarkan indeks penetrasi: Pen 40/50, Pen 60/70, dan Pen 80/100. Semakin rendah angka penetrasinya, semakin keras aspalnya, sehingga semakin sulit untuk dikelola karena membutuhkan suhu yang

lebih tinggi untuk membuatnya menjadi lunak atau cair. Dari sudut pandang yang berbeda, semakin tinggi tingkat penetrasi aspal, maka akan semakin mudah untuk mengencerkannya dan mempermudah pengolahannya. Namun, terdapat risiko sulit mencapai stabilitas campuran aspal, terutama di daerah dengan iklim panas seperti Indonesia, karena pada suhu udara yang tinggi, aspal cenderung menjadi lunak.

Aspal minyak adalah zat cair yang bersifat lengket, berwarna hitam atau coklat, memiliki sifat viskoelastis, tahan terhadap air, dan sebagian besar terdiri dari hidrokarbon. Aspal minyak dihasilkan dari residu destilasi minyak bumi, di mana setiap jenis minyak bumi menghasilkan residu minyak mentah yang berbasis aspal, parafin, atau campuran keduanya. Jenis aspal minyak yang biasanya digunakan untuk perkerasan jalan adalah aspal minyak berbasis *asphaltic base crude oil*.

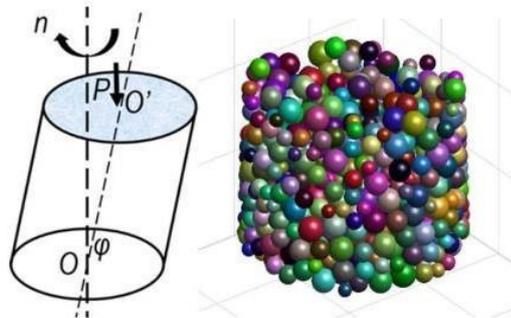
Tabel II 3 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Minyak Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,09
2	Penetrasi (mm)	$\geq 60-70$	61,6
3	Daktalitas (cm)	$\geq 100$	164
4	Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 232$	312
5	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	99,47
6	Titik Lebur ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 48$	48

Sumber: PT. Summitama Intinus, 2012

## II.4 Pemadatan Aspal

Menurut Pratama (2011), pemadatan adalah proses yang bertujuan untuk memampatkan campuran aspal sehingga menghasilkan kekuatan dan stabilitas yang baik, serta memiliki rongga yang cukup. Proses pemadatan campuran aspal menggambarkan suatu mekanisme yang rumit yang dipengaruhi oleh banyak parameter. Parameter-parameter tersebut terkait dengan keberadaan rongga udara awal pada campuran aspal, ukuran dan bentuk butir agregat, kandungan serta viskositas aspal yang digunakan, ketebalan lapisan campuran aspal, metode pemadatan, jenis peralatan yang digunakan, dan tingkat pendinginan temperatur.



Gambar II. 3 Pemadatan Campuran Beraspal  
Sumber: MNTransportation Research, 2021

Terdapat tiga unsur gaya utama yang terjadi selama proses pemadatan, yaitu gaya tekan dari alat pemadat, gaya tahan dari campuran aspal yang telah dihampar, dan gaya tahan dari lapisan bawah yang telah stabil seperti lapisan pondasi agregat atau lapisan beraspal yang telah ada sebelumnya. Untuk memperoleh hasil pemadatan yang optimal, diperlukan keseimbangan antara gaya tahan lapisan yang telah stabil dan gaya tekan dari alat pemadat aspal. Dengan kata lain, campuran aspal seakan-akan menerima tekanan dari atas dan bawah. Jika lapisan bawah yang telah stabil belum mencapai kepadatan yang memadai, maka kemungkinan besar campuran aspal tidak akan memenuhi standar persyaratan untuk kepadatannya. Menurut Imannurrohman (2021), campuran aspal dan agregat yang direncanakan harus memenuhi karakteristik khusus agar dapat bertahan pada kondisi beban lalu lintas dan kondisi iklim tertentu, sehingga menghasilkan perkerasan jalan yang kuat, aman, dan nyaman. Pemadatan pada campuran aspal berongga dapat mempengaruhi daya tahan aspal dalam menahan beban lalu lintas yang berat,

seperti truk kontainer, bus, atau kendaraan berat lainnya, terutama dalam hal nilai *Marshall*.

## II.4.1 Faktor Pengaruh Pematatan

### II.4.1.1 Suhu

Menurut Sugiarto et al. (2016), suhu pematatan memiliki pengaruh besar terhadap nilai parameter Marshall. Kualitas jalan dapat dianggap aman dan nyaman atau sebaliknya tergantung pada nilai parameter Marshall yang dicapai. Dalam pelaksanaan pematatan, diperlukan perhatian khusus terhadap suhu pematatan, karena suhu ini dapat mempengaruhi stabilitas, kelelahan, dan nilai VIM pada campuran aspal. Pematatan pada suhu 100°C - 115°C dapat menyebabkan agregat cepat terlepas, karena aspal yang digunakan pada saat pematatan telah mengalami penurunan suhu, sehingga sulit untuk menyelimuti agregat secara merata. Di sisi lain, pematatan pada suhu 160°C dapat merusak campuran aspal karena nilai VIM akan menurun, dan aspal yang sangat panas dapat kehilangan modulus elastisitasnya saat dicetak. Oleh karena itu, disarankan untuk memadatkan aspal pada suhu 145°C - 150°C, karena suhu ini telah terbukti memberikan nilai stabilitas terbaik dan lebih mudah untuk menyelimuti agregat secara *homogen*

Tabel II 4 Ketentuan Viskositas Aspal pada Saat Pematatan.

No.	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal (Pa.S)	Temperatur Campuran Dengan Aspal Pen 60
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,2	155±1
2	Pematatan benda uji marshall	0,4	145±1
3	Temperatur pencampuran mak. di AMP	Tidak diperlukan	165
4	Pencampuran, Rentang temperatur sasaran	0,2-0,5	145-155
5	Pemasok ke alat penghampar	0,5-1,0	130-150
6	Pematatan awal (roda baja)	1-2	125-145
7	Pematatan antara (roda karet)	2-20	95-125

8	Pemadatan akhir (roda baja)	.>20	>90
Catatan : Temperatur agregat pada saat pencampuran tidak boleh lebih dari 180°C			

Sumber: ASTM E 102-93,2011

#### II.4.1.2 Faktor Pencampuran

- a. Perbandingan antara agregat dan aspal yang dirancang dalam gradasi harus sesuai dengan standar yang telah ditentukan. Jika gradasi yang digunakan tidak sesuai, dapat berdampak negatif pada kualitas perkerasan lentur.
- b. Perkerasan jalan akan dipengaruhi oleh ukuran dan bentuk butir agregat yang digunakan, karena hal ini dapat memengaruhi umur dari perkerasan tersebut melalui indeks kepipihan dan kelonjongan yang harus sesuai dengan standar yang telah ditetapkan.
- c. Bentuk permukaan atau pecahan (*fracture faces*) dari sebuah perkerasan adalah faktor yang mempengaruhi kualitas dari perkerasan dalam hal keselamatan dan kenyamanan berkendara.
- d. Volumetrik mengacu pada pengukuran volume briket campuran aspal setelah dipadatkan. Pengukuran volumetrik campuran aspal mencakup beberapa bagian, seperti volume total campuran aspal yang telah dipadatkan, volume rongga di antara butir agregat atau VMA, volume campuran aspal tanpa rongga, volume rongga dalam campuran atau VIM, volume rongga yang terisi oleh aspal atau VFA, dan volume aspal yang terserap oleh agregat (Yuliansyah dkk., 2015).
- e. Pada saat proses pencampuran aspal (*Aspal Binder*), faktor-faktor yang harus diperhatikan adalah sifat kimia, sifat fisik, dan jumlah aspal yang digunakan

#### II.4.1.3 Faktor Pengerjaan

Pemadatan campuran aspal pada jalan harus dilakukan dengan cermat dan sesuai dengan spesifikasi yang diatur oleh RKS karena akan mempengaruhi kualitas perkerasan. Jika pemadatan dilakukan dengan tidak benar dan tidak sesuai, dapat terjadi sejumlah risiko negatif, seperti:

1. Terjadi keruntuhan pada campuran aspal sebelum mencapai usia rencana.

2. Kurangnya jumlah pemadatan dapat menyebabkan agregat mudah terlepas.
3. Fleksibilitas aspal berkurang
4. Pengemudi merasa tidak nyaman saat melintas dikarenakan permukaan aspa yang tidak rata.

Faktor kesalahan manusia (*human error*) yang mempengaruhi kualitas pengerjaan konstruksi meliputi faktor konstruksi seperti ketepatan penggunaan alat, jenis alat yang digunakan, kecepatan dan waktu yang tepat saat melakukan pemadatan, jumlah lintasan pemadatan, dan ketebalan lapisan. Selain itu, faktor lain seperti suhu saat pencampuran dan pemadatan, penggunaan teknik pemadatan yang tidak tepat, serta kelengkapan alat pemadat (*foundation support*) juga berperan dalam menyebabkan kesalahan pengerjaan.

Teknik dasar pemadatan di Laboratorium:

- a. Penumbukan aspal harus segera dilakukan setelah mencapai suhu pemadatan yang standar, dan tidak boleh ditunda secara tiba-tiba.
- b. Pada saat proses penumbukan, *hammer* pemadat harus terus bergerak dan tidak boleh berhenti.
- c. Penempatan *Hammer* f harus sesuai dengan lingkaran *mold* dan roda penggerak harus menghadap ke campuran aspal.
- d. Untuk memadatkan campuran aspal menggunakan *Hammer*, tidak boleh dilakukan pemadatan hanya pada satu bidang di tempat yang sama. Sebaliknya, benda uji harus dibalik di depan atau belakang arah sebelumnya.
- e. Untuk menghindari kemiringan pada benda uji, tuas *Hammer* pemadat harus dipegang dengan posisi lurus.
- f. Pemadatan kedua harus segera dilakukan setelah pemadatan awal.
- g. Dianjurkan untuk mengikuti panduan suhu dan memastikan batas bawahnya tidak dilampaui.

## **II.5 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)**

Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah kadar aspal yang menghasilkan nilai karakteristik keseluruhan sesuai dengan spesifikasi, serta memberikan stabilitas tertinggi pada lapisan perkerasan, selama persyaratan lainnya terpenuhi, seperti

nilai VIM, flow, dan sebagainya.

Kadar aspal optimum dapat diidentifikasi sebagai nilai rata-rata dari kisaran kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan untuk nilai karakteristik campuran perkerasan jalan, dengan memperhitungkan kadar aspal minimum.

Kadar aspal optimal ditentukan melalui penggabungan nilai kadar aspal yang menghasilkan nilai stabilitas dan kepadatan maksimum serta nilai VIM-PRD yang sesuai persyaratan. Setelah itu, hasil tersebut diperiksa untuk memastikan bahwa persyaratan lainnya, seperti VMA, VFB, dan flow campuran, telah sesuai dengan spesifikasi. dan maksimum yang sesuai.

## **II.6 Karakteristik Marshall**

Menurut Pohan (2007), *Marshall test* adalah sebuah metode pengujian yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas campuran agregat aspal beton dalam proyek desain jalan. Stabilitas Marshall dan Marshall Flow yang disebut dalam tesis (Mardiana, 2021) merupakan output dari pengujian Marshall yang digunakan untuk menentukan beban maksimum yang dapat ditahan oleh campuran aspal beton. Dalam pengujian *marshall*, data stabilitas perkerasan diperoleh sesuai dengan standar yang ditetapkan. Stabilitas mengacu pada kemampuan campuran beraspal dalam menahan beban sampai terjadi deformasi plastis, diukur dalam satuan kilogram atau pound. Deformasi plastis ini mewakili batas maksimum beban yang dapat diterima oleh aspal.

Setelah pengujian benda uji dengan alat *Marshall* selesai, stabilitas dapat ditentukan dari petunjuk jarum yang menunjukkan beban maksimum yang dapat ditahan oleh campuran beraspal. Setelah itu, nilai tersebut akan dikoreksi dengan faktor koreksi volume benda uji yang terkait dengan alat *Marshall* yang digunakan.

### **a. Rongga Di Antara Mineral Agregat (Void in the Mineral Aggregate/VMA)**

Dalam uji Marshall, *Void in the Mineral* (VMA) merupakan rongga antara total mineral agregat. VMA adalah volume ruang kosong di antara seluruh partikel agregat pada campuran aspal, termasuk rongga udara dan volume efektif aspal (kecuali volume aspal yang terserap oleh agregat).

Berat total dari campuran aspal dapat digunakan untuk menghitung VMA, begitu pula dengan berat total agregat. Hitungannya didasarkan pada berat jenis bulk (Gsb) agregat.

$$l = 100 - j \dots\dots\dots (III.1)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \dots\dots\dots (III.2)$$

Dimana :

- l = Nilai VMA (%)
- b = Pesentase aspal terhadap campuran (%),
- g = Berat isi sampel (gr/cc).

**b. Void In Mix (VIM)**

VIM atau *Volume of Voids in the Mineral*, adalah volume pori dalam campuran aspal AC-WC yang telah dipadatkan atau volume rongga udara yang terdapat dalam campuran tersebut. Untuk menghitung VIM, volume sampel tidak diukur melalui perendaman dalam air, karena ac -wc tidak akan mengalami perubahan berat kering permukaan jenuh (SSD) akibat sifat porositas campuran. Nilai porositas atau VIM dinyatakan dalam bentuk desimal atau persentase terhadap campuran dan dihitung menggunakan rumus:

$$n = 100 - (100 - \frac{g}{h}) \dots\dots\dots (III.3)$$

$$h = 100 - \left( \frac{100}{\frac{\%Agregat}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\%Aspal}{BJ \text{ Aspal}}} \right) \dots\dots\dots (III.4)$$

Dimana:

- n = Nilai VIM (%),
- g = Berat isi sampel (gr/cc),
- h = Berat jenis maksimum campuran (gr/cc).

**c. Stabilitas**

Dalam mengukur nilai stabilitas suatu campuran aspal, alat uji akan menunjukkan angka pada jarum dial. Namun, angka tersebut perlu dikonversi menjadi nilai yang sesuai dengan alat *Marshall* yang digunakan.

$$Stability = O \times E' \times Q \dots\dots\dots (III.5)$$

Dimana:

- Stability* = Stabilitas *Marshall* (Kg);
- O = Pembacaan Arloji Stabilitas (Lbf);
- E' = Angka Korelasi Volume Benda Uji;
- Q = Kalibrasi Alat *Marshall*.

**d. Voids Filled With Bitumen (VFB)**

Volume rongga yang terisi aspal (VFB) merupakan bagian dari volume rongga di dalam agregat (VMA) yang telah terisi oleh aspal secara efektif, dinyatakan sebagai persentase dari VMA. Rumus yang digunakan untuk menghitung VFB adalah sebagai berikut:

$$VFB = \frac{100(VMA-P)}{VMA} \% \text{ dari VMA} \dots\dots\dots (III.6)$$

Dimana:

- VFB = Volume pori antara butir agregat yang terisi aspal;
- VMA = Volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat (%);
- P = Volume rongga udara dalam campuran (%).

**e. Pelelehan (Flow)**

Nilai flow didapat dari bacaan pada jarum dial. Tidak diperlukan konversi satuan karena nilai flow sudah dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Hasil bagi Marshall (MQ), atau Marshall Quotient (MQ), didapat dari hasil pembagian antara nilai stabilitas dan nilai pelelehan.

**f. MQ (*Marshall Quotient*)**

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil pembagian antara nilai stabilitas dan flow, yang dapat menunjukkan fleksibilitas potensial terhadap retak. Untuk menghitung nilai MQ, dapat digunakan rumus sebagai berikut:

$$MQ = \frac{q}{r} \dots\dots\dots (III.7)$$

Dimana:

- MQ = Marshall Quotient (Kg/mm)
- q = Stabilitas (Kg)
- r = Nilai flow (mm)

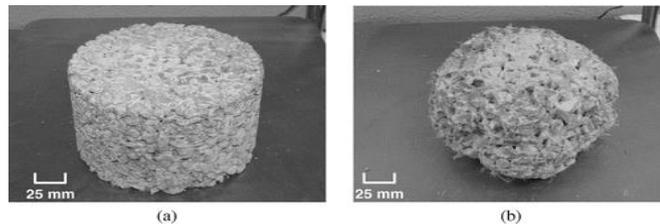
## II.7 Karakteristik *Cantabro*

Pengujian *Cantabro* dilakukan untuk mengevaluasi efek dari kelepasan butiran agregat akibat penurunan kelekatan aspal yang dihasilkan oleh gesekan roda kendaraan berulang. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan persentase kehilangan berat dari aspal berongga dan ketahanannya, yang diukur dengan metode *Cantabro Loss* menggunakan mesin Los Angeles tanpa bola baja. Benda uji diputar dalam drum mesin Los Angeles selama 300 putaran untuk mengetahui tingkat keausan campuran aspal dalam menerima beban di atasnya berdasarkan nilai ketahanan aspal berongga.

$$\text{Nilai Keausan} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \dots\dots\dots (III.8)$$

Dimana:

- a = Berat benda uji semula (gr)
- b = Berat benda uji setelah 300 putaran



Gambar II. 4 Benda Uji Sebelum Dan Sesudah Mengalami Keausan  
*Sumber: ASCE Library, 2017*

## II.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil rangkuman dari berbagai penelitian terdahulu yang berkaitan dengan judul penelitian ini. Adapun penelitian terdahulu yaitu:

1. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Putrawirawan, A., Pranoto, Y., Palondongan, M. I., Samarinda, P. N., & Marshall, K. (2018) dengan judul "Alternatif Penambahan Batu Laterit sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Pada Perkerasan asphalt Concrete – Binder Course (Ac-Bc)," tujuannya adalah untuk meningkatkan kualitas beton aspal. Metode penelitian yang digunakan adalah Marshall Test dengan variasi penambahan kadar batu laterit sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan batu laterit sebagai bahan substitusi pada agregat kasar akan memengaruhi karakteristik campuran beton aspal. Hasil yang paling baik diperoleh pada penambahan batu laterit sebesar 25%, dengan nilai Stabilitas = 1479 kg, Flow = 3.91 mm, Marshall Quotion = 385.58 kg/mm, VIM = 4.58%, dan VMA = 18.63%.
2. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Wiyono, E. (2015) dalam studi yang berjudul "Untuk Daur Ulang Campuran Beton Aspal," tujuannya adalah untuk memperkenalkan salah satu metode perbaikan perkerasan jalan yang menggunakan bahan perkerasan lama yang didaur ulang untuk digunakan kembali sebagai bahan perkerasan baru. Tujuan lainnya adalah untuk memperoleh sifat fisik dan mekanik dari campuran beton aspal panas yang dihasilkan dari daur ulang perkerasan lama, serta untuk menentukan kadar aspal optimum dalam campuran beton aspal panas hasil daur ulang. Metode yang digunakan adalah variabel terikat (parameter penelitian) yang meliputi stabilitas dan kelelahan, termasuk kepadatan, persentase rongga dalam agregat, persentase rongga dalam campuran, persentase rongga yang terisi aspal, kelelahan, stabilitas, dan marshall quotient. Hasil ekstraksi menunjukkan bahwa agregat masih memenuhi gradasi agregat untuk lapis permukaan (Laston AC-WC), dan persentase aspal terhadap campuran adalah sebesar 5,84%. Kadar aspal rencana (Pb) yang dihitung berdasarkan

perhitungan mix desain adalah sebesar 5,83%. Nilai Pb lebih rendah dari hasil ekstraksi RAP sehingga digunakan hasil ekstraksi sebesar 5,84% sebagai acuan. Dalam penelitian ini, tidak dilakukan penambahan agregat, melainkan hanya penambahan aspal dengan empat variasi di atas, yaitu 5,84%; 6,09%; 6,34%; 6,59%; dan 6,84%, karena tidak memungkinkan untuk menggunakan variasi kadar aspal yang lebih rendah. Selain itu, campuran aspal standar juga dibuat sebagai pembandingan dengan variasi kadar aspal sebesar 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; dan 7,0%.

3. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Kasan, M. (2009) dalam studi yang berjudul "Karakteristik Stabilitas dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang," tujuannya adalah untuk mengevaluasi apakah karakteristik campuran beton aspal yang telah didaur ulang masih memenuhi standar spesifikasi campuran beton aspal dalam hal stabilitas dan durabilitasnya. Metode yang digunakan adalah Marshall Test dengan variasi estimasi kadar aspal optimum (KAO) pada campuran tersebut, yaitu 4,6%, 5,1%, 5,6%, 6,1%, dan 6,6%, dengan variasi penggunaan bahan peremaja sebesar: 0%, 5%, 10%, 15%, dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin banyak penggunaan bahan peremaja dalam campuran aspal daur ulang akan mengakibatkan penurunan nilai kepadatan campuran, yang mungkin disebabkan oleh berkurangnya daya lekat aspal terhadap agregat dan kurangnya interlocking antara partikel agregat. Kadar maksimum bahan peremaja yang masih memenuhi spesifikasi untuk nilai Stabilitas Marshall adalah 35,29%, sedangkan kadar maksimum bahan peremaja yang masih memenuhi spesifikasi untuk nilai stabilitas sisa campuran adalah 46,18%.
4. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Imannurrohman N, Sudarno, Amin M. (2021) dengan judul "Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston Asphalt Concrete – Wearing Coarse (AC-WC)", tujuannya adalah untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan limbah beton sebagai pengganti agregat kasar dalam campuran laston (AC-WC) untuk perkerasan jalan terhadap karakteristik marshall, serta untuk menentukan komposisi limbah beton yang dapat menghasilkan

campuran optimum. Metode penelitian ini menggunakan uji Marshall dengan variasi kadar limbah beton sebagai pengganti agregat kasar sebesar 0%, 10%, 15%, dan 20%, serta variasi kadar aspal sebesar 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga Revisi 3 (2010). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan limbah beton sebesar 15% sebagai pengganti agregat kasar dan kadar aspal sebesar 6% memberikan nilai karakteristik marshall optimal, dengan stabilitas sebesar 1869,30 kg, Flow sebesar 3,33 mm, VFB sebesar 76,97%, VMA sebesar 16,64%, VIM sebesar 3,83%, dan MQ sebesar 590,97 kg/mm. Dengan demikian, campuran tersebut memenuhi persyaratan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010, Revisi 3.

5. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ansori, A. B. (2017) dengan judul "Pengaruh Mutu Limbah Beton Sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Pada Kualitas Campuran Asphalt Concrete-Binder Coarse (Ac-Bc)," tujuannya adalah untuk mengevaluasi dampak mutu limbah beton terhadap parameter Marshall seperti stabilitas, flow, marshall quotient, VIM, VMA, dan VFA. Metode yang digunakan adalah uji Marshall. Hasil yang didapat dari penelitian ini:
  1. Campuran AC-BC yang menggunakan agregat kasar dari limbah beton dengan mutu f'c 25, f'c 35, dan f'c 45 tidak menunjukkan keberadaan kadar aspal optimum (KAO).
  2. AC-BC yang menggunakan agregat kasar dari limbah beton dengan mutu f'c 25 menggunakan jumlah aspal yang paling sedikit, sedangkan AC-BC dengan agregat kasar limbah beton dengan mutu f'c 45 menggunakan jumlah aspal yang paling banyak.
  3. Stabilitas terkoreksi minimum tercapai pada campuran AC-BC dengan agregat kasar dari limbah beton dengan mutu f'c 25 pada kadar aspal sebesar 5,523%, AC-BC dengan agregat kasar limbah beton dengan mutu f'c 35 pada kadar aspal sebesar 5,150%, dan AC-BC dengan agregat kasar limbah beton dengan mutu f'c 45 pada kadar aspal sebesar 6,546%.
  4. Nilai flow memenuhi persyaratan pada campuran AC-BC dengan agregat kasar dari limbah beton dengan mutu f'c 25 pada kadar aspal kurang dari

5,429%, AC-BC dengan agregat kasar limbah beton dengan mutu f'c 35 pada kadar aspal kurang dari 4,333%, dan AC-BC dengan agregat kasar limbah beton dengan mutu f'c 45 pada kadar aspal kurang dari 5,236%.

6. Dalam penelitian oleh Purwoko Sidi Bambang; Erfan, Mohamad, M. W. (2020) yang bertajuk "Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus (Ac-Wc)," dilakukan metode Marshall test dengan variasi kadar aspal 5,5%, 6%, dan 6,5%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi terbaik adalah pada kadar aspal 6,546%. Hasil dari variasi tersebut adalah stabilitas sebesar 1093,7 kg, flow sebesar 3,31%, VIM sebesar 4,09%, VMA sebesar 16,36%, Marshall Quotient sebesar 328,73 kg/mm, dan VFA sebesar 74,96%. Semua hasil pengujian pada variasi tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi AC-WC yang ditetapkan oleh Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga 2018.
7. Berdasarkan penelitian Kasan, M. (2009) dengan judul Karakteristik Stabilitas dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang dengan tujuan untuk melihat karakteristik volumetrik campuran beton aspal hasil daur ulang yang meliputi nilai VIM, VMA dan Nilai VFB. Metode yang digunakan yaitu marshall test. Hasil penelitian mendapatkan bahwa Nilai Kadar Aspal Optimum Campuran Beton Aspal Daur Ulang cenderung menurun dengan bertambahnya kadar bahan peremaja yang digunakan.
8. Berdasarkan penelitian Hermanto Aulia (2022) dengan judul Analisis Kinerja Campuran Aspal Berongga Menggunakan Limbah Beton Berbasis Jumlah Tumbukan dengan tujuan menganalisis kinerja campuran aspal berongga menggunakan limbah beton berbasis jumlah tumbukan terhadap nilai stabilitas, spesifikasi REAM, 2008. Metode yang digunakan yaitu marshall test dan cantabro test. Hasil dari penelitian ini:
  1. Nilai stabilitas terbesar diperoleh pada jumlah tumbukan 2 x 75 sebesar 651,83 kg. Hal ini disebabkan karena seiring bertambahnya jumlah tumbukan maka daya kekerasan agregat limbah beton semakin menurun, akibat agregat pernah tercampur oleh semen portland.

2. Dari hasil pengujian Cantabro diperoleh hasil bahwa seluruh variasi jumlah tumbukan pada campuran berongga spesifikasi Road Engineering Association of Malaysia (REAM,2008) KAO 5,5% substitusi agregat kasar limbah beton 0% memenuhi spesifikasi, dengan nilai maksimum kehilangan 20%. Untuk nilai ketahanan terbaik didapatkan pada jumlah tumbukan 2 x 75, dengan kehilangan paling paling kecil sebesar 4,12% dari 100% keseluruhan campuran.
9. Berdasarkan penelitian Yusril Mahendra A. & Zulfan Syah M. (2023) dengan judul Pengaruh Bahan Tambah Serat Fiber Karbon Dalam Campuran Superpave Terhadap Sifat-Sifat Mekanik dengan tujuan untuk melakukan pengujian tentang sejauh mana pengaruh penambahan serat fiber karbon dalam pengujian Marshall Test dan Indirect Tensile Strenght. Metode yang digunakan yaitu Marshall Test, Indirect Tensile Strenght (ITS). Hasil Penelitian ini menyimpulkan bahwa semakin bertambah variasi serat fiber karbon maka akan menimbulkan perkerasan yang semakin kaku hingga batas nilai optimum dari variasi yang ditentukan bahan tambah serat fiber karbon yang digunakan. Penggunaan campuran superpave dengan varasi 0,2% menghasilkan nilai terbaik pada pengujian Marshall dan pada pengujian Indirect Tensile Strenght didapatkan variasi 0,4%.
10. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ningrum, A, A., & Risdianto, Y. (2018) dengan judul "Perbandingan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) dan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) sebagai Bahan Substitusi Agregat pada Campuran Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash Sebagai Filler," tujuannya adalah untuk membandingkan penggunaan buton granular asphalt (BGA) dan reclaimed asphalt pavement (RAP) sebagai bahan substitusi agregat pada campuran aspal wearing course (AC-WC) dengan fly ash sebagai filler. Metode yang digunakan adalah marshall test. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran AC-WC dengan menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) sebagai pengganti agregat adalah 5,3%, sedangkan pada campuran

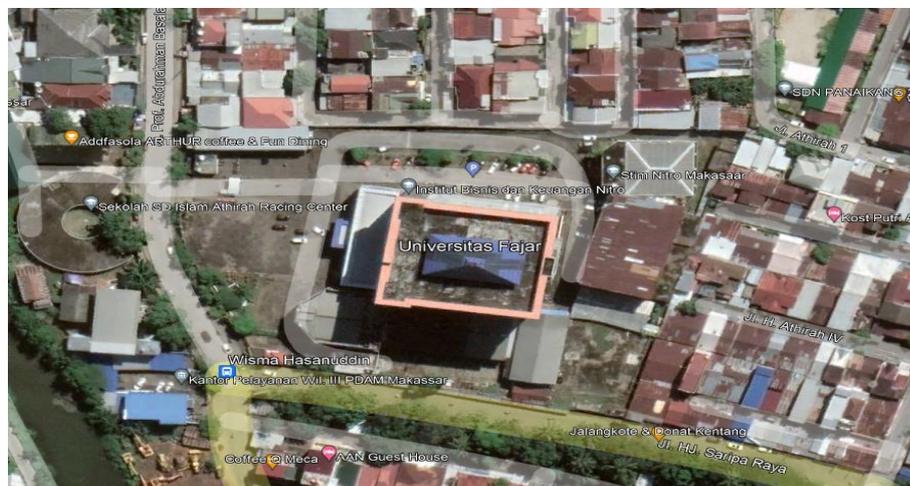
AC-WC yang menggunakan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan buton granular asphalt (BGA) sebagai pengganti agregat adalah 4,3%.

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### III.1 Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan mulai bulan Desember 2023 hingga bulan Januari 2024 di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Fajar Makassar yang beralamat di Jalan Prof. Abdurrahman Basalamah (ex Racing Center) No. 101, Karampuang, Panakkukang, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90231, Indonesia.



Gambar III. 1 Lokasi Penelitian

#### III.2 Alat dan Bahan Penelitian

##### III.2.1 Alat yang digunakan dalam penelitian

- Alat pengujian aspal yang akan digunakan tertera pada Tabel III.1

Tabel III 1 Alat Pengujian Aspal

No.	Alat Uji	Fungsi
1	Penetrasi	Mengukur angka penetrasi aspal
2	Daktalitas	Semakin tinggi nilai daktalitas, semakin besar kandungan aspalnya dan semakin fleksibel bahan tersebut. Maka, bahan tersebut dianggap semakin baik untuk digunakan sebagai bahan ikat perkerasan.
3	Berat Jenis	Angka yang menunjukkan perbandingan berat aspal dengan

		volume air yang sama pada suhu ruang. Semakin tinggi nilai berat jenis aspal, semakin tinggi pula kualitas aspal tersebut.
4	Titik Lembek	Menguji titik lembek
5	Titik Nyala	Untuk mengetahui temperatur aspal, perlu dilakukan uji kilatan pada lapisan aspal yang dipanaskan dengan melewati nyala penguji di atasnya selama lebih dari 5 detik.
6	Titik Bakar	Untuk mengetahui suhu aspal, perlu dilakukan uji kilatan pada lapisan aspal yang dipanaskan dengan melewati nyala penguji di atasnya selama lebih dari 5 detik.

- Alat pengujian agregat yang akan digunakan tertera pada Tabel III.2

Tabel III 2 Alat Pengujian Agregat

No.	Alat Uji	Fungsi
1	Saringan	Untuk menentukan gradasi suatu agregat. (Spesifikasi Bina Marga 2018)
2	Timbangan	Untuk menimbang agregat dan benda uji.
3	Mesin Los Angeles	Dipakai untuk menguji keausan atau abrasi agregat kasar. Tujuannya adalah untuk menilai kemampuan agregat dalam menahan gesekan, yang diukur berdasarkan jumlah keausan atau kerusakan pada agregat tersebut.
4	Oven	Untuk mengeringkan agregat.
5	Bak Perendaman	Sebagai wadah untuk merendam agregat hingga jenuh air dan juga sebagai tempat perendaman benda uji.
6	Alat Uji Berat Jenis	Untuk mengetahui kemampuan penyerapan agregat

- Alat bantu lainnya yang digunakan untuk pengujian yaitu:

Tabel III 3 Alat Bantu Lainnya

No.	Alat Uji	Fungsi
1	Kompor Pemanas	Digunakan untuk memanaskan campuran.
2	Panci Pencampur	Sebagai wadah pencampuran agregat.
3	Termometer	Digunakan untuk melihat suhu campuran.
4	Spatula	Untuk mengaduk campuran agregat.
5	Kain Lap	Pelapis panci dan wajan agar tangan tidak panas.
6	Mol	Sebagai wadah untuk campuran aspal.
7	Alat Penumbuk	Menumbuk benda uji
8	Wajan Penggorengan	Memanaskan agregat dan aspal
9	Timbangan	Menimbang benda uji

- Alat pengujian pada penelitian ini yaitu:

Tabel III 4 Alat Pengujian

No.	Alat Uji	Fungsi
1	Marshall	Untuk mengetahui dan memeriksa kerentanan campuran terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh air.
2	Cantabro	Untuk menguji ketahanan campuran dan mengetahui berat sampel yang hilang.

### III.2.2 Bahan yang digunakan dalam penelitian

1. Agregat kasar
2. Agregat halus
3. Filler
4. Aspal minyak
5. Batu zeolit

### III.3 Langkah Kerja

Berikut merupakan langkah kerja yang akan dilakukan pada penelitian ini:

1. Tahap persiapan / Studi literatur

Tahap persiapan dimulai dengan mengumpulkan data dari hasil pengujian sebelumnya yang dilakukan oleh peneliti sebelumnya, yang dapat berasal dari jurnal publikasi, buku-buku, dan lembaga pemerintah, seperti Departemen Pekerjaan Umum.

2. Tahap persiapan alat dan bahan

Sebelum memulai penelitian, langkah pertama yang dilakukan adalah menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan. Persiapan ini meliputi survei lokasi untuk pengumpulan bahan material yang dibutuhkan serta transportasi bahan penelitian dari lokasi pengambilan ke laboratorium.

3. Tahap pengujian sifat karakteristik bahan

Pada tahap ini, tujuannya adalah untuk mengetahui sifat-sifat dari setiap bahan material yang akan digunakan dalam campuran aspal berongga. Dilakukan pemeriksaan untuk memastikan bahwa material tersebut memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan dalam spesifikasi, yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

- Pengujian material agregat

Tujuan dari pengujian material agregat adalah untuk mengetahui karakteristik fisik agregat yang akan digunakan dalam campuran benda uji. Agregat yang memenuhi karakteristik fisik yang sesuai standar akan digunakan dalam pembuatan material

Tabel III 5 Pengujian Agregat

Pengujian	Metode	
	Agregat Kasar	Agregat Halus
Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990	SNI 03-1968-1990
Berat Jenis dan Penyerapan	SNI 03-1969-2008	SNI 03-1970-2008
Kadar Lumpur	SNI 03-4142-1996	SNI 03-4142-1996
Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles	SNI 2417-2008	-
Indeks Kepipihan	SNI 03-4137-1996	-

Sand Equivalent	-	SNI 03-4428-1997
-----------------	---	------------------

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2018.

#### 4. Tahap pembuatan benda uji

Pada tahap ini, dilakukan pengujian terhadap aspal yang terbagi menjadi dua bagian, yaitu pengujian komposisi campuran aspal dan pengujian benda uji aspal. Setelah bahan material diuji dan memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk pembuatan benda uji, komposisi campuran yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah komposisi campuran dengan gradasi terbuka (open graded), yang akan mengikuti persyaratan gradasi campuran aspal dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Langkah-langkah dalam pembuatan benda uji sebagai berikut:

- Siapkan agregat sesuai dengan komposisi variasi campuran yang telah ditentukan.
- Agregat dipanaskan hingga mencapai suhu  $\pm 150^{\circ}\text{C}$
- Setelah mencapai suhu tersebut, campurkan agregat dengan aspal minyak
- Campuran dipadatkan dengan Marshall Compaction pada suhu  $\pm 120^{\circ}\text{C}$ , dengan tumbukan sebanyak 2 x 75.

Tabel III 6 Pengujian Agregat Batu Zeolit

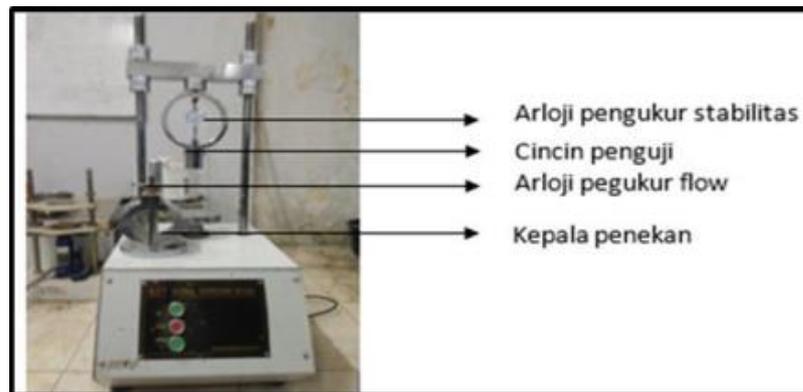
Variasi Batu Zeolit	Jenis Pengujian	
	2x75	
	Marshall	Cantabro
0/100	3	3
50/50	3	3
100/0	3	3
Jumlah	18	

#### III.4 Uji Marshall

Marshall Test dilakukan untuk menghasilkan evaluasi kinerja campuran, seperti stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), Voids in Mineral Aggregate

(VMA), Voids Filled with Asphalt (VFA), Void in Mix (VIM), dan kepadatan. Dengan pengujian ini, karakteristik campuran aspal AC-WC dapat diketahui.

Prosedur Marshall Test dimulai dengan pembuatan benda uji dengan kadar aspal rencana sebesar 5,3%. Kemudian, aspal dan agregat dipanaskan lalu dicampur secara merata sesuai dengan persentase masing-masing dan suhu pencampuran yang ditentukan. Campuran tersebut kemudian dimasukkan ke dalam cetakan dan dipadatkan dengan cara ditumbuk sebanyak 75 kali di setiap sisi. Setelah itu, benda uji dikeluarkan dan didinginkan selama 24 jam, kemudian tingginya diukur dengan ketelitian 0,1 mm. Berat isi benda uji diukur dalam kondisi kering. Setelah itu, benda uji direndam selama 24 jam dan kemudian diukur kembali beratnya dalam air dan dalam kondisi permukaan kering. Sebelum dilakukan pengujian, benda uji direndam dalam waterbath selama 30 menit dan dikeringkan hingga permukaannya kering. Pengujian dilanjutkan dengan menggunakan alat tekan *Marshall Test*.



Gambar III. 2 Alat Pengujian

### III.5 Uji Cantabro

Diamkan benda uji (briket) terlebih dahulu selama kurang lebih 48 jam kemudian dilakukan penimbangan untuk mengetahui berat sebelum di abrasi (Mo) kemudian masukkan briket ke dalam drum mesin Los Angeles. Selanjutnya benda uji dimasukkan ke dalam mesin Los angeles tanpa bola baja. Kemudian atur putaran mesin Los angeles dengan 300 putaran dengan kecepatan antara 30-33 rpm. Setelah

selesai keluarkan benda uji dan ditimbang kembali agar dapat diketahui berapa nilai berat kehilangan dari Brenda uji.



Gambar III. 3 Alat Uji Cantabro

Tabel III 7 Metode Pengujian Karakteristik Campuran Aspal AC/WC

Pengujian	Metode Pengujian
Marshall	SNI 06-2489-1991
Cantabro	SNI 03-2417-1991

### III.6 Olah Data

Dari data hasil penelitian di Laboratorium akan didapatkan data yang akan digunakan sebagai dasar untuk pembuatan benda uji yang diolah menggunakan *software microsoft excel*. Kemudian hasil pengolahan data akan diuraikan dalam bentuk grafik antara hubungan Parameter aspal, yaitu gambar grafik hubungan antar :

- a. Variasi batu zeolit terhadap terhadap VIM.

Rumus untuk mendapatkan nilai VIM adalah:

$$n = 100 - (100 - \frac{g}{h}) \dots\dots\dots (III.1)$$

$$h = 100 - \left( \frac{100}{\frac{\%Agregat}{BJ Agregat} + \frac{\%Aspal}{BJ Aspal}} \right) \dots\dots\dots (III.2)$$

Dimana:

n = Nilai VIM (%),

- g = Berat isi sampel (gr/cc),
- h = Berat jenis maksimum campuran (gr/cc).

Campuran aspal dikatakan memenuhi standar ketika nilai VIM sebesar 3,0-5,0%. (Menurut standar spesifikasi bina marga 2018).

b. Variasi batu zeolit terhadap terhadap VMA.

Rumus untuk mendapatkan nilai VMA adalah:

$$l = 100 - j \dots\dots\dots (III.3)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \dots\dots\dots (III.4)$$

Dimana :

- l = Nilai VMA (%)
- b = Pesentase aspal terhadap campuran (%),
- g = Berat isi sampel (gr/cc).

Campuran aspal dikatakan memenuhi standar ketika nilai VMA minimal 14%. (Menurut standar spesifikasi bina marga 2018).

c. Variasi batu zeolit terhadap terhadap VFA.

Rumus untuk mendapatkan nilai VFA adalah:

$$VFB = \frac{100(VMA-P)}{VMA} \% \text{ dari VMA} \dots\dots\dots (III.5)$$

Dimana:

- VFB = Volume pori antara butir agregat yang terisi aspal;
- VMA = Volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat (%);
- P = Volume rongga udara dalam campuran (%).

Campuran aspal dikatakan memenuhi standar ketika nilai VMA minimal 65%. (Menurut standar spesifikasi bina marga 2018).

d. Variasi batu zeolit terhadap terhadap Stabilitas.

Rumus untuk mendapatkan nilai stabilitas adalah:

$$Stability = O \times E \times Q \dots\dots\dots (III.6)$$

Dimana:

Stability = Stabilitas Marshall (Kg);

O = Pembacaan Arloji Stabilitas (Lbf);  
 E' = Angka Korelasi Volume Benda Uji;  
 Q = Kalibrasi Alat *Marshall*.

Campuran aspal dikatakan memenuhi standar ketika nilai stabilitas *marshall* minimal 800 Kg. (Menurut standar spesifikasi bina marga 2018).

- e. Variasi batu zeolit terhadap terhadap Flow.

Nilai flow didapat dari bacaan pada jarum dial. Tidak diperlukan konversi satuan karena nilai flow sudah dinyatakan dalam satuan milimeter (mm). Campuran aspal dikatakan memenuhi standar ketika nilai pelelehan (*flow*) 2,0 mm - 4,0 mm. (Menurut standar spesifikasi bina marga 2018).

- f. Variasi batu zeolit terhadap terhadap MQ.

Rumus untuk mendapatkan nilai MQ adalah:

$$MQ = \frac{q}{r} \dots\dots\dots (III.7)$$

Dimana:

MQ = *Marshall Quotient* (Kg/mm)

q = Stabilitas (Kg)

r = Nilai flow (mm)

Campuran aspal dikatakan memenuhi standar ketika nilai *marshall Quotient* minimal 250 Kg/mm. (Menurut standar spesifikasi bina marga 2018).

- g. Variasi batu zeolit terhadap ketahanan.

Rumus untuk mendapatkan nilai ketahanan adalah:

$$\text{Nilai Ketahanan} = \frac{a-b}{b} \times 100\% \dots\dots\dots (III.8)$$

Dimana:

a = Berat benda uji semula (gr)

b = Berat benda uji setelah 300 putaran

Nilai ketahanan aspal bertujuan untuk mendapatkan informasi mengenai seberapa tahan campuran tersebut terhadap

keausan atau penurunan berat dengan memanfaatkan perangkat Los Angeles. Dengan pengujian ini akan diketahui variasi batu zeolit mana yang memiliki ketahanan terhadap keausan yang lebih baik.

### III.7 Analisis Data

Hasil data yang telah didapatkan kemudian akan dianalisis menggunakan syarat-syarat serta ketentuan sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018. Berikut merupakan syarat-syarat yang akan menjadi patokan dari hasil analisis data.

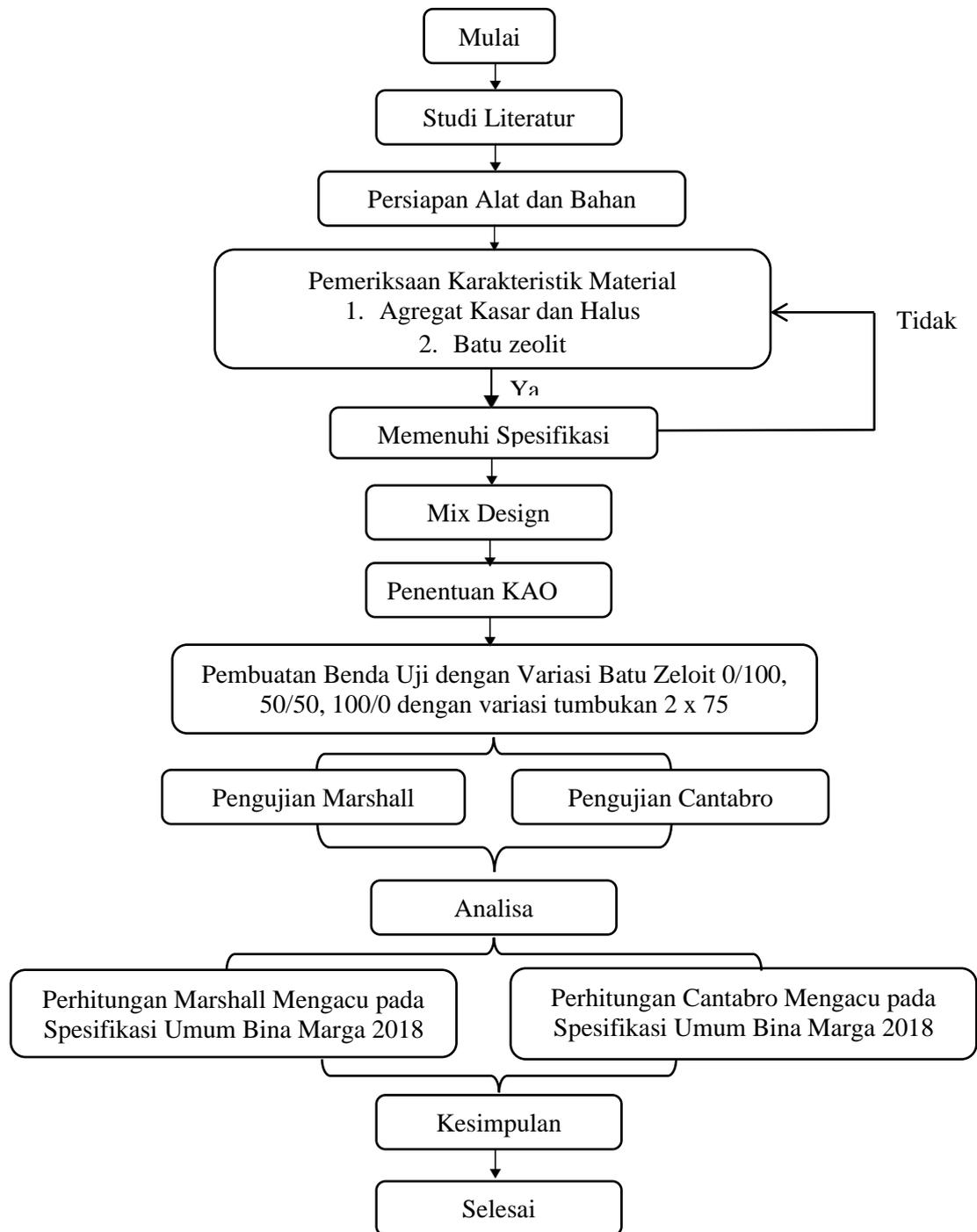
Tabel III 8 Ketentuan Spesifikasi Lapisan Aspal

Sifat-sifat Campuran	Persyaratan Campuran	Keterangan
VIM (%)	Min. 3,0	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
	Maks. 5,0	
VMA (%)	Min. 14	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
VFB (%)	Min. 65	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
Stabilitas (Kg)	Min. 800	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
Flow (mm)	Min. 2,0	Memenuhi/ Tidak Memenuhi
	Maks. 4,0	
Marshall Quotient (MQ) (Kg/mm)	Min. 250	Memenuhi/ Tidak Memenuhi

Sumber: Spesifikasi Bina Marga (2018)

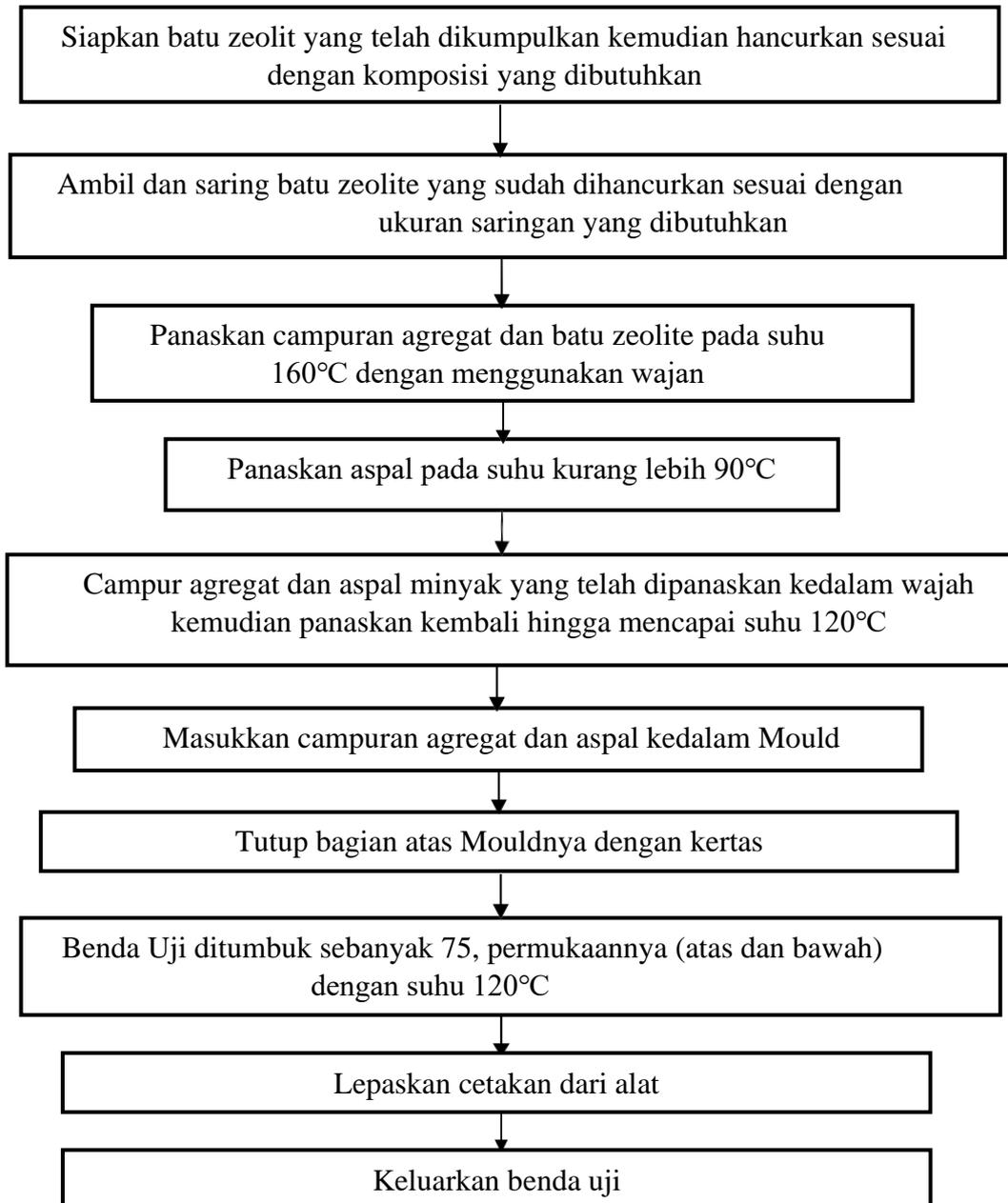
Dari hasil analisis yang dilakukan akan didapatkan apakah nilai masing-masing sifat campuran dari setiap sampel yang diuji memenuhi syarat sebagai aspal kualitas baik atau tidak.

### III.8 Bagan Alir Penelitian



Gambar III. 4 Bagan Alur Penelitian

### III.9 Pembuatan Benda Uji



Pembuatan Benda Uji

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### IV.1 Hasil Uji Karakteristik Material

Untuk mengetahui hasil dari pengujian sifat agregat yang ada dalam penelitian ini, memenuhi mutu SNI pengujian agregat. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar.

##### IV.1.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Agregat

###### A. Sifat Fisik Agregat Kasar

Berdasarkan hasil pengujian agregat kasar yang dilakukan sesuai metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel IV. 1 Sifat Fisik Dari Agregat Kasar

No	Pengujian	Nilai Interval	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maks.3	1,63	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)			
	1. Berat Jenis Bulk	Maks.3	2,75	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maks.3	2,8	Memenuhi
	3. Berta Jenis Semu	Maks.3	2,88	Memenuhi
3	Keausan (%)	Maks. 40	30,28	Memenuhi
4	Indeks Kepipihan	Maks. 30	24,8	Memenuhi
5	Kadar Lumpur (%)	Maks. 1	0,84	Memenuhi

*Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024*

Dari Tabel IV.1 yang tertera diatas menjelaskan bahwa hasil dari pengujian agregat kasar berupa batu pecah (chipping) memenuhi spesifikasi

Umum Direktorat Jendral Bina Marga sehingga dapat digunakan pada pengujian campuran aspal beton AC-WC

#### B. Sifat Fisik Agregat Halus

Hasil pengujian dari sifat fisik agregat halus dilakukan sesuai dengan metode pengujian Standar Nasional Indonesia (SNI). Dari hasil pengujian dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel IV. 2 Sifat-Sifat Fisik Agregat Halus

No	Pengujian	Nilai Interval	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Penyerapan air (%)	Maks.3	1.22	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)	Maks.3	2.58	Memenuhi
	1. Berat Jenis Bulk	Maks.3	2.61	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maks.3	2.67	Memenuhi
	3. Berat Jenis Semu	Maks.3		
3	Kadar Lumpur (%)	Maks. 5	1.5	Memenuhi

*Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024*

Dari Tabel IV.2 yang tertera diatas menjelaskan bahwa hasil dari pengujian agregat halus berupa pasir memenuhi spesifikasi Umum Direktorat Jendral Bina Marga sehingga dapat digunakan pada pengujian campuran aspal beton AC-WC

#### C. Sifat Fisik Batu Zeolit

Hasil pengujian dari sifat fisik Batu Zeolit dilakukan sesuai dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI). Agregat yang digunakan pada penelitian ini adalah Batu Zeolit dari hasil pengujian di Laboratorium Universitas Fajar Makassar. Dengan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel IV.3.

Tabel IV. 3 Sifat -Sifat Fisik Batu Zeolit

No.	Pengujian	Nilai Interval	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Berat Jenis Spesifik (%)			
	a. Berat Jenis Bulk	Min. 1	2,52	Memenuhi
	b. Berat Jenis SSD	Min. 1	2,58	Memenuhi
	c. Berat Jenis Semu	Min. 1	2,68	Memenuhi
2	Penyerapan (%)	Maks. 3	2,58	Memenuhi
3	Kadar Lumpur (%)	Maks. 1	0,84	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari hasil pengujian sifat fisik Batu Zeolit yang dilakukan dengan metode pengujian dari Standar Nasional Indonesia (SNI), disimpulkan bahwa dapat digunakan sebagai substitusi Filler karena memenuhi nilai setiap variabel pengujian.

#### IV. 2 Pengujian Kadar Aspal Optimum

Pengujian kadar aspal optimum dilakukan dengan tujuan untuk memberikan hasil kadar aspal optimum yang paling baik untuk digunakan dan memenuhi spesifikasi dari keseluruhan nilai karakteristik yang ada. Dan merupakan kadar aspal yang memberikan stabilitas tertinggi pada lapisan perkerasan.

Nilai variasi kadar aspal optimum yang digunakan adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%. Adapun untuk perencanaan komposisi dari masing-masing variasi kadar aspal optimum dapat dilihat pada tabel yang ada di bawah ini:

Tabel IV. 4 Kadar Aspal 4,5%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	173.79	0.00	172.88
1/2"	12.70	204.10	0.00	203.03
3/8"	9.80	111.74	0.00	111.15
4	4.75	196.65	0.00	195.62
8	2.35	58,62	0.00	58.32
16	1.18	0.00	77.01	76.61
30	0.60	0.00	64.58	64.24
50	0.30	0.00	67.79	67.43
100	0.15	0.00	56.96	56.66
200	0.075	0.00	73.00	72.62
PAN	0.00	0.00	61.77	61.45
Berat Total Agregat				1140.00
Berat Aspal (5%)				60.00
Total				1200.00

Tabel IV. 5 Kadar Aspal 5%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	172.88	0.00	172.88
1/2"	12.70	203.03	0.00	203.03
3/8"	9.80	111.15	0.00	111.15
4	4.75	195.62	0.00	195.62
8	2.35	58.32	0.00	58.32
16	1.18	0.00	76.61	76.61
30	0.60	0.00	64.24	64.24
50	0.30	0.00	67.43	67.43
100	0.15	0.00	56.66	56.66
200	0.075	0.00	72.62	72.62
PAN	0.00	0.00	61.45	61.45
Berat Total Agregat				1140.00
Berat Aspal (5%)				60.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Tabel IV. 6 Kadar Aspal 5,5%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	171.97	0.00	171.97
1/2"	12.70	201.97	0.00	201.97
3/8"	9.80	110.57	0.00	110.57
4	4.75	194.59	0.00	194.59
8	2.35	58.01	0.00	58.01
16	1.18	0.00	76.20	76.20
30	0.60	0.00	63.90	63.90
50	0.30	0.00	67.08	67.08
100	0.15	0.00	56.36	56.36
200	0.075	0.00	72.24	72.24
PAN	0.00	0.00	61.12	61.12
Berat Total Agregat				1134.00
Berat Aspal (5.5%)				66.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Tabel IV. 7 Kadar Aspal 6%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	171.06	0.00	171.06
1/2"	12.70	200.90	0.00	200.90
3/8"	9.80	109.98	0.00	109.98
4	4.75	193.56	0.00	193.56
8	2.35	57.70	0.00	57.70
16	1.18	0.00	75.80	75.80
30	0.60	0.00	63.56	63.56
50	0.30	0.00	66.72	66.72
100	0.15	0.00	56.06	56.06
200	0.075	0.00	71.85	71.85
PAN	0.00	0.00	60.80	60.80
Berat Total Agregat				1128.00
Berat Aspal (6%)				72.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Tabel IV. 8 Kadar Aspal 6,5%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	170.15	0.00	170.15
1/2"	12.70	199.83	0.00	199.83
3/8"	9.80	109.40	0.00	109.40
4	4.75	192.54	0.00	192.54
8	2.35	57.40	0.00	57.40
16	1.18	0.00	75.40	75.40
30	0.60	0.00	63.22	63.22
50	0.30	0.00	66.37	66.37
100	0.15	0.00	55.76	55.76
200	0.075	0.00	71.47	71.47
PAN	0.00	0.00	60.48	60.48
Berat Total Agregat				1122.00
Berat Aspal (6.5%)				78.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Tabel IV. 9 Kadar Aspal 7%

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19.00	169.24	0.00	169.24
1/2"	12.70	198.76	0.00	198.76
3/8"	9.80	108.81	0.00	108.81
4	4.75	191.51	0.00	191.51
8	2.35	57.09	0.00	57.09
16	1.18	0.00	75.00	75.00
30	0.60	0.00	62.89	62.89
50	0.30	0.00	66.01	66.01
100	0.15	0.00	55.47	55.47
200	0.075	0.00	71.09	71.09
PAN	0.00	0.00	60.15	60.15
Berat Total Agregat				1116.00
Berat Aspal (7%)				84.00
Total				1200.00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

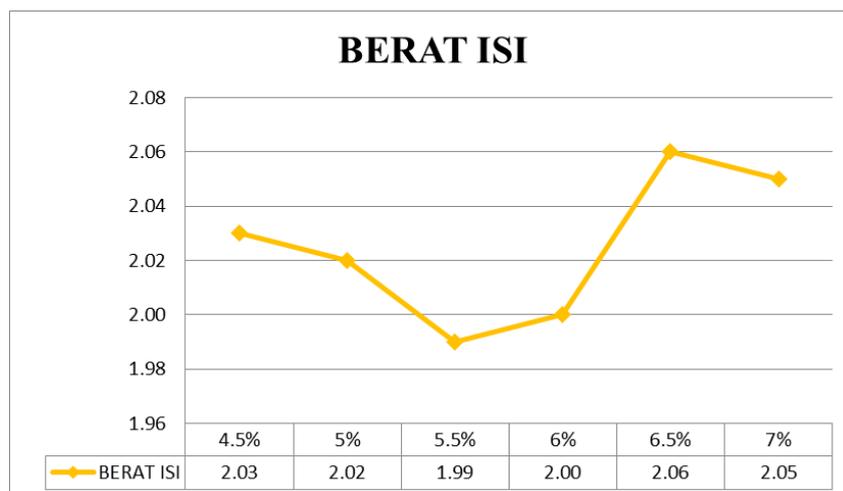
Dari beberapa komposisi variasi kadar aspal optimum yang telah dibuat dan diuji di laboratorium, maka didapatkan data-data seperti yang tertera pada tabel dibawah ini:

Tabel IV. 10 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

KADAR ASPAL	VIM (3%-5%)	VMA (Min. 14%)	VFB (Min. 65%)	STABILITAS (Kg) (Min. 800 Kg)	FLOW (mm) (2-4 mm)	KOEFISIEN MARSHALL (Kg/mm) (Min. 250 Kg/mm)
4,5%	8.45	15.86	51.39	706	3.21	252.74
5%	8.00	17.46	54.35	996.96	3.65	273.43
5.5%	8.51	18.80	55.32	776.74	2.85	272.49
6%	7.79	19.04	59.16	744.00	2.73	273.05
6.5%	4.47	17.03	73.81	824.35	3.03	272.61
7%	4.33	17.81	75.74	1110.05	3.85	288.24

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

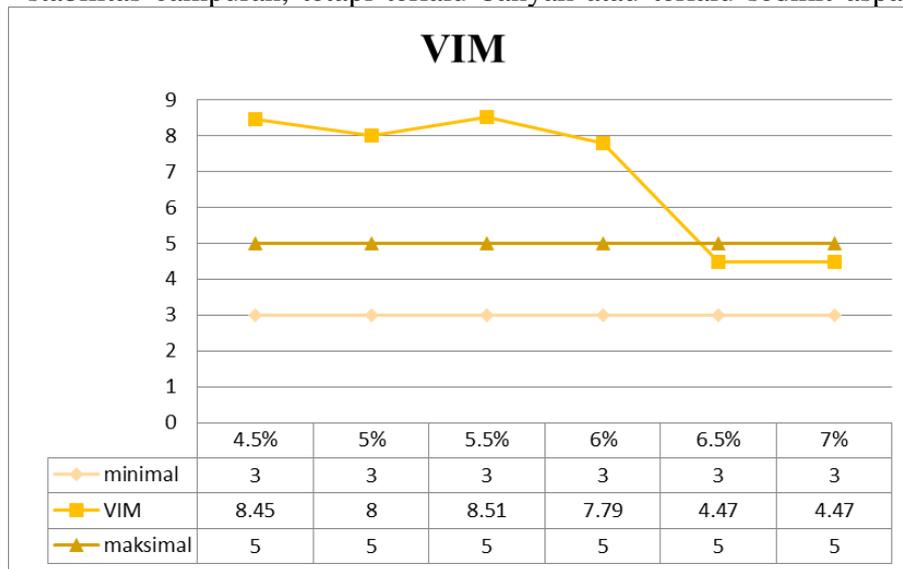
Dari tabel hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) diatas, didapatkan nilai rata-rata dari variasi kadar aspal, baik nilai rata-rata berat isi maupun nilai rata-rata dari beberapa parameter *marshall*, yaitu VIM, VMA, VFB, stabilitas, flow, dan MQ. Adapun untuk hubungan antara kadar aspal dan berat isi serta hubungan antara kadar aspal dengan parameter *marshall*, bisa dilihat pada grafik yang ada dibawah ini.



Gambar IV. 1 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Berat Isi

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

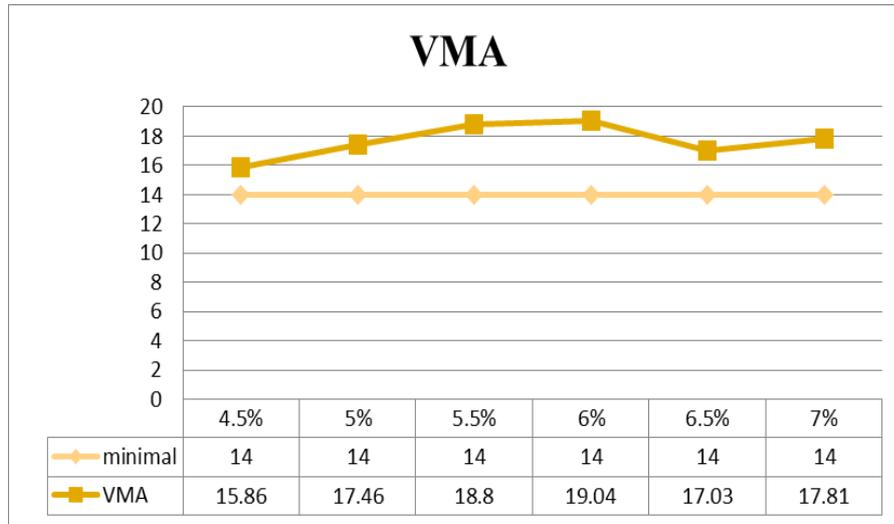
Dari Gambar IV.1, Dapat dilihat hubungan antara kadar aspal dan berat isi. Campuran aspal dengan berat isi yang lebih tinggi cenderung lebih padat dan kuat. Maka hubungan antara kadar aspal dan berat isi menghasilkan, kadar aspal yang tepat untuk memastikan kohesi dan stabilitas campuran, tetapi terlalu banyak atau terlalu sedikit aspal dapat



Gambar IV. 2 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan VIM

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

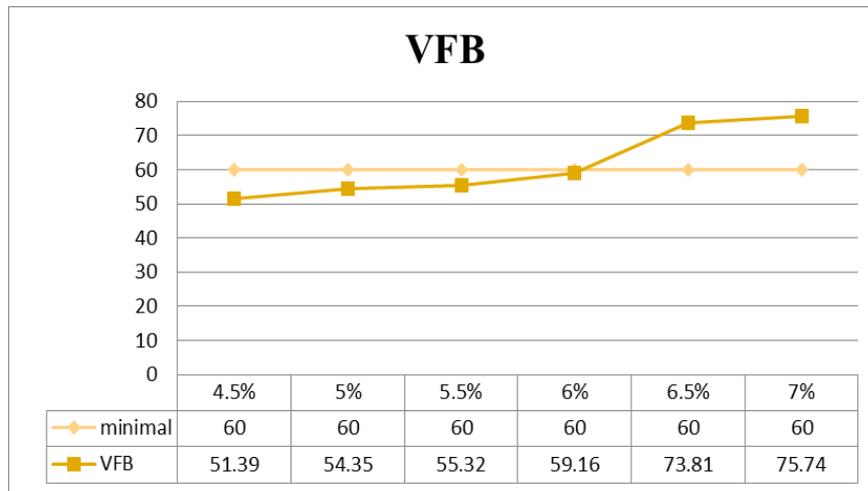
Dari Gambar IV.2, dapat dilihat hubungan antara kadar aspal dengan VIM. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga untuk nilai VIM yang disyaratkan yaitu minimal 3% dan maksimal 5%. Kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% tidak memenuhi spesifikasi dan kadar aspal 6,5%, dan 7% telah memenuhi spesifikasi yang digunakan.



Gambar IV. 3 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan VMA

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

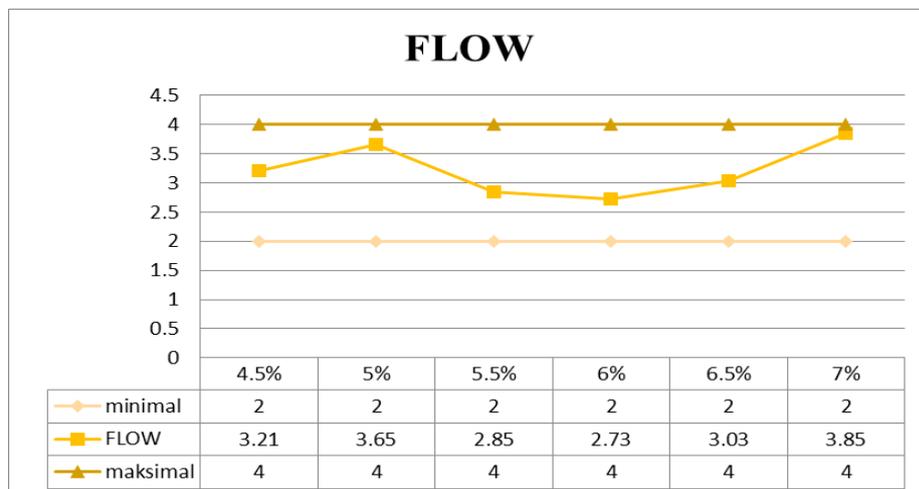
Dari Gambar IV.3, dapat dilihat hubungan antara kadar aspal dengan VMA. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal dengan VMA dari beberapa variasi kadar aspal, yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga untuk nilai VMA yang disyaratkan yaitu minimal 14% dari variasi kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%, semuanya memenuhi spesifikasi yang digunakan.



Gambar IV. 4 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan VFB

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.4, dapat dilihat hubungan kadar aspal dan VFB. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal dengan VMA yang memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga untuk nilai VFB yang disyaratkan yaitu minimal 65% diantara beberapa variasi kadar aspal hanya 6,5% dan 7% yang memenuhi dari spesifikasi yang digunakan.

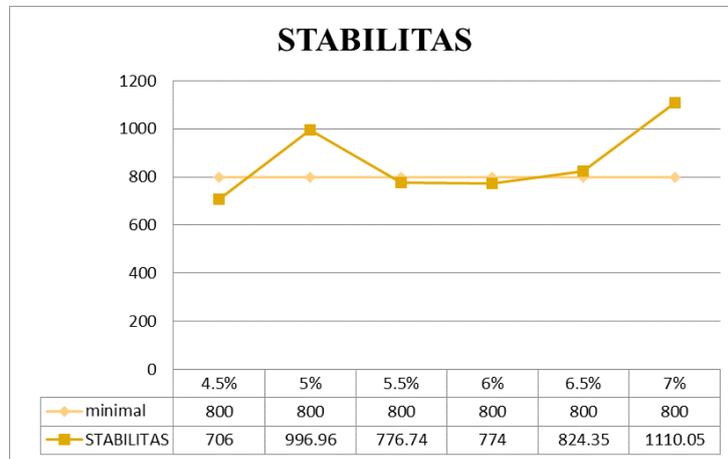


Gambar IV. 5 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Flow

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.5, dapat dilihat hubungan kadar aspal dengan Flow. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal dengan semua variasi kadar

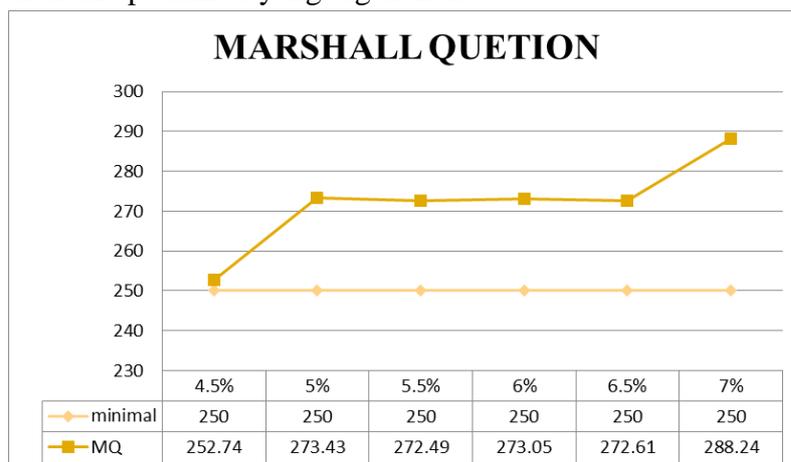
aspal yang digunakan memenuhi syarat untuk nilai flow sesuai spesifikasi umum Bina Marga.



Gambar IV. 6 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Sabilitas

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.6, dapat dilihat hubungan kadar aspal dengan stabilitas. Hubungan yang dihasilkan antara kadar aspal dengan stabilitas yang memenuhi spesifikasi umum Bina Marga untuk nilai Stabilitas yang disyaratkan yaitu minimal 800 kg, hanya kadar aspal 5%, 6.5% dan 7% yang memenuhi spesifikasi. Pada kadar aspal 4,5%, 5.5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi yang digunakan.



Gambar IV. 7 Kurva Hubungan Kadar Aspal dengan Marshall quotient

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Gambar IV.7, dapat dilihat hubungan kadar aspal dengan MQ. Nilai yang diisyaratkan spesifikasi Umum Bina Marga untuk nilai Marshall Quotient (MQ) yaitu minimal 250 kg, semua kadar aspal memenuhi.

Dari beberapa gambar kurva hubungan antara parameter marshall dengan kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum diatas, maka diperoleh hasil seperti dibawah ini:

Tabel IV. 11 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

KARAKTERISTIK	PRESENTASE SESUAI SPESIFIKASI						SPESIFIKASI
	4,5	5	5,5	6	6,5	7	
VIM					■	■	3%-5%
VMA	■	■	■	■	■	■	MIN 14%
VFB					■	■	MIN 65%
STABILITAS		■			■	■	MIN 800 kg
FLOW	■	■	■	■	■	■	2-4 mm
MQ	■	■	■	■	■	■	MIN 250 kg/mm
	4,5	5	5,5	6	6,5	7	

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil UNIFA, 2024

Dari Tabel IV.10 dapat kita lihat bahwa hasil pengujian kadar aspal optimum dari parameter marshall ternyata ada beberapa karakteristik yang tidak memenuhi spesifikasi yang digunakan, seperti pada karakteristik nilai VIM hanya pada kadar aspal 6,5%, dan 7% yang memenuhi, sedangkan pada kadar aspal 5%, 5,5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik VMA semua kadar aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik VFB hanya kadar aspal kadar aspal 6,5% dan 7% yang memenuhi spesifikasi. Untuk karakteristik Flow, semua kadar aspal memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik Stabilitas, kadar aspal 5%,

6,5% dan 7% memenuhi spesifikasi, kadar aspal 5,5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi. Sedangkan untuk karakteristik MQ, semua kadar aspal memenuhi nilai persyaratan sesuai spesifikasi.

Dan untuk mendapatkan nilai tengah dari kadar aspal optimum dari pengujian yang kita lakukan dengan cara seperti yang ada pada rumus dibawah ini:

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{6,5+7}{2} = 6,75$$

Seperti hasil perhitungan nilai tengah diatas, maka nilai kadar aspal optimum yang digunakan pada penelitian ini yaitu 6,75 %.

### IV.3 Gradasi Gabungan Agregat

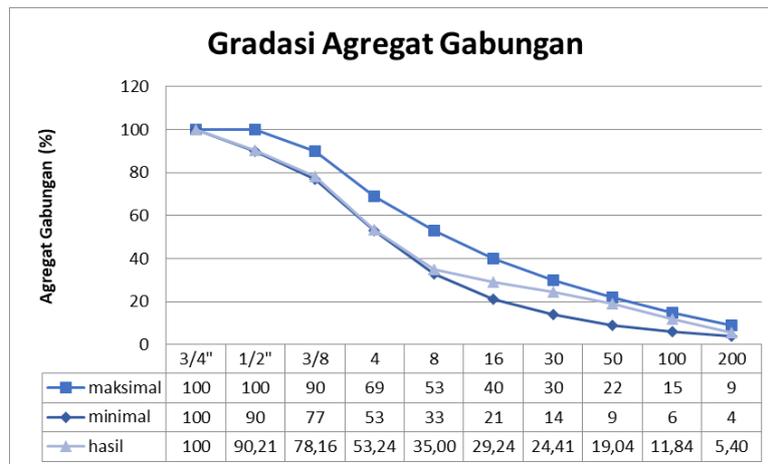
Penentuan gradasi campuran dan mix design dalam penelitian ini mengikuti pedoman standar spesifikasi umum Bina Marga. Persentase relatif dari setiap jenis agregat yang digunakan dalam penelitian, yaitu agregat kasar, agregat halus, dan filler, adalah 65%: 30%: 5%, yang kemudian dikalikan dengan nilai persentase lolos agregat dari hasil pengujian Analisis Saringan Agregat sebelumnya. Hasil perhitungan ini kemudian dijumlahkan untuk mendapatkan komposisi campuran atau mix design.

Penentuan komposisi agregat dilakukan dengan menggunakan metode *by sieve*, di mana penimbangan dilakukan berdasarkan ukuran saringan. Berbeda dengan metode *by portion* yang mengelompokkan fraksi agregat (agregat kasar, agregat halus, dan filler), metode ini menentukan komposisi melalui penimbangan berdasarkan ukuran saringan yang digunakan dalam penelitian ini. Rincian mengenai penentuan komposisi agregat dengan metode gradasi *by sieve* dapat ditemukan di bawah ini:

Tabel IV. 12 Gradasi Gabungan Agregat

NOMOR SARINGAN		3/4	1/2	3/8	No. 4	No. 8	No.16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
BATU PECAH	% PASS	100.00	84.93	66.40	28.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	% BATCH	65	55.21	43.16	18.24	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PASIR	% PASS	100	100	100	100	100.00	80.80	64.70	47.80	33.60	15.40
30	% BATCH	30	30	30	30	30	24.24	19.41	14.34	10.08	4.62
DEBU BATU	% PASS	100	100	100	100	100.00	100.00	100.00	93.90	35.20	15.60
5	% BATCH	5	5	5	5	5	5	5	4.695	1.76	0.78
AGREGAT GABUNGAN		100	90.21	78.16	53.24	35.00	29.24	24.41	19.04	11.84	5.40
SPESIFIKASI		100	90-100	77-90	53-69	33-53	21-40	14-30	9-22	6-15	4-9

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024



Gambar IV. 8 Kurva Gradasi Gabungan Agregat

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Setelah dilakukan pengayakan untuk penentuan komposisi antara agregat kasar, agregat halus dan filler berdasarkan komposisi untuk masing-masing ukuran saringan yang digunakan sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga, maka diperoleh nilai hasil pengujian seperti yang terlihat pada Tabel IV.11 dan Gambar IV.8 diperoleh nilai persentase antara agregat kasar agregat, halus, filler, yaitu 65%: 30%: 5%. Untuk komposisi agregat,

baik agregat kasar, agregat halus maupun filler yang digunakan yaitu agregat yang tertahan dimasing-masing saringan kemudian dipisahkan sesuai dengan ukuran saringan dari spesifikasi yang digunakan. Grafik di atas menjelaskan hasil gradasi agregat gabungan memenuhi atau tidak terhadap spesifikasi binar marga 2018.

#### IV.4 Pembuatan Benda Uji Menggunakan Filler Substitusi Batu Zeolit 0/100, 50/50, dan 100/0

Campuran aspal panas menggunakan kadar aspal optimum sebesar 6,75% dengan penetrasi 60/70, perincian perhitungannya tersedia dalam lampiran. Selanjutnya, berat aspal dan agregat dalam campuran terhadap kadar aspal optimum adalah sebagai berikut:

##### IV.4.1 Proporsi Perbandingan Agregat Alam dengan Filler Batu Zeolit

Setelah diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum maka langkah selanjutnya dilakukan komposisi proporsi perbandingan kadar Filler dan Filler Batu Zeolit. Berikut ini merupakan tabel nilai perbandingan filler alam dan agregat filler Batu Zeolit untuk campuran spesifikasi umum Bina Marga sebagai berikut:

Tabel IV. 13 Proporsi Campuran Agregat Alam dengan Filler Batu Zeolit 0/100

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Batu Zeolit	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,70	109,61	0,00	0,00	0,00	109,61
3/8"	9,80	134,78	0,00	0,00	0,00	134,78
4	4,75	278,79	0,00	0,00	0,00	278,79
8	2,35	204,17	0,00	0,00	0,00	204,17
16	1,18	0,00	64,45	0,00	0,00	64,45
30	0,60	0,00	54,05	0,00	0,00	54,05
50	0,30	0,00	56,73	3,41	0,00	60,15
100	0,15	0,00	47,67	32,84	0,00	80,51
200	0,075	0,00	61,10	10,97	0,00	72,06
PAN	0,00	0,00	51,70	8,73	0,00	60,43
Berat Total Agregat						1119,00
Berat Aspal (6.75%)						81,00
Total						1200,00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Tabel IV. 14 Proporsi Campuran Agregat Alam dengan Filler Batu Zeolit 50/50

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Batu Zeolit	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,70	109,61	0,00	0,00	0,00	109,61
3/8"	9,80	134,78	0,00	0,00	0,00	134,78
4	4,75	278,79	0,00	0,00	0,00	278,79
8	2,35	204,17	0,00	0,00	0,00	204,17
16	1,18	0,00	64,45	0,00	0,00	64,45
30	0,60	0,00	54,05	0,00	0,00	54,05
50	0,30	0,00	56,73	1,71	1,71	60,14
100	0,15	0,00	47,67	16,42	16,42	80,51
200	0,075	0,00	61,10	5,49	5,49	72,07
PAN	0,00	0,00	51,70	4,37	4,37	60,43
Berat Total Agregat						1119,00
Berat Aspal (6.75%)						81,00
Total						1200,00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Tabel IV. 15 Proporsi Campuran Agregat Alam dengan Filler Batu Zeolit 100/0

Saringan	Bukaan	Chipping	Pasir	Abu Batu	Batu Zeolit	Total
No.	(mm)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)
3/4"	19,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2"	12,70	109,61	0,00	0,00	0,00	109,61
3/8"	9,80	134,78	0,00	0,00	0,00	134,78
4	4,75	278,79	0,00	0,00	0,00	278,79
8	2,35	204,17	0,00	0,00	0,00	204,17
16	1,18	0,00	64,45	0,00	0,00	64,45
30	0,60	0,00	54,05	0,00	0,00	54,05
50	0,30	0,00	56,73	0,00	3,41	60,15
100	0,15	0,00	47,67	0,00	32,84	80,51
200	0,075	0,00	61,10	0,00	10,97	72,06
PAN	0,00	0,00	51,70	0,00	8,73	60,43

Berat Total Agregat	1119,00
Berat Aspal (6.75%)	81,00
Total	1200,00

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Nilai kadar aspal optimum yang digunakan pada penelitian ini yaitu 6,75% Cara untuk mendapatkan kadar aspal pada setiap variasi dengan mengkalikan jumlah total campuran yaitu 1.200 dengan nilai kadar aspal lalu di bagi 100.

## IV.5 Pengujian Campuran Aspal

### IV.5.1 Marshall Test

Pada pengujian ini merupakan hasil dari nilai VIM, VMA VFB, stabilitas, flow dan marshal quotient terhadap campuran aspal benda uji. Adapun variasi Batu Zeolit yang digunakan yaitu 0/100, 50/50 dan 100/0. Hasilnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel IV. 16 Pengujian Marshall

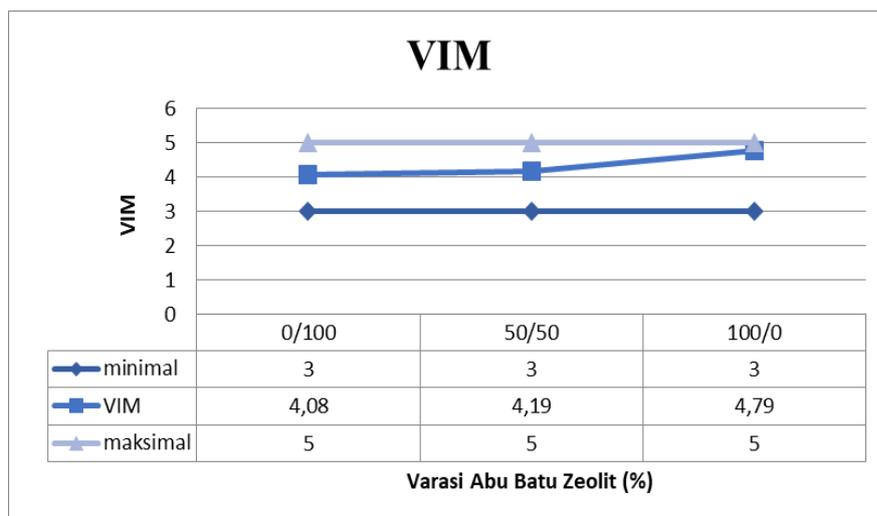
Varasi Abu Batu Zeolit	No. Sampel	Nilai Hasil Pengujian Marshall					
		VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0%	1	3,45	15,81	77,58	965,96	2,68	360,43
	2	4,89	16,98	71,22	928,26	3,08	301,38
	3	3,8	16,03	76,3	951,82	2,17	438,63
<b>Rata-rata</b>		<b>4,08</b>	<b>16,27</b>	<b>75,03</b>	<b>948,68</b>	<b>2,64</b>	<b>366,82</b>
50%	1	3,6	15,85	77,31	918,84	2,80	328,16
	2	4,09	16,29	74,88	1036,64	2,73	379,72
	3	4,88	16,97	71,26	871,72	3,00	290,57
<b>Rata-rata</b>		<b>4,19</b>	<b>16,37</b>	<b>74,48</b>	<b>942,40</b>	<b>2,84</b>	<b>332,82</b>
100%	1	3,62	15,88	77,18	918,84	2,90	316,84
	2	7,84	19,55	59,93	838,74	3,01	278,65
	3	2,91	15,26	80,9	1039,74	4,01	259,29
<b>Rata-rata</b>		<b>4,79</b>	<b>16,9</b>	<b>72,67</b>	<b>932,44</b>	<b>3,31</b>	<b>284,93</b>

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Berdasarkan hasil pengujian pada setiap variabel marshal, maka variasi 0%, 50%, 100% memenuhi spesifikasi bina marga 2018. Karena nilai rata-rata yang di hasilkan dari pengujian lab memenuhi standar yang di syartkan.

#### IV.5.1.1 VIM (*Void In The Mix*)

*Void In The Mix* merupakan volume rongga yang terdapat dalam keseluruhan campuran. Nilai VIM memiliki dampak penting terhadap masa pakai lapisan perkerasan; semakin tinggi nilai VIM, semakin besar rongga dalam campuran tersebut, yang menandakan campuran memiliki sifat yang lebih berongga.



Gambar IV. 9 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai VIM

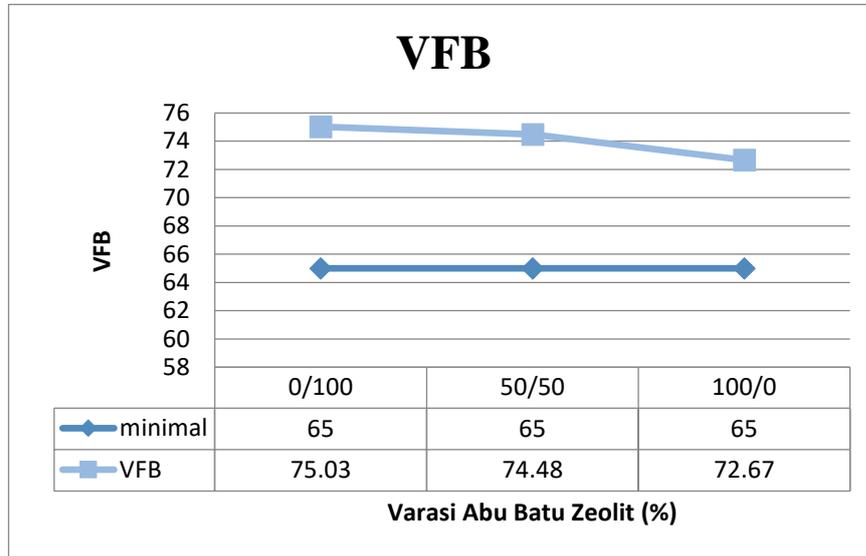
Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Pada Gambar IV.9 dapat dilihat bahwa nilai VIM pada penggunaan Batu Zeolit dengan variasi 0/100, 50/50, 100/0, memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2018. Karena dari grafik pada gambar tidak kurang dari minimal dan tidak melebihi batas maksimal.

#### IV.5.1.2 VFB (*Void Filler In Bitumen*)

*Void Filler In Bitumen* adalah persentase pori antara butiran agregat yang telah diisi oleh aspal. Oleh karena itu, VFB merupakan bagian dari

VMA yang telah diisi oleh aspal, termasuk aspal yang telah terserap oleh masing-masing butiran agregat.



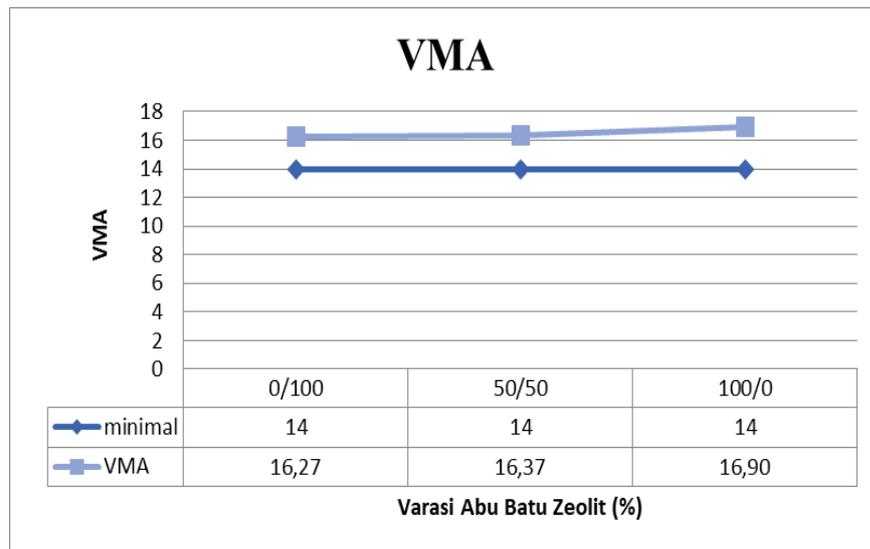
Gambar IV. 10 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai VFB

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Dapat dilihat pada Gambar IV.10 diatas menjelaskan bahwa nilai yang didapatkan pada setiap variasi Memenuhi spesifikasi bina marg. Karena nilai VFB tidak melewati batas minimal ketentuan.

#### IV.5.1.3 VMA (*Void In Mineral Agregat*)

*Void In Mineral Aggregate* adalah volume rongga udara di antara butiran agregat dalam campuran aspal yang padat. Ini termasuk rongga udara dan jumlah aspal efektif yang ada di dalamnya, dinyatakan sebagai persentase dari volume total. Jumlah rongga udara ini mempengaruhi kinerja campuran; jika Volume of Voids in Mineral Aggregate (VMA) terlalu kecil, maka campuran mungkin memiliki masalah durabilitas, sedangkan jika VMA terlalu besar, campuran bisa menjadi tidak ekonomis dan menimbulkan masalah dalam produksi.



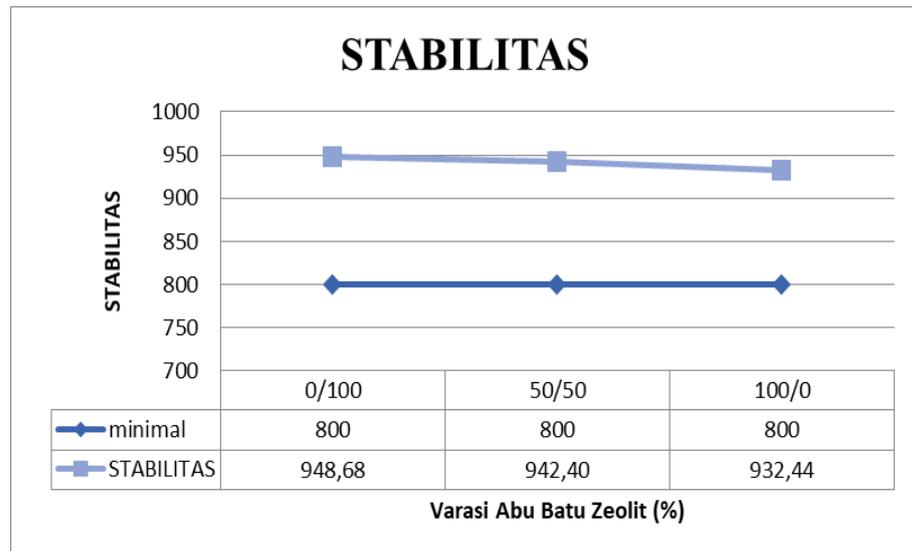
Gambar IV. 11 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai VMA

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Berdasarkan syarat Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yang diisyaratkan yaitu minimal 14%. Dari hasil yang diperoleh nilai pada setiap variasi penggunaan Batu Zeolit memenuhi spesifikasi. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai VMA mengalami kenaikan dikarenakan faktor dari persen antara kadar aspal dan penambahan variasi Batu Zeolit serta perubahan suhu pada saat pembuatan briket.

#### IV.5.1.4 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan campuran aspal untuk menahan beban hingga mencapai titik lelehan plastis atau, dengan kata lain, kemampuan lapisan keras untuk mengatasi deformasi akibat beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk permanen seperti gelombang atau alur. Menurut Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018, nilai minimal stabilitas yang diharapkan adalah 800 kg. Pada penelitian ini hasil yang didapatkan



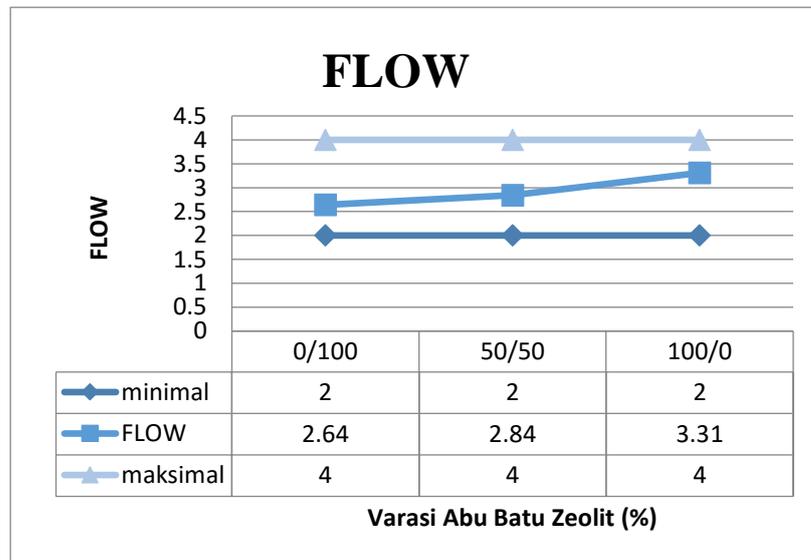
Gambar IV. 12 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai Stabilitas

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Hasil dari Gambar IV.12, dimana hasil dari setiap variasi memenuhi spesifikasi bina marga yaitu minimal 800kg dan dari hasil yang diperoleh menunjukkan nilai STABILITAS melebihi 800kg.

#### IV.5.1.5 Kelelehan (*Flow*)

*Flow* adalah tingkat penurunan atau perubahan bentuk awal benda uji yang terjadi ketika mulai dibebani, yang mengakibatkan penurunan stabilitas dan mencerminkan seberapa besar deformasi yang terjadi pada lapisan perkerasan karena menahan beban yang diterimanya.



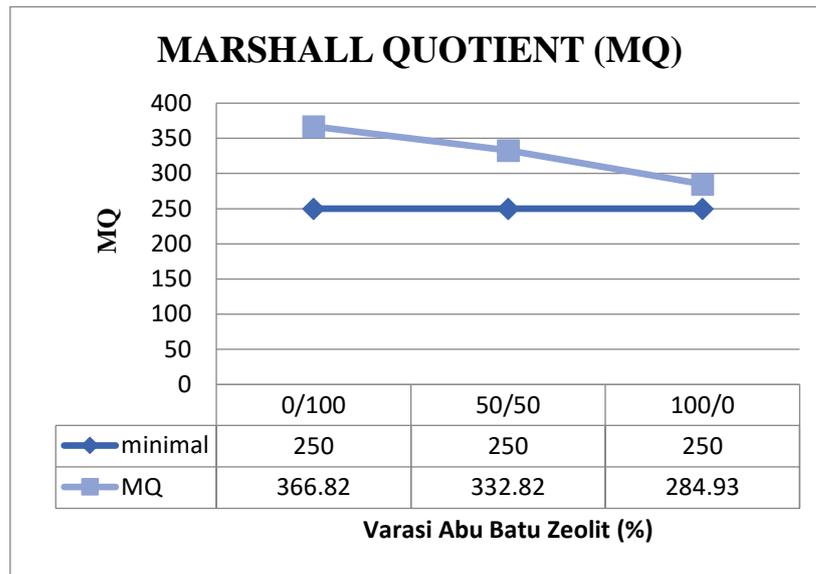
Gambar IV. 13 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai Kelelehan

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018, nilai spesifikasi pada kelelehan (flow) yang diisyaratkan adalah minimal 2 mm dan maksimal 4 mm. Dapat dilihat dari Gambar IV.13, hasil yang diperoleh dari setiap variasi tidak melebihi dari standar maksimal yang ditentukan.

#### IV.5.1.6 MQ (*Marshall Question*)

*Marshall Quotient* adalah hasil pembagian antara stabilitas dengan flow dalam uji Marshall. Nilai Marshall Quotient mencerminkan tingkat fleksibilitas campuran; semakin tinggi nilai Marshall Quotient, semakin kaku campuran tersebut, sedangkan semakin rendah nilainya, campuran akan menjadi lebih lentur.



Gambar IV. 14 Variasi Batu Zeolit Terhadap Nilai MQ

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil 2024

Berdasarkan standar Bina Marga spesifikasi minimal 250 kg/mm, dapat dilihat pada Gambar IV.14 menunjukkan bahwa nilai yang dihasilkan pada setiap variasi memenuhi spesifikasi bina marga. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai pada pengujian Marshall Quetion memenuhi spesifikasi yang ditentukan. Namun pada hasil yang diperoleh pada variasi 100/0 mengalami penurunan, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi variasi penggunaan Batu Zeolit maka nilai yang didapatkan semakin rendah.

#### IV.5.2 Pengujian Cantabro

Uji Cantabro dilakukan untuk mengetahui ketahanan campuran aspal terhadap granulasi yang dapat diuji abrasi (uji Cantabro). Untuk mengetahui keausan benda uji, benda uji yang dipadatkan (briket) ditempatkan di dalam drum mesin Los Angeles Berikut adalah tahap – tahap saat pengujian cantabro:

1. Menimbang berat benda uji sebelum dilakukan pengujian
2. Memasukkan benda uji pada mesin Los Angeles
3. Menjalankan mesin Los Angeles sebanyak 300 putaran

4. Menimbang kembali benda uji setelah di Los Angeles

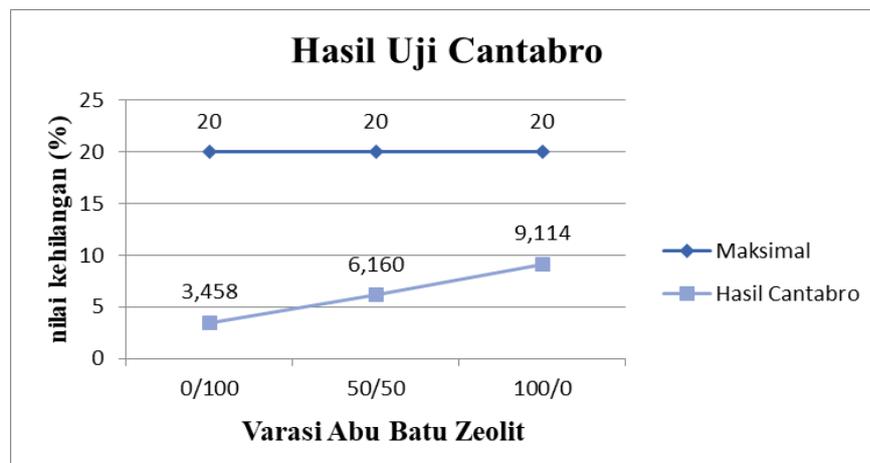
Tabel IV. 17 Hasil Pengujian Cantabro

Varasi Abu Batu Zeolit	No. Sampel	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat	Spesifikasi BINA MARGA
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
0%	1	6,75	1189	1137	52	4,373	Maks.20
	2		1178	1153	25	2,122	
	3		1186	1140	46	3,879	
<b>Rata-Rata</b>			<b>1184</b>	<b>1143</b>	<b>41</b>	<b>3,458</b>	
50%	1	6,75	1129	1074	55	4,872	
	2		1160	1073	87	7,500	
	3		1113	1045	68	6,110	
<b>Rata-Rata</b>			<b>1134</b>	<b>1064</b>	<b>70</b>	<b>6,160</b>	
100%	1	6,75	1145	1020	125	10,917	
	2		1164	1048	116	9,966	
	3		1130	1057	73	6,460	
<b>Rata-Rata</b>			<b>1146</b>	<b>1042</b>	<b>105</b>	<b>9,114</b>	

Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Berdasarkan dari syarat Standar Bina Marga 2018 yang di syaratkan maksimal 20%. Dimana hasil yang di dapatkan rata-rata kurang dari batas maksimal yang di syaratkan.

Gambar IV. 15 Grafik Uji Cantabro



Sumber: Hasil Pengujian dan Perhitungan Laboratorium Teknik Sipil Unifa, 2024

Pada Gambar IV.15 yang menjelaskan bahwa nilai rata – rata kehilangan berat pada variasi 0/100 sebesar 3.458%, untuk variasi 50/50 sebesar 6.160% dan untuk variasi 100/0 sebesar 9,114%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pada pengujian ini nilai yang dihasilkan memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga yang telah ditentukan. Dari hasil pengujian cantabro dapat dilihat dari grafik bahwa pada variasi 50/50 dan variasi 100/0 mengalami kenaikan yang cukup signifikan, hal tersebut dipengaruhi oleh Batu Zeolit sebagai substitusi Filler memiliki tingkat kekerasan dan ketahanan yang menurun akibat dari perubahan suhu dari dingin menjadi panas yang mencapai 160 derajat sehingga tingkat kerekatan antara campuran menjadi berkurang, lalu faktor berikutnya adalah pada proses pembuatan benda uji dilakukan oleh orang-orang yang berbeda dan tentu memiliki perbedaan dari segi pengerjaan.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **V.1 Kesimpulan**

1. Hasil pengujian kadar aspal optimum dilakukan di laboratorium menggunakan benda uji dengan variasi kadar aspal sebesar 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar aspal optimum yang paling optimal adalah sebesar 6,75%.
2. Pada pengujian karakteristik marshall, penggunaan Batu Zeolit sebagai substitusi Filler semuanya memenuhi spesifikasi.
3. Mengacu pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 yang diisyaratkan yaitu maksimal 20% oleh sebab itu dapat di simpulkan bahwa pengujian cantabro pada substitusi penggunaan Batu Zeolit terhadap Filler memenuhi spesifikasi sebab nilai rata – rata yang di peroleh tidak di atas 20% dari persyaratan yang ditentukan,

#### **V.2 Saran**

1. Perlu dilakukan penelitian berikutnya dengan menggunakan bahan pengganti yang berbeda atau kadar aspal yang berbeda.
2. Perlu dilakukan penelitian berikutnya dengan penambahan kadar variasi Batu Zeolit.
3. Perlu dilakukan penelitian berikutnya dengan menjadikan Batu Zeolit sabagai substitusi agregat halus.

## DAFTAR PUSTAKA

- Cabrera, A. (2016) 'Penggunaan Aspal Berongga', p. 19
- Hermanto Aulia (2022). *Analisis Kinerja Campuran Aspal Berongga Menggunakan Limbah Beton Berbasis Jumlah Tumbukan*. Universitas Fajar.
- Imannurrohman N, Sudarno, Amin M. (2021). *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston Asphalt Concrete – Wearing Coarse (AC-WC)*. Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil v.02, n.1, p. 25-32.
- Kasan, M. (2009). Karakteristik Stabilitas dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang. *Mektek*, 11(2), 134–146.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Jalan dan Jembatan (General Specifications of Bina Marga 2018 for Road Works and Bridges)*. September.
- Mardiana (2021) *ANALISIS KINERJA CAMPURAN ASPAL BERONGGA DENGAN SUBSTITUSI LIMBAH BETON SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT MENGGUNAKAN SPESIFIKASI REAM*. Universitas Fajar.
- Nicholls. 1998. *Asphalt Surfacing*. London: E & FN Spon.
- Ningrum, A, A., & Risdianto, Y. (2018). Perbandingan Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) dan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) sebagai Bahan Substitusi Agregat pada Campuran Aspal Wearing Course (AC-WC) dengan Fly Ash Sebagai Filler. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2), 1–7. <https://jurnalmahasiswa.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/24895/22803>
- Pohan, M. (2007). *Analisis Campuran Aspal Beton pada Lapis Pondasi dan Lapis Permukaan dengan Metode Marshall*. Jurnal Sipil Teknik, 2(1), 27-36.
- Pratama, D. (2011) 'Analisa Pengaruh Variasi Jumlah Tumbukan Pada Proses Pemadatan Campuran Aspal Beton', *Jakarta*, 1, pp. 14–48.
- Kasan, M. (2009). Karakteristik Stabilitas dan Stabilitas Sisa Campuran Beton Aspal Daur Ulang. *Mektek*, 11(2), 134–146.

- Putrawirawan, A., Pranoto, Y., Palondongan, M. I., Samarinda, P. N., & Marshall, K. (2018). P-39 Alternatif Penambahan Batu Laterit sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Pada Perkerasan asphalt Concrete – Binder Course ( Ac-Bc ) the Addition Alternative of Laterit As Materials Substitutioncourse Agregate To Pavement asphalt Concrete - Binder. *SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*.
- Saodang, H. (2005). *Perancangan Perkerasan Jalan* (2nd ed.). Penerbit Nova.
- Sugiarto. et all (2016) . *Efek Pengaruh Temperatur Pematatan pada Campuran untuk Perkerasan Lapis Aus*. Jurnal Rekayasa Sipil',4(3), pp. 513-522. Available at: <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/artcle/view/467>.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas* (1st ed.).
- Suprpto, Heri. 2009. *Studi Model Pengelolaan Limbah Konstruksi dalam Pelaksanaan Pembangunan Proyek Konstruksi*. Jurnal Proceeding PESAT (Psikologi, Ekonomi, Sastra, Arsitektur dan Sipil) Universitas Gunadarma, Vol.3, ISSN: 18858-2559.
- Wiyono, E. (2015). Untuk Daur Ulang Campuran Beton Aspal. *Politeknologi*, 14(1), 1–8.
- Yuliansyah, A., dkk., (2015). *Pengaruh Kandungan Aspal Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran AC-WC Dengan Variasi VMA (Void In Mineral Aggregate)*. Jurnal Transportasi, 15(3), 241-251.
- Yusril Mahendra A. & Zulfan Syah M. (2023). *Pengaruh Bahan Tambah Serat Fiber Karbon Dalam Campuran Superpave Terhadap Sifat-Sifat Mekanik*. Universitas Muslim Indonesia.

# LAMPIRAN



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 1 Pemeriksaan Absorpsi Dan Berat Jenis Agregat Kasar

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 2500gr (Chipping)

No. Contoh		I	II	Rata-rata
Berat Contoh Kering Oven (Gr)	A	2445,00	2485,00	2465,00
Berat Contoh Kering Permukaan (Gr)	B	2505,00	2505,00	2505,00
Berat Contoh Dalam Air (Gr)	C	1612,00	1605,00	1608,50
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	$\frac{A}{B - C}$	2,74	2,76	2,75
Berat Jenis Bulk SSD	$\frac{B}{B - C}$	2,81	2,78	2,80
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{A - C}$	2,94	2,82	2,88
Penyerapan Air	$\frac{B - A}{A} \times 100\%$	2,45	0,80	1,63

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

kemiSipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 9023

Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 500gr (Pasir)

No. Contoh		I	II	Rata-rata
Berat Contoh Kering Oven (Gr)	A	493,00	495,00	494,00
Berat Contoh Kering Permukaan (Gr)	B	748,00	745,00	746,50
Berat Contoh Dalam Air (Gr)	C	1055,00	1055,00	1055,00
Berat Jenis Bulk (Atas Dasar Kering Oven)	$\frac{A}{B + 500 - C}$	2,55	2,61	2,58
Berat Jenis Bulk SSD	$\frac{500}{B + 500 - C}$	2,59	2,63	2,61
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{B + A - C}$	2,65	2,68	2,67
Penyerapan Air	$\frac{500 - A}{A} \times 100\%$	1,42	1,01	1,22

Makassar, 23 Januari 2024

Koordinator Laboratorium Teknik  
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



**LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL**  
**PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS FAJAR**

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

**Lampiran 3 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar**

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 5000gr (Chipping)

Gradasi Saringan		No. Sampel			
		I		II	
Lolos	Tertahan	A	B	C	D
		Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
3/4"	1/2"	2500	2332	2500	2458
1/2"	3/8"	2500		2500	
Jumlah Berat (gram)		5000		5000	
Tertahan Saringan No. 8		2332		2458	
Keausan					
$\frac{A - B}{A} \times 100\%$		$\frac{5000 - 2332}{5000} \times 100\%$ =53,36%		$\frac{5000 - 2458}{5000} \times 100\%$ =50,84%	
Rata-rata		52,10%			

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;  
 Koordinator Laboratorium Teknik  
 Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 4 Pemeriksaan Indeks Kepipihan Agregat Kasar

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1000gr (Chipping)

Nomor	Gradasi Saringan		Ukuran Thickness Gauge		Berat Lolos Slot (Gram)	Berat Tertahan Slot (Gram)	Total Berat (Gram)
			Lebar (mm)	Panjang g (mm)			
			A	B	C		
I	3/4"	1/2"	6.67	38.2	110	390	50
II	1/2"	3/8"	4.8	25.4	138	362	0
Total					248	752	100
<b>Indeks Kepipihan</b> = $\frac{\text{Total Berat A}}{\text{Total Berat C}} \times 100\%$					$\frac{248}{1000} \times 100\% = 24.8\%$		

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;  
Koordinator Laboratorium Teknik  
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

---

Lampiran 5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1000gr (Pasir)

Kode	Uraian	Pemeriksaan
A	Volume lumpur	3 ml
B	Volume total (lumpur + pasir)	200 ml

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{A}{B} \times 100\% = 1,5\%$$

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;  
Koordinator Laboratorium Teknik  
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 6 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1500gr

Material : Chipping

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	226,00	226,00	15,07	84,93
3/8"	278,00	504,00	33,60	66,40
4	575,00	1079,00	71,93	28,07
8	421,00	1500,00	100,00	0,00
16	0,00	1500,00	100,00	0,00
30	0,00	1500,00	100,00	0,00
50	0,00	1500,00	100,00	0,00
100	0,00	1500,00	100,00	0,00
200	0,00	1500,00	100,00	0,00
PAN	0,00	1500,00	100,00	0,00

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 7 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1000gr

Material : Pasir

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
4	0,00	0,00	0,00	100,00
8	0,00	0,00	0,00	100,00
16	192,00	192,00	19,20	80,80
30	161,00	353,00	35,30	64,70
50	169,00	522,00	52,20	47,80
100	142,00	664,00	66,40	33,60
200	182,00	846,00	84,60	15,40
PAN	154,00	1000,00	100,00	0,00

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 8 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus/abu batu

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian : Karakteristik Agregat

Penelitian : Tugas Akhir

Berat Bahan : 1000gr

Material : Abu Batu

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	0,00	0,00	0,00	100,00
4	0,00	0,00	0,00	100,00
8	0,00	0,00	0,00	100,00
16	0,00	0,00	0,00	100,00
30	0,00	0,00	0,00	100,00
50	61,00	61,00	6,10	93,90
100	587,00	648,00	64,80	35,20
200	196,00	844,00	84,40	15,60
PAN	156,00	1000,00	100,00	0,00

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



**LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL**  
**PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS FAJAR**

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

**Lampiran 9 Analisa Data Bricket Gradasi Bina Marga**

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Material Chipping	=	(	100%	-	6,75%	)	x	65%	x	1200	=	727,35
3/4	=	(	100%	-	100,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram	
1/2	=	(	100,00%	-	84,93%	)	x	727,35	=	109,61	gram	
3/8	=	(	84,93%	-	66,40%	)	x	727,35	=	134,78	gram	
no. 4	=	(	66,40%	-	28,07%	)	x	727,35	=	278,79	gram	
no. 8	=	(	28,07%	-	0,00%	)	x	727,35	=	204,17	gram	
no. 16	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram	
no. 30	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram	
no. 50	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram	
no. 100	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram	
no. 200	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram	
PAN	=	(	0,00%	-	0,00%	)	x	727,35	=	0,00	gram	
Material pasir	=	(	100%	-	6,75%	)	x	30%	x	1200	=	335,7
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram	
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram	
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram	
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram	
no. 8	=	(	100%	-	100%	)	x	335,70	=	0,00	gram	
no. 16	=	(	100%	-	80,80%	)	x	335,70	=	64,45	gram	
no. 30	=	(	81%	-	64,70%	)	x	335,70	=	54,05	gram	
no. 50	=	(	64,70%	-	47,80%	)	x	335,70	=	56,73	gram	
no. 100	=	(	47,80%	-	33,60%	)	x	335,70	=	47,67	gram	
no. 200	=	(	33,60%	-	15,40%	)	x	335,70	=	61,10	gram	
PAN	=	(	15,40%	-	0,00%	)	x	335,70	=	51,70	gram	
Material Debu Abu	=	(	100%	-	6,75%	)	x	5%	x	1200	=	55,95
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram	
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram	
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram	
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram	
no. 8	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram	
no. 16	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram	
no. 30	=	(	100%	-	100%	)	x	55,95	=	0,00	gram	
no. 50	=	(	100%	-	93,90%	)	x	55,95	=	3,41	gram	
no. 100	=	(	93,90%	-	35,20%	)	x	55,95	=	32,84	gram	
no. 200	=	(	35,20%	-	15,60%	)	x	55,95	=	10,97	gram	
PAN	=	(	15,60%	-	0,00%	)	x	55,95	=	8,73	gram	

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;

Koordinator Laboratorium Teknik

Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

---

Lampiran 10 Analisa Nilai Variasi Batu Zeolit

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Variasi Batu Zeolit	No. Saringan			
	50	100	200	pan
0	3.41	32.84	10.97	8.73
50	1.71	16.42	5.49	4.37
100	3.41	32.84	10.97	8.73

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;  
Koordinator Laboratorium Teknik  
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 11 Analisa Data Pengujian Marshall

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Varasi Abu Batu Zeolit	No. Sampel	Nilai Hasil Pengujian Marshall					
		VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0%	1	3,45	15,81	77,58	965,96	2,68	360,43
	2	4,89	16,98	71,22	928,26	3,08	301,38
	3	3,8	16,03	76,3	951,82	2,17	438,63
<b>Rata-rata</b>		<b>4,08</b>	<b>16,27</b>	<b>75,03</b>	<b>948,68</b>	<b>2,64</b>	<b>366,82</b>
50%	1	3,6	15,85	77,31	918,84	2,80	328,16
	2	4,09	16,29	74,88	1036,64	2,73	379,72
	3	4,88	16,97	71,26	871,72	3,00	290,57
<b>Rata-rata</b>		<b>4,19</b>	<b>16,37</b>	<b>74,48</b>	<b>942,40</b>	<b>2,84</b>	<b>332,82</b>
100%	1	3,62	15,88	77,18	918,84	2,90	316,84
	2	7,84	19,55	59,93	838,74	3,01	278,65
	3	2,91	15,26	80,9	1039,74	4,01	259,29
<b>Rata-rata</b>		<b>4,79</b>	<b>16,9</b>	<b>72,67</b>	<b>932,44</b>	<b>3,31</b>	<b>284,93</b>

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;  
Koordinator Laboratorium Teknik  
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 12 Analisa Data Pengujian Cantabro

Dikerjakan : Revaldo Charles Patandean

Diperiksa :

Pengujian :

Penelitian : Tugas Akhir

Varasi Abu Batu Zeolit	No. Sample	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat	Spesifikasi BINA MARGA
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
0%	1	6,75	1189	1137	52	4,373	Maks.20
	2		1178	1153	25	2,122	
	3		1186	1140	46	3,879	
<b>Rata-Rata</b>			<b>1184</b>	<b>1143</b>	<b>41</b>	<b>3,458</b>	
50%	1	6,75	1129	1074	55	4,872	
	2		1160	1073	87	7,500	
	3		1113	1045	68	6,110	
<b>Rata-Rata</b>			<b>1134</b>	<b>1064</b>	<b>70</b>	<b>6,160</b>	
100%	1	6,75	1145	1020	125	10,917	
	2		1164	1048	116	9,966	
	3		1130	1057	73	6,460	
<b>Rata-Rata</b>			<b>1146</b>	<b>1042</b>	<b>105</b>	<b>9,114</b>	

Makassar, 23 Januari 2024

Mengetahui;  
Koordinator Laboratorium Teknik  
Sipil Universitas Fajar

(Dr. Erdawaty, ST., MT)



LABORATORIUM JALAN RAYA & ASPAL  
PRODI SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS FAJAR

Jl. Prof. Abdurrahman Basalamah No. 101 Makassar 90231

Lampiran 13 Dokumentasi Pengujian



Batu Zeolit



Pencucian Agregat (Chipping)



Pencucian Agregat (Pasir)



Penjemuran Agregat (Chipping)



Penjemuran Agregat (Pasir)



Proses Penyaringan Agregat



Pembuatan Benda Uji (Penimbangan Agregat)



Pembuatan Benda Uji (Proses Mix Design Agregat)



Pembuatan Benda Uji (Pengecekan Suhu Agregat)



Pembuatan Benda Uji (Penambahan Aspal Pada Agregat)



Pembuatan Benda Uji (Penumbukan)



Pembuatan Benda Uji (Pencetakan Briket)



Pengujian Marshall (Berat Jenis)



Pengujian Marshall (Perendaman Sampel Dalam Water Bath)



Pengujian Marshall (Marshall Compression)



Hasil Pengujian Marshall



Pengujian Cantabro



Hasil Pengujian Cantabro