

**TESIS**

**ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING  
COURSE (AC-WC) MODIFIKASI RESIN DAN  
KATALIS PADA PERKERASAN JALAN**

**Disusun dalam Rangka memenuhi salah satu persyaratan  
guna mencapai gelar Magister Teknik (MT)**



**Oleh :**

**Qurrota A'yun**

**NIM : 20202200028**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

**2024**

**LEMBAR PERSETUJUAN TESIS**

**Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)  
Modifikasi Resin dan Katalis pada Perkerasan Jalan**



Disusun oleh :

**QURROTA A'YUN**

**NIM : 20202200028**

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

**MAGISTER TEKNIK SIPIL**

**UNISSULA**

Tanggal, 28 - 11 - 2024

Tanggal, 27 November 2024

Pembimbing I,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be "Rachmat Mudiyo".

Ir. Rachmat Mudiyo, MT, Ph.D.

Pembimbing II,

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Juny Andry Sulisty".

Dr. Juny Andry Sulisty, ST, MT

**HALAMAN PENGESAHAN TESIS**  
**Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Modifikasi**  
**Resin dan Katalis pada Perkerasan Jalan**

Disusun oleh :

**Qurrota A'yun**

**20202200028**

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :

Tim Penguji :

1. Ketua

  
(Ir. Rachmat Mudyono, MT., Ph.D)

2. Anggota

  
(Prof. Dr. Ir. Antonius, MT)

3. Anggota

  
(Ir. Moh Fauqun Nizam, MT., Ph.D)

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

Semarang, 2 Desember 2021

Mengetahui,

Ketua Program Studi

  
  
**Prof. Dr. Ir Antonius, MT**

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik,

  
  
**Dr. Abdul Rochim, ST., MT**

## MOTTO

... إِنَّ اللَّهَ لَا يُغَيِّرُ مَا بِقَوْمٍ حَتَّىٰ يُغَيِّرُوا مَا بِأَنفُسِهِمْ

Sesungguhnya Allah tidak akan mengubah keadaan suatu kaum sebelum mereka mengubah keadaan dari mereka sendiri. (Q.S Ar-Ra'd Ayat 11)

وَمَنْ جَاهَدَ فَإِنَّمَا يُجَاهِدُ لِنَفْسِهِ إِنَّ اللَّهَ لَغَنِيٌّ عَنِ الْعَالَمِينَ

Barang siapa yang bersungguh-sungguh, sesungguhnya kesungguhan tersebut untuk kebaikan dirinya sendiri. (Q.S 29 Al-Ankabut Ayat 6)

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ  
وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ آمَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمُ الْمُؤْمِنُونَ  
وَأكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. (Q.S Ali'Imran Ayat 110)

Allah akan mencintai pekerjaan yang apabila bekerja menyelesaikan dengan baik (Hadist Riwayat Thabrani)

Waktu ibaratkan pedang, jika engkau tidak menebasnya maka ialah yang akan menebusmu. Dan jiwamu jika tidak kau sibukkan di dalam kebenaran maka ia akan menyibukkanmu dalam kebatilan. (Al-Imam Ibnu Qoyyim Rahimahullah)

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis bias menyelesaikan Laporan Tesis ini penulis persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya, Bapak M. Ikhsan dan Ibu Choirun Nisa, yang telah memeberikan dukungan kasih sayang , do'a, dan pendidikan untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang sukses serta mulia di dunia dan akhirat.
2. Teman-teman Fakultas Teknik UNISSULA, yang telah membantu dan memberikan motivasi dalam mengerjakan Tesis ini.
3. Semua pihak yang tidak dapat disebut satu-persatu dalam membantu membuat penyusunan Laporan Tesis ini.

**Qurrota A'yun**  
**20202200028**

## ABSTRAK

Jalan Pantura Semarang-Demak sering mengalami banjir rob akibat penurunan tanah (land subsidence) yang signifikan dan kenaikan muka air laut. Penyebab utamanya adalah pengambilan air tanah berlebihan di kawasan industri serta pemanasan global, yang memperparah kondisi jalan. Dampak dari banjir rob ini menyebabkan penurunan kualitas jalan, dengan kerusakan seperti retak, berlubang, dan distorsi permukaan, yang dapat membahayakan keselamatan pengguna. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan penelitian untuk mencegah penurunan durabilitas jalan dengan memodifikasi material perkerasan.

Penelitian ini berfokus pada penambahan zat kimia, khususnya resin katalis, dalam Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) untuk meningkatkan ketahanannya terhadap banjir rob. Dengan menentukan komposisi Job Mix Design (JMD) yang optimal, penelitian bertujuan mengkaji karakteristik AC-WC yang sesuai serta mengevaluasi pengaruh perendaman terus-menerus dalam air rob selama 7, 14, dan 21 hari terhadap keawetan material aspal. Modifikasi ini diharapkan dapat membantu meminimalisasi kerusakan jalan di kawasan yang sering terkena banjir rob.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Job Mix Formula AC-WC Modifikasi yang direndam selama 7 hari dapat digunakan, kecuali pada komposisi 4%-2% dan 4%-4%, sesuai dengan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 Revisi 2. Sementara itu, perendaman selama 14 dan 21 hari tidak memenuhi standar karena nilai rongga udara mencapai 7,33%, menyebabkan penurunan stabilitas, deformasi permanen, bleeding, dan stripping. Hal ini menunjukkan bahwa durasi perendaman berpengaruh signifikan terhadap stabilitas dan ketahanan aspal.

**Kata Kunci : Rob, Aspal Modifikasi, Stabilitas**

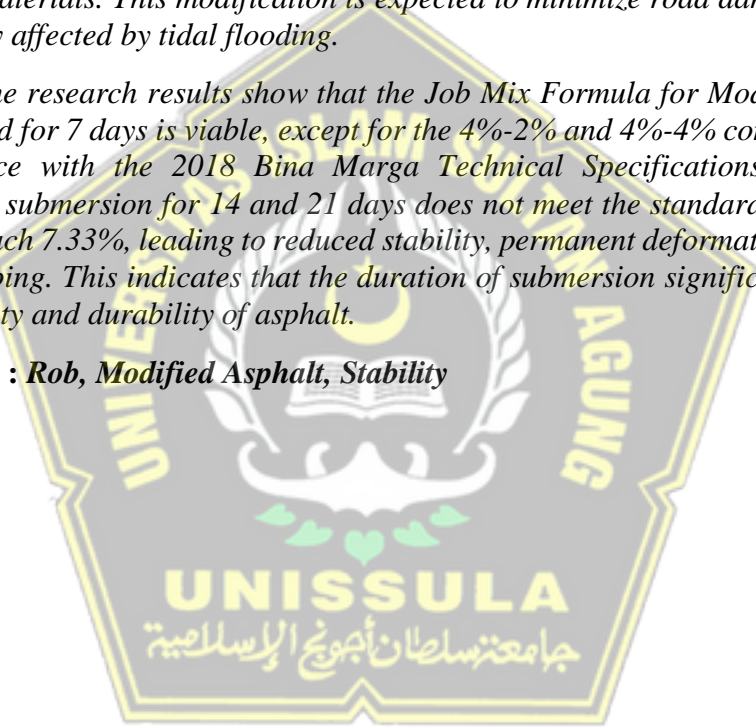
## ABSTRACT

*The Pantura road in Semarang-Demak frequently experiences tidal flooding (rob) due to significant land subsidence and rising sea levels. The primary causes are excessive groundwater extraction in industrial areas and global warming, which worsens road conditions. The impacts of tidal flooding deteriorate road quality, leading to damages such as cracks, potholes, and surface distortion, posing a safety risk for road users. To address this issue, research is needed to prevent the decrease in road durability by modifying the pavement materials.*

*This research focuses on the addition of chemical agents, specifically catalyst resin, to Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) to enhance its resistance to tidal flooding. By determining the optimal Job Mix Design (JMD), the study aims to assess the characteristics of suitable AC-WC and evaluate the effects of continuous submersion in tidal water for 7, 14, and 21 days on the durability of asphalt materials. This modification is expected to minimize road damage in areas frequently affected by tidal flooding.*

*The research results show that the Job Mix Formula for Modified AC-WC submerged for 7 days is viable, except for the 4%-2% and 4%-4% compositions, in accordance with the 2018 Bina Marga Technical Specifications Revision 2. However, submersion for 14 and 21 days does not meet the standards, as air void values reach 7.33%, leading to reduced stability, permanent deformation, bleeding, and stripping. This indicates that the duration of submersion significantly impacts the stability and durability of asphalt.*

**Keyword : Rob, Modified Asphalt, Stability**



## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Qurrota A'yun

NIM : 20202200028

Dengan ini saya menyatakan bahwa Tesis yang berjudul :

### **Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Resin dan Katalis pada Perkerasan Jalan**

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan tindakan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.





## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kita panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya. Tuhan semesta alam yang karena ridho-Nya penulis bisa menyelesaikan Tesis ini yang berjudul **Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Resin dan Katalis pada Perkerasan Jalan**. Shalawat dan salam semoga tetap terlimpah curahkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW. Beserta para sahabatnya.

Tesis ini diajukan untuk memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Magister (S2) pada Fakultas Teknik Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang. Untuk itu penyusun mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Prof. Dr. Ir Antonius, MT selaku Ketua Kaprodi Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Ir. H. Rachmad Mudiono, MT., Ph.D\_ selaku Dosen Pembimbing ke 1 yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, ke ikhlasan, dan tak lupa sering memberi saran dan masukan yang mendorong semangat.
4. Bapak Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku Dosen Pembimbing ke 2 yang telah membimbing dengan penuh kesabaran, ke ikhlasan, dan tak lupa sering memberi saran dan masukan yang mendorong semangat.
5. Terimakasih juga kepada rekan-rekan semua atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan.

Penyusun menyadari bahwa Tesis ini masih memiliki kekurangan baik dari segi kualitas maupun kuantitas, serta keterbatasan ilmu pengetahuan yang dimiliki. Oleh karena itu, penyusun mengharapkan kritik dan saran yang membangun dan semoga laporan ini bermanfaat bagi institusi pendidikan di kemudian hari.

Semarang, 26 November 2024

Penyusun

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	i
Lembar Persetujuan.....	ii
Halaman Pengesahan .....	iii
Motto.....	iv
Halaman Persembahan .....	v
Abstrak .....	vi
Pernyataan Keaslian .....	vii
Kata Pengantar.....	viii
Daftar Isi .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	2
1.4 Batasan Penelitian.....	2
1.5 Lokasi Penelitian .....	3
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>4</b>
2.1 Tinjauan Pustaka.....	4
2.2 Banjir Rob .....	7
2.2 Resin dan Katalis.....	8
2.3 Aspal.....	9
2.4 Dampak Yang Ditimbulkan oleh Banjir Rob .....	11
2.5 Efek Campuran Aspal dengan Air Rob.....	11
2.5 Laston Lapis Aus (AC-WC) .....	12
2.6 Material Penyusun Perkerasan Jalan .....	13
2.7 Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis AC-WC.....	14
2.8 Penentuan kadar aspal optimum dengan metode marshall .....	14
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>	<b>17</b>
3.1 Pendahuluan.....	17
3.2 Alat dan bahan.....	17
3.2.1 Alat penelitian.....	17
3.2.2 Bahan penelitian.....	18
3.3 Diagram alir Penelitian .....	19

3.4 Waktu Pelaksanaan .....	20
3.5 Perencanaan penelitian .....	21
3.6 Pengujian Perendaman Menerus dan Berkala.....	24
3.7 Metode Keawetan.....	24
3.8 Material Lapisan Perkerasan.....	25
3.9 Persyaratan Agregat.....	26
3.10 Gradasi Agregat .....	27
3.11 Anti Stripping .....	28
3.12 Karakteristik Campuran Aspal Beton.....	30
3.13 Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	31
<b>BAB IV PEMBAHASAN.....</b>	<b>33</b>
4.1 Persiapan Material .....	33
4.2 Pengujian Laboratorium.....	33
4.2.1 Pengujian Air Rob .....	33
4.2.2 Pengujian Aspal Pen 60/70 .....	34
4.2.3 Pengujian Agregat.....	34
4.2.4 Hasil Perhitungan kombinasi Agregat .....	40
4.3 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design).....	42
4.3.1 Pembuatan benda uji dengan kadar Resin dan Katalis.....	45
4.4 Menentukan Kadar Aspal Optimum .....	48
4.4.1 Ringkasan Hasil Test Pengujian AC Wearing .....	50
4.5 Pengujian Marshall .....	52
4.5.1 Hasil Pengujian Marshall Perendaman 0 Hari .....	52
4.5.2 Hasil Perendaman 7 Hari .....	63
4.5.3 Hasil Perendaman 14 Hari .....	74
4.5.4 Hasil Perendaman 21 Hari .....	85
4.5.5 Rekapitulasi Hasil Marshall Benda Uji Resin dan Katalis dengan variasi 0%,2% dan 4% untuk 0 Hari, 7 Hari, 14 Hari dan 21 Hari. ....	96
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>103</b>
5.1 Kesimpulan.....	103
5.2 Saran.....	103
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>105</b>
<b>LAMPIRAN I.....</b>	<b>109</b>
<b>DOKUMENTASI PENELITIAN .....</b>	<b>109</b>



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sarana transportasi yang menjadi mobilitas dibuat agar menciptakan kenyamanan dan tepat guna, sehingga perlu dipertimbangkan komposisi bahan, cara pengerjaan dan lokasinya. Terlebih di jalan Pantura Semarang Demak yang sering terjadi banjir rob, yang mana jalan tersebut membutuhkan sedikit perhatian yang lebih. Di sepanjang jalan tersebut sering mengalami banjir rob dikarenakan ternyata Land Subsidence yang sangat signifikan, dapat dilihat dari tahun ketahun pemukiman di sepanjang jalan semakin lama semakin pendek. Hal tersebut dapat terjadi karena pengambilan air tanah yang berlebihan mengingat bahwa Semarang Demak adalah kawasan industri dan banyak gedung-gedung bertingkat.

Adanya banjir rob juga dapat terjadi karena pemanasan suhu bumi yang mengakibatkan melelehnya gletser, pencairan lapisan es dan air laut yang menghangat dan mengembang yang mengakibatkan kenaikan muka air laut. Maka sarana jalan raya yang terdampak banjir rob mengalami penurunan kualitas jalan seperti berlubang retak, distorsi, dll. Yang menyebabkan membahayakan keselamatan pengguna jalan.

Penelitian ini didasari dengan *research gap* dari penelitian terdahulu, dimana penelitian ini merupakan penyempurnaan dari penelitian terdahulu. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Juni Andry (2020), dilakukan penelitian dengan subyek agregat yang direndam dalam air rob dengan periode waktu tertentu. Didapatkan kesimpulan bahwa durabilitas AC-WC modifikasi perendaman dengan air yang berasal dari air pasang (Rob) mengalami penurunan sebanyak 62%, hal ini disebabkan karena air rob yang banyak mengandung asam dan kadar sulfat yang tinggi sehingga dapat melemahkan kemampuan ikat antar aspal, oleh sebab itu maka perlu ditambahkan zat adiktiv untuk memperoleh stabilitas aspal pada saat perendaman.

Perlu dilakukan penelitian yang mana agar tidak terjadi penurunan durabilitas yang begitu signifikan pada jalan yang sering terjadi rob, dengan cara menambahkan beberapa zat kimia yang diharapkan mampu mengurangi

penurunan yang akan terjadi. Maka dilakukan penelitian dengan judul “**Analisis Asfalt Wearing Course (AC-WC) Modifikasi Resin dan Katalis pada Perkerasan Jalan**”.

### **1.2 Rumusan Masalah**

Menurut latar belakang diatas, maka rumusan masalahnya adalah sebagai berikut,

- a. Bagaimana pengaruh karakteristik AC-WC Modifikasi resin dan katalis ?
- b. Bagaimana komposisi AC-WC Modifikasi dengan resin dan katalis ?
- c. Bagaimana pengaruh pola perendaman menerus terhadap keawetan AC-WC Modifikasi ?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui pengaruh karakteristik AC-WC yang terjadi pada sampel Aspal.
- b. Untuk mengetahui komposisi atau Job Mix Design untuk jalan yang terkena rob.
- c. Untuk mengetahui pengaruh yang terjadi pada pola perendaman menerus terhadap keawetan AC-WC Modifikasi.

### **1.4 Batasan Penelitian**

Penelitian ini perlu adanya batasan agar tidak menyimpang dari tujuan penelitiannya, dengan batasan sebagai berikut :

- a. Agregat kasar dan agregat halus dari batu ex-kalikuto yang diperoleh dari AMP PT Perwita Karya.
- b. Material aspal yang digunakan menggunakan aspal Polimer Pen 60/70
- c. Pencampuran menggunakan pedoman Spesifikasi pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan (2018) dan campuran aspal yang dibuat adalah AC-WC Modifikasi.
- d. Untuk menentukan campuran aspal yang ideal, dilakukan variasi kadar aspal dengan rentang Pb-1%, Pb-0,5%, Pb%, Pb+0,5%, dan Pb+1%.
- e. Pengujian melibatkan Uji Marshall serta Uji Durabilitas yang dimodifikasi dengan metode perendaman selama 7 hari, 14 hari, dan 21 hari, menggunakan pola perendaman (continue).

- f. Sampel air banjir rob untuk pengujian perendaman diambil dari lokasi yang sering mengalami genangan akibat banjir rob di wilayah Demak.
- g. Uji kualitas air rob dilakukan untuk menilai bahan perendaman campuran lapisan permukaan AC-WC yang dimodifikasi, dengan fokus pada unsur kimia yang berpotensi merusak campuran perkerasan, seperti pH, kadar klorida, asam sulfat, dan alkalinitas, yang meliputi anion bikarbonat, karbonat, dan hidroksida.
- h. Penelitian ini hanya mencakup uji laboratorium tanpa pengujian di lapangan. Selain itu
- i. Analisis kimia aspal dilakukan dengan ketelitian terbatas
- j. Analisis biaya tidak disertakan dalam penelitian.

### **1.5 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini akan berlangsung selama 2 bulan, dari Juni hingga Juli 2024. Pengambilan sampel air banjir rob dilakukan di kawasan yang sering mengalami genangan banjir rob di Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Proses analisis hasil sampel, pembuatan campuran aspal, serta pengujian Marshall dilakukan di laboratorium PT. Perwita Konstruksi Batang.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Menurut (Sunaryo.A, 2020) dalam penelitiannya dengan mengevaluasi penggunaan epoxy resin pada campuran aspal dengan kadar 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Hasilnya menunjukkan bahwa stabilitas dan Marshall Quotient meningkat hingga kadar 12%, sementara flow, VFA, dan IKS cenderung menurun seiring peningkatan kadar resin. VIM dan VMA meningkat dengan kadar resin. Namun, hanya kadar 12% yang memenuhi spesifikasi stabilitas, dan secara keseluruhan, epoxy resin tidak cocok sebagai bahan tambahan pada aspal menurut spesifikasi Bina Marga.

Menurut (Putri dan Putra ,2019) Jalan raya penting untuk berbagai sektor, sehingga diperlukan perkerasan yang berkualitas. Penelitian ini mengevaluasi efek penambahan Gilsonite Resin pada campuran Laston AC-WC untuk meningkatkan kualitas aspal. Dengan metode analisis Marshall Test sesuai spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2018, hasil menunjukkan bahwa penambahan Gilsonite Resin hingga 8% meningkatkan stabilitas hingga 1274,6 kg, flow 2,70 mm, dan Marshall Quotient 472,092 kg/mm. Meskipun VIM dan VMA menurun, stabilitas dan flow tetap memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

Menurut (Arya YKM,2023) dalam penelitiannya mengevaluasi campuran AC-WC dengan penambahan Unsaturated Polyester Resin (UPR) Orthophthalic, menggunakan metode Marshall dan mengikuti spesifikasi Bina Marga 2018. Agregat, filler, dan aspal 60/70 memenuhi standar, dan penambahan UPR mengurangi penetrasi serta meningkatkan titik lembek aspal, membuatnya lebih keras dan tahan panas. Campuran dengan 15% UPR menunjukkan stabilitas tertinggi (1416 kg) dan flow terbesar (4,32 mm), namun Marshall Quotient (MQ) menurun setelah 12% UPR, dengan nilai tertinggi pada 9% UPR (358 kg/mm). Nilai VIM dan VMA meningkat seiring peningkatan UPR, menandakan campuran menjadi kurang rapat, sementara



nilai VFA menurun. IKS terbaik adalah pada 6% UPR dengan 95,89%, menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap air dalam jumlah tertentu.

Menurut Maulana, A. H., & Damara, B. (2024). Dalam penelitiannya yang menggunakan metode Marshall Test di laboratorium untuk menganalisis campuran perkerasan AC-WC, dengan fokus pada kepadatan, VMA (rongga pada mineral agregat), VFA (rongga terisi aspal), VIM (rongga dalam campuran), stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ). Empat variasi resin fiberglass digunakan: 0%, 2%, 3%, dan 4%. Hasil terbaik diperoleh pada variasi 3% dengan stabilitas tertinggi sebesar 1577,33 kg, VMA 15,50%, VFA 87,18%, VIM 3,28%, flow 3,13 mm, dan MQ 510,72 kg/mm. Variasi 3% dinyatakan paling efektif untuk campuran aspal AC-WC karena memenuhi spesifikasi teknik Bina Marga 2018, menjadikannya pilihan optimal sebagai bahan tambahan untuk aspal dengan penetrasi 60/70.

Menurut (Kurniawan, A., & Budiarto, J. D. A. 2023) dalam pengujiannya menunjukkan bahwa campuran dengan slag baja pada kadar 25% dan 50% serta resin pada kadar 0%, 5%, 7%, dan 10% menghasilkan nilai VMA yang bervariasi, dengan kadar resin 7% memenuhi spesifikasi Bina Marga (minimal 15,00%). Uji Marshall menunjukkan bahwa campuran dengan kadar resin 0%, 3%, 7%, dan 10% memenuhi spesifikasi Bina Marga untuk periode perendaman 3 dan 7 hari. Namun, setelah 14 hari perendaman, nilai stabilitas campuran dengan resin 0%, 3%, 7%, dan 10% tidak memenuhi spesifikasi karena stabilitasnya di bawah 800 kg. Berdasarkan hasil penelitian, campuran dengan 7% resin adalah yang paling sesuai untuk kondisi jalan yang terendam air rob, karena memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Perendaman yang lebih lama dalam air rob dapat menurunkan stabilitas dan flow aspal, mempengaruhi ketahanan campuran.

Penelitian ini menggunakan simulasi dinamika molekuler untuk mengevaluasi pengaruh agen campuran hangat (Sasobit dan Evotherm) pada viskositas aspal. Sasobit meningkatkan sensitivitas suhu pada aspal Karamay, sementara Evotherm mengurangnya. Evotherm juga menunjukkan peningkatan kinerja suhu tinggi lebih baik dibandingkan Sasobit. Kedua agen

meningkatkan ketahanan retak pada suhu rendah dan titik lunak aspal, dengan Sasobit menunjukkan hasil yang lebih baik dalam hal stabilitas suhu tinggi. Duktibilitas tidak menunjukkan pola yang konsisten, dan viskositas menurun dengan suhu dan dosis agen, dengan K-SW dan T-EW menunjukkan viskositas lebih rendah. Fraksi asfalten tidak terpengaruh secara signifikan. Temuan ini menyoroti pentingnya memilih agen campuran hangat yang tepat berdasarkan jenis aspal untuk kinerja optimal pada berbagai suhu.

Menurut Wu, H 2024 dalam penelitiannya mengevaluasi One-Component Waterborne Epoxy Emulsified Asphalt (OWEEA) yang dimodifikasi dengan One-Component Waterborne Epoxy (OWE) untuk aplikasi perkerasan aspal. Hasilnya menunjukkan bahwa rasio pencampuran optimal adalah 0,6, di mana penambahan OWE meningkatkan kekuatan ikatan dan sifat mekanik OWEEA. Suhu pengeringan tinggi mempercepat pengeringan dan meningkatkan kekuatan tarik serta ikatan, memungkinkan waktu pengeringan dipersingkat menjadi 6 jam pada 150 °C. OWEEA menunjukkan ketahanan yang baik pada suhu tinggi dan rendah dengan rasio OWE 0,6, tetapi kinerjanya menurun pada rasio yang lebih tinggi. Penguatan OWEEA melibatkan kombinasi penguatan kimia dan fisik, tanpa reaksi kimia dengan aspal emulsified yang dimodifikasi SBR, serta meningkatkan ketahanan fatigue hingga 400% pada regangan 2,5%. Temuan ini menekankan pentingnya rasio pencampuran dan suhu pengeringan dalam memaksimalkan kinerja OWEEA sebagai material lapisan pengikat dalam konstruksi.

Menurut Yongjun Meng, dkk 2023 dalam penelitiannya bahwa Metode modifikasi sebelum emulsi melibatkan modifikasi aspal terlebih dahulu sebelum mencampurnya dengan emulsi sabun dalam penggiling koloid, dengan kontrol suhu yang ketat untuk menghindari masalah viskositas. Penelitian menunjukkan bahwa modifier seperti SBR, SBS, dan resin epoksi berbasis air meningkatkan performa aspal emulsi dalam hal stabilitas, daya rekat, serta ketahanan suhu. Rasio dan jenis modifier mempengaruhi sifat fisik dan kimia aspal emulsi, dengan penggunaan berlebihan dapat menurunkan stabilitas. Pemilihan emulsifier dan stabilizer yang tepat penting untuk kinerja optimal, dan metode emulsifikasi sebelum modifikasi sering kali memberikan

hasil yang lebih baik. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi modifikasi komposit dan penggunaan pelarut ramah lingkungan. Secara keseluruhan, aspal emulsi yang dimodifikasi menunjukkan potensi besar untuk pemeliharaan jalan dengan sifat yang lebih unggul dibandingkan aspal emulsi tradisional.

Menurut Yiming Li, dkk (2023). Dalam penelitiannya menggunakan FTIR, TGA, GPC, uji rheologi, dan spektroskopi UV untuk menganalisis aspal yang dimodifikasi dengan resin fenolik berbasis lignin (LPF) dan resin fenol formaldehid (PF). Kedua resin meningkatkan sifat aspal, termasuk pemulihan deformasi, resistensi terhadap penuaan, dan kekuatan mekanik. Resin LPF, berbasis lignin dari jerami jagung, menunjukkan peningkatan yang signifikan dan menjadi alternatif ramah lingkungan dibandingkan PF. Meskipun PF lebih efektif dalam mengatasi penuaan, kedua resin memperbaiki ketahanan aspal terhadap deformasi dan stres. Analisis juga menunjukkan perubahan dalam distribusi berat molekul dan stabilitas termal aspal, dengan LPF dan PF meningkatkan kinerja dan daya tahan aspal secara keseluruhan.

Menurut Abduhaibir Abdukadir 2022, dalam penelitiannya Studi ini mengoptimalkan campuran aspal cair (LAM) menggunakan modifikasi resin epoksi. Analisis menunjukkan bahwa resin epoksi Bisphenol A dan agen pengeras amina poliéter paling cocok untuk aspal. Penambahan 2% resin epoksi berbasis air dan 30% bubuk mineral meningkatkan kekuatan awal, ketahanan terhadap retak pada suhu rendah, dan kinerja suhu tinggi. Modifikasi ini memungkinkan perbaikan jalan yang cepat digunakan dalam suhu rendah dan meningkatkan daya tahan permukaan jalan.

## **2.2 Banjir Rob**

Rob diartikan sebagai air pasang (air laut atau sungai) yang menyebabkan air laut meluap. Banjir pasang disebabkan oleh pasang surut air laut. Pasang surut air laut sendiri dipengaruhi oleh tarikan gravitasi bulan dan matahari, serta posisi bulan dan matahari terhadap bumi. Banjir ini biasanya terjadi pada saat air pasang, yaitu bertepatan dengan bulan baru dan bulan purnama, menurut Pusat Bahasa Dapertemen Pendidikan Nasional (2012).

Banjir rob adalah banjir yang terjadi akibat naiknya air laut, sehingga air pasang menggenangi daratan. Banjir ini sering disebut sebagai banjir rendaman. Banjir rob umumnya terjadi di daerah-daerah yang permukaannya berada di bawah permukaan laut. Karena air yang meluap berasal dari laut, air yang menggenangi akibat banjir rob biasanya lebih jernih dibandingkan dengan air genangan biasa. (Salim dan Afif, 2018).

Kota Semarang dapat terjadi banjir rob, salah satunya dikarenakan Tata ruang kawasan dinilai kurang tepat. Maka menurut teori aliran ahli hidrologi seharusnya kawasan Semarang atas menjadi kawasan hijau dan dilindungi karena merupakan daerah pengisian air tanah, tetapi malah digunakan sebagai perumahan yang dapat mengakibatkan jika terjadi hujan, air akan mengalir ke tempat yang rendah. Serta adanya penurunan tanah yang terjadi di Kota Semarang yang disebabkan pengambilan air tanah (ABT) dalam skala besar (Kodoatie, 2016).

## **2.2 Resin dan Katalis**

Resin bersifat transparan dan tidak dapat larut oleh air dan mudah terbakar, menurut beberapa sumber resin organik telah digunakan sejak zaman kuno digunakan sebagai pernis atau perekat, seperti resin yang digunakan dalam pembuatan patung. Adanya perkembangan teknologi menyebabkan ditemukannya resin kimia yang kegunaannya antara lain melamin, epoksi, akrilik dan pelapis agar dapat memberikan efek glossy, untuk campuran pewangi, dll. (Dwi Asmi, Agung Abdi, 2016).

Katalis adalah zat yang digunakan untuk mempercepat reaksi, dimana katalis dapat menyediakan situs aktif yang menyatukan reaktan serta menyalurkan energi dalam bentuk panas. Katalis digunakan karena perannya yang sangat penting dan menjadi kebutuhan di berbagai industri. Kebutuhan katalis di dunia industri cenderung meningkat, karena penggunaan yang ekonomis untuk mempercepat reaksi. Bahwa katalis dapat mempercepat reaksi namun tidak semua reaksi kimia. Misalnya katalis dapat mempercepat laju reaksi hidrogenasi, namun tidak efektif bila digunakan dalam reaksi hidrogenasi namun tidak efektif pada reaksi oksidasi. Hal tersebut erat

kaitannya dengan sifat fisika dan kimia pada katalis, tergantung material yang digunakan (Le Page,1987).

### 2.3 Aspal

Aspal adalah bahan perekat berwarna hitam atau coklat tua yang komponen utamanya adalah bitumen, diperoleh dari sisa penyulingan minyak bumi dan berperan sebagai pengikat agregat dalam konstruksi jalan. Aspal dipilih untuk konstruksi jalan karena konsistensi yang lebih tebal, ketahanan terhadap pelapukan, Pengerasan dan ketahanan terhadap air adalah dua sifat penting aspal. Bitumen memiliki sifat viskoelastis yang bergantung pada waktu pembebanan. Aspal akan mencair saat dipanaskan hingga suhu tertentu dan akan kembali membeku saat suhu menurun. Komposisi aspal terdiri dari sekitar 80% karbon, 10% hidrogen, 6% belerang, serta sedikit oksigen, nitrogen, dan sejumlah kecil elemen seperti besi, nikel, dan vanadium. Aspal dihasilkan dari proses pemurnian minyak mentah atau dapat ditemukan dalam bentuk alami bersama bahan-bahan lain. (dpu kulonprogo, 2022).

Beberapa aturan dan pengujian terkait aspal bertujuan untuk memastikan bahwa aspal memenuhi karakteristik yang dibutuhkan. Ini mencakup:

1. Prosedur pengambilan sampel aspal untuk uji bahan.
2. Uji penetrasi untuk menentukan kekerasan aspal.
3. Uji titik lembek untuk menentukan suhu di mana aspal mulai menunjukkan perilaku lembek.
4. Uji daktilitas untuk mengukur kemampuan aspal untuk mengalir dan membentuk filamen.
5. Uji titik nyala dan titik bakar untuk menentukan suhu di mana aspal dapat mulai terbakar.

Penambahan PS ke kali kedua AC-WC meningkatkan stabilitas, VMA, VIM, flow , dan Marshall quotient, kerbobotan dan Marshall quotient. Untuk campuran kedua kali AC-BC, penambah PS meningkatkan karakteristik berat spesifik dan kemiringan, namun secara umum, peningkatan adalah kemundur dan3a . Merupakan suplemen bagus sebagai penurun karakteristik elemen Marshall. Semua variasi penggunaan persentase plastik yang dicontohkan, spesifikasi semua lolos untuk AC-WC Aspal, dan hanya 4% saja lolos untuk AC-BC Aspal, akrab

dengannya. Polystyrene di AC-WC dapat direkomendasikan sebagai bahan tambahan untuk perlakuan penetrasi, sementara pada AC-BC tidak direkomendasikan karena peningkatannya adalah upaya prologistik sebagai acara.(Sulfanita 2023)

Menyatukan aspal panas dengan limbah plastik HDPE dalam proporsi yang tepat menghasilkan tingkat aspal yang memenuhi standar. Ditemukan bahwa mencampurkan 8% plastik HDPE merupakan proporsi optimal, menghasilkan tingkat aspal optimum sebesar 4.45%. Penggunaan campuran plastik HDPE dalam aspal untuk lapis aus AC-WC, terutama dengan 8% HDPE, dianggap sebagai langkah penting dalam mengurangi limbah plastik dan meningkatkan kualitas perkerasan jalan.(Supriyanto et al. 2019)

Semua metode pengujian ini diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) sesuai dengan jenis pengujian yang dilakukan.

Sifat-sifat campuran aspal sebagai berikut :

- a. Stabilitas dalam aspal sangat penting untuk mencegah deformasi dan kelelahan plastis yang diakibatkan oleh beban statis dan dinamis dari lalu lintas, agar tidak terjadi bekas roda, keriting, atau perubahan permukaan jalan, baik penurunan maupun kenaikan. Spesifikasi stabilitas perkerasan jalan ditentukan berdasarkan intensitas lalu lintas dan beban kendaraan yang akan melintasinya. Stabilitas ini tercapai melalui gesekan antar butir, penguncian partikel, serta daya ikat kuat dari aspal. Nilai stabilitas diukur dalam satuan kilogram (kg) atau kilonewton (kN)..
- b. Kelelahan Plastis (Flow) adalah kemampuan campuran untuk berubah bentuk akibat beban hingga mencapai titik runtuh, diukur dalam mm atau inch. Nilai kelelahan yang tinggi menandakan campuran yang lebih plastis akibat kandungan aspal yang tinggi. Sebaliknya, nilai kelelahan yang rendah menunjukkan campuran yang lebih kaku karena kandungan aspal yang rendah.
- c. Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelahan plastis, diukur dalam kg/mm. Campuran dengan nilai MQ tinggi menandakan stabilitas tinggi dan kelelahan plastis rendah, mengindikasikan campuran yang kaku dan cenderung lebih tahan terhadap deformasi akibat beban lalu lintas, seperti retak.

Sebaliknya, nilai MQ rendah menandakan stabilitas rendah dan kelelahan plastis tinggi, menyebabkan campuran cenderung lebih plastis dan tidak stabil.

#### **2.4 Dampak Yang Ditimbulkan oleh Banjir Rob**

Banjir rob merupakan pola fluktuasi permukaan laut yang dipengaruhi oleh gravitasi antara benda-benda angkasa seperti bulan dan matahari terhadap air laut di bumi (Sunarto, 2003). Dimasa yang akan datang dampak dari banjir rob diperkirakan semakin besar dengan adanya skenario naiknya muka air laut yang terjadi karena pemanasan global. Dengan adanya banjir rob di Semarang dapat menjadi pengaruh yang besar bagi masyarakat Semarang, terlebih masyarakat yang berada di pinggiran pesisir. Karena di daerah pesisir banjir rob lebih parah karena adanya genangan air hujan, banjir kiriman, banjir local karena saluran drainase yang kurang baik (Surtanti, 2009). Menurut Suryanti dan Marfai pada tahun 2008 bahwa banjir rob dapat menyebabkan beberapa hal berikut ini seperti, terganggunya aktivitas sehari-hari, terganggunya akses jalan, dan keterbatasan menggunakan sarana dan prasarana terlebih dapat menyebabkan kerusakan pada sarana dan infrastruktur pantai. Terlebih untuk masyarakat sekitar pantai bisa kehilangan tempat tinggal dan pekerjaan.

#### **2.5 Efek Campuran Aspal dengan Air Rob**

Air rob memiliki kandungan yang berbeda dengan air laut, yang disebabkan oleh masuknya air rib ke daratan sehingga bercampur dengan zat atau material lain yang melewatinya. Dimana air laut sendiri semilki kadar garam 3,5%, yang mana dalam 1 liter air laut mengandung 35 gr kandungan garam. Dengan adanya kandungan garam tersebut dapat mempengaruhi sifat fisik air laut seperti kepadatan, kompreibilitas, dan titik beku. Ada difat yang dapat menentukan jumlah garam laut yaitu daya hantar listrik dan tekanan osmosis, menurut Riyadi, 2011.

Menurut suardi, 2009 bahwa kandungan garam pada air laut terdiri dari klorida sebesar 55%, natrium sebesar 31%, sulfat sebesar 8%, magnesium sebesar 4%, kalsium sebesar 1%, potasium sebesar 1%, dan sisanya terdapat bikarbonat, bromide, asam borak, strontium dan florida. Pelapukan batuan di darat, gas vulkanik dan sirkulasi lubang hidro termal merupakan tiga sumber utama garam di laut.

Lalu pada tahun 2011 riyadi melakukan penelitian kembali dan didapatkan hasil bahwa campuran aspal yang terendam air rob dalam jangka waktu yang lama dapat mempengaruhi pada durabilitas campuran dengan meningkatnya *void in mix*, VMA, kelelahan, stabilitas dan marshall.

Menurut Prabowo 2003, dalam penelitiannya bahwa campuran aspal yang di rendam dalam keasaman air dapat mempengaruhi pada stabilitas dan durabilitas campuran. Karena keasaman air berbanding terbalik dengan stabilitas dan durabilitas yang di hasilkan, serta waktu perendaman juga sangat mempengaruhi nilai dari durabilitas campuran. Bahwa semakin lama waktu yang digunakan untuk perendaman maka nilai stabilitas dan durabilitasnya semakin turun.

Hal ini terlihat ketika air rob menggenangi jalan raya, yang mengakibatkan perkerasan jalan terendam dan membuat lapisannya menjadi rapuh. Untuk mencegah air rob agar tidak mudah meresap ke dalam lapisan perkerasan, perlu diperhatikan faktor-faktor seperti gradasi campuran, Void In Mix (VIM), Void In Mineral Aggregate (VMA), dan Void Filled With Asphalt (VFA). Gradasi yang rapat dapat menghasilkan nilai VIM yang kecil karena rongga dalam campuran sedikit. Namun, jika nilai VIM terlalu besar, campuran aspal dapat menjadi berpori, yang memicu oksidasi antar komponen campuran.. Untuk nilai (VFA) dapat memengarudi sifat elastisitas campuran yang dapat menentukan stabilitas, stabilitas dan durabilitas. Setelah terjadi pemadatan akan ada aspal yang mengisi rongga pada campuran disebut dengan VFA. Jika nilainya tinggi dapat menyebabkan bleeding, dan dapat terjadi porous yang mudah retak saat terjadi pembebanan berat karena lapisan aspal yang tipis.

## **2.5 Laston Lapis Aus (AC-WC)**

Lapisan penutup perkerasan jalan yang memiliki nilai structural adalah Laston. Dimana campuran ini terdiri dari agregat bergradasi dengan aspal yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan pada suhu tertentu. Menurut Silvia Sukirman pada tahun 2012, bahwa laston sebagai lapisan pengikat yang merupakan

Lapisan yang berada dibawah lapisan aus juga bias disebut dengan binder course, yang mana lapisan ini tidak langsung terkena sinar matahari,



tapi memiliki stabilitas untuk menerima beban lalu lintas yang diteruskan dari roda kendaraan dan laston tersebut memiliki tebal minimum 5 cm. Terdapat 2 jenis beton aspal campuran yaitu AC-BC dan AC-WC.

Sedangkan laston sebagai wearing course merupakan lapisan perkerasan yang langsung berhubungan dengan ban kendaraan, yang mana adalah lapisan kedap air, cuaca dan ketebalannya minimal 4 cm. fungsi dari lapisan tersebut agar dapat menerima beban lalu lintas pada ban kendaraan yang menyebar ke lapisan bawah lapisan aus, berupa gaya vertical, gaya horizontal dan pukulan roda kendaraan (getaran). Maka semakin ke lapisan bawah beban yang diterima semakin menyebar, sedangkan lapisan atas merupakan lapisan yang harus bisa menerima semua jenis beban kendaraan. Berikut adalah fungsi lapisan permukaan sebagai berikut :

- a. Sebagai penahan beban roda, yang memiliki stabilitas tinggi untuk menahan beban roda.
- b. Sebagai lapisan kedap air, yang mampu menahan air hujan agar tidak merembes ke lapisan dibawahnya.
- c. Sebagai lapisan aus yang mampu menerima gesekan akibat gaya horizontal (gaya rem) yang mengakibatkan aus pada lapisan permukaan atas.
- d. Sebagai lapisan yang dapat menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya, sehingga penyebaran beban tersalurkan hingga lapisan bawah.

Agar mendapatkan lapisan kedap air, stabilitas serta sesuai dengan umur rencana, maka lapisan permukaan dirancang menggunakan bahan pengikat aspal yang sesuai dengan kebutuhan. (Silvia Sukiman,2012)

## **2.6 Material Penyusun Perkerasan Jalan**

Partikel batuan pecah, kerikil, asir atau mineral lainnya yang berasal dari alam dan buatan disebut dengan agregat, berupa mineral padat berukuran besar, kecil ataupun pecahan. agregat adalah komponen penting dalam penyusunan struktur perkerasan jalan, komponen utama struktur perkerasan jalan berupa agregat, yaitu sekitar 90-95% berupa persentase berat, dan 75-85% berupa persentase volume. Maka kualitas mutu perkerasan jalan sesuai dengan komposisi pencampuran agregat dengan material lain. Kualitas dari agregat

adalah salah satu penentu kualitas kemampuan perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas dan tahan terhadap cuaca. Factor yang menentukan kualitas agregat untuk perkerasan jalan yaitu gradasi, kebersihan, kekerasan, keawetan agregat, bentuk partikel, tekstur permukaan, porositas, daya serap air, berat jenis dan daya rekat pada aspal (Silvia Sukirman,2012).

## **2.7 Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis AC-WC**

Bahan material perkerasan jalan yang merupakan bahan yang keras dan kaku berupa agregat yang mana bahan tersebut menentukan kualitas dari bahan material itu sendiri, memiliki mutu yang baik untuk lapis permukaan karena berfungsi untuk menerima beban secara langsung dan menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya.( Silvia Sukirman,2012)

Yang menjadi parameter untuk menentukan kualitas dari konstruksi perkerasan jalan ini adalah sifat agregat itu sendiri yang di bagi menjadi :

### **1. Kekuatan dan daya tahan dipengaruhi oleh:**

- Gradasi
- Ukuran maksimum agregat
- Kandungan lempung
- Kekerasan dan ketahanan material
- Bentuk partikel
- Tekstur permukaan

### **2. Kemampuan agregat untuk dilapisi dengan baik oleh aspal dipengaruhi oleh:**

- Porositas
- Kemungkinan terkena air
- Jenis agregat

### **3. Kemudahan pelaksanaan serta menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman dipengaruhi oleh:**

- Ketahanan terhadap gesekan
- Campuran yang mendukung kemudahan pengerjaan

## 2.8 Penentuan kadar aspal optimum dengan metode marshall

Uji Marshall adalah metode standar yang sering digunakan di laboratorium untuk menilai kinerja campuran aspal panas atau hot mix. Pengujian ini melibatkan pengukuran stabilitas dan deformasi plastis campuran aspal dengan menggunakan alat Marshall. Konsep ini pertama kali dikembangkan pada tahun 1939 oleh Bruce Marshall, seorang insinyur bahan aspal yang bekerja sama dengan Departemen Jalan Raya Negara Bagian Mississippi. Penelitian ini kemudian dikembangkan lebih lanjut oleh U.S. Army Corps of Engineers, yang memperluas prosedur pengujian Marshall dan menetapkan kriteria desain campuran. (Riyadi, 2011).

Dalam proses pencampuran, agregat dan aspal dipanaskan hingga mencapai viskositas aspal yang ditentukan, dan kemudian dipadatkan pada suhu tertentu menggunakan Marshall Compaction Hammer. Benda uji berbentuk silinder kemudian diuji pada suhu yang telah ditentukan dengan tingkat pembebanan konstan hingga terjadi keruntuhan. Stabilitas Marshall adalah beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji sebelum hancur, sedangkan kelelahan Marshall adalah deformasi yang terjadi pada benda uji sebelum keruntuhan. Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelahan Marshall, yang mengindikasikan ketahanan material terhadap deformasi permanen. Alat yang digunakan untuk pengujian terdiri dari mesin uji Marshall seperti yang terlihat pada gambar referensi.



Gambar 2.1 Alat Marshall

Hasil uji Marshall menghasilkan berbagai parameter yang disebut sebagai Marshall Properties. Parameter ini meliputi kepadatan, stabilitas, deformasi plastis, Marshall Quotient (MQ), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga yang terisi aspal (VFA), dan persentase rongga dalam agregat (VMA).



## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Pendahuluan**

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen yang bertujuan untuk mengamati dampak perlakuan terhadap perilaku yang timbul akibat perlakuan tersebut (Alsa, 2014). Sesuai dengan konsep ini, penelitian eksperimen dilakukan dengan sengaja memanipulasi variabel tertentu untuk mengamati efek dari manipulasi tersebut terhadap perilaku individu yang diamati (Latipun, 2012). Secara prinsip, tujuan penelitian eksperimen adalah untuk membangun hubungan sebab-akibat yang sistematis (Sukardi, 2011).

Menurut Sugiono (2011) Metode eksperimen adalah pendekatan penelitian yang digunakan untuk mengkaji pengaruh suatu perlakuan terhadap variabel lain dalam kondisi yang terkontrol. Menurut definisi beberapa ahli, penelitian eksperimen adalah upaya untuk mengidentifikasi dampak dari pemberian perlakuan terhadap subjek penelitian.

Menurut Sukardi (2011), penelitian eksperimen dalam bidang pendidikan terbagi menjadi dua kategori: penelitian di laboratorium dan penelitian di luar laboratorium. Dalam studi ini, eksperimen dilakukan di laboratorium dengan menerapkan perlakuan berupa perendaman pada Asphalt Concrete Wearing Course yang dimodifikasi. Perendaman dilakukan menggunakan berbagai jenis air dan dengan durasi yang berbeda (7, 14, 21 hari), serta menggunakan metode perendaman yang kontinyu dan siklik.

#### **3.2 Alat dan bahan**

##### **3.2.1 Alat penelitian**

- a. Alat pengujian untuk agregat dan filler termasuk mesin Los Angeles (untuk pengujian abrasi), saringan standar (untuk penyusunan gradasi agregat), oven pengering, timbangan berat, alat pengujian berat jenis (seperti piknometer, timbangan, dan pemanas), bak perendaman, dan tabung Sand Equivalent.

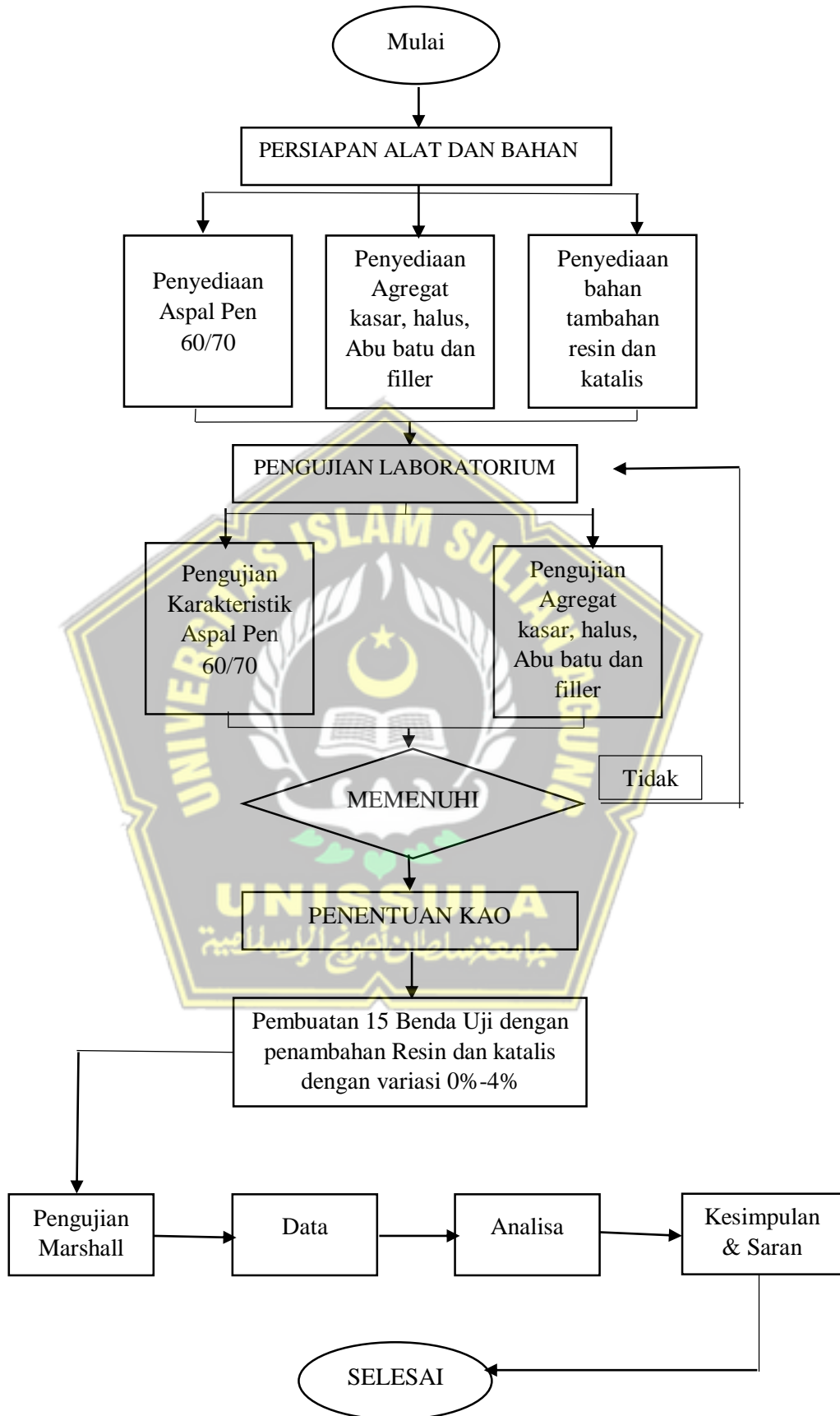
- b. Alat pengujian untuk aspal meliputi alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (seperti piknometer dan timbangan), dan alat uji kelarutan.
- c. Alat pengujian untuk metode Marshall termasuk:
  - i. Alat tekan Marshall yang terdiri dari kepala penekan lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis.
  - ii. Alat cetak benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10,2 cm (untuk Marshall standar) dan 15,24 cm (untuk Marshall modifikasi) dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
  - iii. Penumbuk manual berbentuk silinder dengan berat dan tinggi jatuh bebas yang sesuai dengan standar.
  - iv. Ejektor untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
  - v. Bak perendaman dilengkapi dengan pengatur suhu.
  - vi. Alat-alat penunjang termasuk panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaus tangan anti panas, sarung tangan karet, kain lap, kaliper, spatula, timbangan, dan spidol untuk penandaan benda uji.

### **3.2.2 Bahan penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Air rob yang diambil dari daerah sekitar Genangan Banjir Rob Sayung, Jawa Tengah, digunakan sebagai perlakuan, sedangkan air dari laboratorium digunakan sebagai pembanding.
- b. Agregat kasar, agregat halus, dan filler diperoleh dari pemecahan batu di Asphalt Mixing Plant (AMP) milik PT. Perwita Karya Sembung, Batang, Jawa Tengah.
- c. Bahan aspal yang digunakan adalah Aspal Polimer Pen 60/70.

### 3.3 Diagram alir Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

### 3.4 Waktu Pelaksanaan

No	Kegiatan	Minggu I (Juni)								
		Sa	Su	Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Persiapan									
2	Uji Air									
3	Uji Aspal									
4	Membuat Sample									
5	Perendaman									
6	Uji Marshall									

No	Kegiatan	Minggu II (Juni)						
		Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
		10	11	12	13	14	15	16
1	Persiapan							
2	Uji Air							
3	Uji Aspal							
4	Membuat Sample							
5	Perendaman							
6	Uji Marshall							

No	Kegiatan	Minggu III (Juni)						
		Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
		17	18	19	20	21	22	23
1	Persiapan							
2	Uji Air							
3	Uji Aspal							
4	Membuat Sample							
5	Perendaman							
6	Uji Marshall							



No	Kegiatan	Minggu IV (Juni)						
		Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
		24	25	26	27	28	29	30
1	Persiapan							
2	Uji Air							
3	Uji Aspal							
4	Membuat Sample							
5	Perendaman							
6	Uji Marshall							

No	Kegiatan	Minggu I (Juli)						
		Mo	Tu	We	Th	Fr	Sa	Su
		1	2	3	4	5	6	7
1	Persiapan							
2	Uji Air							
3	Uji Aspal							
4	Membuat Sample							
5	Perendaman							
6	Uji Marshall							

### 3.5 Perencanaan penelitian

Langkah awal dalam penelitian ini melibatkan studi pustaka dan persiapan alat serta bahan yang akan digunakan. Kemudian, dilakukan pemeriksaan terhadap kandungan air rob yang diambil dari daerah sekitar Kawasan Jalan Sriwulan, Sayung Kabupaten Demak. Pemeriksaan ini mencakup derajat keasaman (pH), kadar klorida, sulfat, dan alkalinitas sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Laboratorium Penelitian Laboratorium AMP Sembung Batang.

Pemeriksaan material campuran aspal dilakukan untuk memastikan bahwa material tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Semua pengujian merujuk pada standar yang ditetapkan oleh American Society for Testing Materials (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pengujian agregat, baik kasar maupun halus, mencakup berbagai aspek, seperti berat jenis, kemampuan penyerapan, tingkat keausan, bentuk partikel, daya lekat terhadap aspal, kekekalan bentuk, dan lainnya.

Untuk bahan aspal JAP-57 yang digunakan, pemeriksaan dilakukan terhadap sifat fisiknya seperti penetrasi, titik lembek, titik nyala dan titik bakar, penurunan berat, kelarutan dalam karbon tetraklorida, daktilitas, berat jenis, dan penetrasi setelah RTFOT.

Setelah semua material pembentuk campuran aspal dinyatakan lulus pengujian dan memenuhi spesifikasi, langkah selanjutnya adalah merancang dan membuat sampel yang akan digunakan dalam penelitian dengan metode Marshall. Pengujian terhadap benda uji dilakukan sesuai dengan prosedur yang ditetapkan dalam SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-76). Sampel campuran aspal dibuat berdasarkan variasi kadar aspal, menggunakan persentase kadar aspal tengah/ideal (Pb), dengan masing-masing variasi dibuat 3 sampel.

**Tabel 3.1** Kadar aspal dan benda uji

No	Resin (%)	Katalis (%)	Jumlah Sample	Total	3 Waktu	Total
1	0%	0%	3	27	3	81
2	0%	2%	3			
3	0%	4%	3			
4	2%	0%	3			
5	2%	2%	3			
6	2%	4%	3			
7	4%	0%	3			
8	4%	2%	3			
9	4%	4%	3			

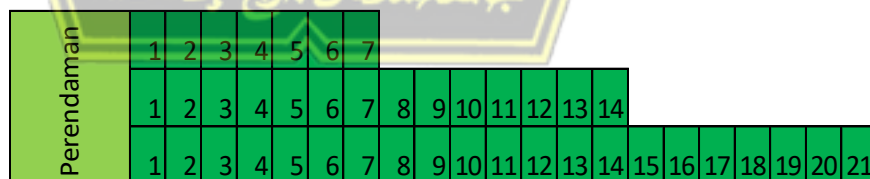
Setelah mendapatkan komposisi campuran aspal, langkah selanjutnya adalah pembuatan sampel benda uji. Temperatur pencampuran bahan aspal dengan agregat ditetapkan berdasarkan viskositas kinematik aspal, dengan rentang antara 145°C-155°C, sedangkan temperatur pemadatan berkisar antara 110°C-135°C, mengikuti penelitian terdahulu oleh Prabowo (2003) dan Riyadi (2011).

Pemadatan dilakukan dengan penumbukan sebanyak 2 x 75 kali menggunakan alat Marshall Compaction Hammer untuk kondisi lalu lintas berat. Setelah dipadatkan, benda uji disimpan pada suhu ruang selama 24 jam,

Selanjutnya, tinggi dan berat benda uji diukur dalam kondisi kering. Setelah itu, benda uji direndam dalam air selama 24 jam dan ditimbang untuk memperoleh data volumetrik aspal, seperti kepadatan, VIM, VMA, dan VFA. Sampel kemudian direndam dalam water bath pada suhu 60°C selama 30 menit dan diuji menggunakan alat Marshall untuk mendapatkan data empiris mengenai stabilitas, kelelahan, dan Marshall Quotient..

Setelah memperoleh hasil uji Marshall, seperti stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan Marshall Quotient, dilakukan analisis untuk menentukan komposisi campuran aspal yang ideal. Campuran aspal ideal tersebut kemudian direndam dalam air standar laboratorium (air sumur dari laboratorium Sembung Batang), air rob, dan larutan air dengan konsentrasi klorida yang berbeda (5.000 mg/l Cl, 15.000 mg/l Cl, dan 25.000 mg/l Cl) untuk mengevaluasi pengaruh durasi perendaman terhadap karakteristik campuran aspal.

Perendaman dilakukan baik secara kontinu maupun berkala (intermittent) selama 7 hari, 14 hari, dan 21 hari. Setiap periode perendaman melibatkan 3 sampel benda uji. Pada perendaman berkala, sampel direndam selama 12 jam, diikuti dengan waktu pemulihan selama 12 jam di suhu ruang sebelum dilakukan pengujian Marshall. Sampel yang belum diuji kemudian direndam kembali selama 12 jam dan diuji setelah periode pemulihan. Berikut adalah diagram yang menunjukkan waktu perendaman dengan 3 sampel.



Gambar 3.1 Sampel Perendaman

Setelah dilakukan serangkaian penelitian dan didapatkan data, tahapan selanjutnya adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisis hasil pemeriksaan material campuran aspal, yaitu agregat dan aspal, untuk memastikan kesesuaian dengan spesifikasi Departemen Pekerjaan Umum 2010.

- b. Memplot data nilai stabilitas, kelelahan, Marshall Quotient, VIM, VMA, VFA, dan nilai stabilitas sisa terhadap lama waktu perendaman campuran dalam air sesuai dengan yang telah ditentukan, serta menganalisis apakah terjadi perubahan pada parameter-parameter tersebut selama proses perendaman dalam air standar laboratorium, air rob, dan air dengan konsentrasi klorida yang berbeda.
- c. Membandingkan data hasil uji Marshall untuk sampel yang direndam dalam air laboratorium, air rob, dan air dengan konsentrasi klorida yang berbeda, serta menganalisis hubungan antara lama perendaman dengan karakteristik campuran untuk memahami pengaruhnya terhadap keawetan campuran aspal.
- d. Membandingkan data hasil uji Marshall untuk sampel yang direndam dengan pola perendaman kontinu dan berkala, serta menganalisis pola perendaman mana yang memiliki pengaruh lebih besar terhadap karakteristik campuran aspal.

### 3.6 Pengujian Perendaman Menerus dan Berkala

Perbandingan stabilitas yang terendam dengan stabilitas air standar diungkapkan dalam persentase dan disebut sebagai Indeks Stabilitas Sisa (IRS). Rumus untuk menghitung IRS adalah:

$$IRS = \frac{MSi}{MSs} \times 100 \% \dots\dots\dots 3.1$$

Di mana:

IRS adalah Indeks Stabilitas Sisa,

MSi adalah Stabilitas Marshall Standar (dalam kilogram),

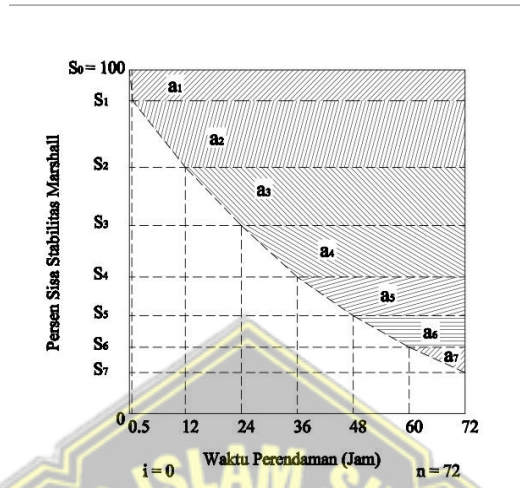
MSs adalah Stabilitas Marshall setelah perendaman (dalam kilogram).

Spesifikasi untuk campuran aspal panas menetapkan bahwa IRS harus lebih besar dari 80%.

### 3.7 Metode Keawetan

Durabilitas mencerminkan kemampuan campuran untuk tetap kokoh dan tahan terhadap rendaman air dalam jangka waktu tertentu. Upaya untuk meningkatkan durabilitas melibatkan pembuatan campuran aspal yang rapat, tahan air, dan padat, terutama melalui penggunaan agregat yang sesuai.

Meskipun karakteristik campuran setelah perendaman selama 24 jam memberikan gambaran awal, hal tersebut tidak selalu mencerminkan durabilitas campuran aspal setelah periode perendaman yang lebih lama (Craus, J, et.al, 1981).



Gambar 3.2 Kurva Keawetan (Sumber : Craus,J.al, 1981)

### 3.8 Material Lapisan Perkerasan

Beberapa faktor yang menentukan kualitas agregat sebagai bahan perkerasan jalan meliputi gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan menyerap air, berat jenis, dan daya ikat terhadap aspal. Agregat dengan pori yang besar akan memerlukan lebih banyak aspal karena aspal yang terserap akan membuat lapisan aspal menjadi lebih tipis.

Penentuan jumlah pori dilakukan dengan mengukur kemampuan agregat menyerap air. Penyerapan air diukur dengan perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori pada kondisi kering. Persamaan untuk menghitung penyerapan agregat kasar dan halus adalah sebagai berikut:

$$\text{Penyerapan Agregat Kasar} = (B_j - B_k) / B_k \times 10\% \dots\dots\dots 3.2$$

$$\text{Penyerapan Agregat Halus} = B_s / (B + B_s - B_t) \times 10\% \dots\dots\dots 3.3$$

Keterangan:

- B adalah Berat piknometer berisi air (gram)
- Bt adalah Berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)
- Bs adalah Berat sampel (gram)

- B<sub>j</sub> adalah Berat sampel kering permukaan jenuh
- B<sub>k</sub> adalah Berat sampel kering oven

### 3.9 Persyaratan Agregat

Agregat dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan ukuran dan jenis butirannya, yaitu agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler).

- Agregat kasar merupakan fraksi agregat yang tertahan di saringan No. 4 (4,75 mm). Agregat ini harus bersih, tahan lama, dan bebas dari lempung atau bahan lain yang tidak diinginkan, sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam tabel 2.1. Fraksi agregat kasar yang digunakan untuk pengujian harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus tersedia dalam ukuran-ukuran yang standar. Penggunaan agregat kasar ini meningkatkan stabilitas perkerasan dan menghasilkan permukaan jalan yang memiliki ketahanan terhadap licin (skid resistance) yang tinggi, sehingga memberikan keamanan dalam lalu lintas. Karakteristik agregat kasar dapat dipengaruhi oleh bentuk butirannya. Butiran agregat yang bulat memudahkan proses pemadatan tetapi memiliki stabilitas yang rendah, sedangkan yang memiliki bentuk angular sulit untuk dipadatkan namun memiliki stabilitas yang tinggi. Agregat kasar juga harus tahan terhadap abrasi jika digunakan sebagai campuran pada lapisan wearing course, sehingga harus memenuhi nilai uji abrasi Los Angeles sesuai standar yang ditetapkan.

**Tabel 3.2** Syarat Agregat Kasar

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Persyaratan
Berat Jenis Bulk	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5
Berat Jenis SSD		
Berat Jenis Semu		
Penyerapan, %	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 03-2417-2008	Maks. 40%
Material lolos Saringan No. 200	SNI 03-1968-1990	Maks 1%

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

- Agregat halus adalah jenis agregat dengan ukuran butiran yang lebih kecil dari saringan nomor 8 (2,36 mm). Agregat ini memiliki peran

penting dalam meningkatkan stabilitas campuran karena membantu mengunci butiran dan mengisi ruang antara butiran-butiran tersebut. Agregat halus dapat terdiri dari butiran batu pecah, pasir alam, atau campuran keduanya. Persyaratan umum untuk agregat halus sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 dijelaskan dalam tabel 3.3

**Tabel 3.3** Syarat Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Metode Pengujian	Persyaratan
Berat Jenis Bulk	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5
Berat Jenis SSD		
Berat Jenis Semu		
Penyerapan, %	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%
Kadar Lempung	SNI 03-4142-2008	Maks. 1%

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

- c. Bahan pengisi adalah jenis bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075 mm) dan memiliki persentase lolos tidak kurang dari 75% dari berat totalnya. Fungsi dari bahan pengisi adalah untuk mengisi rongga udara dalam material, sehingga meningkatkan kepadatan lapisan aspal. Bahan pengisi yang umum digunakan dapat berupa abu batu debu atau semen Portland.

### 3.10 Gradasi Agregat

Gradasi agregat merupakan faktor kunci dalam menentukan stabilitas perkerasan. Terdapat tiga jenis gradasi agregat:

- a. Gradasi seragam (uniform graded)

Gradasi seragam terdiri dari butiran agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi ini juga dikenal sebagai gradasi terbuka karena mengandung sedikit agregat halus, sehingga menyebabkan terbentuknya banyak rongga atau ruang kosong di antara butiran. Campuran aspal dengan gradasi seragam cenderung porus, memiliki tingkat permeabilitas tinggi, stabilitas rendah, dan berat isi yang kecil.

- b. Gradasi rapat (dense graded)

Gradasi rapat mencakup butiran agregat dari kasar hingga halus dalam proporsi yang seimbang, sehingga sering disebut sebagai gradasi menerus atau gradasi baik. Agregat dikatakan bergradasi baik jika persentase yang

lolos setiap lapisan dari gradasi memenuhi persamaan yang disebutkan sebelumnya. Campuran aspal dengan gradasi rapat menghasilkan perkerasan dengan stabilitas tinggi, kurang kedap air, drainase yang buruk, dan berat volume besar. Agregat yang baik jika lolos setiap lapisan gradasi memenuhi, yaitu :

Persamaan untuk menghitung persentase lolos saringan dalam gradasi terbuka adalah:

$$P = 100 (d/D)^{0,45} \dots\dots\dots 3.4$$

di mana:

P adalah persen lolos saringan dengan ukuran butiran d dalam milimeter yang sedang diperhitungkan.

D adalah ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka.

c. Gradasi senjang (gap graded)

Gradasi senjang terdiri dari agregat dengan ukuran yang tidak lengkap atau fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit. Campuran aspal dengan gradasi senjang menghasilkan perkerasan yang memiliki kualitas antara gradasi seragam dan gradasi rapat.

### 3.11 Anti Stripping

Menambahkan Anti Stripping Agent dalam campuran aspal memiliki beberapa keuntungan, termasuk meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat serta memperpanjang umur jalan hingga 3-4 tahun, terutama saat kondisi basah. Namun, kekurangannya adalah harga Anti Stripping Agent yang relatif mahal. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010, bahan ini harus dicampurkan dalam bentuk cairan kedalam campuran agregat menggunakan pompa penakar pada saat pencampuran basah di pugmil. Jumlah pemakaian Anti Stripping Agent berkisar antara 0,1% hingga 0,3% dari berat aspal. Anti Stripping Agent harus digunakan pada semua jenis aspal kecuali aspal modifikasi yang bermuatan positif. Jenis-jenis Anti Stripping Agent antara lain:

- a. DERBO-401 adalah Anti Stripping Agent asal India yang telah diuji oleh lembaga penelitian seperti IIP-Dehradun, SIIR-Delhi, dan CRRI-New Delhi. Penggunaan DERBO-401 dalam campuran Hotmix berkisar antara 0,1% -



0,4% dari berat bitumen, sementara untuk perbaikan jalan, penggunaannya berkisar antara 0,2% - 0,5%. DERBO-401 diyakini dapat meningkatkan stabilitas Marshall di daerah dengan curah hujan tinggi, menghemat biaya maintenance, dan membantu konstruksi jalan pada kondisi iklim lembab. Selain itu, harga DERBO-401 cenderung lebih efektif dibandingkan dengan jenis Anti Stripping Agent lainnya, dan juga dapat mengurangi kebutuhan agregat halus dalam campuran. Dan penggunaan memiliki keuntungan seperti Penggunaan anti pengelupasan ini memiliki beberapa manfaat yang signifikan, di antaranya: Meningkatkan stabilitas sisa campuran Marshall, terutama di daerah yang sering mengalami curah hujan tinggi. Menghasilkan penghematan biaya perawatan jalan hingga lebih dari 50%. Mendukung pembangunan jalan dalam kondisi iklim yang lembab. Harga yang relatif lebih efektif dibandingkan dengan jenis anti pengelupasan lainnya. Mengurangi kebutuhan akan agregat halus dalam campuran, mengoptimalkan penggunaan material.

- b. Morlife 2200 adalah Anti Stripping Agent dengan performa tinggi yang didasarkan pada penelitian kimia baru dan inovatif. Morlife 2200 meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat serta mengatasi masalah adhesi campuran yang lemah. Campuran aspal dengan Morlife 2200 menunjukkan peningkatan daya tahan dan ketahanan terhadap pengelupasan. Untuk penyimpanannya Morlife 2200 disimpan dalam suhu 20-250 C.
- c. Wetfix-BE: Ini adalah Anti Stripping Agent lain yang memiliki sensitivitas tinggi dan stabilisasi yang baik. Meskipun harganya relatif mahal, Wetfix-BE dapat memperpanjang waktu pelapisan ulang Hotmix, mengurangi biaya perawatan, dan meminimalkan kerusakan akibat air.
- d. DERBO-101, jenis Anti Stripping Agent lainnya, diyakini memberikan keuntungan yang serupa seperti meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat, menghemat biaya maintenance, dan meminimalkan kerusakan akibat air. Penggunaan bahan anti pengelupasan ini juga berpengaruh pada karakteristik Marshall seperti kepadatan, rongga antar agregat, rongga udara, rongga terisi aspal, stabilitas, kelelahan plastis, dan hasil bagi marshall.

### 3.12 Karakteristik Campuran Aspal Beton

Beton aspal terbentuk dari campuran agregat, aspal, dan bahan lain yang dicampur secara homogen di instalasi pencampuran pada suhu tertentu. Setelah dicampur, campuran tersebut dihamparkan dan dipadatkan untuk membentuk beton aspal padat. Perhitungan yang umum digunakan untuk campuran beton aspal adalah sebagai berikut:

1. Berat Jenis Bulk Beton Aspal Padat ( $G_{mb}$ )

Berat jenis bulk dari beton aspal padat ( $G_{mb}$ ) dapat diukur menggunakan hukum Archimedes, dihitung sebagai berikut:

$$G_{mb} = \frac{\text{Berat Uji Kering}}{\text{Berat Uji Kering Permukaan} - \text{Berat Uji dalam Air}} \dots\dots\dots 3.5$$

2. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal yang Belum Dipadatkan ( $G_{mm}$ )

Berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan ( $G_{mm}$ ) diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium dengan rumus:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots 3.6$$

di mana:

$P_b$  adalah persentase jumlah aspal terhadap total berat campuran,

$P_s$  adalah persentase jumlah agregat terhadap total berat campuran,

$G_b$  adalah berat jenis aspal, dan

$G_{se}$  adalah berat jenis efektif agregat.

3. Rongga diantara mineral agregat (VMA)

Rongga di antara butiran agregat dalam beton aspal padat, disebut VMA, dihitung sebagai berikut:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots 3.7$$

di mana:

$G_{mb}$  adalah berat jenis bulk campuran, dan

$G_{sb}$  adalah berat jenis efektif agregat.

$P_s$  adalah Jumlah Agregat, % terhadap Total Berat Campuran

4. Rongga di dalam campuran (VIM)

Rongga di dalam beton aspal padat, dinyatakan sebagai VIM, dihitung sebagai berikut:

$$VIM = 100 \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots 3.8$$

$G_{mm}$  adalah Berat Jenis Maksimum Campuran

$G_{mb}$  adalah Berat Jenis Bulk Campuran

VIM adalah Rongga udara dalam campuran, persen terhadap volume campuran.

5. Rongga terisi aspal (VFA)

VFA adalah persentase pori antar butir agregat yang terisi aspal, dihitung sebagai berikut:

$$VFA = \frac{100 \cdot (VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots 3.9$$

VIM adalah Rongga udara dalam campuran, persen terhadap volume campuran

VMA adalah Pori Butir agregat di dalam beton aspal, % dari volume bulk beton aspal

VFA adalah Pori antar butir Agregat yang terisi Aspal % dari VMA

Dengan demikian, perhitungan tersebut membantu dalam menentukan berbagai karakteristik beton aspal, seperti kepadatan, rongga antar agregat, rongga udara, rongga terisi aspal, stabilitas, dan kelelahan plastis.

**3.13 Penentuan Kadar Aspal Optimum**

Penentuan kadar aspal optimum menurut SNI-06-2490-1991 dengan rumus ;

$$B = \frac{(W_1 - W_2) - (W_3 + W_4)}{VMA W_1 - W_2} \times 100\% \dots\dots\dots 3.10$$

B adalah Kadar Aspal, dinyatakan dalam %

$W_1$  adalah Berat benda uji dinyatakan dalam gram

W2 adalah Berat air dalam benda uji dinyatakan dalam gram

W3 adalah Berat mineral hasil ekstraksi dinyatakan dalam gram

W4 adalah Berat mineral halus yang tertinggal dalam filtrat, dinyatakan dalam gram.



## BAB IV

### PEMBAHASAN

#### 4.1 Persiapan Material

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahap, yaitu persiapan bahan penelitian, penentuan kadar aspal, pembuatan benda uji, dan pengujian laboratorium. Pada tahap persiapan bahan agregat diperoleh dari PT. Perwita Karya Sembung Batang, Jawa Tengah. Seluruh proses pembuatan benda uji, pengujian material, pengujian aspal, dan uji marshall dilakukan di laboratorium transportasi jalan Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Penggunaan alat bantu diharapkan mempermudah pengujian dan menghasilkan hasil yang optimal.

#### 4.2 Pengujian Laboratorium

##### 4.2.1 Pengujian Air Rob

Pengujian air rob dilakukan dengan mengambil sampel pada genangan air di jalanpantura Semarang-Demak, yang selanjutnya dilakukan pengujian di Laboratorium yang dilakukan SUCOFINDO, dengan hasil berikut .

**Tabel 4.1** Pengujian Air Rob

No	Parameter Pemeriksaan	Satuan	Hasil Pengujian	
			Air Rob	Air Biasa
1	Zat Padat Tersuspensi (TSS)	mg/L	39	29
2	Zat Padat Terlarut (TDS)	mg/L	1237	939
3	Klorida (Cl)	mg/L	9551	754
4	Sulfat (SO <sub>4</sub> )	mg/L	2001	598
5	Kadar Garam / Salinitas	g/L	22,59	16,95
6	pH		7,14	6,98

(sumber : Hasil Penelitian Juny Andri 2023)

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan bahwa pH air rob menyerupai pH air laut yaitu 7,16. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Adrian Salman Al Farisi pada tahun 2009, air hujan dengan pH 4,6 dapat mengurangi stabilitas aspal sebesar 6,16% dan mengurangi ketahanan terhadap kelelahan aspal sebesar 4,33% dibandingkan dengan air yang memiliki pH 7 . Sebaliknya, air dengan pH 8 dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal sebesar 7,31% dan meningkatkan ketahanan terhadap

kelelahan campuran aspal sebesar 23,92% dibandingkan dengan air dengan pH 7 (bersifat netral).

#### 4.2.2 Pengujian Aspal Pen 60/70

Pada penelitian ini menggunakan aspal pen 60/70 yang diambil dari AMP Batang, selanjutnya dilakukan pengujian di Laboratorium Fakultas Teknik Unissula, dengan hasil berikut ini :

**Tabel 4.2** Pengujian Aspal Pen 60/70

Pemeriksaan	Hasil Pengujian	Min	Max	Metode Pengujian	Satuan
Penetrasi	65	50	80	SNI 06-2456 : 1991	0,1 mm
Titik Lembek	55,56	54	-	SNI 06-2434 : 1991	°C
Titik Nyala	357	232	-	SNI 06- 2433 : 1991	°C
Daktilitas	151,5	50	-	SNI 06- 2432 : 1991	Cm
Kehilangan Berat	59,80	54	-	SNI 06- 2440 : 1991	%

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

Tabel 4 menunjukkan hasil uji agregat dengan membandingkannya terhadap standar dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976 untuk Jalan Raya.

#### 4.2.3 Pengujian Agregat

Pengujian sifat-sifat agregat kasar meliputi beberapa aspek yaitu bentuk agregat, abrasi menggunakan mesin Los Angeles, kelekatan agregat terhadap aspal, angularitas dan butiran yang mudah pecah, gradasi agregat, berat jenis, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, penyerapan, material yang lolos saringan No 200, partikel pipih dan lonjong, serta sand equivalent. Hasil dari masing-masing pengujian ini dapat dilihat dalam tabel yang disusun berdasarkan spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976 dari Bina Marga.

**Tabel 4.3** Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
<b>A</b>	<b>Agregat kasar</b>				
1	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-2008	Maks. 40%	14.05%	Memenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap	SNI 03-	Min. 95%		Memenuhi

	aspal Pen 60/70	2439-2011		99%	
3	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	8.79%	Memenuhi
4	Material lolos saringan no. 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,7%	Memenuhi
5	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat kasar 1/2 b. Agregat kasar 3/8	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1.593% 2.124%	Memenuhi
6	Berat jenis ( <i>bulk specific gravity</i> ) a. Agregat kasar 0.5/1 b. Agregat kasar 1/2	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5%	2.671% 2.682%	Memenuhi
<b>B</b>	<b>Agregat halus</b>				
1	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 15%	11.56%	Memenuhi
2	Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%	47.92%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1.593% 2.124%	Memenuhi
4	Berat jenis ( <i>bulk specific gravity</i> ) a. Agregat halus (pasir) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5	2.751% 2.752%	Memenuhi

( sumber : Hasil Penelitian 2024)

Material dari PT. Perwita Karya Sembung Batang, Jawa Tengah, memenuhi Spesifikasi 2018. Semua hasil uji agregat berasal dari pemecahan batu oleh Stone Crusher di Asphalt Mixing Plant (AMP).

**Tabel 4.4** Pengujian Agregat  $\frac{1}{2}$  Lolos Saringan N0.200 SNI 03 – 4142 - 1996

Sample Agregat 1/2	Percobaan 1		Percobaan 2		Satuan
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
Berat Kering Contoh + Cawan	3583,5	3556,4	3613	3594,8	gr
Berat Cawan	84,5	84,5	105,6	105,6	gr
Berat Kering Contoh	3497	3474,4	3506,6	3482,2	gr
Agregat Lolos #200	0,64		0,53		%
Rata-rata	<b>0,585</b>				%

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

**Tabel 4.5** Pengujian Agregat 3/4

Sample Agregat 1/2	Percobaan 1		Percobaan 2		Satuan
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
Berat Kering Contoh + Cawan	3583,5	3556,4	3613	3594,8	gr
Berat Cawan	84,5	84,5	105,6	105,6	gr
Berat Kering Contoh	3497	3474,4	3506,6	3482,2	gr
Agregat Lolos #200	0,64		0,53		%
Rata-rata	<b>0,585</b>				%

(sumber : Hasil Penelitian 2024)



**Tabel 4.6** Pengujian Agregat Tertahan 1/2

Agregat Tertahan 1/2		Benda Uji I (gr)	Benda Uji II (gr)	Rata-rata (gr)
Berat Contoh Kering Oven	A	4665	4867	-
Berat Contoh Kering Permukaan	B	4765	4946	-
Berat Contoh dalam Air	C	2976	3084	-
Berat Jenis Bulk (Oven - Dry Basis)	$\frac{A}{B - C}$	2,6076	2,6139	2,6107
Berat Jenis Bilk (Saturated Surface - Dry Basis)	$\frac{B}{B - C}$	2,6635	2,6563	2,6599
Berat Jenis Semua (Apparent)	$\frac{A}{A - C}$	2,7620	2,7297	2,7458
Penyerapan	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	2,1436	1,6232	1,8834

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

**Tabel 4.7** Pengujian Agregat Tertahan 3/4

Agregat Tertahan 3/4		Benda Uji I (gr)	Benda Uji II (gr)	Rata-rata (gr)
Berat Contoh Kering Oven	A	4665	4867	-
Berat Contoh Kering Permukaan	B	4765	4946	-
Berat Contoh dalam Air	C	2976	3084	-

Berat Jenis Bulk (Oven - Dry Basis)	$\frac{A}{B - C}$	2,6076	2,6139	2,6107
Berat Jenis Bilk (Saturated Surface - Dry Basis)	$\frac{B}{B - C}$	2,6635	2,6563	2,6599
Berat Jenis Semua (Apparent)	$\frac{A}{A - C}$	2,7620	2,7297	2,7458
Penyerapan	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	2,1436	1,6232	1,8834

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

**Tabel 4.8** Pengujian Abu Batu

Sample Agregat Abu Batu	Percobaan 1		Percobaan 2		Satuan
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
Berat Kering Contoh + Cawan	567	533	634	594	gr
Berat Cawan	74,8	74,8	85,2	85,2	gr
Berat Kering Contoh	492,2	458,2	548,8	508,8	gr
Agregat Lolos #200	7,44		7,86		%
Rata-rata	7,65				%

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

**Tabel 4.9** Pengujian Pasir

Sample Agregat Pasir	Percobaan 1		Percobaan 2		Satuan
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	
Berat Kering Contoh + Cawan	640	574,4	652,4	548,2	gr
Berat Cawan	75,8	75,8	85,2	85,2	gr
Berat Kering Contoh	564,8	498,6	567,2	499	gr

Agregat Lolos #200	13,28	13,67	%
Rata-rata	<b>13,47</b>		%

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

**Tabel 4.10** Pengujian Angularitas Abu Batu

No	Uraian Abu Batu	Percobaan ke	
		I (gr)	II (gr)
1	Volume Silinder (V)	101,07	101,07
2	Berat Contoh dalam Tabung Silinder (F)	131	131
3	Berat Jenis (bulk) (G)	2,45	2,45
4	Volume contoh dengan Berat Jenis (bulk) (F/G)	53,46938776	53,47
5	Kadar Rongga sebagai Angularitas Agregat Halus ((V-F/G)V X 100%)	47,1	47,1
Rata-rata		<b>47,1</b>	

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

**Tabel 4.11** Pengujian Angularitas Pasir

No	Uraian Pasir	Percobaan ke	
		I (gr)	II (gr)
1	Volume Silinder (V)	101,07	101,07
2	Berat Contoh dalam Tabung Silinder (F)	146,47	145,65
3	Berat Jenis (bulk) (G)	2,63	2,64
4	Volume contoh dengan Berat Jenis (bulk) (F/G)	55,69	55,17
5	Kadar Rongga sebagai Angularitas Agregat Halus ((V-F/G)V X 100%)	44,9	48,47
Rata-rata		<b>46,68</b>	

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

**Tabel 4.12** Pengujian Agregat Tertahan Abu Batu

Agregat Tertahan Abu Batu		Benda Uji I (gr)	Benda Uji II (gr)	Rata-rata (gr)
Berat Contoh Kering Oven	A	4758	4759	-
Berat Contoh Kering Permukaan	B	4890	4889	-
Berat Contoh dalam Air	C	1191	1.192,00	-
Berat Jenis Bulk (Oven - Dry Basis)	$\frac{A}{B - C}$	1,2863	1,2873	1,2868
Berat Jenis Bilk (Saturated Surface - Dry Basis)	$\frac{B}{B - C}$	1,3220	1,3224	1,3222
Berat Jenis Semua (Apparent)	$\frac{A}{A - C}$	1,3339	1,3342	1,3340
Penyerapan	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	2,7743	2,7317	2,7530

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

**Tabel 4.13** Pengujian Agregat Tertahan Pasir

Agregat Tertahan Pasir		Benda Uji I (gr)	Benda Uji II (gr)	Rata-rata (gr)
Berat Contoh Kering Oven	A	4578	4592	-
Berat Contoh Kering Permukaan	B	4689	4687	-
Berat Contoh dalam Air	C	1256	1.246,00	-
Berat Jenis Bulk (Oven - Dry Basis)	A	1,3335	1,3345	1,3340
Berat Jenis Bilk (Saturated Surface - Dry Basis)	$\frac{B - C}{B - C}$	1,3659	1,3621	1,3640
Berat Jenis Semua (Apparent)	$\frac{A}{A - C}$	1,3781	1,3724	1,3752
Penyerapan	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	2,4246	2,0688	2,2467

(sumber : Hasil Penelitian 2024)

**4.2.4 Hasil Perhitungan kombinasi Agregat**

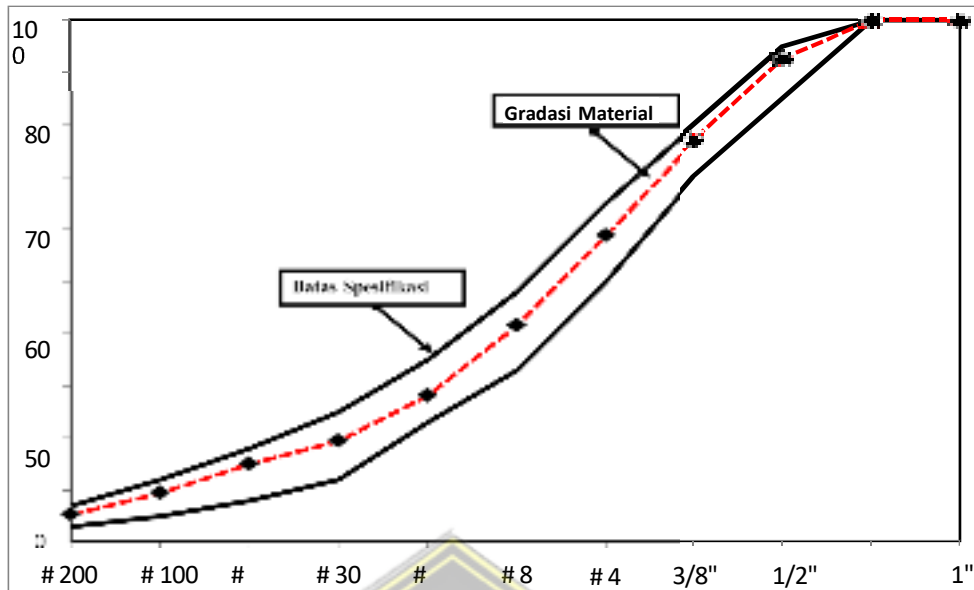
Kombinasi agregat adalah hasil penggabungan agregat yang lolos dan tertahan pada berbagai saringan, mulai dari ukuran tertentu hingga saringan #200, terdiri dari Hot Bin II, III, IV, pasir, dan filler. Tabel 4.28 menunjukkan perhitungan kombinasi agregat sesuai SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88.

**Tabel 4.14** Perhitungan Kombinasi Agregat  
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

No. Saringan	Prosentase lolos	Spesifikasi	
	<b>Kombinasi Lolos</b>	<b>Batas Bawah</b>	<b>Batas Atas</b>
# 200	4.12	2	7
# 100	7.13	5	12
# 50	11.61	8	18
# 30	15.11	12	25
# 16	21.74	23	35
# 8	31.34	33	48
# 4	56.65	50	65
3/8"	69.59	70	80
1/2"	87.5	85	95
3/4"	100.0	100	100
1"	100.0	100	100

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.14 menunjukkan bahwa total campuran gradasi agregat untuk setiap saringan tidak boleh melampaui batas maksimum dan minimum yang ditetapkan dalam spesifikasi gradasi. Hasil penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 Kombinasi Agregat.



**Gambar 4.1** Kombinasi Agregat (Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada Gambar 4.1, persentase agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm) harus berada dalam batas atas dan bawah yang ditentukan. Agregat yang melebihi atau kurang dari batas tersebut tidak boleh digunakan sebagai bahan pengisi untuk Wearing Course AC-WC

#### 4.3 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)

Penelitian ini mencampurkan aspal dengan bahan tambah berupa Resin dan katalis dalam kadar 0%, 2%, 4%. Setiap kadar memiliki 3 benda uji yang akan digunakan untuk membandingkan dan menentukan campuran terbaik.

**Tabel 4.15** Pembuatan Benda Uji

Benda Uji	Resin (%)	Katalis (%)	Jumlah Sample	Untuk 3 uji
1	0%	0%	3	9
2	0%	2%	3	9
3	0%	4%	3	9
4	2%	0%	3	9
5	2%	2%	3	9
6	2%	4%	3	9
7	4%	0%	3	9
8	4%	2%	3	9

9	4%	4%	3	9
Total				81

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Komposisi aspal normal dengan perencanaan kadar 4% - 6% tabpa bahan tambahan dengan masing-masing terdapat 3 benda uji dengan total keseluruhan 81 benda uji sesuai dengan Tabel.

**Tabel 4.16** Rancangan Campuran Aspal ( Job Mix Design)

Normal Kadar Aspal 4%

No.	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	46,00%	529,92
2	Pasir	3,00%	34,56
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	25%	288
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	25%	288
6	<i>Filler</i>	1,00%	11,52
		100,00%	1152
Keterangan Aspal :			
A. Aspal		4%	48

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.17** Rancangan Campuran Aspal ( Job Mix Design)

Normal Kadar Aspal 4,5%

No.	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	46,00%	527,16
2	Pasir	3,00%	34,38
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	25%	286,5
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	25%	286,5
6	<i>Filler</i>	1,00%	11,46
		100,00%	1146
Keterangan Aspal :			

A. Aspal	4,5%	54
----------	------	----

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.18** Rancangan Campuran Aspal ( Job Mix Design)

Normal Kadar Aspal 5%

No.	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	46,00%	524,4
2	Pasir	3,00%	34,2
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	25%	285
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	25%	285
6	<i>Filler</i>	1,00%	11,4
		100,00%	1140
Keterangan Aspal :			
A. Aspal		5%	60

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.19** Rancangan Campuran Aspal ( Job Mix Design)

Normal Kadar Aspal 5,5%

No.	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	46,00%	521,64
2	Pasir	3,00%	34,02
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	25%	283,5
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	25%	283,5
6	<i>Filler</i>	1,00%	11,34
		100,00%	1134
Keterangan Aspal :			
A. Aspal		5,5%	66

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)



**Tabel 4.20** Rancangan Campuran Aspal ( Job Mix Design)

Normal Kadar Aspal 6%			
No.	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	46,00%	518,88
2	Pasir	3,00%	33,84
4	<i>Medium Agregat (3/4)</i>	25%	282
5	<i>Coarse Agregat (1/2)</i>	25%	282
6	<i>Filler</i>	1,00%	11,28
		100,00%	1128
Keterangan Aspal :			
A. Aspal		6,0%	72

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**4.3.1 Pembuatan benda uji dengan kadar Resin dan Katalis**

Komposisi aspal modifikasi dengan kadar aspal 5,8% dengan tambahan resin dan katalis dengan kadar 0%,2%,4% untuk masing-masing campuran ada 9 benda uji dengan total keseluruhan terdapat 27 benda uji modifikasi terdapat pada tabel berikut.

**Tabel 4.21** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (Resin 0% dan Katalis 0 %)

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
	A. Resin	0 %	0 gram
	B. Katalis	0 %	0 gram

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.22** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (Resin 0% dan Katalis 2 %)

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
	A Resin	0 %	0 gram
	B Katalis	2%	1,39 gram

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.23** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (Resin 0% dan Katalis 4 %)

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
	1 Resin	0%	0 gram
	2 Katalis	4 %	2,78 gram
	C. Aspal (digunakan)		66,82 gram

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.24** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (Resin 2% dan Katalis 0 %)

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
3	Resin	2%	1,39 gram
4	Katalis	0 %	0 gram
C.	Aspal (digunakan)		68,21 gram

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.25** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (Resin 2% dan Katalis 2 %)

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300,0 gram
5	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300,0 gram
6	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
5	Resin	2%	1,39 gram
6	Katalis	2 %	1,39 gram
C.	Aspal (digunakan)		66,82 gram

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.26** Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (Resin 2% dan Katalis 4 %)

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2	Pasir	3,0 %	36,0 gram
4	Medium Agregat (1/2)	25 %	300,0 gram
5	Coarse Agregat (3/8)	25 %	300,0 gram
6	Filler	1,2 %	14,4 gram
7	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
Keterangan Aspal :			
7	Resin	2%	1,39 gram
8	Katalis	4 %	2,78 gram

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

#### 4.4 Menentukan Kadar Aspal Optimum

Untuk menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal, dimana menggunakan kadar aspal 4% - 6% dengan kenaikan sebesar 0,5% disetiap pengujiannya dan sesuai dengan standar Bina marga ada 6 parameter yang dipenuhi meliputi stabilitas, flow, MQ, VFA, VIM dan VMA. Dengan persentase campuran sebagai berikut :

**4.27** Persentase Campuran AC-WC

Kadar Aspal(%)	Berat Aspal Terhadap Campuran (gr)	Agregat 1/2 (gr)	Agregat 3/4 (gr)	Pasir (gr)	Filler (gr)	Abu Batu (gr)	Total Agregat Gabungan (gr)	Total Berat Campuran (gr)
4	48	300	300	36	24	492	1152	1200
4,5	54	300	300	36	24	486	1146	1200
5	60	300	300	36	24	480	1140	1200
5,5	66	300	300	36	24	474	1134	1200
6	72	300	300	36	24	468	1128	1200

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Selanjutnya dilakukan pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum menggunakan kadar aspal mulai 4% - 6% dengan hasil sebagai berikut :

**Tabel 4.28** Data Hasil Penentuan KAO

Karakteristik Marshall Campuran Beraspal		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA(%)	(VFA(%))
Spesifikasi	Min	800	3	250	3,5	15	65
	Max	1500	5	-	5,5	-	-
<b>4</b>		2905,832	2,3	1263,405	11,5	15,0094	23,3
		2807,662	2,4	1169,859	11,1	14,5713	24,1
		2866,564	2,15	1333,286	11,5	14,9564	23,4
<b>Rata-Rata</b>		2860,019	2,2833	1252,563	11,3	14,8457	23,6
<b>4,5</b>		3200,342	2,8	1142,979	5,18	16,3923	68,4
		3053,087	2,9	1052,789	4,91	16,1588	69,6
		3151,257	2,7	1167,132	5,22	16,4249	68,2
<b>Rata-Rata</b>		3134,895	2,8	1119,605	5,1	16,3253	68,7
<b>5</b>		2758,577	3,3	835,9324	4,92	17,3807	71,7
		2709,492	3,5	774,1406	4,6	17,1028	73,1
		2748,76	3,4	808,4588	4,59	17,0922	73,1
<b>Rata-Rata</b>		2738,943	3,4	805,5715	4,71	17,1919	72,6
<b>5,5</b>		2405,165	4	601,2913	4,54	17,1903	73,6
		2395,348	4,2	570,321	4,02	16,7393	76
		2464,067	4,1	600,992	4,71	17,3403	72,8
<b>Rata-Rata</b>		2421,527	4,1	590,6163	4,42	17,0899	74,1
<b>6</b>		2395,348	4,6	520,7278	3,97	16,6544	76,1
		2454,25	4,5	545,3889	3,99	16,6672	76,1
		2464,067	4,4	560,0152	3,94	16,6205	76,3
<b>Rata-Rata</b>		2437,888	4,5	541,753	3,97	16,6474	76,2

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.29** Penentuan Kadar Aspal

Penentuan Kadar Aspal	
VIM (%)	4,5 - 5,5
VFA (%)	4,5 - 5,5
Stabilitas (Kg)	4,5 - 5,5
Flow (mm)	4,5 - 5,5
Marshal Quatient (kg/mm)	4,5 - 5,5
VMA	5,5 - 6
Kadar Aspal (%)	4 4,5 5 5,5 6

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Didapatkan Kadar Aspal Optimum sebesar 5,8%, yang mana persentase ini yang akan digunakan dalam aspal modifikasi. Yang selanjutnya akan di jelaskan dalam tabel berikut.

#### 4.4.1 Ringkasan Hasil Test Pengujian AC Wearing

Setelah mendapatkan presentase masing-masing fraksi agregat dan aspal. Maka detentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas mold yang ada.

Contoh untuk campuran AC-WC sebagai berikut :

- Kadar aspal = 5.8 %
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = 5.8 % x 1200 = 69.6 gr
- Berat total agregat = (100 – 5.8)% x 1200 = 1130.4 gr
  - Coarse Agg. (1/2') = 25% x 1200 gr = 300 gr
  - Medium Agg. (3/8') = 25% x 1200 gr = 300 gr
  - Pasir = 40 % x 1200 gr = 480 gr
  - Abu batu = 3% x 1200 gr = 36 gr
  - Filler = 1.2 % x 1200 gr = 14.4 gr
  - Total agregat = 1130.4 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada **tabel 4.29**.

**Tabel 4.29** Komposisi Material AC - WC

JENIS MATERIAL	KOMPOSISI		BERAT g	KUMULATIF g
1.Coarse Agg. (1/2')	25.00	%	300.00	600.00
2.Medium Agg. (3/8')	25.00	%	300.00	300.00
3.Abu batu	40.00	%	516.00	1080.00
4.Pasir	3.00	%	36.00	1116.00
5. Filler Semen	1.20	%	14.4	1130.4
6. Aspal	<b>5.80</b>	%	<b>69.6</b>	<b>1200</b>

(Sumber : Hasil Penelitian).

Dari pengujian *AC Wearing Course* di dapatkan Kadar Aspal Optimum adalah 5,8% dengan berat 69,6 g

**Tabel 4.30** Persentase Zat Tambahan

No	Resin (%)	Katalis (%)	Jumlah Sample
1	0%	0%	0%
2	0%	2%	2%
3	0%	4%	4%
4	2%	0%	2%
5	2%	2%	4%
6	2%	4%	6%
7	4%	0%	4%
8	4%	2%	6%
9	4%	4%	8%

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Dengan adanya Zat tambahan tersebut tidak mengurangi dari komposisi aspal, karena Zat tersebut merupakan bahan tambahan. Dimana sample yang dibuat adalah 81 sample karena setiap persentase tambahan ada 3 sample untuk pengujian perendaman menerus selama 7 hari, 14 hari dan 21 Hari dengan hasil sebagai berikut.

### **5.5 Pengujian Marshall**

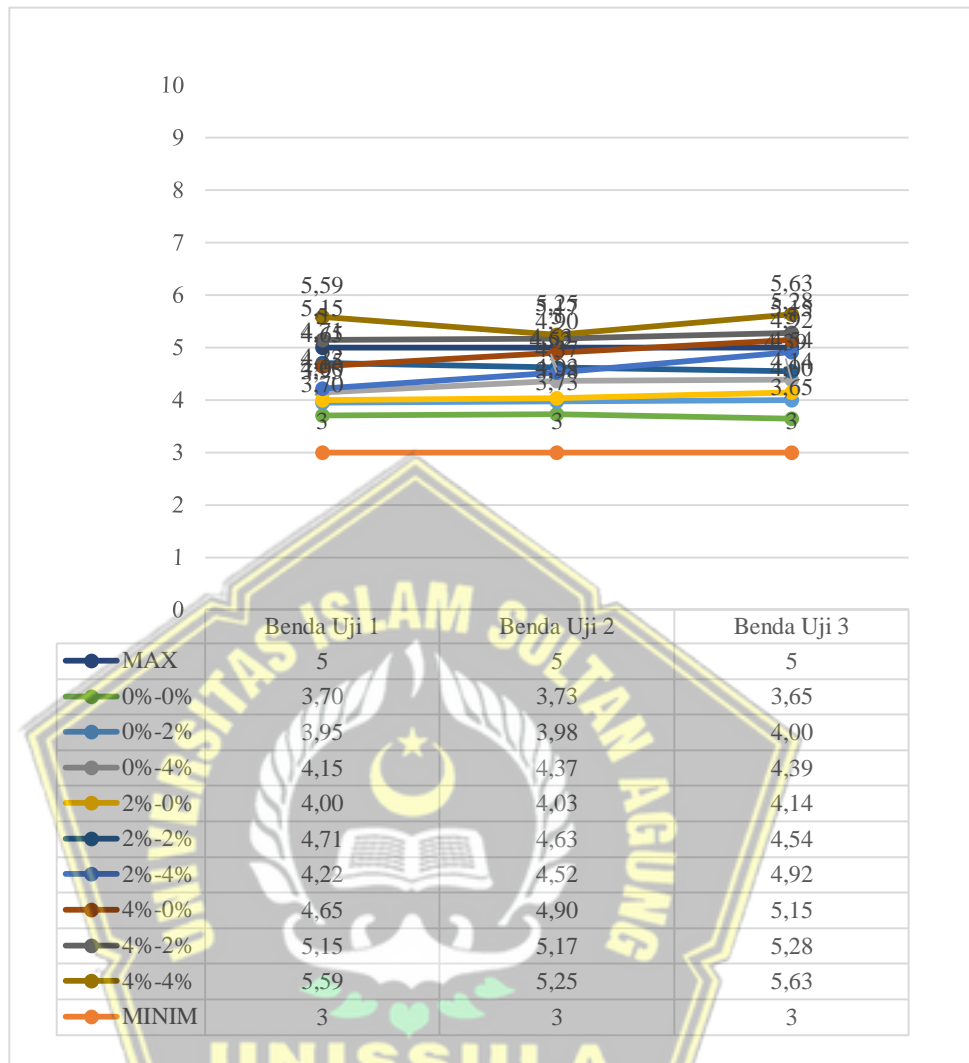
Setelah penentuan job mix design dan design mix formula, 81 sampel aspal dibuat. Seluruh sampel ditimbang dalam kondisi kering, kemudian ditimbang lagi setelah direndam selama 7hari, 14 Hari dan 21 Hari, dan kembali ditimbang dalam kondisi SSD. Selanjutnya, sampel diuji menggunakan alat Marshall untuk mengukur stabilitas dan flow (kelelehan). Pengujian Marshall bertujuan untuk memperoleh parameter Marshall, terutama nilai KAO (Kadar Aspal Optimum). Untuk mendapatkan nilai KAO, beberapa parameter perlu dihitung, yaitu VMA (Void in Mineral Aggregates), VIM (Void in Mix), VFB (Void Filled Bitumen), stabilitas, flow, dan MQ (Marshall Quotient).

#### **5.5.1 Hasil Pengujian Marshall Perendaman 0 Hari**

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji dengan kombinasi resin 0%, 2%, 4% dan katalis pada kadar 0%, 2%, 4% dilakukan pada 3 sampel untuk setiap kadar yang mana terdapat 27 sampel pada pengujian ini. Untuk hasil tabel pengujian bisa dilihat di Lampiran. Dan untuk tabelnya akan disajikan dibawah ini.



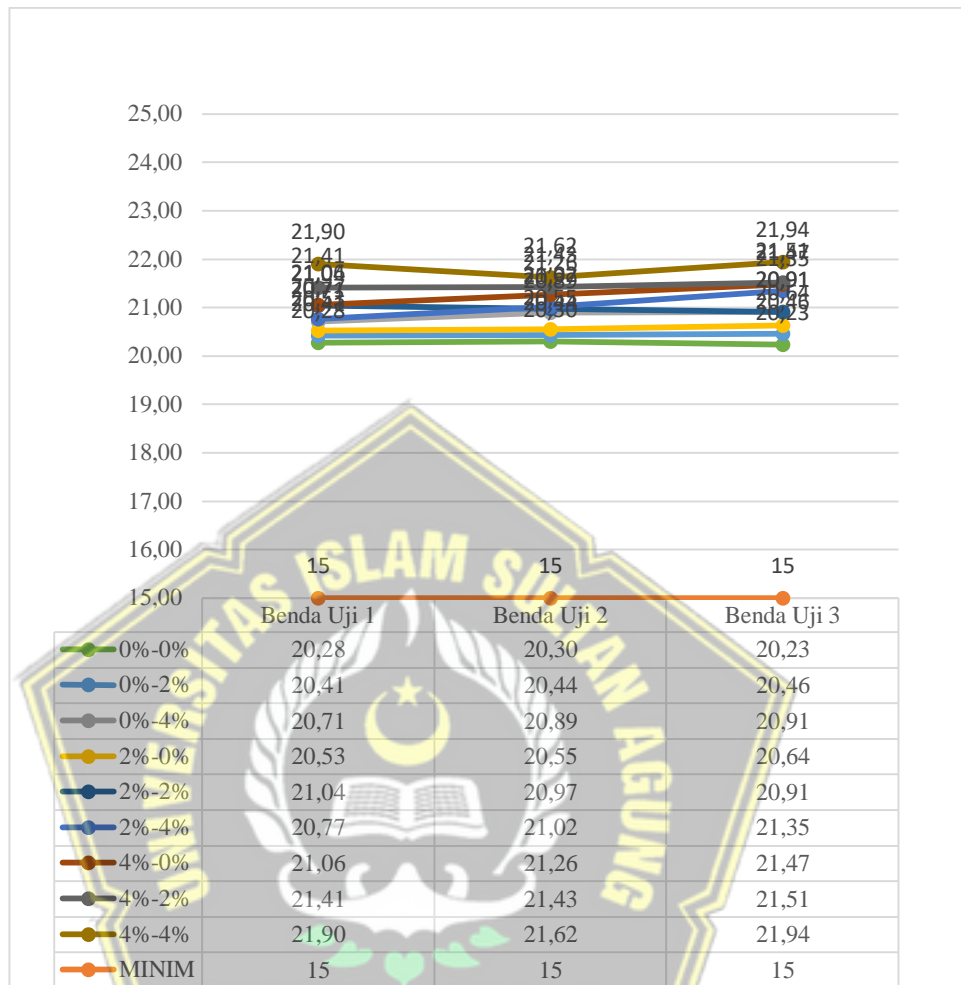
Penguji (0 Hari)																						
BJ Aspal (T) :		1,034			BJ Efektif Total Agregat (Gsb) :			2,641			BJ Total Agg (Gsb) :			2,749			Kalibrasi Proving Ring :			9,817 Kg		
no benda uji	Resin %	Katalis %	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat ssd	volume/ isi	bj Bulk campuran	bj Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara	% rongga dalam	% rongga aspal(vb)	stabilitas	di	kelehan	hasil bagi						
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o								
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMIM	(100-b)/g	(100-c)/g	100(i-l)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)								
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mm)	(kg)	(mm)	(kg/mm)								
Benda Uji 1			5,8	1169,3	675,2	1175,9	500,7	2,335	2,416	19,98	3,34	83,28	295	2896,02	2,30	1259,14						
Benda Uji 2	0%		5,8	1165,7	675,8	1172,4	496,6	2,347	2,416	19,56	2,84	85,48	285	2797,85	2,40	1165,77						
Benda Uji 3			5,8	1171,9	678,2	1178,7	500,5	2,341	2,416	19,77	3,09	84,39	291	2866,75	2,15	1328,72						
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1171,7</b>	<b>668,9</b>	<b>1177,9</b>	<b>509,0</b>	<b>2,302</b>	<b>2,418</b>	<b>21,12</b>	<b>4,80</b>	<b>77,28</b>	<b>325</b>	<b>3190,53</b>	<b>2,80</b>	<b>1139,47</b>						
Benda Uji 1			5,8	1161,6	663,5	1167,7	504,2	2,304	2,418	21,05	4,72	77,58	310	3043,27	2,90	1049,40						
Benda Uji 2	0%		5,8	1174,0	669,8	1180,0	510,2	2,301	2,418	21,15	4,84	77,13	320	3141,44	2,70	1163,50						
Benda Uji 3			5,8					2,302	2,418	21,11	4,79	77,33	318,33	3125,08	2,80	1116,10						
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1178,8</b>	<b>661,0</b>	<b>1180,2</b>	<b>519,2</b>	<b>2,270</b>	<b>2,414</b>	<b>22,20</b>	<b>5,95</b>	<b>73,21</b>	<b>280</b>	<b>2748,76</b>	<b>3,30</b>	<b>832,96</b>						
Benda Uji 1			5,8	1181,4	664,6	1183,2	518,6	2,278	2,414	21,94	5,63	74,33	275	2699,68	3,50	771,34						
Benda Uji 2	0%		5,8	1185,2	666,6	1186,8	520,2	2,278	2,414	21,93	5,62	74,37	279	2738,94	3,40	805,57						
Benda Uji 3			5,8					2,279	2,416	21,92	5,69	74,05	246,33	2418,25	3,55	681,20						
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1156,5</b>	<b>656,5</b>	<b>1161,7</b>	<b>505,2</b>	<b>2,269</b>	<b>2,418</b>	<b>21,56</b>	<b>5,33</b>	<b>75,29</b>	<b>243</b>	<b>2385,53</b>	<b>4,00</b>	<b>596,38</b>						
Benda Uji 1			5,8	1159,3	657,8	1164,3	506,5	2,289	2,418	21,57	5,34	75,23	249	2444,43	4,20	582,01						
Benda Uji 2	2%		5,8	1162,7	660,0	1167,7	507,7	2,290	2,418	21,52	5,29	75,43	250	2454,25	4,10	598,60						
Benda Uji 3			5,8					2,289	2,418	21,55	5,32	75,32	247,33	2428,07	4,10	592,21						
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1160,0</b>	<b>687,0</b>	<b>1180,0</b>	<b>493,0</b>	<b>2,353</b>	<b>2,414</b>	<b>19,37</b>	<b>2,53</b>	<b>86,94</b>	<b>214</b>	<b>2100,84</b>	<b>4,60</b>	<b>456,70</b>						
Benda Uji 1			5,8	1178,0	688,0	1198,0	510,0	2,310	2,414	20,85	4,32	79,30	236	2316,81	4,50	514,85						
Benda Uji 2	2%		5,8	1152,0	673,0	1172,0	499,0	2,309	2,414	20,89	4,37	79,10	364	3573,39	4,40	812,13						
Benda Uji 3			5,8					2,324	2,414	20,37	3,74	81,78	271,33	2663,68	4,50	591,93						
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1110,0</b>	<b>687,0</b>	<b>1156,0</b>	<b>469,0</b>	<b>2,367</b>	<b>2,416</b>	<b>18,90</b>	<b>2,04</b>	<b>89,21</b>	<b>268</b>	<b>2630,96</b>	<b>4,80</b>	<b>548,12</b>						
Benda Uji 1			5,8	1154,0	693,0	1174,0	481,0	2,399	2,416	17,79	0,70	96,08	259	2542,60	4,50	565,02						
Benda Uji 2	4%	0%	5,8	1139,0	718,0	1191,0	473,0	2,408	2,416	17,48	0,33	98,11	248	2434,62	4,70	518,00						
Benda Uji 3			5,8					2,391	2,416	18,06	1,02	94,47	258,33	2536,06	4,67	543,44						
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1165,0</b>	<b>668,0</b>	<b>1166,0</b>	<b>498,0</b>	<b>2,339</b>	<b>2,418</b>	<b>19,84</b>	<b>3,25</b>	<b>83,60</b>	<b>259</b>	<b>2542,60</b>	<b>4,60</b>	<b>552,74</b>						
Benda Uji 1			5,8	1133,0	672,0	1152,0	480,0	2,338	2,418	19,19	2,47	87,14	250	2454,25	4,50	545,39						
Benda Uji 2	4%	2%	5,8	1168,0	684,0	1188,0	504,0	2,317	2,418	20,59	4,16	79,80	283	2778,21	4,40	631,41						
Benda Uji 3			5,8					2,338	2,418	19,87	3,29	83,52	264,00	2591,69	4,50	575,93						
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1194,0</b>	<b>698,0</b>	<b>1198,0</b>	<b>500,0</b>	<b>2,388</b>	<b>2,414</b>	<b>18,17</b>	<b>1,08</b>	<b>94,07</b>	<b>269</b>	<b>2640,77</b>	<b>4,60</b>	<b>574,08</b>						
Benda Uji 1			5,8	1185,0	679,0	1195,0	516,0	2,297	2,414	21,31	4,87	77,16	249	2444,43	4,50	543,21						
Benda Uji 2	4%	4%	5,8	1174,0	683,0	1194,0	511,0	2,297	2,414	21,27	4,83	77,31	285	2797,85	4,50	621,74						
Benda Uji 3			5,8					2,327	2,414	20,25	3,59	82,84	267,67	2627,68	4,53	579,64						



**Gambar 4.2** VIM Komposisi Resin dan Katalis 0 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

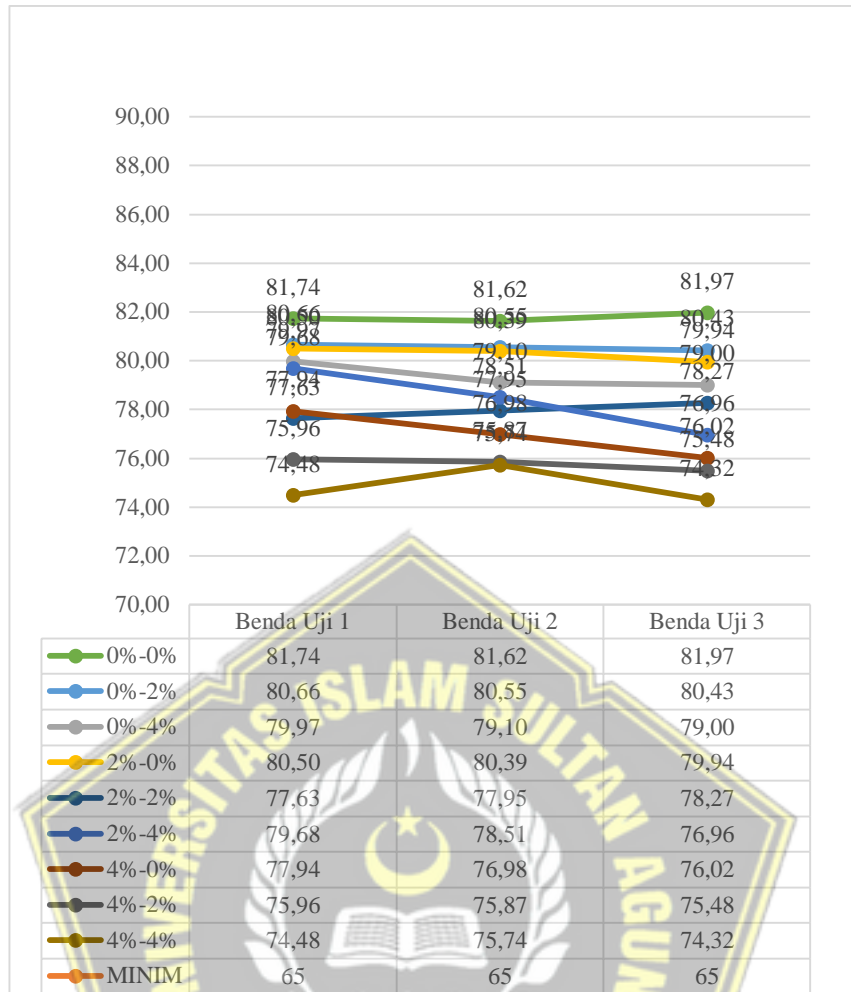
Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VIM (Void in Mix) sebagai perkerasan jalan, namun kadar 4%-2% dan 4%-4% tidak memenuhi syarat. Hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) untuk masing-masing kadar adalah 3,69%, 3,98%, 4,30%, 4,06%, 4,63%, 4,55%, 4,90%, 5,20% dan 5,49%. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, VIM minimum 3,00% dan maksimum 5,00%.



**Gambar 4.3** VMA Komposisi Resin dan Katalis 0 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

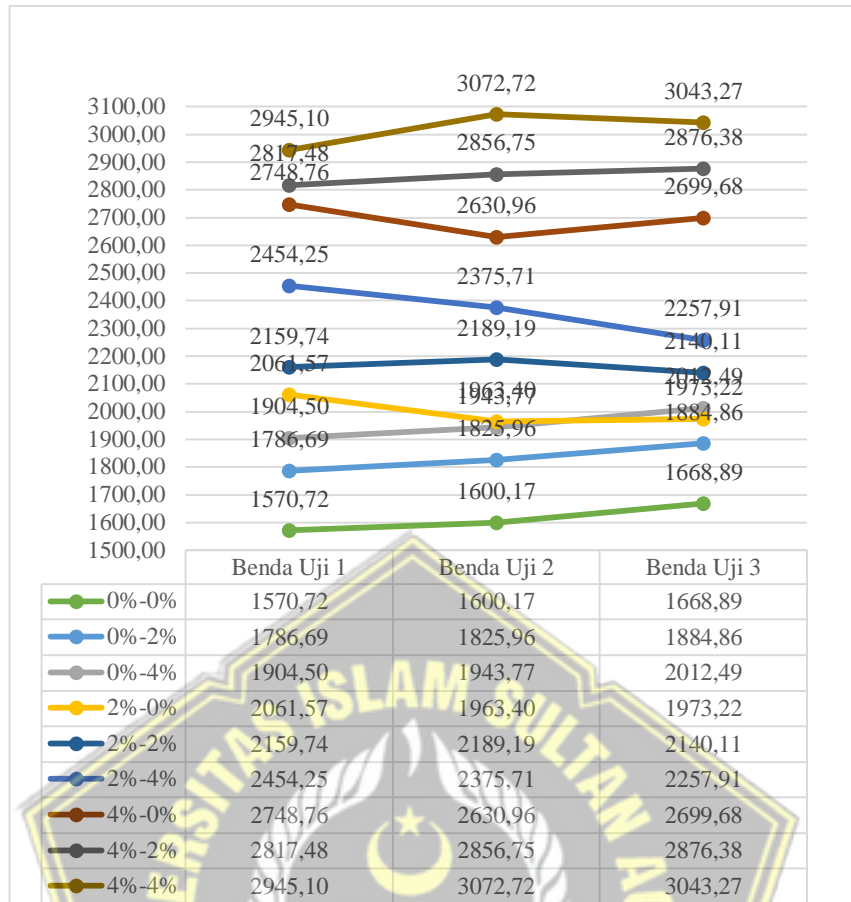
Grafik VMA menunjukkan bahwa nilai untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VIM (Void in Mix) sebagai perkerasan jalan yaitu dengan rata-rata 20,27%, 20,44%, 20,84%, 20,57%, 20,97%, 21,04%, 21,27%, 21,45% dan 21,82%. Semua nilai ini memenuhi spesifikasi VMA minimum dari Bina Marga, yaitu 15,00%.



**Gambar 4.4** VFB Komposisi Resin dan Katalis 0 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

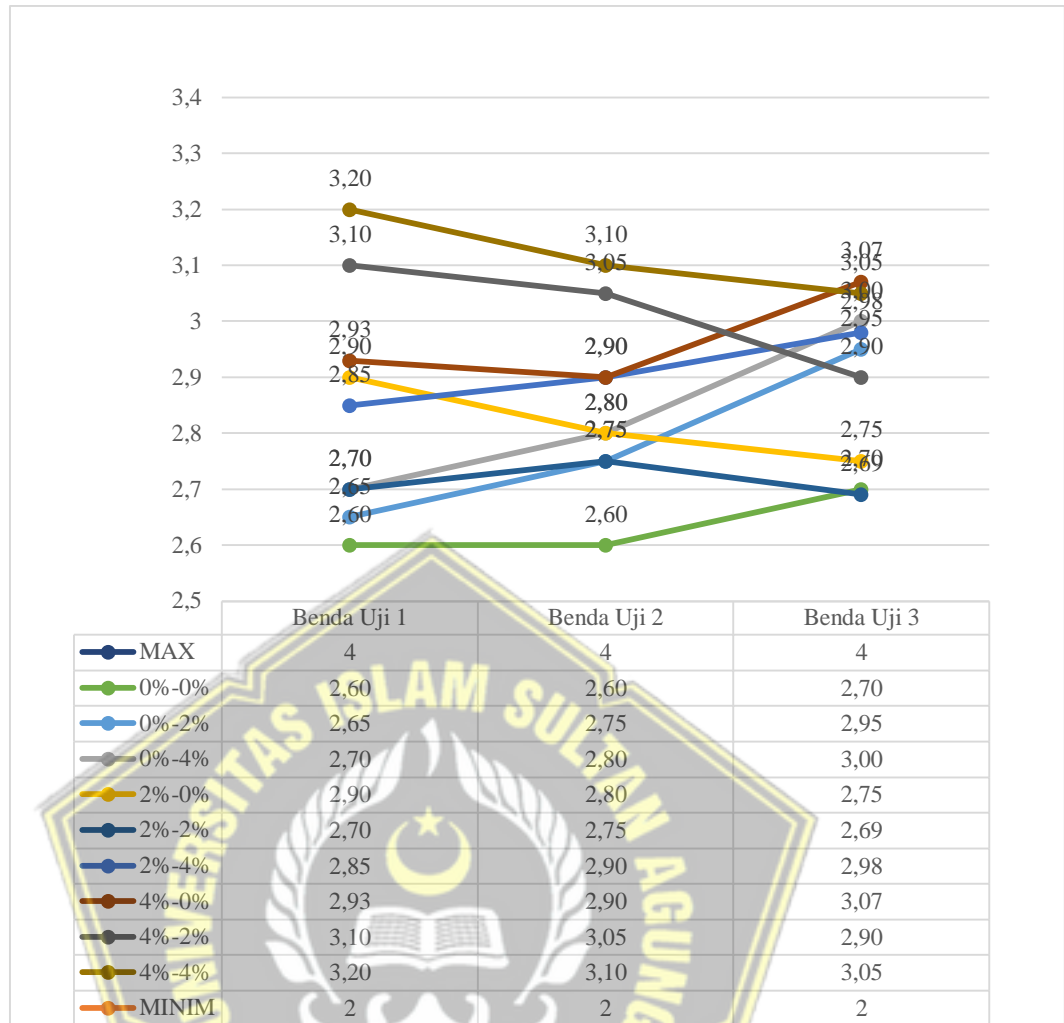
Grafik VFB menunjukkan bahwa nilai untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VFB (Void Filled with Bitumen) sebagai perkerasan jalan yaitu dengan rata-rata 81,78%, 80,55%, 79,36%, 80,28%, 77,95%, 78,38%, 76,98%, 75,77 dan 74,85 Semua nilai ini memenuhi spesifikasi VMA minimum dari Bina Marga, yaitu 65,00%.



**Gambar 4.5** Stabilitas Komposisi Resin dan Katalis 0 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

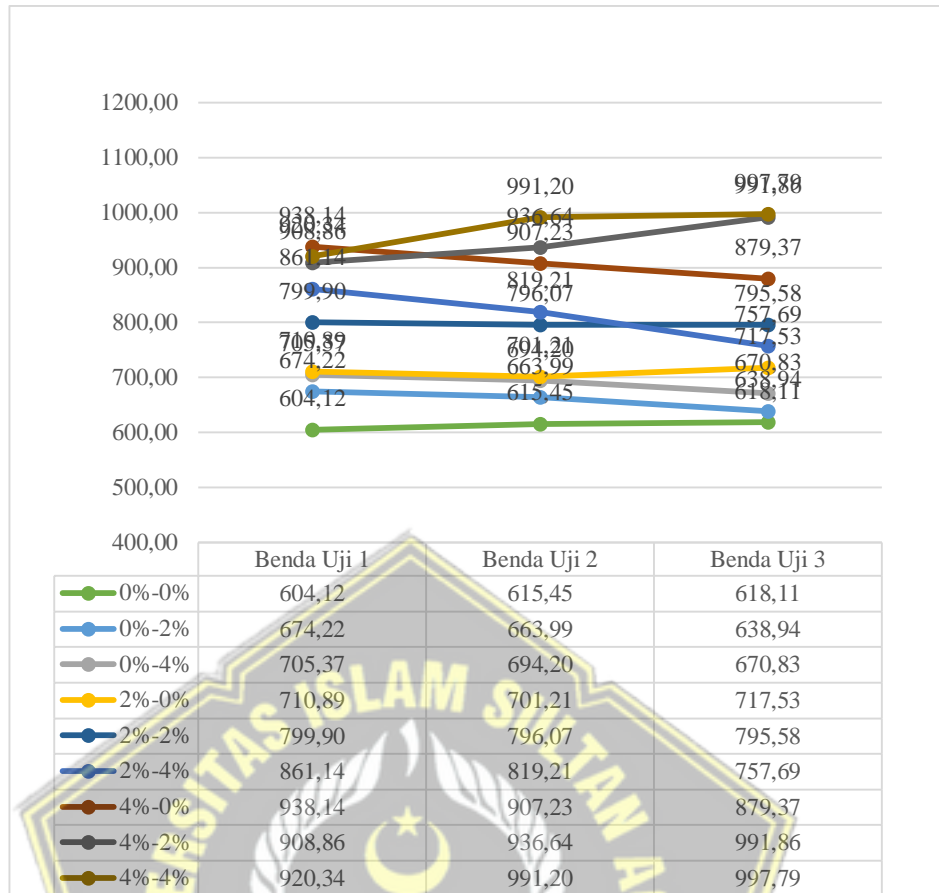
Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 1613.26 kg, 1832.51 kg, 1953,58kg, 1999.40 kg, 2163,01 kg, 2362,62 kg, 2693,13 kg, 2850.20 kg dan 3020,36 kg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi spesifikasi Bina Marga, dengan batas minimum Stabilitas sebesar 800 kg.



**Gambar 4.6** Flow Komposisi Resin dan Katalis 0 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 2.63 mm , 2.78 mm, 2.83 mm, 2.82mm, 2.71 mm, 2.91 mm, 2.97 mm, 3.02 mm dan 3.12 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai Flow memenuhi spesifikasi Bina Marga, dengan rentang minimum 2,00 mm dan maksimum 4,00 mm.



**Gambar 4.7** MQ Komposisi Resin dan Katalis 0 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik MQ (Marshall Quotient) diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 612.63 mm , 658.39 mm, 689.50 mm, 709.84 mm ,797.18 mm, 811.90 mm, 907.80 mm, 944.82 mm dan 969.10 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai MQ memenuhi kriteria, meskipun Bina Marga belum menetapkan spesifikasi khusus untuk MQ.

Berikut adalah hasil sample aspal tanpa perendaman dengan komposisi yang berbeda beda.

**Tabel 4.31** Perendaman 0 Hari Resin 0% Katalis 0%

1	Uraian	Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	0%	0%	3,69	3-5%	Memenuhi
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)			20,27	15%	Memenuhi

	Rongga Terisi Aspal	%			81,78	65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1613,26	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,63	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			612,63	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.32** Perendaman 0 Hari Resin 0% Katalis 2%

2	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	2%	3,98	3	Memenuhi
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,44	15	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			80,55	65	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1832,51	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,78	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			658,39	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.33** Perendaman 0 Hari Resin 0% Katalis 4%

3	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	4%	4,30	3-5%	Memenuhi
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,84	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			79,36	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1953,58	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,83	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			689,50	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.34** Perendaman 0 Hari Resin 2% Katalis 0%

4	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%			4,06	3-5%	Memenuhi



	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,57	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			80,28	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1999,40	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,82	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			709,84	-	Memenuhi

**Tabel 4.35** Perendaman 0 Hari Resin 2% Katalis 2%

5	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	2%	4,63	3-5%	Memenuhi
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,97	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			77,95	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1999,40	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,91	3-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			811,90	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.36** Perendaman 0 Hari Resin 2% Katalis 4%

6	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	4%	4,90	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,27	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			76,98	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2362,62	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,97	3-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			907,80	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.37** Perendaman 0 Hari Resin 4% Katalis 0%

7	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%			5,20	3-5%	Memenuhi

Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,45	Min 15%	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal	%			5,20	Min 65%	Memenuhi
Stabilitas Aspal	Kg			2693,13	Min 800 Kg	Memenuhi
Flow	%			3,02	3-5%	Memenuhi
Marshall Quotient	-			944,82	-	Memenuhi

**Tabel 4.38** Perendaman 0 Hari Resin 4% Katalis 2%

Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	%	4%	2%	5,49	3-5%	Memenuhi
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,45	Min 15%	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal	%			75,77	Min 65%	Memenuhi
Stabilitas Aspal	Kg			2850,20	Min 800 Kg	Memenuhi
Flow	%			3,12	3-5%	Memenuhi
Marshall Quotient	-			969,10	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.39** Perendaman 0 Hari Resin 4% Katalis 4%

Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	%	4%	4%	5,49	3-5%	Memenuhi
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,82	Min 15%	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal	%			74,85	Min 65%	Memenuhi
Stabilitas Aspal	Kg			3020,36	Min 800 Kg	Memenuhi
Flow	%			3,12	3-5%	Memenuhi
Marshall Quotient	-			969,10	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Hasil pengujian pada hari ke 0 tanpa perendaman dengan beberapa variasi menunjukkan bahwa nilai Rongga Udara (VIM) memenuhi spesifikasi untuk digunakan sebagai perkerasan jalan hanya pada beberapa variasi saja, yaitu di

variasi 2, 3, 4, 5. Rata-rata nilai VIM tertinggi adalah 5,49. Namun, nilai Rongga dalam Mineral (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelahan Plastis (Flow), dan Stabilitas Marshall Sisa (Marshall Quotient) memenuhi syarat berdasarkan Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2018 revisi 2.

Perbandingan nilai VIM, VMA, dan VFB menunjukkan bahwa sample dengan beberapa variasi, ada beberapa variasi yang tidak layak digunakan sebagai perkerasan jalan karena nilai VIM-nya kurang dari 3%, tidak memenuhi Spesifikasi Teknis Bina Marga tahun 2018 revisi 2.

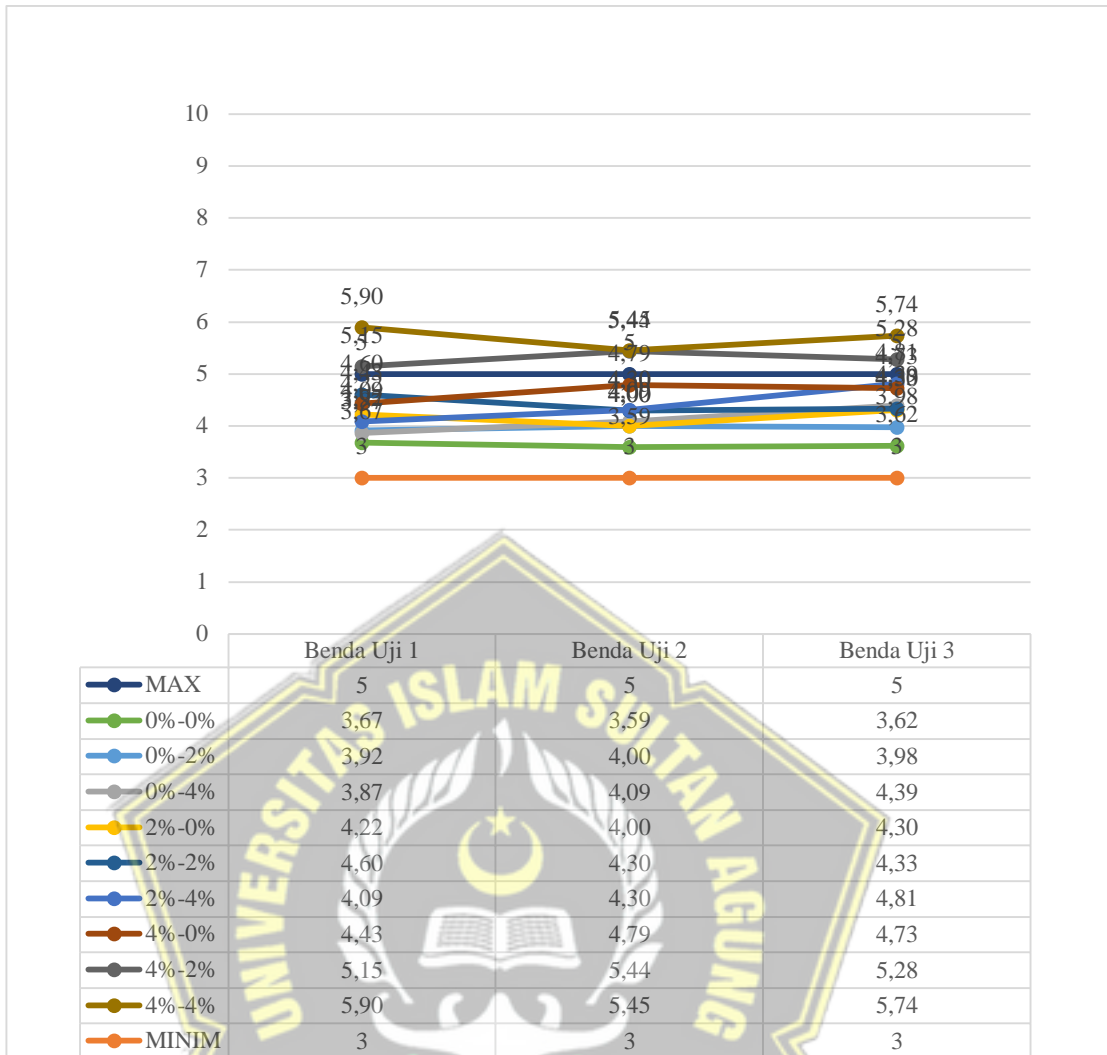
### **5.5.2 Hasil Perendaman 7 Hari**

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji dengan kombinasi resin 0%, 2%, 4% dan katalis pada kadar 0%, 2%, 4% dilakukan pada 3 sampel untuk setiap kadar yang mana terdapat 27 sampel pada pengujian ini. Untuk hasil tabel pengujian bisa dilihat di Lampiran. Dan untuk tabelnya akan disajikan dibawah ini.



Pengujian (7 Hari)

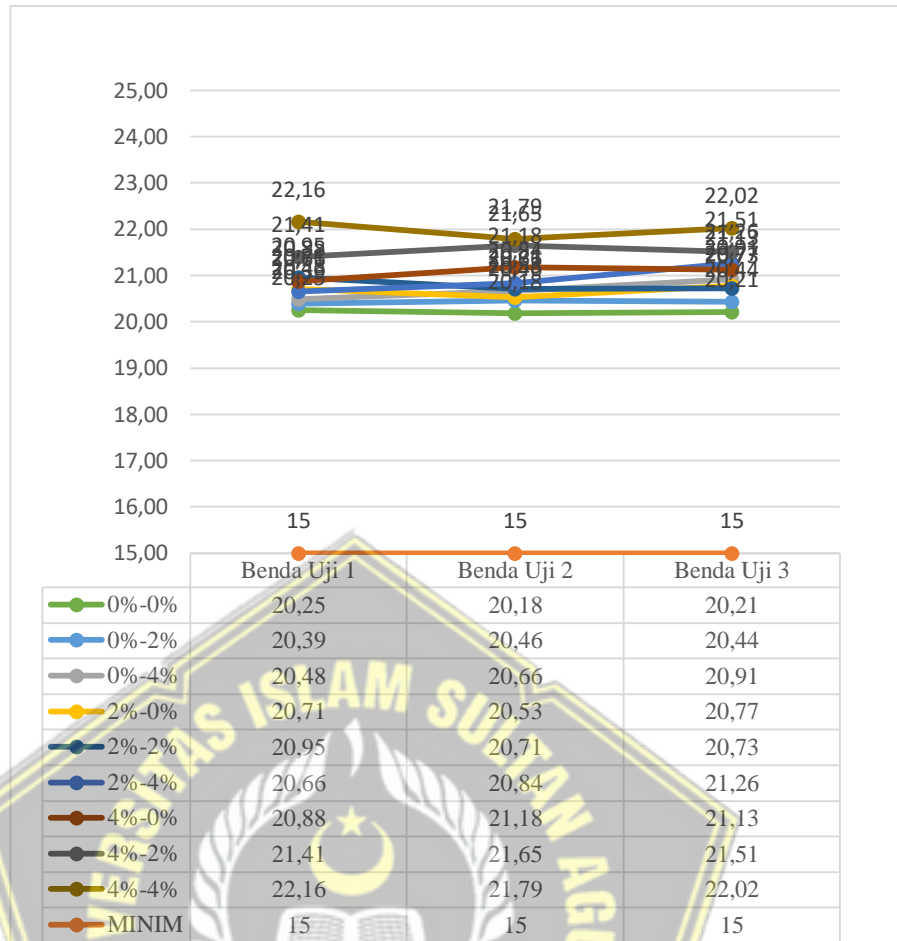
BJ Aspal (T) :		1,034	BJ Dekk(Total Agregat (Gse) :		2,641	BJ Total Agg (Gsb) :		2,749	Kalitwasi Proving Ring :		9,817 Kg						
no	Resin	Katalis	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara	% rongga dalam	% rongga terisi	stabilitas dibaca arloji	di sesuaikan	kelehan plastik (flow)	hasil bagi Marshall (mg)	
uji	%	%	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	$\frac{100-b}{100-gsb}$	$\frac{100-j}{100-h}$	$\frac{100-k}{100-l}$					m / n
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
Benda Uji 1			5,8	1132,0	673,6	1152,0	478,4	2,366	2,416	18,92	2,06	89,11	182	1786,69	3,60	496,30	
Benda Uji 2	0%	0%	5,8	1165,0	684,0	1185,0	501,0	2,325	2,416	20,32	3,75	81,53	164	1609,99	3,30	487,88	
Benda Uji 3			5,8	1147,0	668,0	1167,0	499,0	2,299	2,416	21,23	4,86	77,12	172	1688,52	3,40	496,62	
<b>Rata-rata</b>			5,8					2,330	2,416	20,16	3,56	82,59	172,67	1695,07	3,43	493,71	
Benda Uji 1			5,8	1115,0	658,2	1135,0	476,8	2,339	2,418	19,87	3,29	83,45	205	2012,49	3,40	591,91	
Benda Uji 2	0%	2%	5,8	1123,0	663,0	1143,0	480,0	2,340	2,418	19,83	3,24	83,65	283	2778,21	3,60	771,73	
Benda Uji 3			5,8	1145,0	669,0	1165,0	496,0	2,308	2,418	20,90	4,53	78,32	189	1855,41	3,11	596,60	
<b>Rata-rata</b>			5,8					2,329	2,418	20,20	3,69	81,81	225,67	2215,37	3,37	657,38	
Benda Uji 1			5,8	1183,0	683,0	1193,0	510,0	2,320	2,414	20,51	3,91	80,94	219	2149,92	3,20	671,85	
Benda Uji 2	0%	4%	5,8	1196,0	690,0	1196,0	506,0	2,364	2,414	19,01	2,09	89,02	205	2012,49	3,60	559,02	
Benda Uji 3			5,8	1175,0	673,0	1185,0	512,0	2,295	2,414	21,36	4,93	76,91	224	2199,01	3,40	646,77	
<b>Rata-rata</b>			5,8					2,326	2,414	20,29	3,64	82,29	216,00	2120,47	3,40	623,67	
Benda Uji 1			5,8	1164,0	690,0	1194,0	504,0	2,310	2,416	20,86	4,41	78,87	217	2130,29	3,50	608,65	
Benda Uji 2	2%	0%	5,8	1153,0	678,0	1173,0	495,0	2,329	2,416	20,18	3,59	82,22	226	2218,64	3,24	684,77	
Benda Uji 3			5,8	1177,0	693,0	1197,0	504,0	2,335	2,416	19,98	3,34	83,28	235	2307,00	3,40	678,53	
<b>Rata-rata</b>			5,8					2,325	2,416	20,34	3,78	81,46	226,00	2218,64	3,38	656,40	
Benda Uji 1			5,8	1160,0	687,0	1180,0	493,0	2,333	2,418	19,37	2,69	86,11	263	2581,87	3,50	737,68	
Benda Uji 2	2%	2%	5,8	1178,0	688,0	1198,0	510,0	2,310	2,418	20,85	4,47	78,54	273	2680,04	3,10	864,53	
Benda Uji 3			5,8	1152,0	673,0	1172,0	499,0	2,309	2,418	20,89	4,52	78,35	257	2522,97	3,30	764,54	
<b>Rata-rata</b>			5,8					2,324	2,418	20,37	3,90	81,00	264,33	2594,96	3,30	786,35	
Benda Uji 1			5,8	1105,0	674,0	1136,0	462,0	2,392	2,414	18,04	0,92	94,90	214	2100,84	3,40	617,89	
Benda Uji 2	2%	4%	5,8	1118,0	653,0	1132,0	479,0	2,334	2,414	20,02	3,31	83,45	236	2316,81	3,20	724,00	
Benda Uji 3			5,8	1137,0	634,0	1149,0	515,0	2,208	2,414	24,35	8,54	64,91	364	3573,29	3,50	1020,97	
<b>Rata-rata</b>			5,8					2,311	2,414	20,80	4,26	81,09	271,33	2663,68	3,37	791,19	
Benda Uji 1			5,8	1196,0	653,0	1203,0	550,0	2,175	2,416	25,48	9,99	60,78	268	2630,96	3,50	751,70	
Benda Uji 2	4%	0%	5,8	1182,0	692,0	1196,0	504,0	2,345	2,416	19,64	2,93	85,08	259	2542,60	3,80	669,11	
Benda Uji 3			5,8	1174,0	698,0	1188,0	490,0	2,396	2,416	17,90	0,83	95,36	248	2434,62	3,40	716,06	
<b>Rata-rata</b>			5,8					2,305	2,416	21,01	4,58	80,41	258,33	2536,06	3,57	711,04	
Benda Uji 1			5,8	1115,0	645,0	1125,0	480,0	2,323	2,418	20,40	3,93	80,72	259	2542,60	3,90	651,95	
Benda Uji 2	4%	2%	5,8	1135,0	664,0	1155,0	491,0	2,312	2,418	20,79	4,40	78,83	250	2454,25	3,70	663,31	
Benda Uji 3			5,8	1152,0	672,0	1172,0	500,0	2,304	2,418	21,05	4,71	77,60	283	2778,21	3,80	731,11	
<b>Rata-rata</b>			5,8					2,313	2,418	20,75	4,35	79,05	264,00	2591,69	3,80	682,02	
Benda Uji 1			5,8	1142,0	684,0	1156,0	472,0	2,419	2,414	17,09	-0,23	101,33	269	2640,77	3,60	733,55	
Benda Uji 2	4%	4%	5,8	1159,0	674,0	1180,0	506,0	2,291	2,414	21,51	5,12	76,22	249	2444,43	3,90	626,78	
Benda Uji 3			5,8	1163,0	645,0	1183,0	538,0	2,162	2,414	25,92	10,45	59,69	285	2797,85	4,10	682,40	
<b>Rata-rata</b>			5,8					2,291	2,414	21,51	5,11	79,08	267,67	2627,68	3,87	679,57	



**Gambar 4.8** VIM Komposisi Resin dan Katalis 7 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

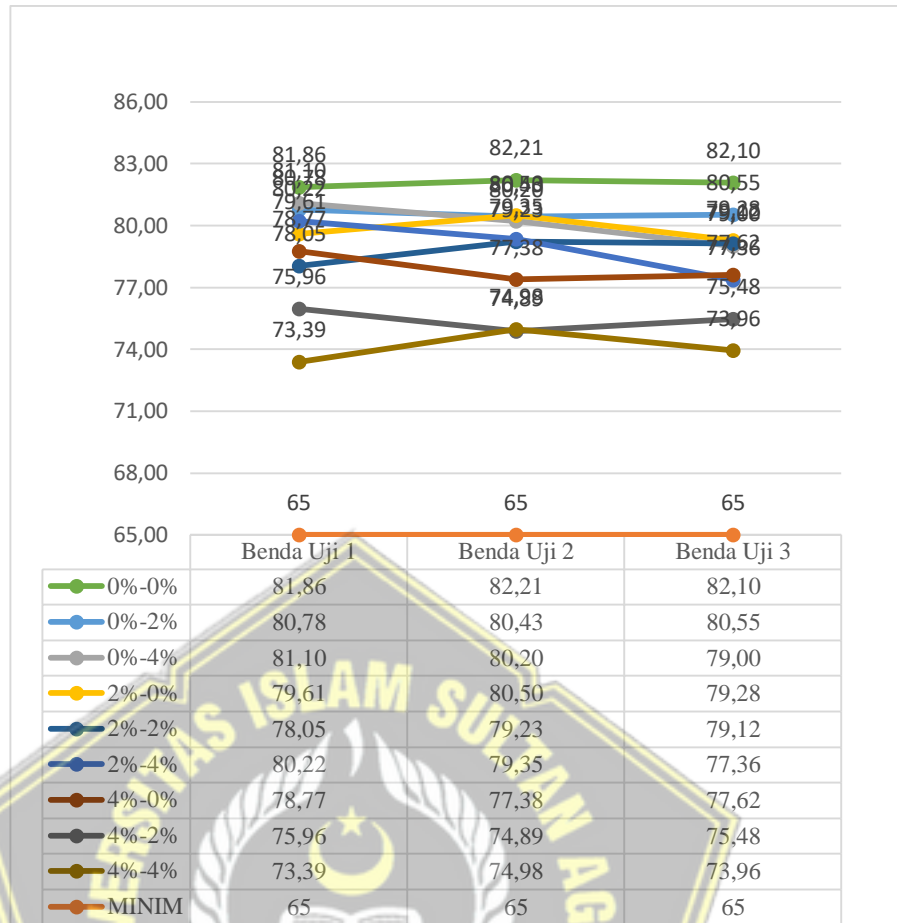
Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VIM (Void in Mix) sebagai perkerasan jalan, namun kadar 4%-2% dan 4%-4% tidak memenuhi syarat. Hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) untuk masing-masing kadar adalah 3,63%, 3,97%, 4,12%, 4,18%, 4,41%, 4,60%, 4,65%, 5,29% dan 5,69%. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, VIM minimum 3,00% dan maksimum 5,00%.



**Gambar 4.9** VIM Komposisi Resin dan Katalis 7 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

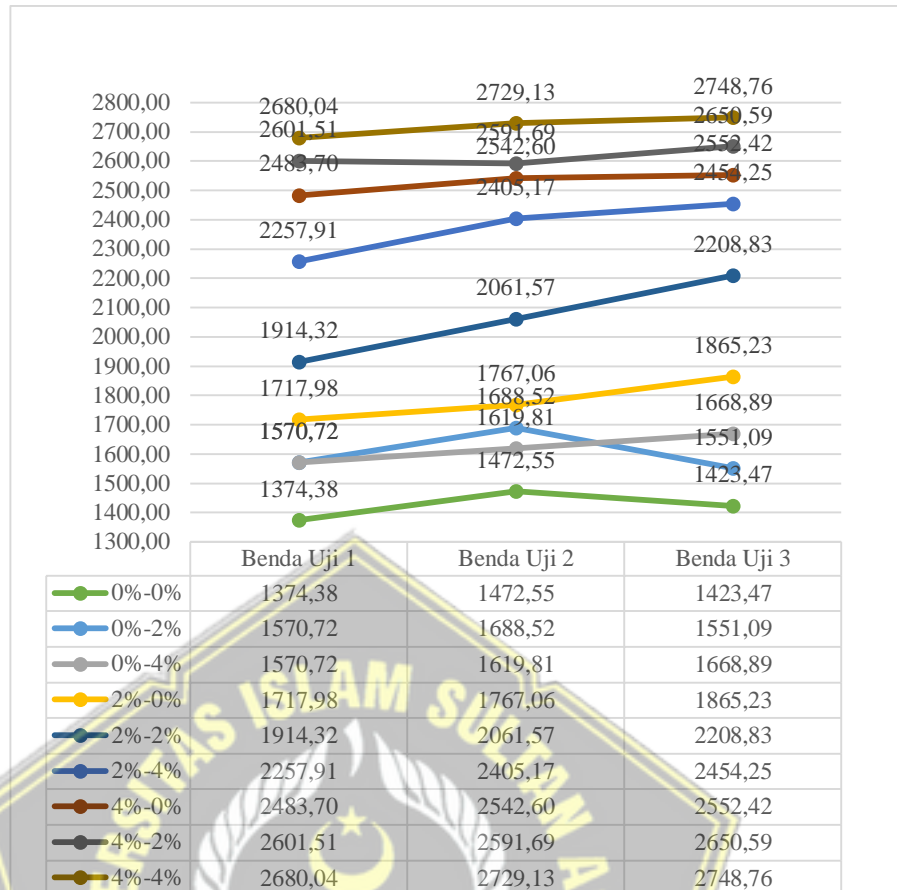
Grafik VMA menunjukkan bahwa nilai untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VIM (Void in Mix) sebagai perkerasan jalan yaitu dengan rata-rata 20.21%, 20.43%, 20.69%, 20.67%, 20.80%, 210.92%, 21.06%, 21.52% dan 21.99%. Semua nilai ini memenuhi spesifikasi VMA minimum dari Bina Marga, yaitu 15,00%.



**Gambar 4.10** VFB Komposisi Resin dan Katalis 7 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Grafik VFB menunjukkan bahwa nilai untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VFB (Void Filled with Bitumen) sebagai perkerasan jalan yaitu dengan rata-rata 82.06%, 80.59%, 80.10%, 79.80%, 78.80%, 78.98%, 77.92%, 75.44 dan 74.11 Semua nilai ini memenuhi spesifikasi VMA minimum dari Bina Marga, yaitu 65,00% .

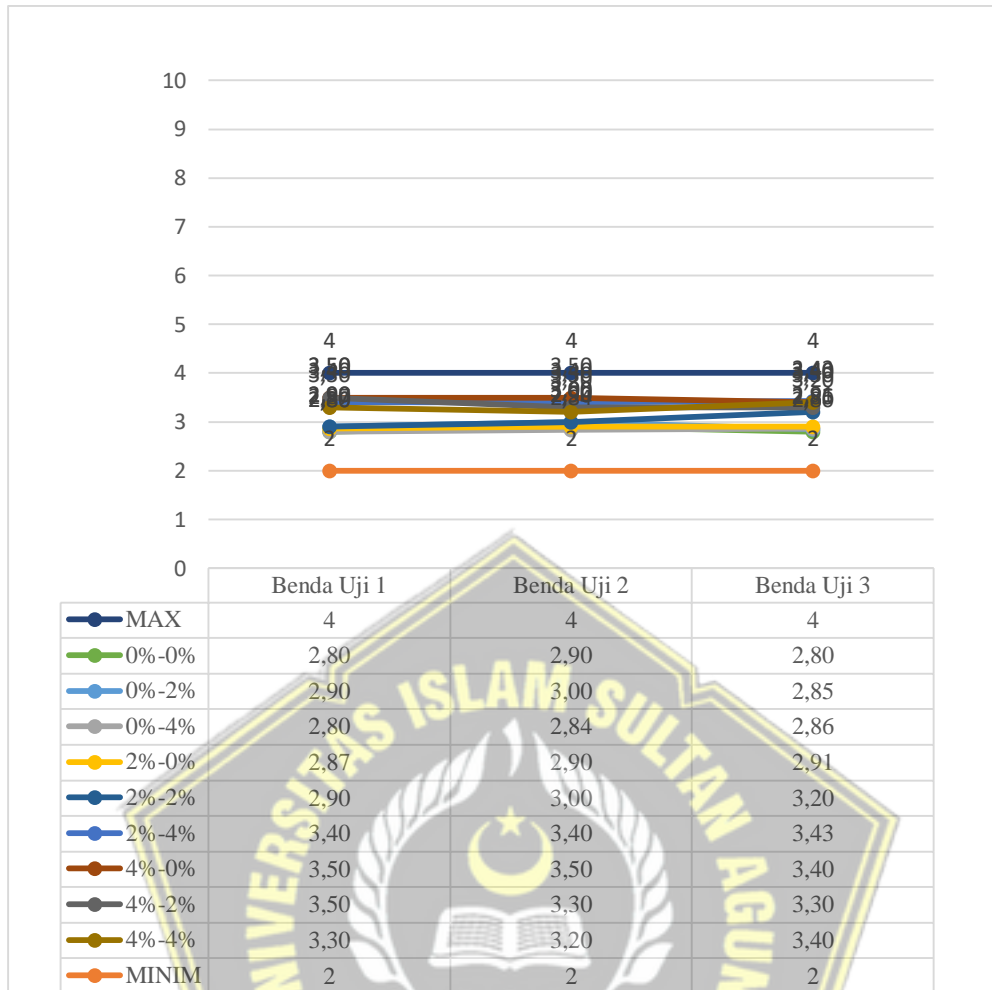


**Gambar 4.11** Stabilitas Komposisi Resin dan Katalis 7 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 1423.47 kg , 1603.44 kg, 1619.81 kg, 1783.42 kg, 2061.57 kg, 2372.44 kg, 2526.24 kg, 2614.59 kg dan 2719.31 kg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi spesifikasi Bina Marga, dengan batas minimum Stabilitas sebesar 800 kg.

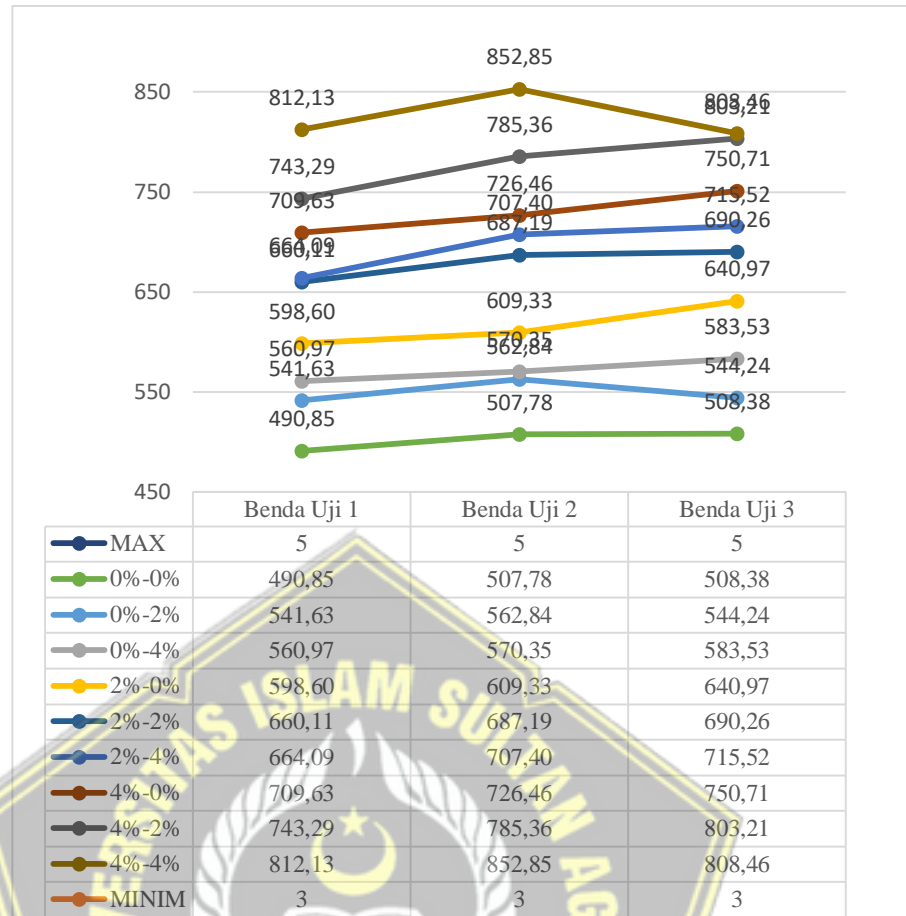




**Gambar 4.12** Flow Komposisi Resin dan Katalis 7 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 2.83 mm , 2.92 mm, 2.83 mm, 2.89 mm, 3.03 mm, 3.41 mm, 3.47 mm, 3.37 mm dan 3.30 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai Flow memenuhi spesifikasi Bina Marga, dengan rentang minimum 2,00 mm dan maksimum 4,00 mm.



**Gambar 4.13** Marshall Quotient i Komposisi Resin dan Katalis 7 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik MQ (Marshall Quotient) diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 502.40 mm, 549.75 mm , 571.70 mm, 616.39 mm, 679.64 mm ,695.73 mm, 728.72 mm, 776.61 mm, dan 824.03 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai MQ memenuhi kriteria, meskipun Bina Marga belum menetapkan spesifikasi khusus untuk MQ.

Berikut adalah hasil sample aspal tanpa perendaman dengan komposisi yang berbeda beda.

**Tabel 4.40** Perendaman 7 Hari Resin 0% Katalis 0%

1	Uraian	Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan	
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	0%	3,63	3-5%	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,21	15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			82,06	65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1423,47	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,83	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			502,40	-	Memenuhi

**Tabel 4.41** Perendaman 7 Hari Resin 0% Katalis 2%

2	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	2%	3,97	3	Memenuhi
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,43	15	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			80,59	65	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1603,44	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,92	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			549,75	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.42** Perendaman 7 Hari Resin 0% Katalis 4%

3	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	4%	4,12	3-5%	Memenuhi
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,69	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			80,10	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1619,81	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,83	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			571,70	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.43** Perendaman 7 Hari Resin 2% Katalis 0%

4	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	0%	4,18	3-5%	Memenuhi

5	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,67	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			181,67	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1783,42	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,89	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			616,39	-	Memenuhi

**Tabel 4.44** Perendaman 7 Hari Resin 2% Katalis 2%

5	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	2%	4,41	3-5%	Memenuhi
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,80	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			78,80	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2061,57	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,03	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			679,64	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.45** Perendaman 7 Hari Resin 2% Katalis 4%

6	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	4%	4,40	3-5%	Memenuhi
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,92	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			78,98	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2372,44	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,41	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			695,73	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.46** Perendaman 7 Hari Resin 4% Katalis 0%

7	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	4%	0%	4,65	3-5%	Memenuhi

Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,06	Min 15%	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal	%			77,92	Min 65%	Memenuhi
Stabilitas Aspal	Kg			2526,24	Min 800 Kg	Memenuhi
Flow	%			3,47	2-4%	Memenuhi
Marshall Quotient	-			728,72	-	Memenuhi

**Tabel 4.47** Perendaman 7 Hari Resin 4% Katalis 2%

Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	%	4%	2%	5,29	3-5%	Memenuhi
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,52	Min 15%	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal	%			75,44	Min 65%	Memenuhi
Stabilitas Aspal	Kg			2614,59	Min 800 Kg	Memenuhi
Flow	%			3,37	3-5%	Memenuhi
Marshall Quotient	-			776,61	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.48** Perendaman 7 Hari Resin 4% Katalis 4%

Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
Rongga Udara (VIM)	%	4%	4%	5,69	3-5%	Memenuhi
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,99	Min 15%	Memenuhi
Rongga Terisi Aspal	%			74,11	Min 65%	Memenuhi
Stabilitas Aspal	Kg			2719,31	Min 800 Kg	Memenuhi
Flow	%			3,30	3-5%	Memenuhi
Marshall Quotient	-			824,03	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

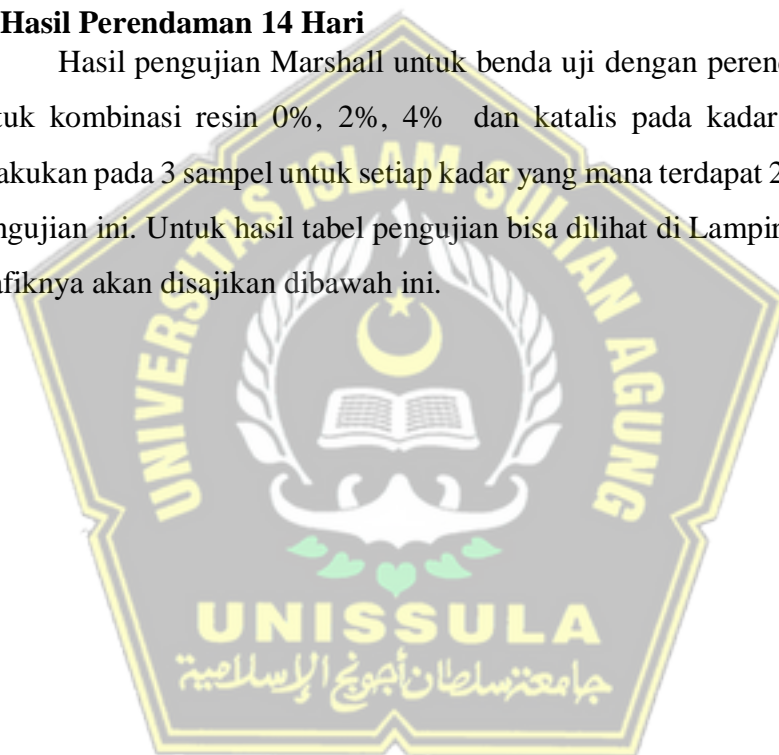
Hasil pengujian pada hari ke 7 hari perendaman dengan beberapa variasi menunjukkan bahwa nilai Rongga Udara (VIM) memenuhi spesifikasi untuk digunakan sebagai perkerasan jalan namun ada satu sample yaitu variasi 9 tidak memenuhi karena nilai VIM nya 5,11 dengan ketentuan batas VIM adalah 3-5%.

Namun, nilai Rongga dalam Mineral (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelahan Plastis (Flow), dan Stabilitas Marshall Sisa (Marshall Quotient) memenuhi syarat berdasarkan Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2018 revisi 2.

Perbandingan nilai VIM, VMA, dan VFB menunjukkan bahwa sample dengan beberapa variasi, ada satu variasi yang tidak layak digunakan sebagai perkerasan jalan karena nilai VIM-nya lebih dari 5%, tidak memenuhi Spesifikasi Teknis Bina Marga tahun 2018 revisi 2.

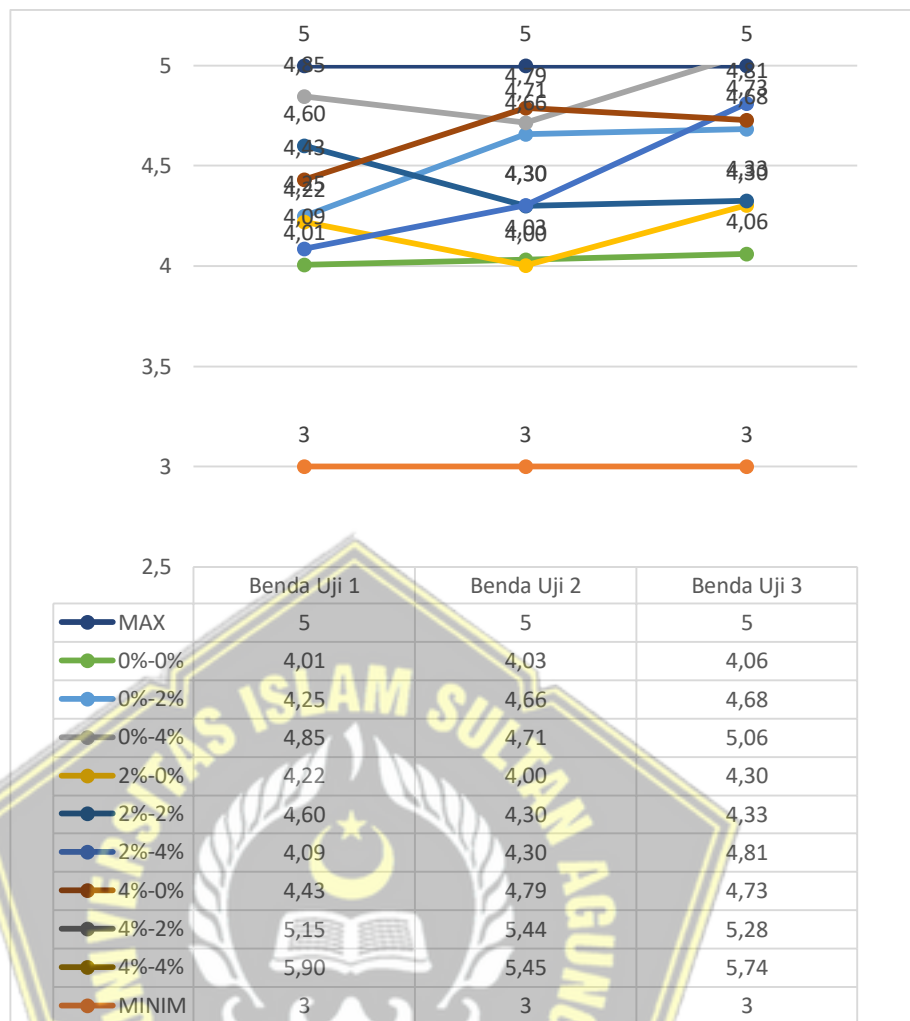
### **5.5.3 Hasil Perendaman 14 Hari**

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji dengan perendaman 14 hari untuk kombinasi resin 0%, 2%, 4% dan katalis pada kadar 0%, 2%, 4% dilakukan pada 3 sampel untuk setiap kadar yang mana terdapat 27 sampel pada pengujian ini. Untuk hasil tabel pengujian bisa dilihat di Lampiran. Dan untuk grafiknya akan disajikan dibawah ini.



Pengujian (14 Hari)

BJ Aspal (T) :	1.034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :	2.641	BJ Total Agg (Gsb) :	2.749	Kalibrasi Proving Ring :	9.817 Kg										
no		kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat ssd	volume/ isi	bi Bulk	bi Maks	% rongga diantara	% rongga dalam	% rongga terisi	stabilitas dibaca	di sesuaikan	kelehan plastis	hasil bagi		
benda uji	Resin %	Katalis %	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100-b/g) gsb	100 - (100-g) h	100 (100-i) i				
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
Benda Uji 1	0%	0%	5.8	1172.0	696.0	1192.0	496.0	2.363	2.416	19.03	2.20	88.45	173	1698.34	3.50	485.24	
Benda Uji 2	0%	0%	5.8	1181.0	698.0	1191.0	493.0	2.396	2.416	17.91	0.85	95.27	153	1502.00	3.25	462.15	
Benda Uji 3	0%	0%	5.8	1165.0	683.0	1185.0	502.0	2.321	2.416	20.48	3.94	80.74	168	1649.26	3.30	499.77	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1054.0	625.0	1074.0	449.0	2.347	2.418	19.56	2.92	85.08	196	1924.13	3.30	583.07	
Benda Uji 1	0%	2%	5.8	1142.0	634.0	1162.0	528.0	2.163	2.418	25.88	10.55	59.24	258	2532.79	3.50	723.65	
Benda Uji 2	0%	2%	5.8	1093.0	621.0	2004.0	1883.0	0.790	2.418	72.92	67.32	7.68	174	1708.16	3.01	567.49	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1146.0	687.0	1156.0	469.0	1.767	2.418	39.45	26.93	50.67	209.33	2055.03	3.27	628.45	
Benda Uji 1	0%	4%	5.8	1154.0	693.0	1174.0	481.0	2.399	2.414	16.27	-1.22	107.51	204	2002.67	3.10	646.02	
Benda Uji 2	0%	4%	5.8	1171.0	718.0	1191.0	473.0	2.476	2.414	17.79	0.61	96.55	197	1933.95	3.40	568.81	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1146.0	712.0	1166.0	454.0	2.439	2.414	15.17	-2.56	116.85	210	2061.57	3.20	644.24	
Benda Uji 1	2%	0%	5.8	1132.0	704.0	1152.0	448.0	2.527	2.416	13.41	-4.59	134.18	204	2002.67	3.10	646.02	
Benda Uji 2	2%	0%	5.8	1168.0	728.0	1188.0	460.0	2.539	2.416	12.99	-5.10	139.23	226	2218.64	3.20	693.33	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1194.0	713.0	1198.0	485.0	2.530	2.416	13.30	-4.72	135.53	213.67	2097.57	3.23	648.73	
Benda Uji 1	2%	2%	5.8	1185.0	706.0	1195.0	489.0	2.423	2.418	15.64	-1.81	111.60	258	2532.79	3.40	744.94	
Benda Uji 2	2%	2%	5.8	1174.0	698.0	1194.0	496.0	2.367	2.418	16.96	-0.22	101.30	263	2581.87	3.05	846.52	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1169.0	695.0	1189.0	494.0	2.417	2.418	18.89	2.11	88.82	247	2424.80	3.20	757.75	
Benda Uji 1	2%	4%	5.8	1154.0	678.0	1174.0	496.0	2.327	2.414	18.91	1.97	89.57	202	1983.03	3.20	619.70	
Benda Uji 2	2%	4%	5.8	1173.0	704.0	1193.0	489.0	2.399	2.414	20.27	3.62	82.14	225	2208.83	3.10	712.52	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1113.0	662.0	1133.0	471.0	2.364	2.414	17.80	0.63	96.46	258	2532.79	3.25	779.32	
Benda Uji 1	4%	0%	5.8	1125.0	674.0	1145.0	471.0	2.389	2.416	19.03	2.19	88.48	253	2483.70	3.45	719.91	
Benda Uji 2	4%	0%	5.8	1132.0	687.0	1152.0	465.0	2.434	2.416	18.15	1.14	93.74	247	2424.80	3.70	655.35	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1176.0	700.0	1196.0	496.0	2.395	2.416	16.58	-0.76	104.60	238	2356.45	3.30	708.01	
Benda Uji 1	4%	2%	5.8	1162.0	698.0	1182.0	484.0	2.401	2.418	17.92	0.86	95.60	246.00	2414.98	3.48	693.30	
Benda Uji 2	4%	2%	5.8	1143.0	695.0	1163.0	468.0	2.442	2.418	18.75	1.95	89.63	246	2414.98	3.40	710.29	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1106.0	664.0	1126.0	462.0	2.394	2.414	17.73	0.71	95.99	250	2454.25	3.12	786.62	
Benda Uji 1	4%	4%	5.8	1134.0	672.0	1154.0	482.0	2.353	2.414	16.31	-1.01	106.16	248	2434.62	3.50	695.60	
Benda Uji 2	4%	4%	5.8	1147.0	679.0	1167.0	488.0	2.350	2.414	17.60	0.55	97.26	248.00	2434.62	3.34	728.93	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1106.0	664.0	1126.0	462.0	2.394	2.414	17.97	0.83	95.37	259	2542.60	3.10	820.19	
Benda Uji 1	4%	4%	5.8	1134.0	672.0	1154.0	482.0	2.353	2.414	19.38	2.54	86.90	235	2307.00	3.40	678.53	
Benda Uji 2	4%	4%	5.8	1147.0	679.0	1167.0	488.0	2.350	2.414	19.46	2.63	86.46	269	2640.77	3.56	741.79	
<b>Rata-rata</b>			5.8	1106.0	664.0	1126.0	462.0	2.396	2.414	18.94	2.00	89.58	254.33	2496.79	3.35	744.57	

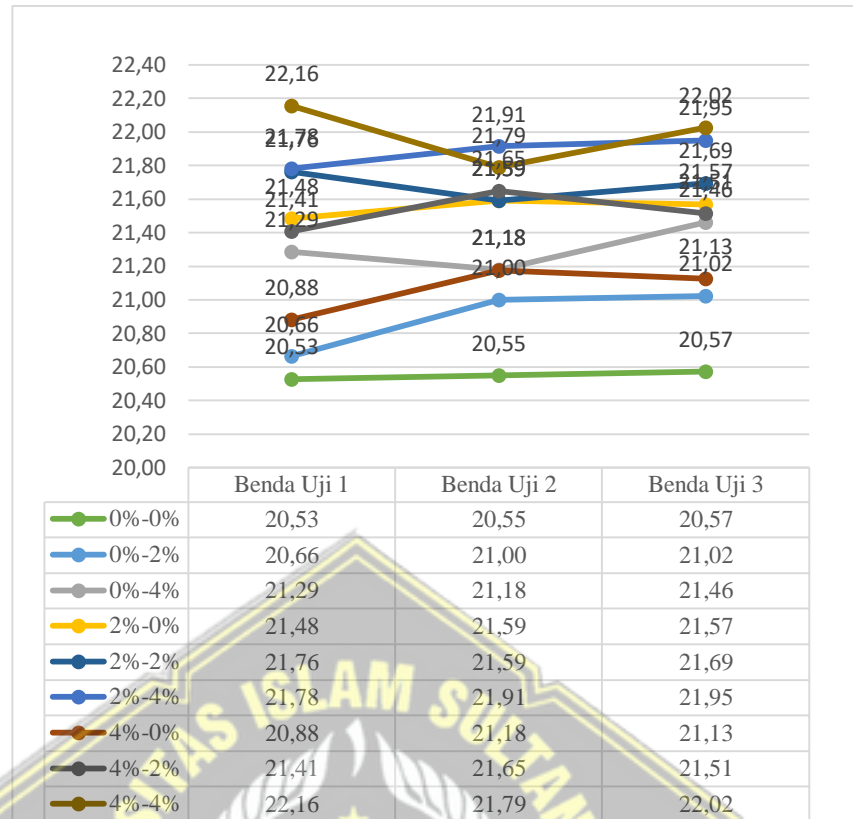


**Gambar 4.14** VIM Komposisi Resin dan Katalis 14 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

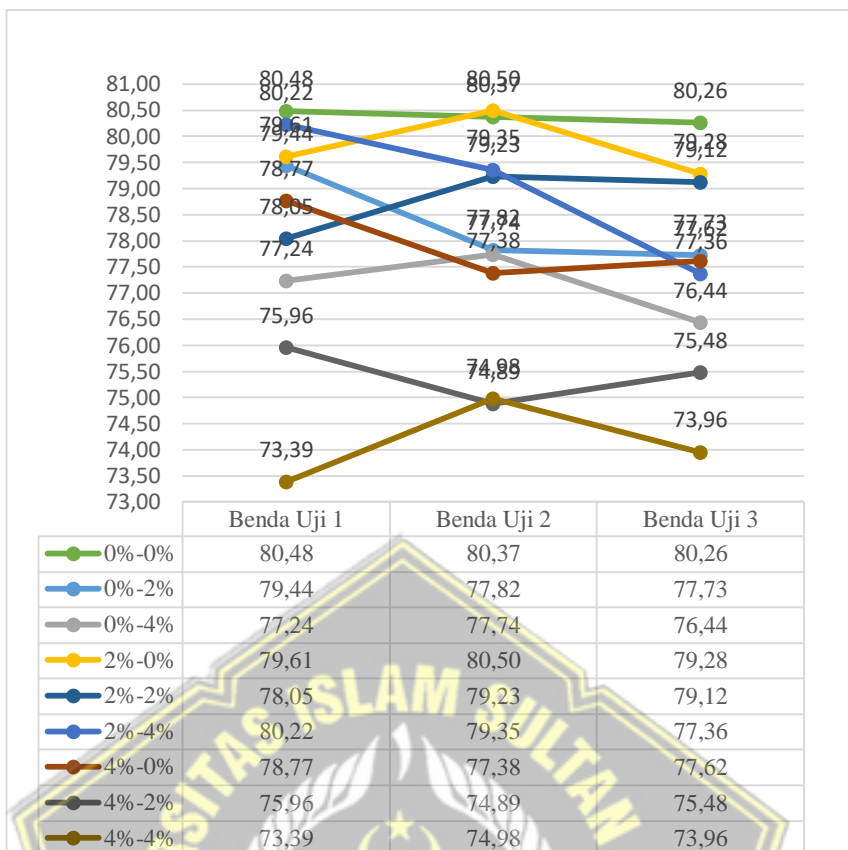
Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VIM (Void in Mix) sebagai perkerasan jalan, namun kadar 4%-2% dan 4%-4% tidak memenuhi syarat. Hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) untuk masing-masing kadar adalah 4.03%, 4.53% , 4.87%, 5.24 % , 5.48%, 5.56%, 6.04%, 6.40% dan 6.48%. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, VIM minimum 3,00% dan maksimum 5,00%.





**Gambar 4.15** VMA Komposisi Resin dan Katalis 14 Hari  
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

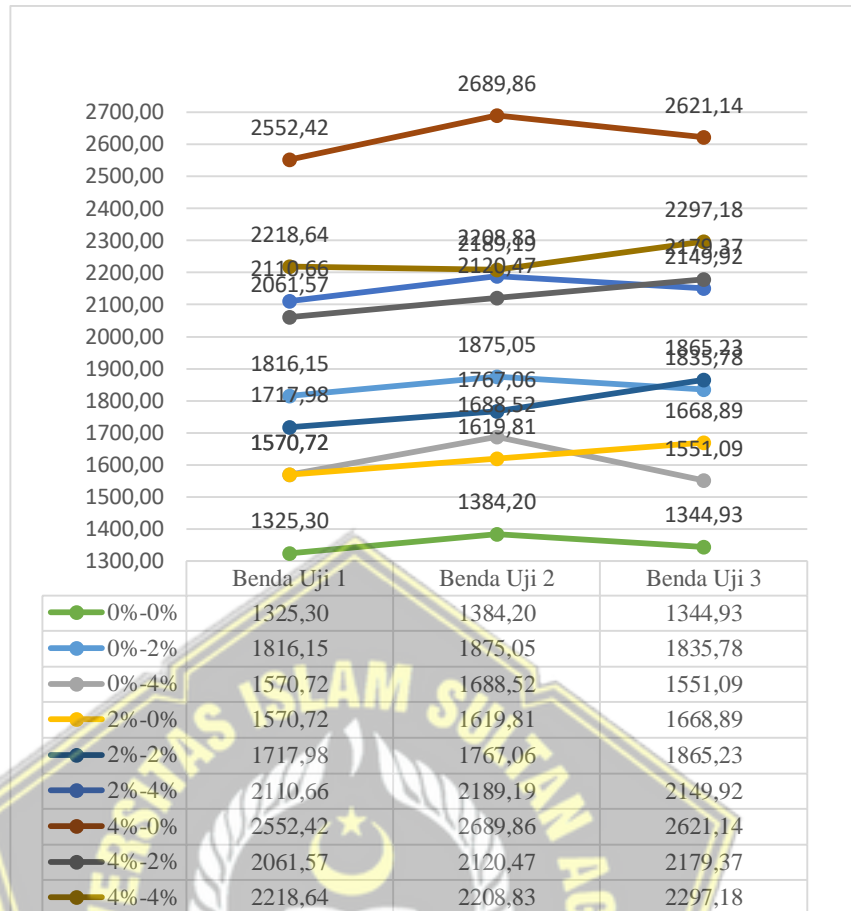
Grafik VMA menunjukkan bahwa nilai untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VMA sebagai perkerasan jalan yaitu dengan rata-rata 20.55%, 20.90%, 21.31%, 21.55%, 21.68%, 21.88%, 22.21%, 22.24% dan 22.64%. Semua nilai ini memenuhi spesifikasi VMA minimum dari Bina Marga, yaitu 15,00%.



**Gambar 4.16** VFB Komposisi Resin dan Katalis 14 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

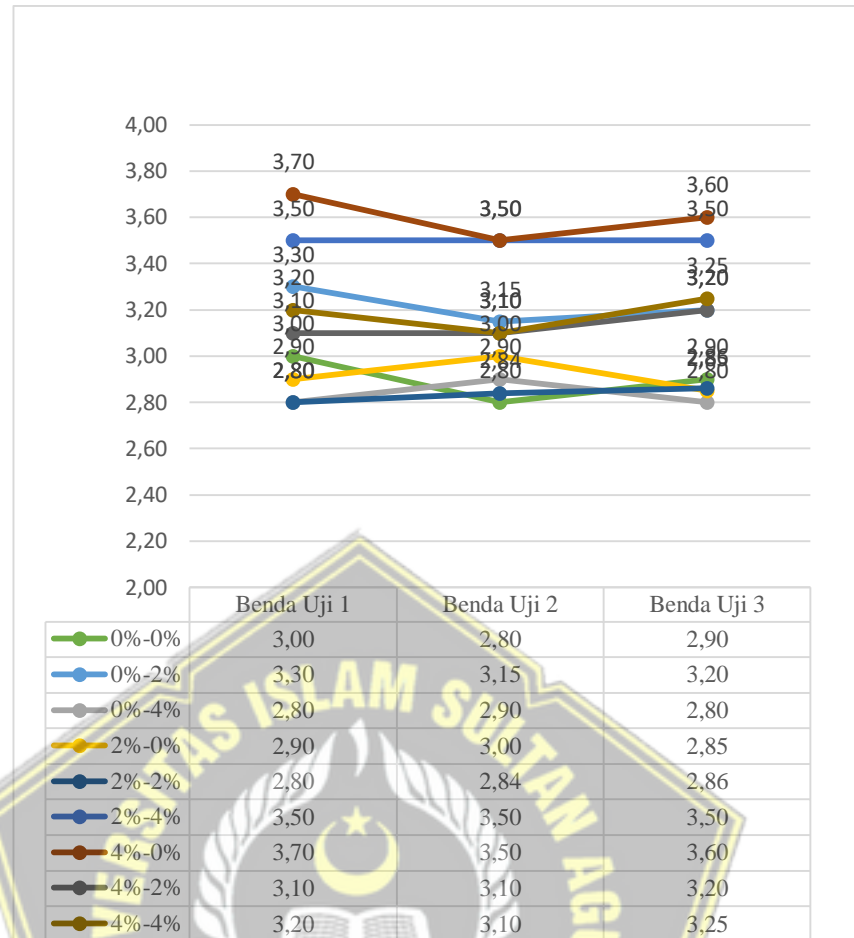
Grafik VFB menunjukkan bahwa nilai untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VFB (Void Filled with Bitumen) sebagai perkerasan jalan yaitu dengan rata-rata 80.37%, 78.33%, 77.14%, 75.69%, 74.73%, 74.57%, 72.82%, 71.50% dan 71.39% Semua nilai ini memenuhi spesifikasi VMA minimum dari Bina Marga, yaitu 65,00%.



**Gambar 4.17** Stabilitas Komposisi Resin dan Katalis 14 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

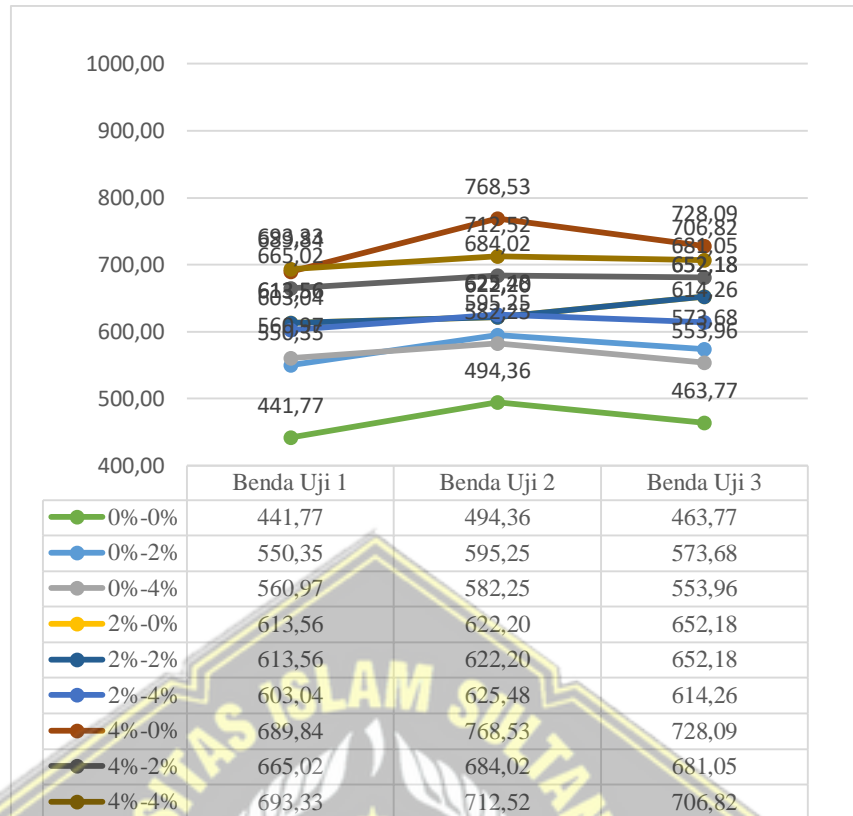
Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 1351.47 kg , 1842.32 kg, 1603.44 kg, 1619.81 kg, 1783.42 kg, 2149.92 kg, 2621.14 kg, 2120.47 kg dan 2241.55 kg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi spesifikasi Bina Marga, dengan batas minimum Stabilitas sebesar 800 kg.



**Gambar 4.18** Flow Komposisi Resin dan Katalis 14 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 2.90 mm , 3.22 mm, 2.83 mm, 2.92 mm, 2.83 mm, 3.50 mm, 3.60 mm, 3.13 mm dan 3.18 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai Flow memenuhi spesifikasi Bina Marga, dengan rentang minimum 2,00 mm dan maksimum 4,00 mm.



**Gambar 4.19** Marshall Quotient Komposisi Resin dan Katalis 14 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik MQ (Marshall Quotient) diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 466.03 mm , 572.74 mm, 565.92 mm, 555.36 mm ,629.44 mm, 629.44 mm, 614.26 mm, 728.09 mm dan 704.15 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai MQ memenuhi kriteria, meskipun Bina Marga belum menetapkan spesifikasi khusus untuk MQ.

Berikut adalah hasil sample aspal tanpa perendaman dengan komposisi yang berbeda beda.

**Tabel 4.49** Perendaman 14 Hari Resin 0% Katalis 0%

1	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	0%	4,03	3-5%	Memenuhi
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,55	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			80,37	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1351,47	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,90	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			466,03	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.50** Perendaman 14 Hari Resin 0% Katalis 2%

2	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	2%	4,53	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,90	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			78,33	Min 65%	Tidak
	Stabilitas Aspal	Kg			1842,32	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,22	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			572,74	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.51** Perendaman 14 Hari Resin 0% Katalis 4%

3	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	4%	4,87	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,31	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			77,14	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1603,44	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,83	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			565,92	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.52** Perendaman 14 Hari Resin 2% Katalis 0%

4	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	0%	5,24	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,55	Min 15%	Tidak
	Rongga Terisi Aspal	%			75,69	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1619,81	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,92	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			555,36	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.53** Perendaman 14 Hari Resin 2% Katalis 2%

5	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	2%	5,48	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,68	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			74,73	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1783,42	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,83	3-5%	Memenuhi
Marshall Quotient	-	629,44			-	Memenuhi	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.54** Perendaman 14 Hari Resin 2% Katalis 4%

6	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	4%	5,56	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,88	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			74,57	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2149,92	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,50	3-5%	Memenuhi
Marshall Quotient	-	614,26			-	Memenuhi	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.55** Perendaman 14 Hari Resin 4% Katalis 0%

7	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	4%	0%	6,04	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			22,21	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			267,00	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2621,14	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,60	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			728,09	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.56** Perendaman 14 Hari Resin 4% Katalis 2%

8	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	4%	2%	6,40	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			22,44	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			71,50	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2120,47	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,60	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			676,75	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.57** Perendaman 14 Hari Resin 4% Katalis 2%

9	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	4%	4%	6,48	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			22,64	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			71,39	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2241,55	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,18	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			704,15	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

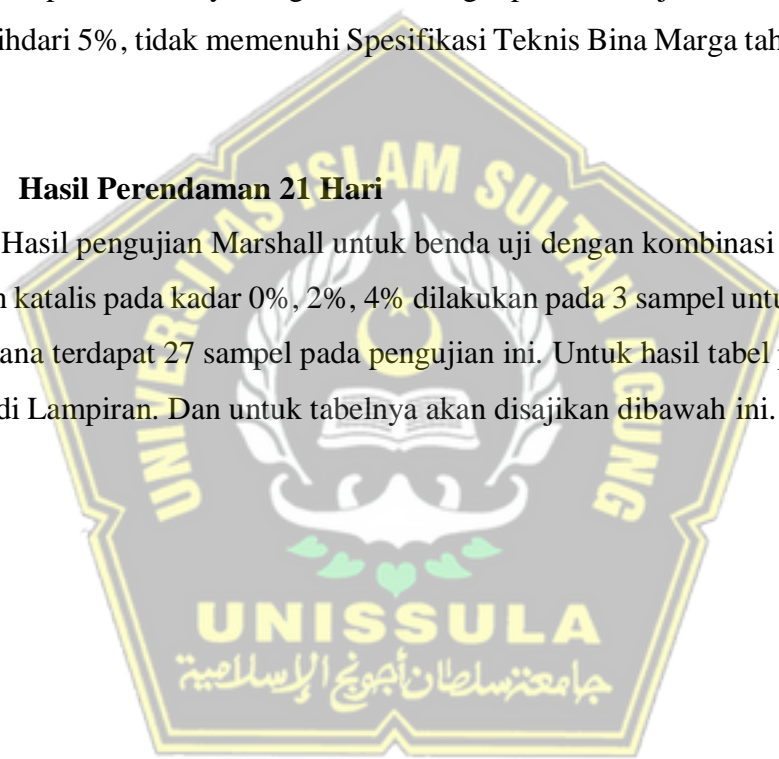


Hasil pengujian pada hari ke 14 hari perendaman dengan beberapa variasi menunjukkan bahwa nilai Rongga Udara (VIM) tidak ada variasi yang memenuhi spesifikasi untuk digunakan sebagai perkerasan jalankarena melebihi batas VIM dengan ketentuan batas VIM adalah 3-5%. Namun, nilai Rongga dalam Mineral (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelahan Plastis (Flow), dan Stabilitas Marshall Sisa (Marshall Quotient) memenuhi syarat berdasarkan Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2018 revisi 2.

Perbandingan nilai VIM, VMA, dan VFB menunjukkan bahwa sample semua sample tidak layak digunakan sebagai perkerasan jalan karena nilai VIM-nya lebihdari 5%, tidak memenuhi Spesifikasi Teknis Bina Marga tahun 2018 revisi 2.

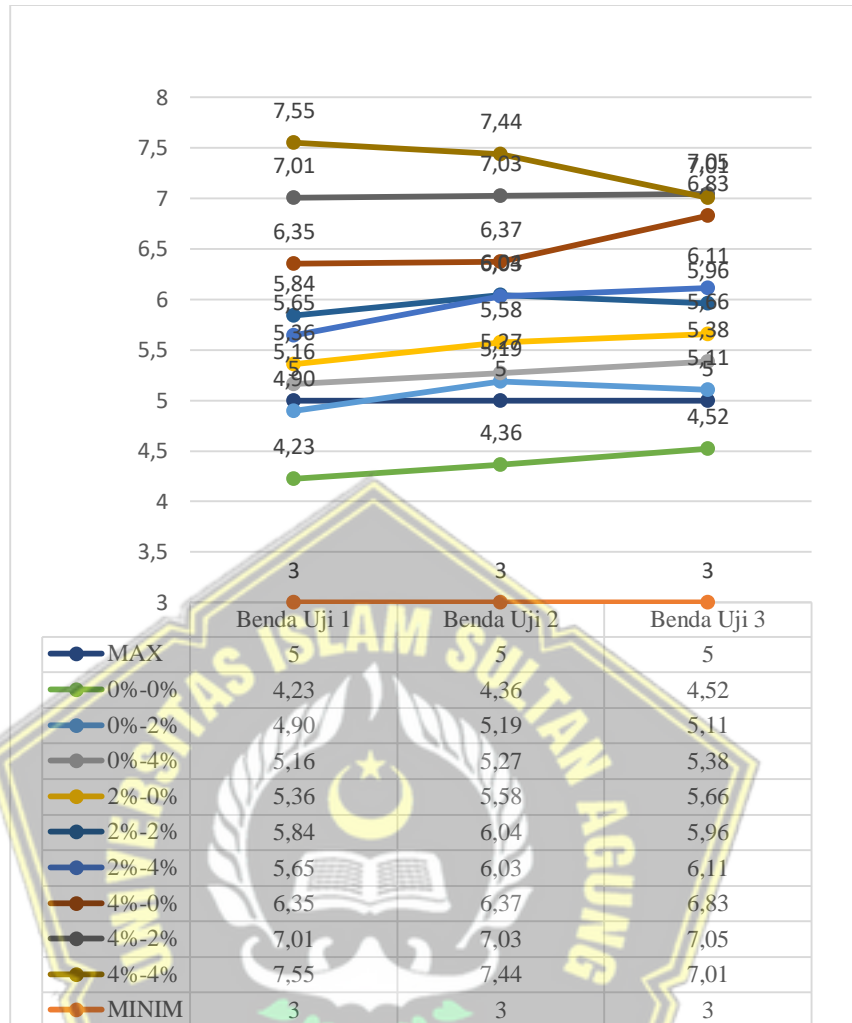
#### **5.5.4 Hasil Perendaman 21 Hari**

Hasil pengujian Marshall untuk benda uji dengan kombinasi resin 0%, 2%, 4% dan katalis pada kadar 0%, 2%, 4% dilakukan pada 3 sampel untuk setiap kadar yang mana terdapat 27 sampel pada pengujian ini. Untuk hasil tabel pengujian bisa dilihat di Lampiran. Dan untuk tabelnya akan disajikan dibawah ini.



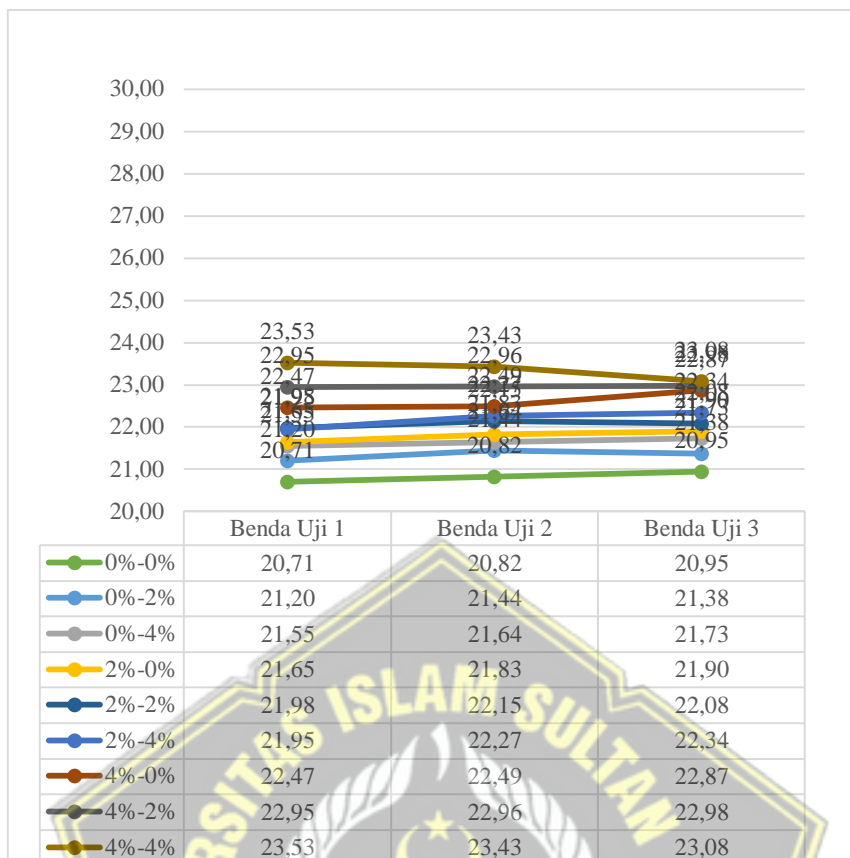
Pengujian (21 Hari)

BJ Aspal (T) :		1,034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :		2,641	BJ Total Agg (Gsb) :		2,749	Kaliwasi Proving Ring :		9,817 Kg					
no benda uji	Resin %	Katalis %	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (vma)	% rongga dalam camp (vmm)	% rongga tersisi aspal (vfb)	stabilitas dibaca arloji	di susuaikan	kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	(100-b)g gsb	(100-e) h	(100-f) i	(s trip)	(kg)	(mm)	(Kg/mm)
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(s trip)	(kg)	(mm)	(Kg/mm)
Benda Uji 1			5,8	1179,0	708,0	1199,0	491,0	2,401	2,416	17,72	0,61	96,55	166	1629,62	3,45	472,35
Benda Uji 2	0%		5,8	1182,0	684,0	1192,0	508,0	2,327	2,416	20,27	3,69	81,78	146	1433,28	3,20	447,90
Benda Uji 3	0%		5,8	1158,0	694,0	1178,0	484,0	2,393	2,416	18,01	0,97	94,61	156	1531,45	3,13	489,28
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1147,0</b>	<b>686,0</b>	<b>1167,0</b>	<b>481,0</b>	<b>2,374</b>	<b>2,416</b>	<b>18,67</b>	<b>1,76</b>	<b>90,98</b>	<b>156,00</b>	<b>1531,45</b>	<b>3,26</b>	<b>469,77</b>
Benda Uji 1			5,8	1147,0	686,0	1167,0	481,0	2,385	2,418	18,29	1,38	92,45	183	1796,51	3,20	561,41
Benda Uji 2	0%	2%	5,8	1152,0	692,0	1172,0	480,0	2,400	2,418	17,76	0,74	95,81	238	2336,45	3,36	695,37
Benda Uji 3			5,8	1173,0	703,0	1193,0	490,0	2,394	2,418	17,97	1,00	94,45	169	1659,07	3,16	525,02
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1178,0</b>	<b>659,0</b>	<b>1198,0</b>	<b>539,0</b>	<b>2,393</b>	<b>2,418</b>	<b>18,00</b>	<b>1,04</b>	<b>94,24</b>	<b>196,67</b>	<b>1930,68</b>	<b>3,24</b>	<b>595,89</b>
Benda Uji 1			5,8	1178,0	659,0	1198,0	539,0	2,186	2,414	25,11	9,46	62,31	198	1943,77	3,07	633,15
Benda Uji 2	0%	4%	5,8	1190,0	698,0	1198,0	500,0	2,380	2,414	18,44	1,41	92,36	183	1796,51	3,20	561,41
Benda Uji 3			5,8	1181,0	648,0	1191,0	543,0	2,175	2,414	25,47	9,90	61,12	198	1943,77	3,13	621,01
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1147,0</b>	<b>686,4</b>	<b>1167,0</b>	<b>480,6</b>	<b>2,247</b>	<b>2,414</b>	<b>23,01</b>	<b>6,93</b>	<b>71,93</b>	<b>193,00</b>	<b>1894,68</b>	<b>3,13</b>	<b>604,69</b>
Benda Uji 1			5,8	1147,0	686,4	1167,0	480,6	2,387	2,416	18,22	1,22	93,32	203	1992,85	3,30	603,89
Benda Uji 2	2%	0%	5,8	1164,0	673,0	1184,0	511,0	2,278	2,416	21,94	5,72	73,95	196	1924,13	3,20	601,29
Benda Uji 3			5,8	1133,0	679,0	1153,0	474,0	2,390	2,416	18,09	1,06	94,12	214	2100,84	3,15	666,93
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1146,0</b>	<b>678,0</b>	<b>1166,0</b>	<b>488,0</b>	<b>2,352</b>	<b>2,416</b>	<b>19,42</b>	<b>2,67</b>	<b>87,13</b>	<b>204,33</b>	<b>2005,94</b>	<b>3,22</b>	<b>623,61</b>
Benda Uji 1			5,8	1146,0	678,0	1166,0	488,0	2,348	2,418	19,53	2,88	85,25	242	2375,71	3,30	719,91
Benda Uji 2	2%	2%	5,8	1158,0	684,0	1178,0	494,0	2,344	2,418	19,67	3,06	84,47	258	2532,79	3,08	822,33
Benda Uji 3			5,8	1163,0	689,0	1183,0	494,0	2,354	2,418	19,33	2,64	86,36	238	2336,45	3,25	718,91
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1167,0</b>	<b>675,0</b>	<b>1187,0</b>	<b>512,0</b>	<b>2,349</b>	<b>2,418</b>	<b>19,51</b>	<b>2,86</b>	<b>85,36</b>	<b>246,00</b>	<b>2414,98</b>	<b>3,21</b>	<b>752,33</b>
Benda Uji 1			5,8	1167,0	675,0	1187,0	512,0	2,279	2,414	21,90	5,58	74,51	194	1904,50	3,17	600,79
Benda Uji 2	2%	4%	5,8	1173,0	681,0	1183,0	502,0	2,337	2,414	19,93	3,20	83,92	217	2130,29	3,09	689,41
Benda Uji 3			5,8	1146,0	652,0	1166,0	514,0	2,230	2,414	23,60	7,64	67,63	249	2444,43	3,25	752,13
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1098,0</b>	<b>653,0</b>	<b>2000,0</b>	<b>1347,0</b>	<b>0,815</b>	<b>2,414</b>	<b>21,81</b>	<b>5,47</b>	<b>75,35</b>	<b>220,00</b>	<b>2159,74</b>	<b>3,17</b>	<b>681,31</b>
Benda Uji 1			5,8	1098,0	653,0	2000,0	1347,0	0,815	2,416	72,07	66,26	8,06	242	2375,71	3,30	719,91
Benda Uji 2	4%	0%	5,8	1121,0	662,0	1141,0	479,0	2,340	2,416	19,81	3,13	84,18	237	2326,63	3,20	727,07
Benda Uji 3			5,8	1132,0	673,0	1152,0	479,0	2,363	2,416	19,02	2,18	88,52	229	2248,09	3,11	722,86
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1152,0</b>	<b>691,0</b>	<b>1172,0</b>	<b>481,0</b>	<b>1,840</b>	<b>2,416</b>	<b>36,96</b>	<b>23,86</b>	<b>60,25</b>	<b>236,00</b>	<b>2316,81</b>	<b>3,20</b>	<b>723,25</b>
Benda Uji 1			5,8	1152,0	691,0	1172,0	481,0	2,395	2,418	17,93	0,95	94,70	235	2307,00	3,30	699,09
Benda Uji 2	4%	2%	5,8	1167,0	696,0	1187,0	491,0	2,377	2,418	18,55	1,70	90,81	249	2444,43	3,07	796,23
Benda Uji 3			5,8	1173,0	702,0	1193,0	491,0	2,389	2,418	18,14	1,20	93,39	235	2307,00	3,38	682,54
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1123,0</b>	<b>670,0</b>	<b>1143,0</b>	<b>473,0</b>	<b>2,387</b>	<b>2,418</b>	<b>18,21</b>	<b>1,28</b>	<b>92,97</b>	<b>239,67</b>	<b>2352,81</b>	<b>3,25</b>	<b>723,94</b>
Benda Uji 1			5,8	1123,0	670,0	1143,0	473,0	2,374	2,414	18,64	1,65	91,16	241	2365,90	3,20	739,34
Benda Uji 2	4%	4%	5,8	1138,0	678,0	1158,0	480,0	2,371	2,414	18,76	1,79	90,47	227	2228,46	3,28	679,41
Benda Uji 3			5,8	1119,0	665,0	1139,0	474,0	2,361	2,414	19,10	2,21	88,46	215	2110,66	3,14	672,18
<b>Rata-rata</b>			<b>5,8</b>	<b>1123,0</b>	<b>665,0</b>	<b>1139,0</b>	<b>474,0</b>	<b>2,369</b>	<b>2,414</b>	<b>18,84</b>	<b>1,88</b>	<b>90,03</b>	<b>227,67</b>	<b>2235,00</b>	<b>3,21</b>	<b>696,99</b>



**Gambar 4.20** VIM Komposisi Resin dan Katalis 21 Hari  
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

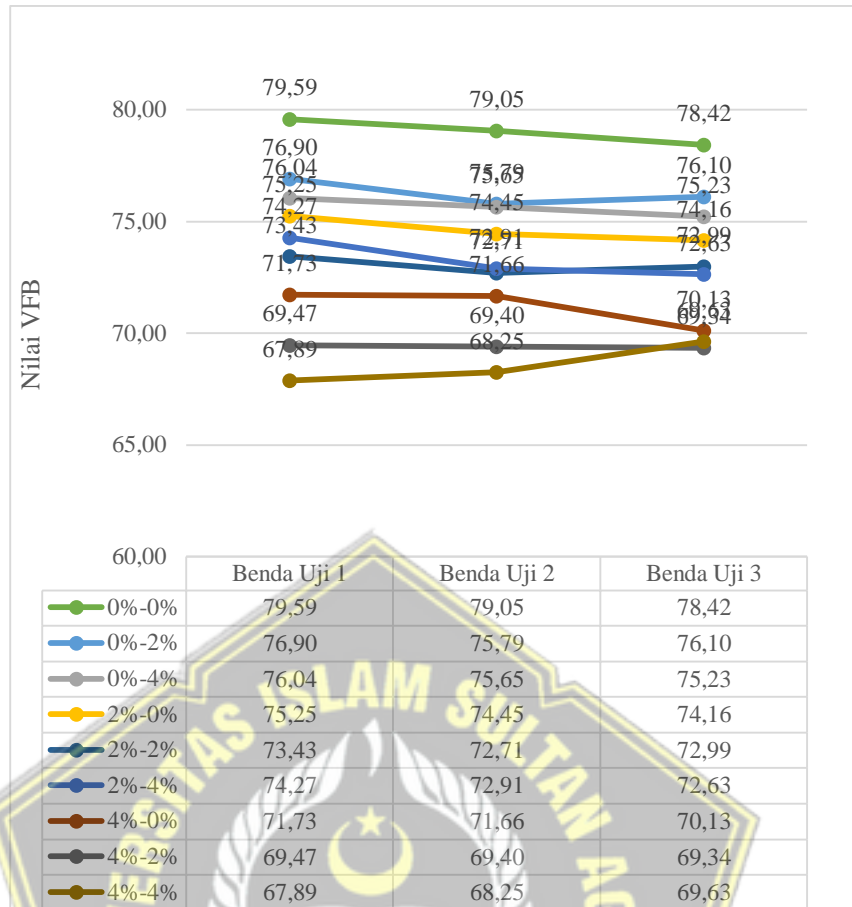
Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VIM (Void in Mix) sebagai perkerasan jalan, namun kadar 4%-2% dan 4%-4% tidak memenuhi syarat. Hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) untuk masing-masing kadar adalah 4.37%, 5.07%, 5.27%, 5.53%, 5.95%, 5.93%, 6.52%, 7.03% dan 7.33%. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga, VIM minimum 3,00% dan maksimum 5,00%.



**Gambar 4.21** VMA Komposisi Resin dan Katalis 21 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

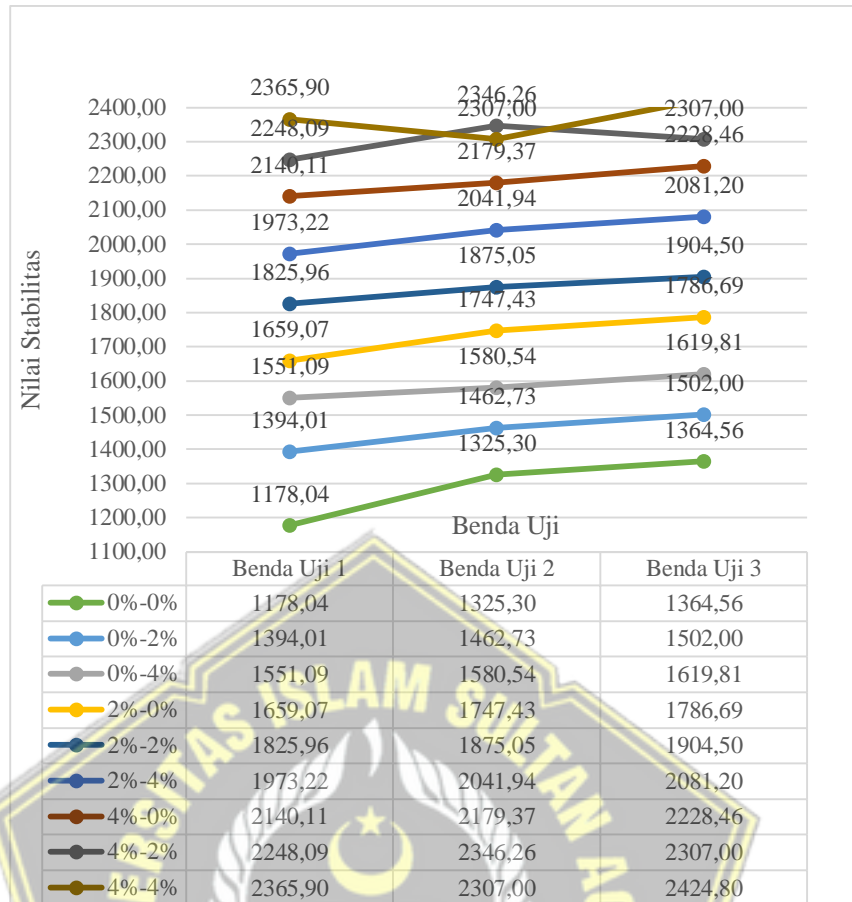
Grafik VMA menunjukkan bahwa nilai untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VMA sebagai perkerasan jalan yaitu dengan rata-rata 20,83%, 21,34%, 21,64%, 21,79%, 22,07%, 22,19%, 22,61%, 22,96% dan 23,35%. Semua nilai ini memenuhi spesifikasi VMA minimum dari Bina Marga, yaitu 15,00%.



**Gambar 4.22** VFB Komposisi Resin dan Katalis 21 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

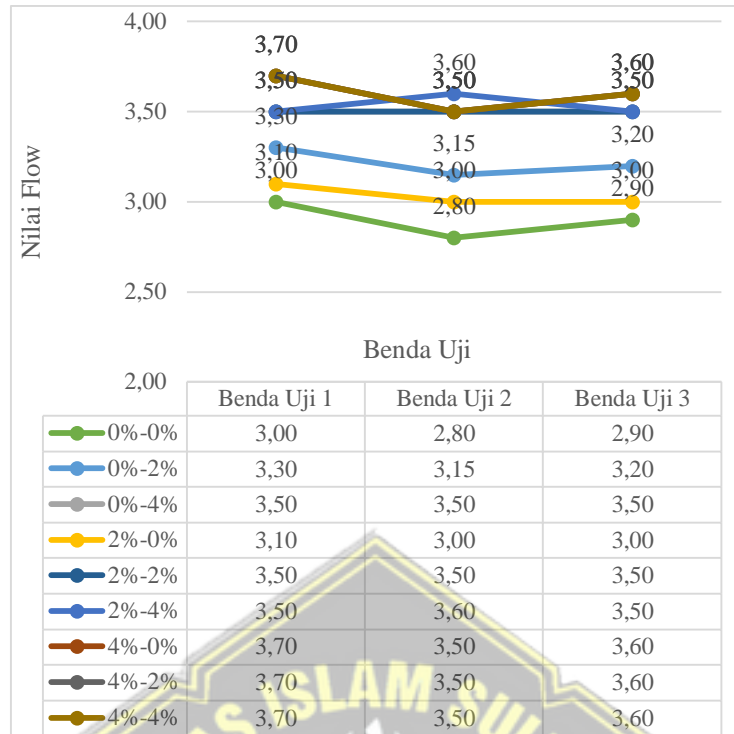
Grafik VFB menunjukkan bahwa nilai untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% memenuhi spesifikasi untuk VFB (Void Filled with Bitumen) sebagai perkerasan jalan yaitu dengan rata-rata 79.02%, 76.27%, 75.64%, 74.62%, 73.05%, 73.27%, 71.17%, 69.40% dan 68.59% Semua nilai ini memenuhi spesifikasi VMA minimum dari Bina Marga, yaitu 65,00%.



**Gambar 4.23** Stabilitas Komposisi Resin dan Katalis 21 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

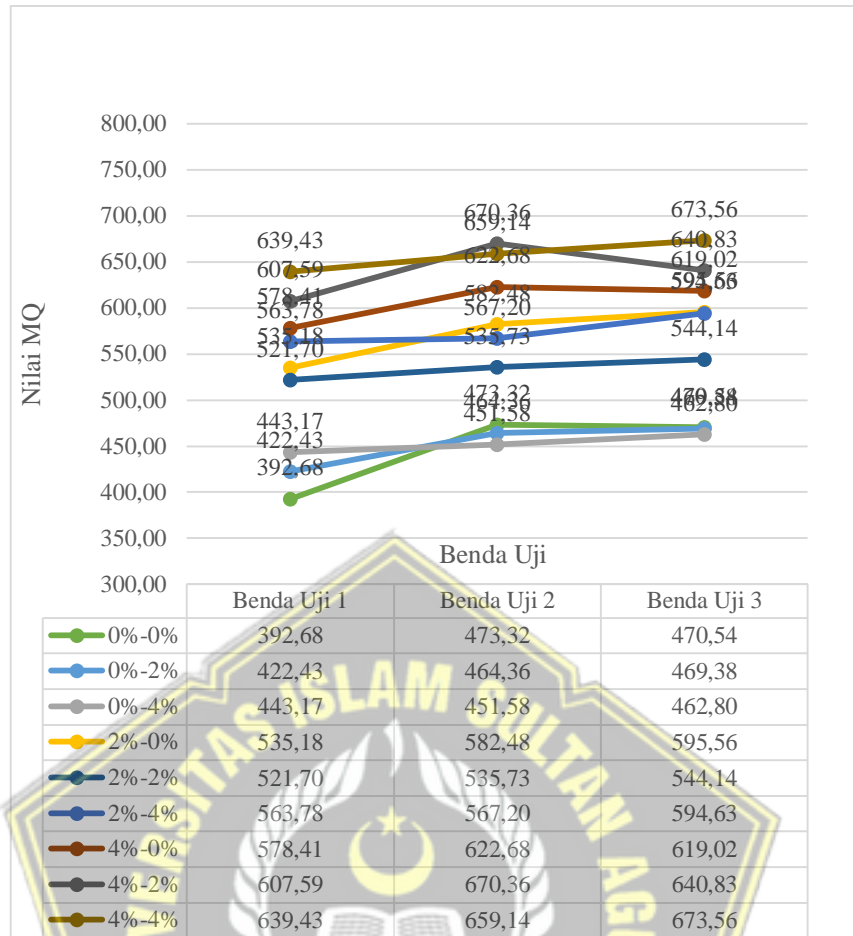
Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 1289.30 kg , 1452.92 kg, 1583.81 kg, 1731.06 kg, 1868.50 kg, 2032.12 kg, 2182.65 kg, 2300.45 kg dan 2365.90 kg. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi spesifikasi Bina Marga, dengan batas minimum Stabilitas sebesar 800 kg.



**Gambar 4.24** Flow Komposisi Resin dan Katalis 21 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 2.90 mm , 3.22 mm, 3.50 mm, 3.03 mm, 3.50 mm, 3.53 mm, 3.60 mm, 3.60 mm dan 3.60 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai Flow memenuhi spesifikasi Bina Marga, dengan rentang minimum 2,00 mm dan maksimum 4,00 mm.



**Gambar 4.25** MQ Komposisi Resin dan Katalis 21 Hari

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik MQ (Marshall Quotient) diatas nilai yang dihasilkan untuk Campuran Resin dan Katalis kadar 0%, 2%, 4% yaitu 444.59 mm , 451.68 mm, 452.52 mm, 570.68 mm ,533.86 mm, 575.13 mm, 606.29 mm, 639.01 mm dan 657.19 mm. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua nilai MQ memenuhi kriteria, meskipun Bina Marga belum menetapkan spesifikasi khusus untuk MQ.

Berikut adalah hasil sample aspal tanpa perendaman dengan komposisi yang berbeda beda.



**Tabel 4.58** Perendaman 21 Hari Resin 0% Katalis 0%

1	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	0%	4,37	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			20,95	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			79,02	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1289,30	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			2,90	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			444,59	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.59** Perendaman 21 Hari Resin 0% Katalis 2%

2	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	2%	5,07	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,34	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			76,27	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1452,92	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,22	2-4%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			451,68	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.60** Perendaman 21 Hari Resin 0% Katalis 4%

3	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	0%	4%	5,27	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,64	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			75,64	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1583,81	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,50	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			452,52	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.61** Perendaman 21 Hari Resin 2% Katalis 0%

4	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	0%	5,53	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			21,79	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			74,62	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1731,06	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,03	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			570,68	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.62** Perendaman 21 Hari Resin 2% Katalis 2%

5	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	2%	5,95	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			22,07	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			73,05	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			1868,50	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,50	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			533,86	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.63** Perendaman 21 Hari Resin 2% Katalis 4%

6	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	2%	4%	5,93	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			22,19	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			73,27	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2032,12	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,53	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			575,13	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.64** Perendaman 21 Hari Resin 4% Katalis 0%

7	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	4%	0%	6,52	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			22,61	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			71,17	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2182,65	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,60	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			606,29	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.65** Perendaman 21 Hari Resin 4% Katalis 2%

8	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	4%	2%	7,03	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			22,96	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			69,40	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2300,45	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,60	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			639,01	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**Tabel 4.66** Perendaman 21 Hari Resin 4% Katalis 4%

9	Uraian		Resin	Katalis	Sifat Campuran Pengujian Laboratorium	Spesifikasi	Keterangan
	Rongga Udara (VIM)	%	4%	4%	7,33	3-5%	Tidak
	Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	%			23,35	Min 15%	Memenuhi
	Rongga Terisi Aspal	%			68,59	Min 65%	Memenuhi
	Stabilitas Aspal	Kg			2365,90	Min 800 Kg	Memenuhi
	Flow	%			3,60	3-5%	Memenuhi
	Marshall Quotient	-			657,19	-	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Hasil pengujian pada hari ke 21 hari perendaman dengan beberapa variasi menunjukkan bahwa nilai Rongga Udara (VIM) tidak ada variasi yang memenuhi spesifikasi untuk digunakan sebagai perkerasan jalankarena melebihi batas VIM dengan ketentuan batas VIM adalah 3-5%. Namun, nilai Rongga dalam Mineral (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelahan Plastis (Flow), dan Stabilitas Marshall Sisa (Marshall Quotient) memenuhi syarat berdasarkan Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2018 revisi 2.

Perbandingan nilai VIM, VMA, dan VFB menunjukkan bahwa sample semua sample tidak layak digunakan sebagai perkerasan jalan karena nilai VIM-nya lebihdari 5%, tidak memenuhi Spesifikasi Teknis Bina Marga tahun 2018 revisi 2.

#### **5.5.5 Rekapitulasi Hasil Marshall Benda Uji Resin dan Katalis dengan variasi 0%,2% dan 4% untuk 0 Hari, 7 Hari, 14 Hari dan 21 Hari.**

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Resin dan Katalis 0%, 2% dan 4% dengan benda uji 3 sample untuk masing-masing kadar dan perendaman. Dengan perolehan hasil sebagai berikut, untuk Tabel akan disajikan dilampiran dan untuk grafik akan disajikan di bawah ini.

Rongga Udara (VIM) pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan, namun pada perendaman 14 Hari dan 21 Hari tidak sesuai spesifikasi Binamarga.

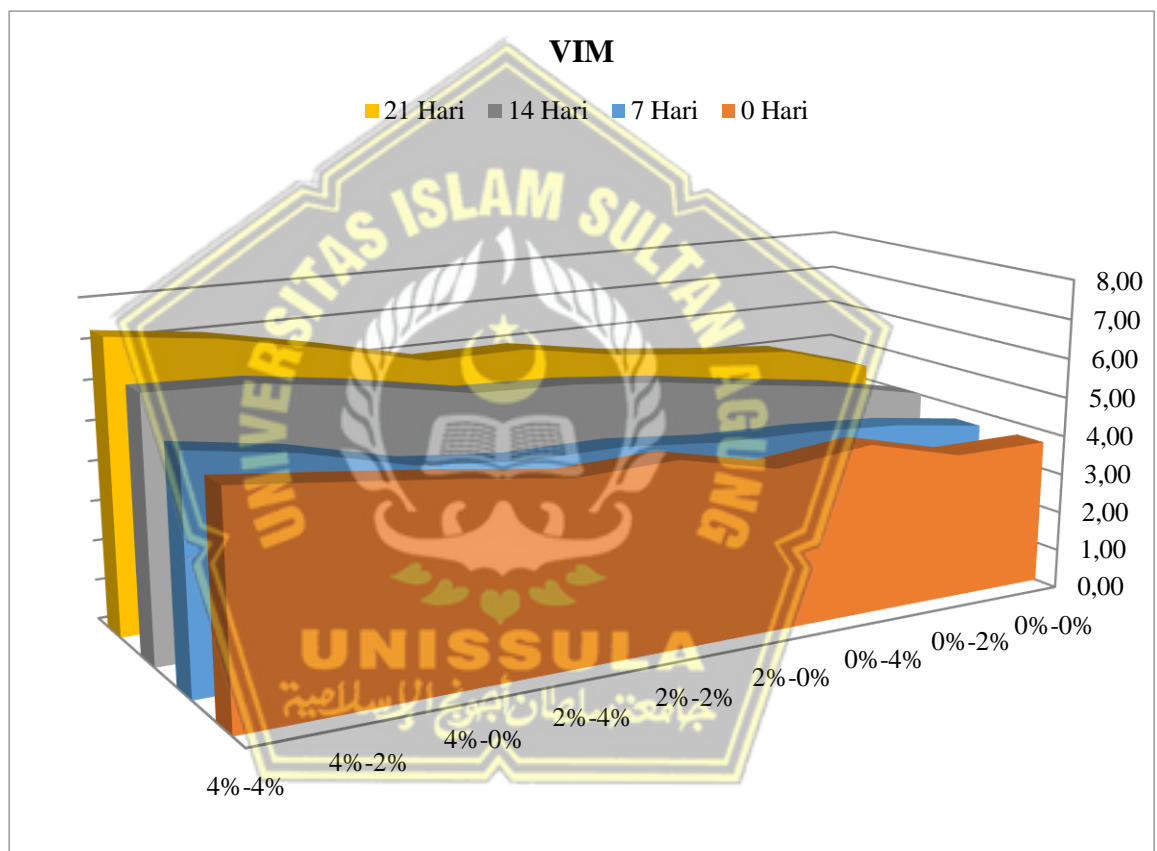
Resin dan katalis untuk perendaman 0 Hari memperoleh nilsi VIM 3,69%, memenuhi spesifikasi binamarga tetapi untuk komposisi Resin 4% - Katalis 2% dan Resin 4% - Katalis 4% memperoleh nilai 5,20% sehingga tidak memenuhi spesifikasi.

Resin dan katalis untuk perendaman 7 Hari memperoleh nilai VIM 3,63%, tetapi untuk komposisi Resin 4% - Katalis 2% dan Resin 4% - Katalis 4% memperoleh nilai 5,69%. sehingga tidak memenuhi spesifikasi.

Resin dan katalis untuk perendaman 14 Hari memperoleh nilai VIM 4,03%, 4,53% dan 4,87% sedangkan untuk komposisi yang lain tidak memenuhi spesifikasi bina marga karena melebihi batas ketentuan spesifikasinya.

Resin dan katalis untuk perendaman 14 Hari memperoleh nilai VIM 4,37%, sedangkan untuk komposisi yang lain tidak memenuhi spesifikasi bina marga karena melebihi batas ketentuan spesifikasinya.

Syarat spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



**Gambar 4.26** Rekapitulasi VIM Komposisi Resin dan Katalis

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Rongga diantara Agregat (VMA) pada Resin dan katalis kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga diantara Agregat (VMA) terbesar adalah 23,35%.

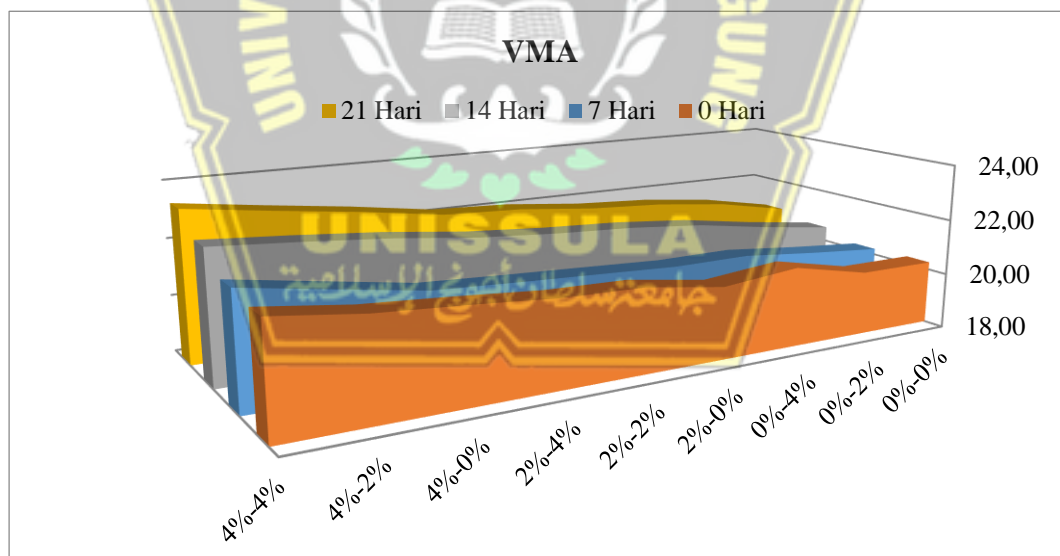
Resin dan katalis untuk perendaman 0 Hari memperoleh nilai 20,27%, 20,27%, 20,84%, 20,57%, 20,97%, 21,04%, 21,27%, 21,45%, 21,82%, memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 7 Hari memperoleh nilai VMA 20,21%, 20,43%, 20,69%, 20,67%, 20,80%, 20,92%, 21,06%, 21,52%, 21,99% memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 14 Hari memperoleh nilai VMA 20,55%, 20,90%, 21,31%, 21,55%, 21,68%, 21,88%, 22,21%, 22,44%, 22,64% memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 21 Hari memperoleh nilai VMA 20,83%, 21,34%, 21,64%, 21,79%, 22,07%, 22,19%, 22,61%, 22,96%, 23,35%. memenuhi spesifikasi binamarga.

Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji komposisi telah memenuhi spesifikasi dari Bina marga dengan nilai minimum berada pada angka 15%.



**Gambar 4.27** Rekapitulasi VMA Komposisi Resin dan Katalis

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Rongga terisi aspal (VFB) pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga terisi aspal (VFB) terbesar adalah 81,78%,.

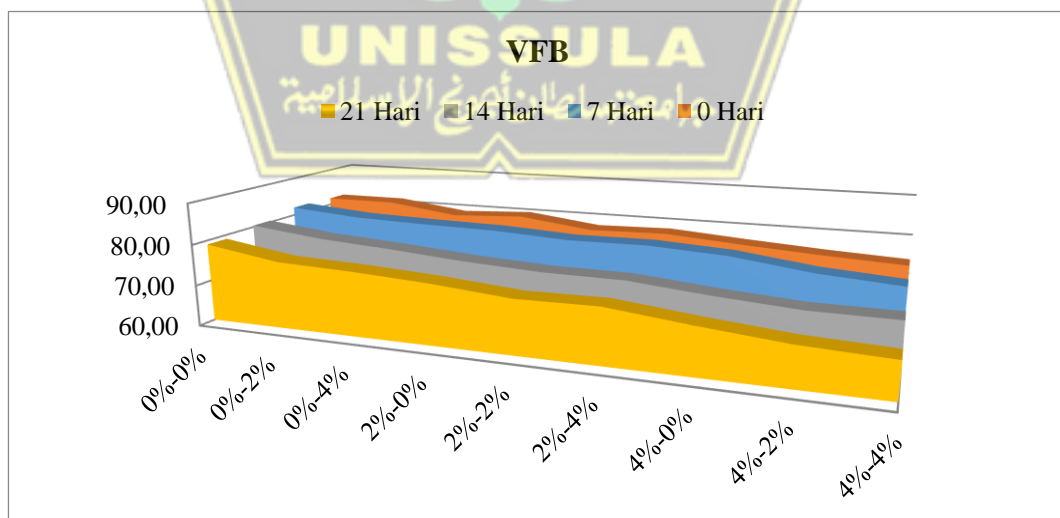
Resin dan katalis untuk perendaman 0 Hari memperoleh nilai VFB 81,78%, 81,78%, 79,36%, 80,28%, 77,95%, 78,38%, 76,98%, 75,77%, 74,85% memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 7 Hari memperoleh nilai VFB 82,06%, 80,59%, 80,10%, 79,80%, 78,80%, 78,98%, 77,92%, 75,44%, 74,11% memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 14 Hari memperoleh nilai VFB 80,37%, 78,33%, 77,14%, 75,69%, 74,73%, 74,57%, 72,82%, 71,50%, 71,39% memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 21 Hari memperoleh nilai VFB 79,02%, 76,27%, 75,64%, 74,62%, 73,05%, 73,27%, 71,17%, 69,40%, 68,59% memenuhi spesifikasi binamarga.

Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji komposisi rumber dan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina marga dengan nilai minimum berada pada angka 65%.



**Gambar 4.28** Rekapitulasi VFB Komposisi Resin dan Katalis

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Flow pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Flow terbesar adalah 3,60.

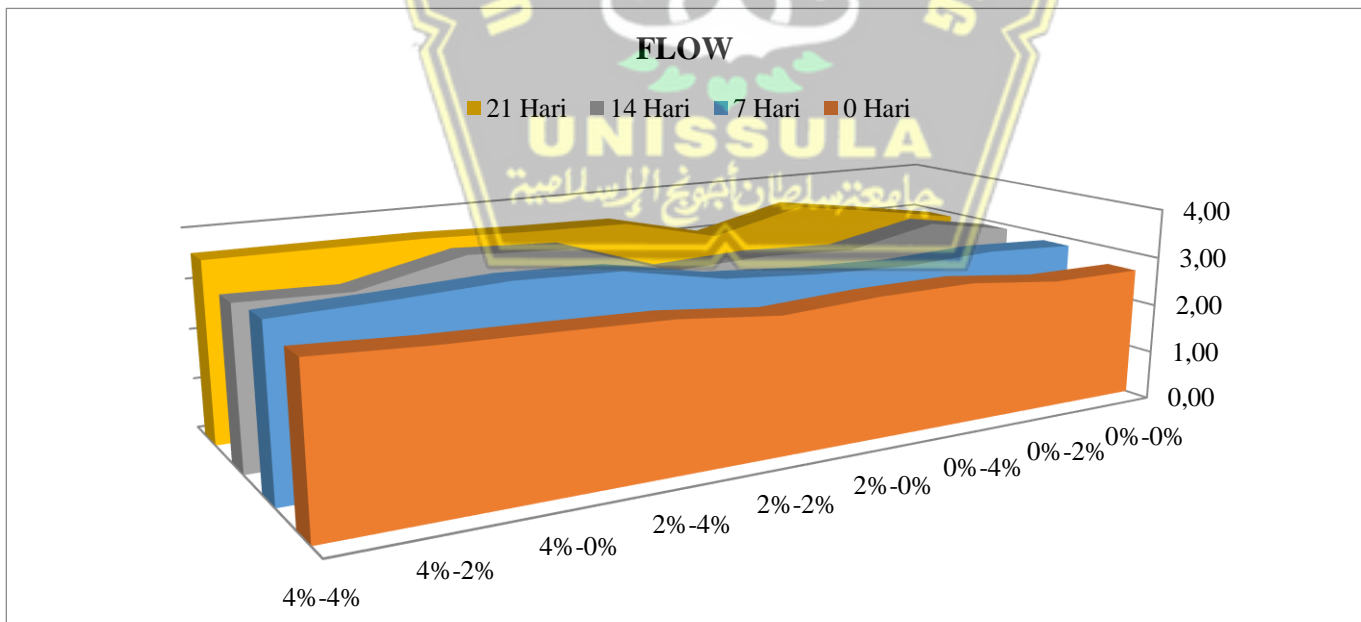
Resin dan katalis untuk perendaman 0 Hari memperoleh nilai Flow 2,63mm, 2,63mm, 2,83mm, 2,82mm, 2,71mm, 2,91mm, 2,97mm, 3,02mm, 3,12 mm memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 7 Hari memperoleh nilai Flow 2,83 mm, 2,92 mm, 2,83 mm, 2,89 mm, 3,03 mm, 3,41 mm, 3,47 mm, 3,37 mm, 3,30 mm memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 14 Hari memperoleh nilai Flow 2,90mm 3,22 mm , 2,83 mm, 2,92 mm, 2,83 mm, 3,50 mm, 3,60 mm, 3,13mm, 3,18 mm memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 21 Hari memperoleh nilai 2,90mm, 3,22mm, 3,50mm, 3,03mm, 3,50mm, 3,53mm, 3,60mm, 3,60mm, 3,60 mm memenuhi spesifikasi binamarga.

Syarat spesifikasi dari Bina marga untuk nilai flow yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



**Gambar 4.29** Rekapitulasi Flow Komposisi Resin dan Katalis

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)



Pada Grafik Stabilitas pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Staabilitas terbesar adalah 3020,36 kg.

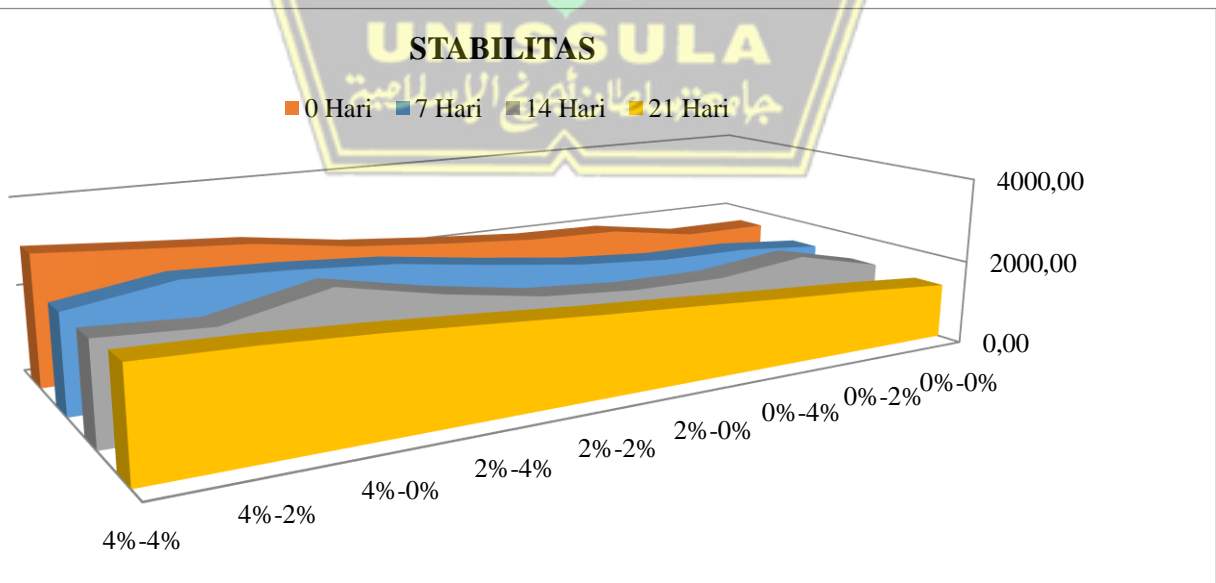
Resin dan katalis untuk perendaman 0 Hari memperoleh nilai Staabilitas 1613,26 kg, 1613,26 kg, 1953,58 kg, 1999,40 kg, 2163,01 kg, 2362,62 kg, 2693,13 kg, 2850,20 kg, 3020,36 kg memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 7 Hari memperoleh nilai Staabilitas 1423,47 kg, 1603,44 kg, 1619,81 kg, 1783,42 kg, 2061,57 kg, 2372,44 kg, 2526,24 kg, 2614,59 kg, 2719,31 kg memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 14 Hari memperoleh nilai Staabilitas 1351,47 kg, 1842,32 kg, 1603,44 kg, 1619,81 kg, 1783,42 kg, 2149,92 kg, 2621,14 kg, 2120,47 kg, 2241,55 kg memenuhi spesifikasi binamarga.

Resin dan katalis untuk perendaman 21 Hari memperoleh nilai Staabilitas 1289,30 kg, 1452,92 kg, 1583,81 kg, 1731,06 kg, 1868,50 kg, 2032,12 kg, 2182,65 kg, 2300,45 kg, 2365,90 kg memenuhi spesifikasi binamarga.

Dari hasil yang didapatkan nilai masing-masing benda uji komposisi rumber dan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina marga dengan nilai minimum berada pada angka 800 kg.



**Gambar 4.30** Rekapitulasi Stabilitas Komposisi Resin dan Katalis (Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Marshall Question (MQ) pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Marshall Question (MQ) terbesar adalah 969,10 kg/mm.

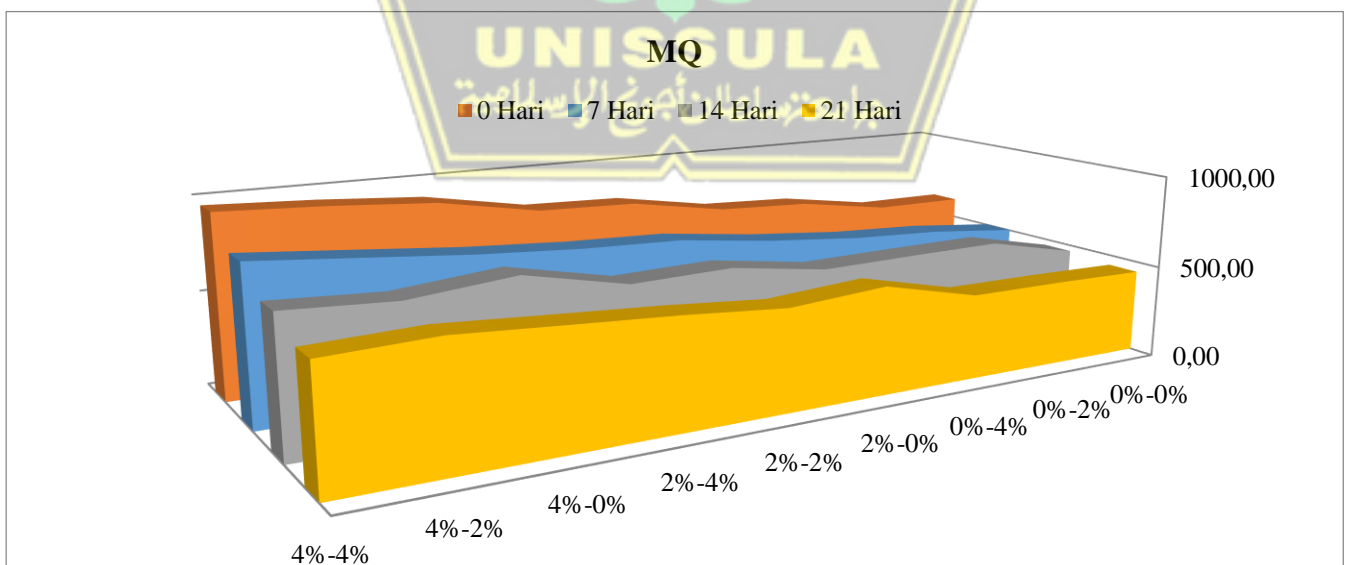
Resin dan katalis untuk perendaman 0 Hari memperoleh nilai MQ 612,63 kg/mm, 612,63 kg/mm, 689,50kg/mm, 709,84kg/mm, 797,18 kg/mm, 811,90 kg/mm, 907,80 kg/mm, 944,82 kg/mm 969,10 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga .

Resin dan katalis untuk perendaman 7 Hari memperoleh nilai MQ 502,40 kg/mm, 549,75 kg/mm , 571,70 kg/mm, 616,39kg/mm, 679,64 kg/mm, 695,73kg/mm, 728,72 kg/mm,776,61kg/mm ,824,03 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga .

Resin dan katalis untuk perendaman 14 Hari memperoleh nilai MQ 466,03 kg/mm 572,74 kg/mm 565,92 kg/mm 555,36 kg/mm 629,44 kg/mm 614,26 kg/mm 728,09 kg/mm 676,75 kg/mm 704,15 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga

Resin dan katalis untuk perendaman 21 Hari memperoleh nilai MQ 444,59 kg/mm 451,68 kg/mm 452,52 kg/mm 570,68 kg/mm 533,86 kg/mm 575,13 kg/mm 606,29 kg/mm 639,01 kg/mm 619,41 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga

Syarat spesifikasi dari Bina marga untuk nilai MQ belum adaa (-)



**Gambar 4.31** Rekapitulasi MQ Komposisi Resin dan Katalis

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

## BAB V

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan berdasarkan penelitian yang dilakukan pada maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Karakteristik pada *Asphalt Concrete Wearing Course* Modifikasi yang terendam dalam air pasang (Robbahwa semakin lama perendaman yang dilakukan dan semakin tinggi komposisi resin dan katalisnya maka semakin tinggi nilai VIM yang mengakibatkan perkerasan aspal akan menjadi banyak rongga yang mengakibatkan menurunnya daya tahan terhadap lingkungan.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada job mix design untuk kondisi jalan raya beraspal yang terendam air robyang dapat digunakan adalah Komposisi dalam perendaman menerus dengan komposisi 4% Resin- 0% Katalis pada perendaman 7 Hari memenuhi Spesifikasi Teknis Bina Marga Tahun 2018 revisi 2.
3. Pengaruh perendaman menerus berpengaruh pada nilai stabilitasnya, dimana jika nilai stabilitas menurun maka *Asphalt Concrete Wearing Course* Modifikasi yang terendam dalam air pasang (Rob) pada perendaman menerus umur 7, 14, dan 21 hari akan mengalami deformasi permanen, bleeding ataupun stripping yang berpotensi mempengaruhi ketahanan aspal secara keseluruhan.

#### 5.2 Saran

1. Disarankan untuk melakukan pengujian lebih lanjut terhadap variasi komposisi resin dan katalis dalam campuran aspal untuk menemukan kombinasi yang paling optimal.
2. Penelitian sebaiknya mencakup analisis jangka panjang untuk mengevaluasi kinerja aspal modifikasi di bawah kondisi lingkungan yang berbeda.
4. Penting untuk menguji pengaruh temperatur dan kelembapan terhadap daya tahan campuran aspal modifikasi resin dan katalis.

5. Kolaborasi dengan pihak terkait, seperti dinas perhubungan dan perusahaan konstruksi, dapat membantu menerapkan hasil penelitian dalam proyek nyata.
6. Pengembangan pedoman teknis yang jelas mengenai penggunaan aspal modifikasi resin dan katalis dapat meningkatkan kualitas dan ketahanan infrastruktur jalan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abdukadir, A. (2022). Optimasi campuran aspal cair menggunakan modifikasi resin epoksi. *International Journal of Road Engineering*, 29(1), 72-85. <https://doi.org/10.1016/j.ijre.2022.04.011>
- Andiani, N. (2022, Mei 7). Upaya Pemerintah dalam Menangani Pemanasan Global di Bumi. Retrieved from Adjar.
- Alfarizi, M. K. (2020, Maret 2). Gletser Mencair, Pulau Baru Ditemukan di Antartika. Retrieved from Tempo.
- Asmi, D., & Abdi, A. K. (2016). Resin organik dan kimia: Penggunaan dan aplikasinya. *Jurnal Teknik dan Komposit*, 8(2), 123-130. DOI: 10.30596/snk.v1i1.3617.
- Arya, Y. K. M. (2023). Pengaruh penambahan Unsaturated Polyester Resin pada campuran aspal AC-WC. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 33(2), 112-126. <https://doi.org/10.54321/jits.v33i2.65432>
- Damar Gumilang. (2017). Analisis Dampak Rendaman Air Tawar Terhadap Durabilitas Dan Properties Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete – Binder Course (Ac-Bc).
- Departemen Pekerjaan Umum. (2012). Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan. Indonesia: Departemen Pekerjaan Umum.
- Djalante, S. (2011). Pengaruh Ketahanan Beton Aspal (AC-BC) Yang Menggunakan Asbuton Butir Tipe 5/20 terhadap Air Laut Ditinjau dari Karakteristik Mekanis dan Durabilitasnya. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi*, 1(1), 57-68.
- Diya Eka Wicaksana. (2017). Evaluasi Kinerja Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Penggunaan Asbuton Semi Ekstraksi Bna Blend 75/25 Dan Asbuton Butir Bga Tipe 20/25.
- Dinas Pekerjaan Umum, Perumahan, dan Kawasan Permukiman Kabupaten Kulon Progo. (n.d.). Aspal bahan utama pembuat jalan. Retrieved November 26, 2024, from <https://dpu.kulonprogokab.go.id/detil/660/aspal-bahan-utama-pembuat-jalan>
- Erlani, R., & Nugrahandika, W. H. (2019). Ketangguhan Kota Semarang dalam menghadapi bencana banjir pasang air laut (Rob). *Journal of Regional and Rural Development Planning*, 3(1), 47-63.

- Fadil, Ahmad, & Cut. T. (2014). Perbandingan Lama Rendaman Campuran AC-WC dengan Memakai Air Laut dan Air Tawar terhadap Karakteristik Marshall.
- George Stefen Muaya Oscar.H.Kaseke, Mecky.R.E.Manoppo. (2015). Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal Oleh Air Laut Yang Ditinjau Terhadap Karakteristik Marshall.
- Kurniawan, A., & Budiarto, J. D. A. (2023). Pengujian campuran aspal dengan slag baja dan resin pada kondisi jalan terendam air rob. *Jurnal Teknik Jalan dan Jembatan*, 38(2), 205-218. <https://doi.org/10.7890/jtj.v38i2.54321>
- Le Page, J. F., Cosyns, J., & Courty, P. (1987). *Applied heterogeneous catalysis: Design-manufacture use of solid catalysts*. France: Institut Français du Pétrole.
- Li, Y., et al. (2023). Analisis aspal yang dimodifikasi dengan resin fenolik berbasis lignin (LPF) dan resin fenol formaldehid (PF). *Journal of Materials Science and Engineering*, 42(4), 310-324. <https://doi.org/10.1016/j.jmse.2023.03.009>
- Maulana, A. H., & Damara, B. (2024). Pengaruh resin fiberglass pada campuran perkerasan AC-WC menggunakan metode Marshall. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 29(4), 320-331. <https://doi.org/10.56789/jrs.v29i4.76543>
- Marfai, M. A., Rahayu, E., & Triyanti, A. (2015). *Peran Kearifan Lokal dan Modal Sosial dalam Pengurangan Risiko Bencana dan Pembangunan Pesisir*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Meng, Y., et al. (2023). Modifikasi aspal dengan resin epoksi berbasis air untuk meningkatkan performa aspal emulsi. *International Journal of Asphalt Science*, 38(2), 235-249. <https://doi.org/10.1016/j.ijas.2023.02.015>
- Nahyo, Sudarno, & Setiadji, B. H. (2015). Durabilitas Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) Akibat Rendaman Menerus dan Berkalan Air Rob.
- Pusat Bahasa Departemen Pendidikan Nasional. (2012). *Kamus Bahasa Indonesia*. Jakarta: Depdiknas.
- Prabowo, A. H. (2013). Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (ROB) terhadap Kinerja Lataston (HRS-WC) Berdasarkan Uji Marshall dan Uji Durabilitas Modifikasi. *Jurnal PILAR*, 12(2), 89-98.

- Putra, D. R., & Marfai, M. A. (2012). Identifikasi Dampak Banjir Genangan (ROB) terhadap Lingkungan Permukiman di Kecamatan Pademangan Jakarta Utara. *Bumi Indonesia*, 1(1).
- Pradani, N., et al. (2022). Gradasi Potensial Material Daur Ulang Pasca Bencana Kota Palu sebagai Bahan Penyusun Perkerasan Lentur. *Prosiding SENASTITAN: Seminar Nasional Teknologi Industri Berkelanjutan*, 2.
- Salim, I., & Afif, M. (2018). Banjir Rob: Fenomena Alam dan Dampaknya terhadap Daerah Pesisir. *Jurnal Geografi*, 16(3), 121-134.
- Salim, M., & Afif, M. (2018). Penanganan banjir dan rob di wilayah Pekalongan. *Jurnal Teknik Sipil*, 11, 15-23.
- Sukirman, S. (2012). Bahan Material Perkerasan Jalan: Agregat untuk Lapis Permukaan yang Kuat dan Kaku. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(4), 156-162.
- Sunarto, I. (2003). Banjir rob: Pola fluktuasi permukaan laut dan pengaruh gravitasi benda angkasa terhadap air laut di bumi. *Jurnal Hidrologi*, 12(2), 45-50.
- Suwardo, & Sugiharto. (2004). Tingkat Kerataan Jalan Berdasarkan Alat Rolling Straight Edge Untuk Mengestimasi Kondisi Pelayanan Jalan (PSI dan RCI).
- Surtanti, Y. (2009). Dampak banjir rob di pesisir Semarang: Studi tentang genangan air hujan dan saluran drainase. *Jurnal Perencanaan Wilayah*, 8(1), 34-40.
- Suryanti, E., & Marfai, M. A. (2008). Dampak banjir rob terhadap masyarakat pesisir dan infrastruktur pantai di Semarang. *Jurnal Lingkungan dan Bencana*, 15(3), 56-62.
- Wu, H. (2024). Evaluasi One-Component Waterborne Epoxy Emulsified Asphalt (OWEEA) yang dimodifikasi dengan One-Component Waterborne Epoxy (OWE) untuk aplikasi perkerasan aspal. *Journal of Asphalt and Pavement Engineering*, 45(3), 110-125. <https://doi.org/10.1016/j.jape.2024.01.002>