

TUGAS AKHIR

ANALISIS ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN SLAG BAJA DAN RESIN UNTUK KONDISI JALAN YANG TERENDAM AIR PASANG (ROB)

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan

Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung



Disusun Oleh:

Aditya Kurniawan

Jorgi Dwi Agung Budiarto

NIM : 30201800005

NIM : 30201800098

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN
PENAMBAHAN SLAG BAJA DAN RESIN UNTUK KONDISI JALAN YANG
TERENDAM AIR PASANG (ROB)



Aditya Kurniawan
NIM : 30201800005



Jorgi Dwi Agung Budiarto
NIM : 30201800098

Telah disetujui dan disahkan di Semarang Februari 2023

Tim Penguji

1. **Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si**
NIDN: 0631057002
2. **Juny Andry Sulisty, ST., MT.**
NIK: 210222097
3. **Lisa Fitriyana, ST., M. eng.**
NIDN: 0631128901

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

NO: 23./A.2./SA-T/18/2022

Pada hari ini tanggalberdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utaman dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Juny Andry Sulisty, ST., MT.
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Aditya Kurniawan
NIM : 30201800005

Jorgi Dwi Agung Budiarto
NIM : 30201800098

Judul :

ANALISIS ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN SLAG BAJA DAN RESIN UNTUK KONDISI JALAN YANG TERENDAM AIR PASANG (ROB)

Dengan tahapan sebagai berikut :

| No | Tahapan | Tanggal | Keterangan |
|----|-----------------------------|------------|------------|
| 1 | Penunjukan Dosen Pembimbing | 22/09/2022 | ACC |
| 2 | Seminar Proposal | 29/11/2022 | ACC |
| 3 | Pengumpulan data | 22/12/2022 | ACC |
| 4 | Analisis data | 05/02/2022 | ACC |
| 5 | Penyusun laporan | 02/07/2023 | ACC |
| 6 | Selesai laporan | 13/07/2023 | ACC |

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

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping

Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si

Juny Andry Sulisty, ST., MT

Mengetahui:

Ketua Program Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Aditya Kurniawan

Nim : 30201800005

Nama : Jorgi Dwi Agung Budiarto

Nim : 30201800098

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

ANALISIS ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN
PENAMBAHAN SLAG BAJA DAN RESIN UNTUK KONDISI JALAN YANG
TERENDAM AIR PASANG (ROB)

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

Demikian surat pernyataan ini kami buat untuk dipergunakan sebagaimana
mestinya.

Semarang, 1 Juli 2023.

Yang membuat pernyataan,



Aditya Kurniawan

30201800005

Jorgi Dwi Agung Budiarto

30201800098

PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Aditya Kurniawan

Nim : 30201800005

Nama : Jorgi Dwi Agung Budiarto

Nim : 30201800098

JUDUL TUGAS AKHIR:

ANALISIS ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN SLAG BAJA DAN RESIN UNTUK KONDISI JALAN YANG TERENDAM AIR PASANG (ROB)


Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Tugas Akhir / Skripsi ini merupakan hasil penelitian. Pemikiran dan pemaparan asli kami sendiri. Kami tidak mencantumkan tanpa bahan – bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung dan perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat pentimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka kami selaku penulis bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini kami buat.

Semarang, 21 Juli / 2023.

Yang membuat pernyataan,


Aditya Kurniawan
30201800005



Jorgi Dwi Agung Budiarto
30201800098

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT. Atas segala rahmat dan karunia yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir / Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Orang tua saya tercinta, Ayah Agung Darmawan dan Ibu Muallimah yang selalu membrikan semangat dan saran yang berguna serta selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Adik saya Kenzie Adli Ananda yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir, serta ponakan saya yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si dosen pembimbing satu yang tidak pernah Lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat serta dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir / Skripsi ini.
4. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing dua yang tidak pernah Lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat serta dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir / Skripsi ini.
5. Lisa Fitriyana, ST., M.eng selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan membantu menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. Dosen - dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikanilmunya.
7. Jorgi Dwi Agung Budiarto (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman – teman semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tidak bisa saya sebut satu – persatu



Aditya Kurniawan

30201800005

10. Teman – teman Teknik Sipil Angkatan 2018 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu



Jorgi Dwi Agung Budiarto

30201800098



KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Modifikasi Dengan Penambahan Slag Baja Dan Resin Untuk Kondisi Jalan Yang Terendam Air Pasang (Rob)”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir / Skripsi ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu saya ingin mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT., Ph. D, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si dosen pembimbing satu yang tidak pernah Lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat serta dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir / Skripsi ini.
4. Bapak Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing dua yang tidak pernah Lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat serta dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir / Skripsi ini.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Kami menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan, baik isi maupun penyusunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir / Skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, Februari 2023

Aditya Kurniawan

Jorgi Dwi Agung Budiarto

DAFTAR ISI

| | |
|--|-------|
| HALAMAN JUDUL..... | i |
| LEMBAR PENGESAHAN | ii |
| BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR | iii |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI | iv |
| PERNYATAAN KEASLIAN..... | v |
| MOTTO | vi |
| PERSEMBAHAN..... | vii |
| PERSEMBAHAN..... | viii |
| KATA PENGANTAR | x |
| DAFTAR ISI..... | xi |
| DAFTAR TABEL..... | xv |
| DAFTAR GAMBAR | xvi |
| <i>Abstract</i> | xvii |
| <i>Abstrak</i> | xviii |
| PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang..... | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah..... | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 2 |
| 1.4 Batasan Masalah | 2 |
| 1.5 Sistematika Penulisan | 3 |
| BAB II..... | 4 |
| TINJAUAN PUSTAKA | 4 |
| 2.1 Pendahuluan..... | 4 |
| 2.2 Karakteristik Beton Aspal..... | 5 |

| | | |
|--------|--|----|
| 2.2.1 | <i>Stabilitas</i> | 5 |
| 2.2.2 | <i>Keawetan atau Durabilitas</i> | 6 |
| 2.2.3 | <i>Kelenturan atau fleksibilitas</i> | 6 |
| 2.2.4 | <i>Ketahanan terhadap kelelahan (fatigue resistance)</i> | 7 |
| 2.2.5 | <i>Kekesatan atau tahanan geser (skid resistance)</i> | 7 |
| 2.2.6 | <i>Kedap air (impermeabilitas)</i> | 7 |
| 2.2.7 | <i>Mudah dilaksanakan (workability)</i> | 7 |
| 2.3 | <i>Agregat</i> | 8 |
| 2.3.1 | <i>Agregat Kasar</i> | 8 |
| 2.3.2 | <i>Agregat Halus</i> | 9 |
| 2.3.3 | <i>Bahan Pengisi (Filler) Untuk Campuran Beraspal</i> | 10 |
| 2.4 | <i>Slag Baja</i> | 10 |
| 2.5 | <i>Epoxy Resin</i> | 11 |
| 2.6 | <i>Gradasi Agregat</i> | 12 |
| 2.7 | <i>Perencanaan Gradasi Campuran</i> | 13 |
| 2.8 | <i>Pengujian Marshall</i> | 14 |
| 2.8.1 | <i>Berat Jenis Bulk Dari Total Agregat</i> | 15 |
| 2.8.2 | <i>Berat Jenis Semu dari Total Agregat</i> | 16 |
| 2.8.3 | <i>Berat Jenis Efektif Agregat</i> | 16 |
| 2.8.4 | <i>Berat Jenis Maksimum Campuran</i> | 16 |
| 2.8.5 | <i>Berat Jenis Bulk Campuran Padat</i> | 17 |
| 2.8.6 | <i>Kepadatan (density)</i> | 17 |
| 2.8.7 | <i>VIM (Void In the Mix)</i> | 17 |
| 2.8.8 | <i>VMA (Void in Mineral Aggregate)</i> | 18 |
| 2.8.9 | <i>VFA (Void Filled with Asphalt)</i> | 18 |
| 2.8.10 | <i>Stabilitas Dan Kelelahan (Flow)</i> | 19 |

| | | |
|----------------------------|--|----|
| 2.9 | <i>Marshal Quotient</i> (MQ)..... | 20 |
| 2.10 | Peneliti Terdahulu..... | 21 |
| 2.11 | Rencana Penelitian..... | 30 |
| 2.11 | Kerangka Berpikir..... | 32 |
| METODOLOGI PENELITIAN..... | | 33 |
| 3.1 | Pendekatan | 33 |
| 3.3 | Keperluan dan Analisis Data | 34 |
| 3.3.1 | Keperluan Data | 34 |
| 3.3.2 | Analisis Data..... | 34 |
| 3.4 | Penentuan Jumlah dan Persiapan Benda Uji..... | 35 |
| 3.5 | Rancangan Campuran | 37 |
| 3.6 | Tahap Pengujian <i>Marshall</i> | 38 |
| 3.5 | Tahapan penelitian | 40 |
| BAB IV | | 41 |
| HASIL DAN PEMBAHASAN..... | | 41 |
| 1.1 | Penyajian Data | 41 |
| 1.1.1 | Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat..... | 41 |
| 1.1.2 | Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal..... | 42 |
| 1.2 | Pembuatan Benda Uji Pada Penentuan KAO | 42 |
| 4.2.1. | Kadar Aspal Optimum (KAO)..... | 42 |
| 4.2.2 | Penentuan Berat Agregat dan Berat Aspal Dalam Campuran | 42 |
| 1.3 | Data Uji <i>Marshall</i> Penentuan Kada Aspal Optimum | 43 |
| 1.4 | Pengujian Air Rob..... | 45 |
| 1.5 | Hasil Perendaman menerus selama 3 hari | 46 |
| 1.6 | Hasil Perendaman menerus selama 7 hari | 51 |
| 1.7 | Hasil Perendaman Menerus 14 Hari | 56 |

| | |
|---------------------------|----|
| BAB V..... | 62 |
| KESIMPULAN DAN SARAN..... | 62 |
| 5.1. Kesimpulan | 62 |
| 5.2. Saran | 62 |
| DAFTAR PUSTAKA | 63 |
| LAMPIRAN..... | 65 |



DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Ketentuan Agregat Kasar | 9 |
| Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Halus | 9 |
| Tabel 2. 3 Persyaratan Kimia dan Fisik | 11 |
| Tabel 2. 4 Persyaratan Sifat-Sifat Material Pilihan..... | 11 |
| Tabel 2. 5 Ukuran Ayakan | 13 |
| Tabel 2. 6 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal | 14 |
| Tabel 2. 7 Faktor koreksi stabilitas | 20 |
| Tabel 2. 8 Tabel Penelitian Terdahulu | 22 |
| Tabel 2. 9 Rencana Penelitian | 31 |
| Tabel 3. 1 Rencana campuran Penelitian | 36 |
| Tabel 4. 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Bahan Agregat..... | 41 |
| Tabel 4. 2. Pemeriksaan Karakteristik aspal pen 60/70 | 42 |
| Tabel 4. 3. Berat aspal dan agregat pada campuran AC-WC..... | 43 |
| Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum | 44 |
| Tabel 4. 5. Hasil Pemeriksaan Air Rob..... | 45 |
| Tabel 4. 6 Hasil perendaman menerus selama 3 | 47 |
| Tabel 4. 7 Hasil Perendaman Menerus 3 hari Resin 0% | 48 |
| Tabel 4. 8 Hasil Perendaman Menerus 3 Hari Resin 5% | 48 |
| Tabel 4. 9 Hasil Perendaman Menerus 3 Hari Resin 7% | 48 |
| Tabel 4. 10 Hasil Perendaman Menerus 3 Hari Resin 10% | 48 |
| Tabel 4. 11 Hasil perendaman menerus selama 7 hari..... | 52 |
| Tabel 4. 12 Hasil Perendaman Menerus 7 hari Resin 0% | 53 |
| Tabel 4. 13 Hasil Perendaman Menerus 7 hari Resin 5% | 53 |
| Tabel 4. 14 Hasil Perendaman Menerus 7 hari Resin 7% | 53 |
| Tabel 4. 15 Hasil Perendaman Menerus 7 hari Resin 10% | 54 |
| Tabel 4. 16 Hasil perendaman menerus selama 14 hari..... | 57 |
| Tabel 4. 17 Hasil Perendaman Menerus 14 hari Resin 0% | 58 |
| Tabel 4. 18 Hasil Perendaman Menerus 14 hari Resin 5% | 58 |
| Tabel 4. 19 Hasil Perendaman Menerus 14 hari Resin 7% | 58 |
| Tabel 4. 20 Hasil Perendaman Menerus 14 hari Resin 10% | 58 |

DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| Gambar 2. 1 Satu Set Ayakan | 12 |
| Gambar 2. 2 Alat <i>Marshall</i> | 15 |
| Gambar 2. 3 Diagram Alur Kerangka Berfikir | 32 |
| Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian | 40 |
| Gambar 4. 1 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) AC-WC | 45 |
| Gambar 4. 2 Grafik VMA perendaman 3 Hari | 49 |
| Gambar 4. 3 Grafik VIM Perendaman 3 Hari..... | 49 |
| Gambar 4. 4 Grafik VFA Perendaman 3 Hari..... | 50 |
| Gambar 4. 5 Grafik Flow Perendaman 3 Hari | 50 |
| Gambar 4. 6 Grafik Stabilitas Perendaman 3 Hari..... | 51 |
| Gambar 4. 7 Grafik VMA perendaman 7 Hari | 54 |
| Gambar 4. 8 Grafik VIM perendaman 7 Hari..... | 55 |
| Gambar 4. 9 Grafik VFA perendaman 7 Hari..... | 55 |
| Gambar 4. 10 Grafik Flow perendaman 7 Hari | 56 |
| Gambar 4. 11 Grafik Stabilitas perendaman 7 Hari..... | 56 |
| Gambar 4. 12 Grafik VMA perendaman 14 Hari | 59 |
| Gambar 4. 13 Grafik VIM perendaman 14 Hari..... | 59 |
| Gambar 4. 14 Grafik VFA perendaman 14 Hari..... | 60 |
| Gambar 4. 15 Grafik Flow perendaman 14 Hari | 60 |
| Gambar 4. 16 Grafik Stabilitas perendaman 14 Hari..... | 61 |

**ANALYSIS OF ASPHALT CONCRETE -WEARING
COURSE(AC-WC) MODIFIED WITH ADDITION OF STEEL
SLAG AND RESIN FOR ROAD CONDITIONS INLOWED IN
TIDE (ROB)**

Abstract

Many things cause damage to road construction, including the influence of excessive vehicle traffic loads, temperature, water (puddles), and pavement construction that does not meet technical requirements. Water (puddle) is one of the causes of damage or reduces durability for road construction with asphalt pavement. The method to be used in this research is experimental research. The data obtained is then processed by taking into account the requirements or standard specifications that have been determined, so as to get the desired comparison results. The resulting values for the use of steel slag are 25% and 50% then for the resin content which are 0%, 5%, 7% and 10% from the results of the tests that have been carried out to get VMA values of 10.720%, 9.450%, 16.610% and 13.545%, only 7% resin content meets the specifications of the Bina Marga. The VMA specification value from Bina Marga is a minimum of 15.00%. Based on the marshal test, the stability value for a mixture of 0%, 3%, 7% and 10% resin content by soaking for 3 and 7 days met the specifications of the Bina Marga. However, the test object with a resin mixture of 0%, 3%, 7% and 10% by soaking for 14 days did not meet the specifications from Bina Marga because the stability value was still below 800kg, while the specification value from Highways was 800kg. Based on the results of the research that has been done, the job mix design for road conditions that are submerged in water. Based on the results of rob water immersion, the longer the immersion in rob water can cause a decrease in the stability value of the asphalt and the flow value which can affect the durability of the asphalt.

KEYWORDS: (AC-WC); Tide; resins; Steel Slags

ANALISIS ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN SLAG BAJA DAN RESIN UNTUK KONDISI JALAN YANG TERENDAM AIR PASANG (ROB)

Abstrak

Banyak hal yang menyebabkan kerusakan pada konstruksi jalan, antara lain akibat pengaruh beban lalu lintas kendaraan yang berlebihan, temperatur, air (genangan), dan konstruksi perkerasan yang kurang memenuhi persyaratan teknis. Air (genangan) merupakan salah satu penyebab kerusakan atau mengurangi keawetan bagi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian percobaan (*experiment*). Data yang diperoleh kemudian diolah dengan memperhatikan syarat-syarat atau standar spesifikasi yang telah ditentukan, sehingga mendapatkan hasil perbandingan yang diinginkan. Nilai yang dihasilkan untuk penggunaan *slag* baja yaitu 25% dan 50% lalu untuk kadar *Resin* yaitu 0%, 5%, 7% dan 10% dari hasil pengujian yang telah dilakukan mendapatkan nilai VMA 10,720%, 9,450 %, 16,610 % dan 13,545 %, hanya kadar resin 7% yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Bina Marga yaitu minimum 15,00%. Berdasarkan uji marshal nilai stabilitas untuk campuran kadar resin 0%, 3%, 7% dan 10% dengan perendaman selama 3 dan 7 hari memenuhi spesifikasi Bina Marga. Namun untuk benda uji dengan campuran resin 0%, 3%, 7% dan 10% dengan perendaman selama 14 hari tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga di karenakan nilai stabilitas masih dibawah 800kg, sedangkan untuk nilai spesifikasi dari Bina Marga adalah 800kg. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka untuk *job mix* design untuk kondisi jalan yang terendam air Rob berada pada campuran aspal dengan kadar resin 7%, dikarenakan hasil dari pengujian memenuhi spesifikasi dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2. Berdasarkan hasil perendaman air rob yang dilakukan, semakin lama perendaman dengan air Rob dapat menyebabkan penurunan nilai stabilitas aspal dan nilai *Flow* (kelelehan) yang dapat mempengaruhi ketahanan aspal.

Kata Kunci : (AC-WC); Air Pasang; Resin; Slag Baja

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Rob atau air pasang adalah banjir air laut atau naiknya permukaan air laut yang diakibatkan oleh air laut yang pasang yang menggenangi daratan. Rob merupakan permasalahan yang terjadi di daerah yang lebih rendah dari permukaan air laut. Di Semarang dan kabupaten Demak permasalahan ini telah cukup lama terjadi dan semakin parah karena terjadi penurunan muka tanah sedang air laut meninggi sebagai akibat pemanasan suhu bumi. Rob juga merupakan bencana alam yang tidak terduga datangnya karena air laut pasang tidak dapat diperkirakan datangnya. Salah satu ciri – ciri akan datangnya bencana Rob yaitu musim penghujan di akhir dan awal tahun. Rob yaitu air yang datang dari laut kemudian air naik ke saluran air kemudian berlanjut ke bahu jalan badan jalan hingga ke rumah-rumah warga yang memiliki permukaan lebih rendah dari air pasang (Sulistyo, 2019).

Pasang surut merupakan fenomena alam mengenai permukaan perairan seperti lautan, yang berubah-ubah tunggang (range) dan ketinggiannya sesuai dengan perubahan posisi bulan dan matahari terhadap bumi menurut fungsi waktu. Pada umumnya, kehidupan manusia sehari-hari yang berkaitan dengan perairan laut dan muara sungai tidak dapat dipisahkan dengan fenomena alam pasang surut, baik secara langsung atau tidak langsung. Hal ini menunjukkan adanya kemungkinan pasang surut dapat mempengaruhi cara hidup, cara kerja dan bahkan budaya dari masyarakat (Suyarso, 1989).

Banyak hal yang menyebabkan kerusakan pada konstruksi jalan, antara lain akibat pengaruh beban lalu lintas kendaraan yang berlebihan, temperatur, air (genangan), dan konstruksi perkerasan yang kurang memenuhi persyaratan teknis. Air (genangan) merupakan salah satu penyebab kerusakan atau mengurangi keawetan bagi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal (Muaya et al., 2015).

Beberapa ruas jalan di Indonesia yang terletak di daerah yang berhubungan dengan pantai mengalami permasalahan dengan genangan air laut yang kebanyakan disebabkan oleh cuaca ekstrem sehingga mengakibatkan terjadinya banjir pasang-

surut atau dengan istilah air rob, yaitu naiknya permukaan air laut yang menggenangi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal (Muaya et al., 2015).

Berdasarkan pemikiran tersebut, penulis melihat bahwa genangan air laut pada konstruksi perkerasan jalan bisa menjadi masalah di setiap jalan di daerah pesisir pantai di Indonesia, oleh karena itu penulis ingin melakukan analisis mengenai *asphalt concrete - wearing course* (AC-WC) dengan penambahan slag baja dan resin untuk kondisi jalan yang terdampak rob.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas adapun rumusan masalah yang di ambil dalam Tugas Akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh campuran aspal (AC-WC) dengan penambahan resin dan slag baja terhadap stabilitas aspal (AC-WC) ?
2. Bagaimana komposisi resin dan slag baja untuk bahan campuran aspal (AC-WC)?
3. Bagaimana pengaruh rendaman air rob terhadap ketahanan aspal (AC-WC) dengan penambahan resin dan slag baja?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian dalam penulisan Tugas Akhir ini, sebagai berikut :

1. Mengkaji pengaruh campuran aspal (AC-WC) dengan penambahan resin dan agregat slag baja terhadap stabilitas aspal (AC-WC).
2. Mendapatkan *Job Mix Design* (JMD) untuk kondisi jalan yang terendam air pasang (ROB).
3. Mengkaji pengaruh lama rendaman air rob terhadap ketahanan aspal (AC-WC) dengan penambahan resin dan slag baja.

1.4 Batasan Masalah

Pada Tugas Akhir ini terkait Analisis *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC) dengan penambahan resin dan slag baja untuk kondisi jalan yang terendam air pasang (ROB), adapun Batasan masalah dalam penulisan Tugas Akhir ini, sebagai berikut :

1. Penelitian akan dilakukan di laboratorium perkerasan jalan fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.
2. Lokasi sumber agregat yang digunakan berasal dari daerah Semarang.
3. Penelitian ini terfokus pada dampak campuran aspal (AC-WC) menggunakan agregat slag baja dengan penambahan resin untuk kondisi jalan yang terendam air pasang (ROB).
4. Pengujian yang dilakukan terhadap benda uji berupa *Marshall* Test meliputi: Stabilitas, Flow, *Marshall quotient*, VIM, VMA dan VFA.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini terdiri dari 5 bab dengan memiliki sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi tentang Latar Belakang, Rumusan Masalah, Batasan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian dan Sistematika Penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi kajian Pustaka dan teori dari berbagai sumber daya yang dibutuhkan untuk dijadikan sebagai acuan penelitian.

BAB III METODOLOGI

Berisi tentang metode pengumpulan data dan metode penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi bagian penting atau isi dari penulisan laporan yakni berupa hasil dari Analisis aspal (AC-WC) menggunakan agregat slag baja dengan penambahan resin untuk kondisi jalan yang terdampak rob dan pengecekan acuan parameter per metode.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang didapat dari hasil Analisis aspal (AC-WC) menggunakan agregat slag baja dengan penambahan resin untuk kondisi jalan yang terdampak rob.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal secara homogen, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan (Sukirman, 2003).

Slag adalah limbah padat bukan logam yang dihasilkan dari proses peleburan logam pada tanur (furnace) dan merupakan kumpulan oksida dalam keadaan lebur dan terpisah dari fasa logam cair selama proses peleburan. Limbah ini berasal dari hasil residu pembakaran tanur tinggi yang dihasilkan oleh industri peleburan baja, yang secara fisik menyerupai agregat (Banurea, 2020).

Saat ini, banyak yang telah berupaya untuk mencari jalan keluar dari masalah tersebut dengan berupaya untuk mencari sebuah zat tambahan, baik yang sifatnya sebagai filler ataupun sebagai zat aditif untuk meningkatkan kualitas dari campuran beton aspal agar tahan terhadap air. Untuk menemukan zat yang cocok tersebut, perlu dilakukan sebuah pengujian dengan mencampurkan zat tersebut ke dalam campuran beton aspal dan melakukan pengujian *Marshall*, kemudian menganalisis pengaruh dari penambahan bahan tersebut. Salah satu bahan yang ingin dicoba adalah perekat *extreme* (Kartolo et al., 2016).

Perekat *extreme* adalah perekat dua komponen yang terdiri dari Resin dan *Hardener*. Fungsi dari *hardener* adalah untuk membuat *epoxy* menjadi keras dalam waktu yang sangat singkat. *Resin* akan diaduk menjadi satu dengan *hardener*, yang kemudian campuran dari kedua bahan tersebut akan mengalami proses pengerasan. Campuran dari kedua bahan ini memiliki daya penyusutan yang rendah, sifat rekat yang baik, tahan terhadap kelembaban udara dan juga tahan terhadap tekanan (Kartolo et al., 2016).

2.2 Karakteristik Beton Aspal

Tujuh karakteristik aspal campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah:

1. Stabilitas.
2. Keawetan (durabilitas).
3. Kelenturan (fleksibilitas).
4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*).
5. Kekesatan Permukaan (Ketahanan Geser).
6. Kedap Air.
7. Mudah untuk dilaksanakan.

2.2.1 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan lalu lintas yang akan dilayani.

Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat membutuhkan perkerasan jalan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan, tentu tidak memerlukan nilai stabilitas yang tinggi. (Sukirman, 2003).

Faktor – faktor yang membentuk stabilitas beton aspal adalah :

1. Gesekan internal berasal dari kekasaran permukaan agregat, luas bidang kontak antar butir agregat, bentuk butir, gradasi, kepadatan campuran dan tebal film aspal. Stabilitas terbentuk dari gesekan internal yang terjadi diantara butir agregat yang saling mengunci. Rongga antar butir di isi oleh agregat berukuran lebih kecil.

Pemilihan agregat tergradasi baik atau rapat akan memperkecil rongga antar agregat, sehingga kepadatan dapat menghasilkan stabilitas yang diharapkan.

2. Kohesi adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara kontak antar butir agregat. Daya kohesi terutama ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan viskositas akibat temperatur, tingkat pembebanan, komposisi kimiawi aspal, efek dari waktu dan umur

aspal. Sifat *rheologi* atau aspal menentukan kepekaan aspal untuk mengeras dan rapuh, yang akan mengurangi daya kohesinya.

2.2.2 Keawetan atau Durabilitas

Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menaha ke-ausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya fil atau selimut aspal, banyaknya rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara homogen, sehingga beton aspal akan lebih kedap air. Dengan demikisan beton aspal memiliki kemampuan menahan ke-ausan, sebaliknya, semakin tebal selimut aspal mengakibatkan beton aspal semakin mudah bleeding (naiknya kepermukaan jalan), yang mengakibatkan jalan semakin licin.

Banyaknya rongga yang tersisa dalam campuran, setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar rongga yang tersisa, beton aspal semakin tidak kedap air. Semakin banyak udara didalam beton aspal, menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara, menjadi getas, dan durabilitasnya menurun (Sukirman, 2003).

2.2.3 Kelenturan atau fleksibilitas

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan podasi atau tanah dasar (kondisi atau *settlement*), tanpa terjadi keretakan. Penurunan terjadi diakibatkan repetisi beban lalu lintas, ataupun akibat berat sendiri dari tanah timbunan yang dibuat atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan menggunakan agregat bergradasi terbuka dan kadar aspal yang tinggi (Sukirman, 2003).

2.2.4 Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat didapatkan jika menggunakan kadar aspal yang tinggi. (Sukirman, 2003).

2.2.5 Kekesatan atau tahanan geser (*skid resistance*)

Kekesatan atau tahanan geser (*Skid Resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir atau pun mengalami slip terutama pada kondisi jalan basah. Faktor – faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan yang sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan butir agregat, luas bidang kontak antar butir, bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Untuk itu agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai daya permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan sehingga permukaan tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan. (Sukirman, 2003).

2.2.6 Kedap air (*impermeabilitas*)

Kedap air (*Impermeabilitas*) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air maupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan fil atau selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah rongga yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kekompakan campuran. Tingkat *impermeabilitas* beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya. (Sukirman, 2003).

2.2.7 Mudah dilaksanakan (*workability*)

Mudah dilaksanakan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepadatan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan. (Sukirman, 2003).

2.3 Agregat

Agregat, batu atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya dalam hal ini pada perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan Sebagian besar oleh karakteristik agregat yang digunakan. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan. (Suhardi, 2016).

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen – fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90 – 95% agregat berdasarkan presentase berat, atau 75 – 85% agregat berdasarkan presentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. (Sukirman, 2003).

2.3.1 Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan. (Banurea, 2020).

Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut SNI 7619:2012 seperti pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Ketentuan Agregat Kasar

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

(Sumber : Bina Marga 2020 revisi 2)

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah bahan yang lewat saringan No.4 dan tertahan saringan N0.200. Biasanya berupa pasir murni hasil screening dari mesin pemecah batu atau kombinasi dari keduanya. (Banurea, 2020).

Agregat halus harus bersih, keras, tahan lama, bebas dari lumpur dan bahan organis. Butiran yang lewat saringan No.40 harus non plastis. Atau mempunyai nilai plastis yang masih dalam batas toleransi. Tidak ada nilai batas gradasi untuk bahan berbutir halus, kecuali bahwa bahan yang lolos saringan No.200 agar tahan lama dan campuran mudah dikerjakan memenuhi tabel 2.2

Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Halus

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

(Sumber : Bina Marga 2020 revisi 2)

Bila pasir berasal dari sumber alam, kehilangan soundness pada material yang tertahan pada saringan No.50 adalah $\leq 15\%$. Bila pasir yang mengandung garam dari sumber di pantai, diyakini tidak mengganggu campuran, bahan tersebut dapat dipakai.

2.3.3 Bahan Pengisi (Filler) Untuk Campuran Beraspal

Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) terdiri atas debu batur kapur (*limestone dust, Calcium Carbonate, CaCO₃*), atau debu kapur padam yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2006), semen atau material yang berasal dari asbuton yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Jika digunakan aspal Modifikasi dari jenis Asbuton yang diproses maka bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) sudah memperhitungkan kadar *filler* yang terkandung dalam Asbuton tersebut. (Banurea, 2020).

Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan – gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (*75 micron*) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya kecuali untuk mineral Asbuton. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) min. 1% dari berat total agregat. (Banurea, 2020)

2.4 Slag Baja

Slag adalah limbah padat bukan logam yang dihasilkan dari proses peleburan logam pada tanur (*furnace*) dan merupakan kumpulan oksida dalam keadaan lebur dan terpisah dari fasa logam cair selama proses peleburan. Limbah ini berasal dari hasil residu pembakara tanur tinggi yang dihasilkan oleh industry peleburan baja, yang secara fisik menyerupai agregat. Slag termasuk limbah B3 (Bahan Berbahaya Beracun), setelah Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) Bersama dengan asosiasi baja melakukan penelitian Bersama. Slag menjadi bahan material lapis fondasi dan lapis fondasi bawah seiring dengan dikeluarkan SNI 8378:2017 dan SNI 8379:2017. Penggunaan slag baja agregat bahan pembangunan jalan setidaknya bisa menggantikan material seperti batu alam yang semakin lama habis karwna ditambang. Persyaratan kiiia dan fidik untuk slag yang akan digunakan harus

memenuhi persyaratan material pilihan slag harus memenuhi persyaratan. (Banurea, 2020).

Tabel 2. 3 Persaratan Kimia dan Fisik

| Sifat Kimia dan Fisik | Standart | Persyaratan |
|-----------------------|---------------------------|-------------|
| Kandungan Sulfur (S) | BS EN 1744-1:2009+A1:2012 | Maks. 2% |
| pH Slag | SNI 6787:2015 | 8-10 |
| Ukuran Slag | SNI ASTM C136:2012 | Maks. 75 mm |

(Sumber : SNI 8378:2017)

Tabel 2. 4 Persyaratan Sifat-Sifat Material Pilihan

| Sifat Kimia dan Fisik | Standart | Persyaratan |
|-----------------------|--------------------------|-------------|
| CBR Rendaman | SNI 1744:2012 | Min. 35% |
| Pengembangan | ASTM D479/D4792M-13:2013 | Maks. 0,5% |

(Sumber: SNI 8379: 2017)

2.5 Epoxy Resin

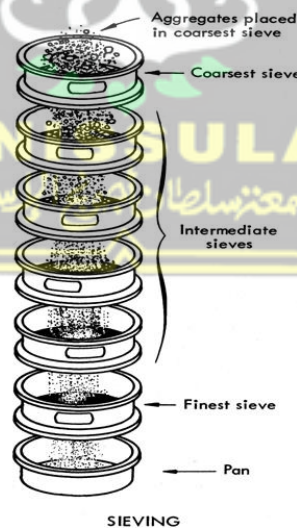
Epoxy Resin dibentuk lewat reaksi kimia secara *in situ* dan *hardener* atau *resin* dengan katalis dicampur dalam satu tempat kemudian terjadilah proses pengerasan (*polimerisasi*). Sekali terjadi pengerasan, *Epoxy* tidak biasa mencair kembali sekalipun dilakukan pemanasan sehingga *resin* ini memiliki karakteristik mekanik yang bagus, daya penyusutan yang rendah perekat yang bagus untuk banyak bahan logam, dan tahan terhadap kelembaban udara serta tahan terhadap tekanan. Namun, pada temperatur tertentu terjadi perubahan sifat mekanik yang signifikan. Temperatur saat terjadi perubahan yang signifikan ini dikenal sebagai suhu transisi gelas (*Tg*). Diatas temperatur gelas tersebut, struktur molekul dari termoset berubah dari polimer kristal yang keras menjadi polimer yang lebih *flexible*. Selain itu, modulus resi juga turun secara drastis sehingga daya tekan dan kekuatannya berkurang. Ketahanan terhadap air dan stabilitas warna juga berkurang pada saat suhu diatas temperatur gelas ini. Oleh sebab itu perlu dilakukan pembuatan

nanokomposit dengan cara menyiapkan/ melapisi *epoxy* resin dengan nanopartikel lain, seperti nano partikel *Titanium Dioksida* (TiO_2). (Firmansyah & Astuti, 2013).

2.6 Gradasi Agregat

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai dengan ukurannya, merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pengujian analisis ayakan. Satu set ayakan umumnya terdiri dari ayakan berukuran 4 inchi, 3 ½ inchi, 3 inchi, 1 ½ inchi, 1 inchi, ¾ inchi, 3/8 inchi, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100 dan No.200. ukuran ayakan dalam ukuran panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor ayakan menunjukkan banyaknya dalam 1 inchi panjang. Tabel. 2.5 menunjukkan bukaan masing – masing ayakan berdasarkan AASHTO. Gradasi agregat diperoleh dari hasil pengujian dan analisis dengan menggunakan 1 set ayakan. Ayakan berukuran bukaan palih besar ditempatkan dipaling atas, dan yang halus (No.200), di tempatkan dipaling bawah diatas pan. (Sukirman, 2003).

Jadi satu set ayakan dimulai dai pan dan di akhiri dengan tutup ayakan. Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Penyusunan Satu Set Ayakan

(Sumber : <https://jualbatuagregatsplit.files.wordpress.com>)

Tabel 2. 5 Ukuran Ayakan

| Ukuran Ayakan | Bukaan Ayakan (mm) |
|---------------|--------------------|
| 4 inci | 100 |
| 3 ½ inci | 90 |
| 3 inci | 75 |
| 2 ½ inci | 63 |
| 2 inci | 50 |
| 1 ½ inci | 37,5 |
| ¾ inci | 25 |
| ½ inci | 19 |
| 3/8 inci | 9,5 |
| No.4 | 4,75 |
| No.8 | 2,36 |
| No16 | 1,18 |
| No.30 | 0,6 |
| No.50 | 0,3 |
| No.100 | 0,15 |
| No.200 | 0,075 |

(Sumber : SNI ASTM C136:2012)

2.7 Perencanaan Gradasi Campuran

Pemilihan gradasi agregat campuran sangat penting dalam komposisi aspal. Jenis campuran yang akan digunakan untuk pembuatan benda uji adalah campuran aspal AC – WC. (Banurea, 2020)

Spesifikasi Gradasi campuran aspal AC–WC menurut Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah 2004 terlihat pada tabel 2.6.

Tabel 2. 6 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

| Ukuran Ayakan | | % Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat | | | | | | | |
|---------------|-------|---|--------|--------|--------------|--------|-------------|--------|--------|
| | | Stone Matrix Asphalt (SMA) | | | Laston (HRS) | | Laston (AC) | | |
| ASTM | (mm) | Tipis | Halus | Kasar | WC | Base | AC | BC | Base |
| 1 ½" | 37,5 | | | | | | | | 100 |
| 1" | 25 | | | 100 | | | | 100 | 90-100 |
| ¾" | 19 | | 100 | 90-100 | 100 | 100 | 100 | 90-100 | 76-90 |
| ½" | 12,5 | 100 | 90-100 | 50-88 | 90-100 | 90-100 | 90-100 | 75-90 | 60-78 |
| 3/8" | 9,5 | 70-95 | 50-80 | 25-60 | 75-85 | 65-90 | 77-90 | 66-82 | 52-71 |
| No.4 | 4,75 | 30-50 | 20-35 | 20-28 | | | 53-69 | 46-64 | 35-54 |
| No.8 | 2,36 | 20-30 | 16-24 | 16-24 | 50-72 | 35-55 | 33-53 | 30-49 | 23-41 |
| No.16 | 1,18 | 14-21 | | | | | 21-40 | 18-38 | 13-30 |
| No.30 | 0,600 | 12-18 | | | 35-60 | 15-35 | 14-30 | 12-28 | 10-15 |
| No.50 | 0,300 | 10-15 | | | | | 9-22 | 7-20 | 6-15 |
| No.100 | 0,150 | | | | | | 6-15 | 5-13 | 4-10 |
| No.200 | 0,075 | 8-12 | 8-11 | 8-11 | 6-10 | 2-9 | 4-9 | 4-8 | 3-7 |

(Sumber : Bina marga 2020 revisi 2)

2.8 Pengujian Marshall

Kinerja beton aspal padat ditentukan dari pengujian benda uji yang meliputi:

1. Pengujian berat volume benda uji.
2. Pengujian stabilitas.
3. Pengujian kelelahan (*flow*)
4. Perhitungan *marshall quotient*, yaitu perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*.
5. Perhitungan berbagai jenis volume rongga dalam beton aspal padat (VIM, VMA dan VFA).
6. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

Pengujian kinerja betonaspal padat dilakukan melalui pengujian *marshall*, yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce marshall dan dilanjutkan oleh U.S. Corps Engineer. Alat *marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan cincin penguin (*proving ring*) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbf) dan *flow meter* seperti pada gambar 2.2



Gambar 2. 2 Alat *Marshall*

(Sumber : <https://www.indotrading.com/>)

Dari keenam butir pengujian yang umum untuk menentukan kinerja beton aspal, hanya nilai stabilitas dan *flow* yang ditentukan dengan menggunakan alat *marshall*, sedangkan parameter lainnya ditentukan melalui penimbangan benda uji, dan perhitungan.

Uji *marshall* dilakukan unruk berbagai tujuan antara lain:

1. Sebagai bagian dalam proses merancang campuran beton aspal.
2. Sebagai bagian dalam sistem penjaminan mutu campuran.
3. Sebagai bagian dari penelitian karakteristik beton aspal.

Proses pembuatan benda uji *marshall* dapat berbeda sesuai dengan tujuan mengapa uji *marshall* perlu dilakukan. Oleh karena itu sebelum benda uji disiapkan perlu dipastikan tujuan pengujian dilakukan. (Sukirman, 2003).

Secar garis besar pengujian *marshall* meliputi:

1. Pembuatan benda uji.
2. Pengujian berat jenis *bulk* benda uji.
3. Pengujian stabilitas dan *flow*.
4. Perhitungan *volumetric* benda uji.

2.8.1 Berat Jenis Bulk Dari Total Agregat

Berat jenis *bulk* adalah perbandingan antara berat bahan diudara (termasuk rongga yang cukup kedap dan yang menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air suling serta volume yang sama pada suhu tertentu pula. Setiap

masing – masing fraksi dari agregat (agregat kasar, agregat halus dan *filler*) mempunyai nilai berat jenis *bulk* sendiri – sendiri. (Banurea, 2020).

Berikut adalah rumus untuk mencari berat jenis *Bulk* dari total agregat:

$$G_{sbtotal} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sb1}} + \frac{P_2}{G_{sb2}} + \frac{P_3}{G_{sb3}} + \frac{P_n}{G_{sbn}}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan :

- $G_{sbtotal}$: Berat jenis *Bulk* agregat gabungan , (gr/cc)
- P_1, P_2, P_3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)
- $G_{sb1}, G_{sb2}, G_{sb3}$: Berat jenis *Bulk* masing-masing agregat, (gr/cc)

2.8.2 Berat Jenis Semu dari Total Agregat

Berikut adalah rumus untuk mencari nilai dari berat jenis semu dari total agregat:

$$G_{satotal} = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_{sa1}} + \frac{P_2}{G_{sa2}} + \frac{P_3}{G_{sa3}} + \frac{P_n}{G_{san}}} \dots \dots \dots (2.2)$$

- $G_{satotal}$: Berat jenis semu agregat gabungan , (gr/cc)
- P_1, P_2, P_3 : Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)
- $G_{sa1}, G_{sa2}, G_{sa3}$: Berat jenis semu masing-masing agregat, (gr/cc)

2.8.3 Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif adalah perbandingan antara berat bahan diudara (tidak termasuk rongga yang menyerap aspal) pada satuan volume dan suhu tertentu dengan berat air destilasi dengan volume yang sama dan suhu tertentu. Berat jenis efektif total agregat dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan :

- G_{se} : Berat jenis efektif total agregat, (gr/cc)
- G_{sb} : Berat jenis *Bulk* agregat, (gr/cc)
- G_{sa} : Berat jenis semu agregat, (gr/cc)

2.8.4 Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran diperlukan untuk mencari atau menghitung kadar rongga udara dalam campuran. Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari berat jenis maksimum campuran:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_{mm}-P_b}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

- G_{mm} : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)
- P_{mm} : Persentase berat total campuran (=100)
- P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)
- P_b : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)
- G_{se} : Berat jenis efektif agregat (gr/cc)
- G_b : Berat jenis aspal (gr/cc)

2.8.5 Berat Jenis Bulk Campuran Padat

Berat jenis *bulk* campuran padat dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$G_{mb} = \frac{W_a}{V_{Bulk}} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

- G_{mb} : Berat jenis campuran setelah dipadatkan (gr/cc)
- V_{Bulk} : Volume campuran setelah pemadatan (cc)
- W_a : Berat di udara (gr)

2.8.6 Kepadatan (*density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai kepadatan dihitung dengan rumus sebagai berikut ini:

$$\text{Kepadatan} = \frac{W_m}{W_{mssd} - W_{mpw}} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

- W_m : Berat benda uji kering (gr)
- W_{mssd} : Berat benda uji ssd setelah dipadatkan (gr)
- W_{mpw} : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

2.8.7 VIM (*Void In the Mix*)

VIM merupakan presentase rongga yang terdapat dalam total campura. Syarat nilai VIM adalah sekitar 3% - 5% sesuai dengan spesifikasi Binamarga 2010. Nilai Vim dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VIM = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100 \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

- VIM : Rongga udara pada campuran (%)
- G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cc)
- G_{mb} : Berat jenis *Bulk* campuran setelah pemadatan (gr/cc)

2.8.8 VMA (Void in Mineral Aggregate)

Vma adalah kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (termasuk volume aspal yang diserap agregat). Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimal 15% sesuai dengan persyaratan dari Binamarga. VMA dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VMA = \frac{100 (G_{sb} - G_{mb}) + G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan :

- VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)
- G_{mb} : Berat jenis *Bulk* campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- G_{sb} : Berat jenis *Bulk* dari total agregat (gr/cc)
- P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

2.8.9 VFA (Void Filled with Asphalt)

VFA merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA yang disyaratkan adalah minimal 65%. Nilai VFA dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan :

- VFA : Persentase rongga udara yang terisi aspal (%)
- VMA : Persentase rongga udara pada mineral agregat (%)
- VIM : Persentase rongga udara pada campuran (%)

2.8.10 Stabilitas Dan Kelelahan (Flow)

Pengujian stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, dan *flowmeter* mengukur besarnya kelelahan yang terjadi akibat beban. Untuk mendapatkan suhu benda uji sesuai dengan suhu terpanas dilapangan, maka sebelum dilakukan pengujian, benda uji dipanaskan terlebih dahulu selama 30 atau 40 menit dengan temperatur 60⁰C didalam *waterbath*. (Banurea, 2020).

Pengukuran dilakukan dengan menempatkan benda uji pada alat *marshall*, dan beban diberikan kepada benda uji dengan kecepatan 2 inchi/menit atau 51mm/menit. Beban pada saat terjadi keruntuhan dibaca pada arloji pengukur dari *proving Ring*, kelelahan yang terjadi pada saat itu merupakan nilai kelelahan (*flow*) yang dapat dibaca pada *flowmeter*nya. Nilai stabilitas merupakan nilai arloji pengukur dikalikan dengan nilai kalibrasi *proving Ring*, dan dikoreksi dengan angka koreksi akibat variasi ketinggian benda uji berbeda. (Banurea, 2020).

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian dengan alat *marshall test*. Selanjutnya dicocokkan dengan angka kalibrasi *proving ring* dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji. Berikut adalah rumus untuk menentukan nilai stabilitas:

$$S = p \times q \dots\dots\dots (2.10)$$

- Keterangan :
- S : Nilai Stabilitas (kg)
 - P : Pembacaan arloji satbilitas x kalibrasi alat
 - Q : angka korelasi tebal benda uji

Tabel 2. 7 Faktor koreksi stabilitas

| Isi | Tebal Benda Uji | Angka Koreksi |
|---------|-----------------|---------------|
| 200-213 | 25.4 | 5.56 |
| 214-225 | 27 | 5.00 |
| 226-237 | 28.6 | 4.55 |
| 238-250 | 30.2 | 4.17 |
| 251-264 | 31.8 | 3.85 |
| 265-276 | 33.3 | 3.57 |
| 277-289 | 34.9 | 3.33 |
| 290-301 | 35.5 | 3.03 |
| 302-316 | 38.1 | 2.78 |
| 317-328 | 39.7 | 2.5 |
| 329-340 | 41.3 | 2.27 |
| 341-353 | 42.9 | 2.08 |
| 354-367 | 44.4 | 1.92 |
| 368-379 | 46 | 1.79 |
| 380-392 | 47.6 | 1.67 |
| 393-405 | 49.2 | 1.56 |
| 406-420 | 50.8 | 1.47 |
| 421-431 | 52.4 | 1.39 |
| 432-443 | 54 | 1.32 |
| 444-456 | 55.6 | 1.25 |
| 457-470 | 57.2 | 1.19 |
| 471-482 | 58.7 | 1.14 |
| 483-495 | 60.3 | 1.09 |
| 496-508 | 61.9 | 1.04 |
| 509-522 | 63.5 | 1.00 |
| 523-535 | 65.1 | 0.96 |
| 536-546 | 66.7 | 0.93 |
| 547-559 | 68.3 | 0.89 |
| 560-573 | 69.9 | 0.86 |
| 574-585 | 71.4 | 0.83 |
| 586-598 | 73 | 0.81 |
| 599-610 | 74.6 | 0.78 |
| 611-625 | 76.2 | 0.76 |

(sumber : SNI 06-2489-1991)

2.9 Marshal Quotient (MQ)

Nilai *marshall quotient* menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Bila nilai *marshal quotient* terlalu tinggi, maka campuran akan cenderung terlalu kaku dan mudah retak. Sebaliknya bila nilai *marshal quotient* terlalu lentur maka cenderung stabil.

Dari hasil yang telah didapat tersebut dapat diperoleh kadar aspal optimum (KAO) berdasarkan kriteria dibatas, untuk kemampuan campuran yang sesuai dengan standar Binamarga.

Dalam perencanaan campuran aspal yang ideal maka harus memenuhi syarat antara stabilitas yang tinggi, fleksibilitas yang renda, rongga pori yang kecil, dan rongga dalam campuran yang kecil.

Marshal quotient adalah hasil dari bagi antara stablitas dengan nilai *flow*. Nilai *marshal quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm sesuai dengan persyaratan / spesifikasi dari Binamarga 2010. (Banurea, 2020)

Nilai *marshall wuotient* dapat diperoleh dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$MQ = S / F \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

MQ : Nilai *Marshall quotient* (kg/mm)

S : Nilai stabilitas (kg)

F : Nilai *flow* (mm)

2.10 Peneliti Terdahulu

Peneliti terdahulu dicantumkan bertujuan untuk mendapatkan bahan pembanding serta acuan. Selain itu untuk menghindari kesamaan dengan penelitian ini. Maka dalam Tinjauan Pustaka ini peneliti mencantumkan hasil; penelitan terdahulu sebagai berikut:

Tabel 2. 8 Tabel Penelitian Terdahulu

| No | Judul Penelitian | Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|--|---|---|---|---|--|
| Penelitian terdahulu tentang aspal (AC-WC) dengan penambahan slag baja | | | | | |
| 1 | Kinerja Campuran Lapis Aus (AC -WC) yang memakai Material Rap dan Slag Sebagai Bahan Pengganti Agregat. (2016). | Rindu Twidi Bethary, Dwi Esti Intari, Septian | Tujuan penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi sifat campuran hasil pengujian <i>marshall</i> dari campuran Laston Aus (AC – WC) memakai material hasil daur ulang dengan modifikasi agregat slag dan yang tanpa dimodifikasi slag. | Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Peneliti melakukan eksperimen terhadap karakteristik <i>marshall</i> dan penambahan abu slag baja sebagai <i>filler</i> Laston (AC – WC) sesuai depesifikasi Binamrga 2010 Divisi 6 Revisi ke- III. | Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada campuran aspal beton laj[s aus, dapat disimpulkan bahwa penambahan slag pada campuran lapis aus meningkatkan kekuatan campuran dengan naiknya nilai stabilitas, hal ini dikarenakan slag memiliki daya adhesi yang kasar. Campuran yang ditambahkan dengan material daur ulang keawetan pada campuran naik karena nilai VFB meningkat. |

| No | Judul Penelitian | Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|----|---|----------------------|---|---|--|
| 2 | Pengaruh <i>Steel Slag</i> Sebagai Substitusi Agregat Kasar Dan Aspal Starbit E60 Sebagai Bahan Ikat Pada Perkerasan Campuran <i>Asphalt Concrete-Wearing Coarse (Ac-Wc)</i> . (2021) | Adyatma Arif Nugraha | <i>Steel Slag</i> masih dalam kategori limbah berbahaya yang bisa dimanfaatkan, berkaitan dengan hal tersebut maka peneliti melakukan penelitian menggunakan <i>Steel Slag</i> sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran AC-WC serta menggunakan aspal <i>polymer Starbit E60</i> dan Aspal Pen 60/70 sebagai bahan ikat. | Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian percobaan (experiment). Penelitian percobaan (experiment) yaitu suatu penelitian yang dilakukan dengan percobaan di laboratorium untuk mendapatkan data. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan memperhatikan syarat-syarat atau standar spesifikasi yang telah ditentukan, sehingga mendapatkan hasil perbandingan yang diinginkan | Dari hasil pengujian menyatakan bahwa persentase maksimum substitusi <i>Steel Slag</i> sebesar 50% baik pada campuran yang menggunakan Starbit E60 maupun yang menggunakan Pen 60/70 sebagai bahan ikat, dikarenakan substitusi diatas 50% tidak memenuhi persyaratan pada parameter <i>Marshall</i> yaitu VITM, pada campuran ini juga terjadi peneurunan VMA seiring dengan naiknya substitusi <i>Steel Slag</i> . Penggunaan <i>Steel Slag</i> juga meningkatkan nilai Stabilitas <i>Marshall</i> dan menaikan kekuatan Tarik tidak langsung yang diperoleh dari pengujian ITS, dalam hal ini penggunaan aspal <i>Starbit</i> terbukti lebih baik dalam hal meningkatkan nilai ITS dan Parameter <i>Marshall</i> . Dalam pengujian immersion diketahui bahwa starbit memiliki peran dalam |

| No | Judul Penelitian | Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|----|---|--|---|---|---|
| | | | | | ketahan campuran pada kondisi suhu yang ekstrem, dibandingkan dengan aspal Pen 60/70 sedangkan dalam pengujian Cantabro penggunaan Steel Slag menurunkan nilai Cantabro Loss dikarenakan Steel Slag memiliki Sifat interlocking agregat yang kuat, serta penggunaan Starbit E60 juga terbukti menurunkan nilai Cantabro loss dibandingkan dengan campuran yang menggunakan Aspal Pen 60/70. Nilai Stiffnes Modulus pada campuran juga semakin meningkat seiring dengan naiknya substitusi Steel Slag. |
| 3 | Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang Surut terhadap Campuran Lapis Aspal Beton AC-WC dengan Modifikasi Steel slag Ramah Lingkungan. (2021) | Emil Adly, Farras Luthfir Rahman | Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi campuran perkerasan apal dengan menggunakan steel slag yang direndam dengan air laut dengan durasi air laut 6, 12 dan 24 jam dan diuji dengan menggunakan <i>Marshall test</i> . | menginvestigasi campuran perkerasan aspal dengan menggunakan steel slag yang direndam dengan air laut dengan durasi air laut 6, 12 dan 24 jam dan diuji dengan menggunakan <i>Marshall test</i> . | Hasil pengujian didapatkan nilai karakteristik <i>Marshall</i> berupa <i>density</i> , VFA (<i>Void Filled Asphalt</i>), stabilitas, VIM (<i>Void In the Mix</i>), VMA (<i>Void in Mineral Agregate</i>) memenuhi kriteria standar kecuali nilai <i>flow</i> . |

| No | Judul Penelitian | Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|--|---|-------------------------|--|--|---|
| Penelitian terdahulu tentang aspal (AC-WC) dengan penambahan slag baja | | | | | |
| 1 | Penambahan <i>Gilsonite</i> Resin Pada Aspal Prima 55 untuk Meningkatkan Kualitas Perkerasan <i>Hot Mix</i> .(2007) | Rachmad Basuki, Machsus | Dari latar belakang tersebut, timbulah ide untuk meneliti bagaimana jika Aspal Prima 55 yang sudah diproduksi oleh Pertamina tersebut ditingkatkan kualitasnya dengan modifier <i>Gilsonite</i> Resin sebagaimana penelitian sebelumnya untuk membuat perkerasan <i>Hot Mix</i> memenuhi spesifikasi dan lebih awet. | Aspal Prima 55 yang sudah diproduksi oleh Pertamina tersebut ditingkatkan kualitasnya dengan modifier <i>Gilsonite</i> Resin sebagaimana penelitian sebelumnya untuk membuat perkerasan Hot Mix memenuhi spesifikasi dan lebih awet. | Hasil pengujian kualitas Aspal Prima 55 menunjukkan bahwa sifat-sifat fisik aspal : penetrasi, titik nyala dan titik lembek tidak memenuhi spesifikasi aspal multigrade, kecuali berat jenis dan daktilitas. Penambahan <i>Gilsonite</i> Resin dalam penelitian ini menjadikan kualitas Aspal Prima 55 dapat memenuhi spesifikasi aspal <i>multigrade</i> , sehingga kualitas perkerasan <i>Hot Mix</i> jenis HRS B, AC dan ATB yang menggunakan aspal prima 55 dapat ditingkatkan. |

| No | Judul Penelitian | Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|----|---|---|---|---|---|
| 2 | Pengaruh Penambahan Gilsonite Resin Pada Campuran Beton Aspal. (2016) | Yosef Putuhena, Anastasia Wardaningrum, Arutu Elkarsa, Lidya Suryatenggara, | Perkerasan jalan merupakan bagian terpenting dalam desain pembuatan jalan sehingga perlu adanya inovasi formula baru untuk membuat jenis perkerasan yang berkualitas dan efisien dalam penggunaan material dan dapat meningkatkan mutu perkerasan tersebut. | Setelah diperoleh data, selanjutnya dilakukan analisis data dari setiap pengujian untuk mengetahui kandungan dari setiap material yang digunakan dalam standarisasi SNI 06-2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat <i>Marshall</i> dan SNI 06-2434-1991 tentang analisis saringan agregat halus dan agregat kasar [6]. Agregat dikeringkan pada suhu (105-110)°C minimum selama empat jam, dikeluarkan dari alat pengering, dan tunggu sampai beratnya tetap [7]. Sesuai SNI 03-1969-1990 mengenai metode pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar, agregat dipisahkan ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan. Aspal dipanaskan sampai mencapai tingkat kekentalan yang disyaratkan, baik untuk pekerjaan pencampuran maupun pemadatan | Hasil perolehan kadar <i>gilsonite</i> resin optimum berdasarkan hasil uji tiap parameter <i>Marshall</i> yang memenuhi persyaratan, yaitu untuk berat jenis <i>Bulk</i> adalah kadar 0-12%, VMA 0-12%, VFA 0-12%, stabilitas 0-12%, dan kelelahan 0-12%. Dari hasil pengujian tersebut, pemakaian <i>gilsonite</i> resin pada campuran beton aspal akan menurunkan nilai berat jenis <i>Bulk</i> campuran aspal, menaikkan nilai VIM dan VMA, menurunkan nilai VFA, menaikkan nilai stabilitas, dan menurunkan kelelahan dari beton aspal. Kadar <i>gilsonite</i> resin 8% menghasilkan nilai stabilitas tertinggi, yaitu 1.902,85 kg. Terjadi peningkatan sebesar 22,06% dari nilai stabilitas jika tidak menggunakan <i>gilsonite</i> resin. |

| No | Judul Penelitian | Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|----|---|---|--|--|--|
| 3 | pengaruh penambahan dempul epoxy pada campuran beton aspal (2016) | Jason Kartolo, Aditya Sanjaya Putra, Deviyanti Yosuanita, Enma Mediawati Sebayang | Rusaknya lapisan perkerasan jalan dapat disebabkan oleh berbagai hal, seperti terendahnya lapisan tersebut oleh air, beban lalu lintas yang berlebihan, dan komposisi perkerasan yang kurang sesuai. Persoalan rusaknya lapisan perkerasan jalan tersebut membuat bidang Jalan Raya dan Transportasi mencoba mencari penyelesaian dari masalah tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan penambahan berbagai bahan perekat epoxy yang dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan dari lapisan perkerasan jalan. Perekat epoxy mengandung resin dan hardener yang mampu menaikkan parameter jalan. | Data yang telah dianalisis melalui penelitian ini adalah data tentang stabilitas dan flow dempul epoxy dengan kadar 8%, 10%, dan 15%. Nilai persentase penambahan dempul epoxy ini dilakukan dengan trial and error. Untuk mendapatkan data stabilitas dan flow, digunakan tiga buah sample untuk masing-masing kadar. | Penambahan perekat epoxy sebesar 8% dapat menambahkan stabilitas menjadi 1.066,97 dan <i>flow</i> -nya menjadi 5,177. Penambahan perekat <i>epoxy</i> sebesar 10% dapat menambahkan stabilitas menjadi 1.073,81 dan <i>flow</i> -nya menjadi 4,583. Penambahan <i>epoxy</i> sebesar 15% juga dapat meningkatkan stabilitas menjadi 1.615,84 dan <i>flow</i> -nya menjadi 3,99. Dengan menambahkan perekat <i>epoxy</i> sebesar 10% dapat meningkatkan stabilitas dan mengurangi nilai <i>flow</i> -nya secara optimum. |

| No | Judul Penelitian | Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|----|---|---|---|---|---|
| 4 | Modifikasi Campuran Perkerasan Laston Ac – Wc Dengan Penambahan Kadar 8% Gilsonite Resin (2018) | Shazna Dinda Yuskiyani Putri, Kurnia Hadi Putra | Tujuan dalam penelitian ini yaitu mengetahui kualitas dari modifikasi campuran Laston AC – WC dengan penambahan <i>Gilsonite</i> Resin. Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode kualitatif dengan menganalisa hasil uji dari <i>Marshall Test</i> . | Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode kualitatif dengan menganalisa hasil uji dari <i>Marshall Test</i> . Pada penelitian ini pembuatan benda uji mengacu pada Spesifikasi Departement Pekerjaan Umum Tahun 2018. | Hasil pengujian kualitas dari campuran dengan menggunakan <i>Gilsonite</i> Resin didapatkan bahwa pada kadar 8% memiliki tingkat stabilitas yang paling tinggi yaitu 1274,6 Kg, sedangkang <i>flow</i> dengan nilai 2,70 mm, nilai <i>Marshall Qutient</i> dengan nilai 472,092 kg/mm, nilai. Stabilitas dan <i>flow</i> untuk semua kadar <i>gilsonite</i> memenuhi Spesifikasi yang ditentukan, namun untuk hasil dari VIM dan VMA menurun seiring dengan meningkatnya kadar <i>Gilsonite</i> Resin yang ditambahkan. Untuk nilai VIM yaitu 15,12 dan nilai VFB sebesar 77,20 secara menyeluruh pada semua kadar <i>Gilsonite</i> Resin yang ditambahkan memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan oleh Spesifikasi Departement Pekerjaan Umum Tahun 2018. |

| No | Judul Penelitian | Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil Penelitian |
|----|---|---|--|---|--|
| 5 | Tinjauan Durabilitas Campuran <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i> Menggunakan Aspal Tua Dengan Berbagai Bahan Peremaja. (2020) | Ratna Yuniarti, Desi Widianty, Rohani, Hasyim | Tulisan ini ingin mengkaji durabilitas (keawetan) dari campuran aspal <i>concrete wearing course</i> menggunakan aspal tua yang telah diremajakan dengan bahan peremaja minyak jelantah, minyak tanah dan oli bekas serta resin <i>epoxy</i> . | Pengujian tersebut menggunakan aspal penetrasi 60/70 yang dituakan melalui pengovenan selama 120 jam pada suhu 85 °C. | Penuaan aspal dilakukan dengan pemanasan pada suhu 85 °C selama 120 jam (<i>long term oven aging</i>). Durabilitas diukur dari nilai <i>Marshall immersion</i> yang menunjukkan daya tahan campuran terhadap rendaman air serta hubungan antara <i>Marshall immersion</i> dengan nilai rongga dalam campuran (VIM), rongga di antara mineral agregat (VMA), rongga yang terisi aspal (VFB) dan <i>density</i> (kepadatan). Berdasarkan analisa yang dilakukan disimpulkan bahwa penggunaan bahan peremaja minyak jelantah, minyak tanah dan oli bekas serta resin <i>epoxy</i> dapat meningkatkan durabilitas dari campuran aspal yang telah mengalami penuaan |

2.11 Rencana Penelitian

Rencana Penelitian bertujuan untuk menunjukkan rencana peneliti dari tujuan, metode yang digunakan dan hasil yang diharapkan. Adapun rencana penelitian dapat dilihat sebagai berikut ini:



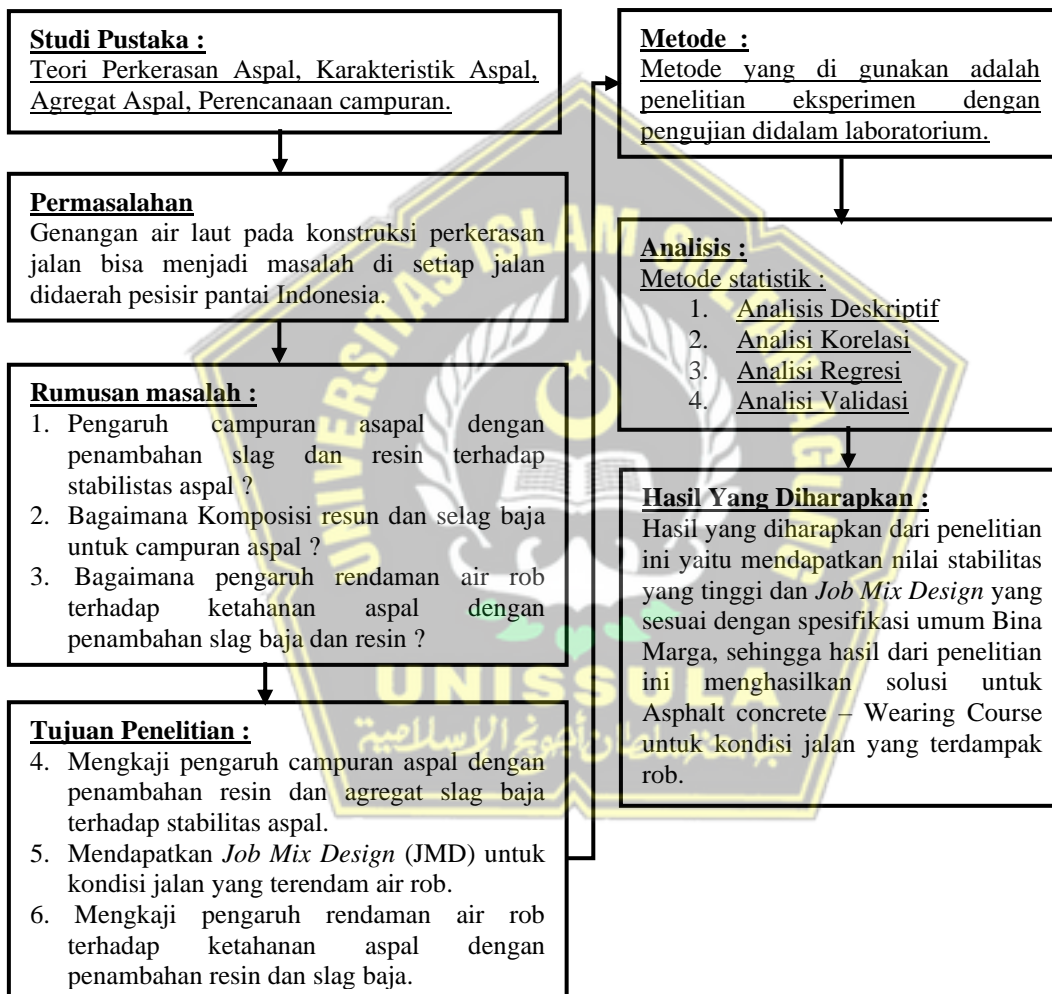
Tabel 2. 9 Rencana Penelitian

| No | Judul Penelitian | Peneliti | Tujuan Penelitian | Metode Penelitian | Hasil yang Diharapkan |
|----|--|--|---|--|---|
| 1 | Analisis Aspal Beton Lapis Aus (Ac-Wc) Modifikasi Dengan Penambahan Slag Baja Dan Resin Untuk Kondisi Jalan Yang Terendam Air Pasang (Rob). (2022) | Aditya Kurniawan, Jorgi Dwi Agung Budiarto | Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi nilai stabilitas <i>Asphalt Concrete- Wearing Course</i> dengan campuran slag baja dan resin yang direndam dengan air rob, dengan komposisi 50% slag baja dan kadar campuran resin 5%, 7% dan 10%. | Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan menganalisa hasil uji dari <i>Marshall Test</i> . Pada penelitian ini pembuatan benda uji mengacu pada Spesifikasi umum Bina Marga. | Hasil yang diharapkan dari penelitian ini yaitu mendapatkan nilai stabilitas yang tinggi dan <i>Job Mix Design</i> yang sesuai dengan spesifikasi umum Bina Marga, sehingga hasil dari penelitian ini menghasilkan solusi untuk Asphalt concrete – Wearing Course untuk kondisi jalan yang terdampak rob. |



2.11 Kerangka Berpikir

Berdasarkan informasi dari studi pustaka dan perkembangan penelitian yang sudah dilakukan diberbagai lokasi dengan kadar resin, menyatakan bahwa profil temperatur perkerasan aspal secara langsung dipengaruhi oleh rendaman air. Kerangka pikir penelitian ini tertuang dalam Gambar 2.3. yang menguraikan tentang konseptual permasalahan, konsep penanganan permasalahan, konsep tahapan dan prosedur, konsep skenario penelitian, konsep metode analisa dan konsep evaluasi.



Gambar 2.3 Diagram Alur Kerangka Berfikir

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Pendekatan

Metode penelitian yaitu suatu cara mengambil, menganalisis dan mengidentifikasi *variable* penelitian untuk mencari penyelesaian masalah dari pokok permasalahan penelitian yang akan dilakukan. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian percobaan (eksperimen). Penelitian percobaan (eksperimen) adalah suatu metode penelitian yang dilakukan dengan percobaan di laboratorium untuk mendapatkan data. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan memperhatikan syarat – syarat atau spesifikasi yang telah ditentukan, sehingga mendapatkan hasil perbandingan yang diinginkan.

Penelitian ini dilakukan dilaboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dengan dasar menggunakan sistemn percampuran aspal panas *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC – WC)*. Didalam penelitian ini berupa pengujian agregat (kasar, halus, *filler*), aspal dan pengujian terhdap campuran (*Uji Marshal*). Pengujian terhadap agregat termasuk pemeriksaan berat jenis dan penyyerapan air. Sedangkan metode yang digunakan sebagai penguji campuran adalah metode *marshall*, dimana dari pengujian *marshall* tersebut didaptkan hasil – hasil yang berupa komponen – komponen *marshall*, yaitu berat volume benda uji, nilai stabilitas, *flow*, *Void In the Mix (VMA)*, *Void in Mineral (VIM)*, *voide filled with Asphalt (VFA)*, nilai tebal selimut atau film aspal dan kemudian dapat dihitung *marshall quotient*. Pengujian terakhir adalah berupi uji rendaman *marshal*.

3.2 Alat dan Bahan Pengujian

Adapun bahan dan alat yang akan diperlukan adalah:

1. Bahan material yang diperlukan:
 - Agregta kasar Berupa *slag* baja
 - Agregat halus berupa pasir dan abu batu
 - Aspal menggunakan aspal PEN 60/70
 - *Filler*

- Resin
- 2. Peralatan yang diperlukan
 - a. Alat uji pemeriksaan aspal
 - Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain:
Alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji penetrasi, alat uji titik lembe, alat uji titik nyala, alat uji daktilitas dan alat uji kelarutan
 - Alat uji pemeriksaan agregat
Alat yang digunakan untuk pemeriksaan agregat adalah mesin tes abrasi, saringan standar, alat uji kepipihan, alat pengering (*oven*), timbangan berat, alat uji berat jenis (timbangan, piknomete dan pemanas) bak perendam dan tabung *sand equivalent*.
 - b. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal.
 - Alat yang digunakan adalah satu set alat *marshall test*.

3.3 Keperluan dan Analisis Data

Penyajian data yang dimaksud adalah penyajian data sifat bahan karakteristik campuran. *Marshall* campuran telah tercapai dan diselesaikan.

3.3.1 Keperluan Data

Keperluan data yang dimaksud adalah penyajian data sifat dan karakteristik campuran *marshall* dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Pengujian ini dimaksudkan sebagai bahan dalam menganalisis data dari pengujian yang dimaksud, yaitu analisis penentuan karakteristik *marshall*, dari jenis campuran beton aspal.

3.3.2 Analisis Data

Pada tahap ini semua data yang diperoleh dari hasil pengujian meliputi penentuan karakteristik *marshall*, dari jenis campuran beto aspal.

3.4 Penentuan Jumlah dan Persiapan Benda Uji

Stelah semua bahan yang diperlukan lolos uji. Tahapan berikutnya adalah menentukan jumlah benda uji dan penyiapan bahan campuran sesuai dengan komposisi campuran (*job mix design*) yang diperoleh. Untuk menentukan jumlah benda uji, masing – masing campuran dapat dilihat pada tabel 3.1 berikut:



Tabel 3. 1 Rencana campuran Penelitian

| Nama sampel | Agg slag ¾" | | Agg slag ½" | | Agg batu ¾" | | Agg batu ½" | | Abu batu | | Filler | | Pasir | | Aspal | | Resin | | Total Agg | | Jumlah sampel |
|---------------------|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|-----|----------|-----|--------|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----|-----------|------|---------------|
| | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | (gr) | (%) | |
| S50 | 300 | 25 | 300 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 468 | 39 | 24 | 2 | 36 | 3 | 72 | 6 | 0 | 0 | 1200 | 100% | 9 |
| R5 | 300 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 | 25 | 408 | 34 | 24 | 2 | 36 | 3 | 72 | 6 | 60 | 5 | 1200 | 100% | 9 |
| R7 | 0 | 0 | 300 | 25 | 300 | 25 | 0 | 0 | 348 | 29 | 24 | 2 | 36 | 3 | 72 | 6 | 84 | 7 | 1200 | 100% | 9 |
| R10 | 300 | 25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 300 | 25 | 288 | 24 | 24 | 2 | 36 | 3 | 72 | 6 | 120 | 10 | 1200 | 100% | 9 |
| Total jumlah sampel | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 36 | |



3.5 Rancangan Campuran

Menentukan kadar aspal yang direncanakan untuk campuran aspal beton AC – WC dengan menggunakan kadar aspal 6%, kemudian dilakukan penyiapan benda uji tes *marshall* sesuai dengan tahapan yang akan diuraikan sebagai berikut:

1. Berdasarkan kadar yang telah ditentukan, kadar aspal yang digunakan adalah 6%, jenis aspal peramina PEN 60/70. Kemudian dilakukan pengujian *marshall* standar dengan tumbukan sebanyak 2x75 tumbukan. Pengujian durabilitas untuk menentukan stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, *density* (kepadatan), dan *marshall quotient* (MQ). Dari hubungan kadar aspal 6% dapat ditentukan kadar agregat.
2. Kadar aspal 6% digunakan pada setiap komposisi sebanyak 36 benda uji. Maka dilakukan pembuatan benda uji dengan komposisi yang berbeda – beda. Dalam pengerjanya, semua agregat campuran sudah ditimbang, setiap campuran diletakkan dalam cawan dan dipisah – pisah kan sesuai variasi. Kemudian agregat dipanaskan kedalam *oven* minimum selama 4 jam dalam suhu 160⁰C. setelah itu agregat dikeluarkan dari *oven* lalu tunggu hingga beratnya tetap. Lalu agregat ditimbang dan hitung berat aspal dari kadar aspal 6%. Setelah dihitung berat aspal lalu tuangkan aspal kedalam campuran agregat sesuai dengan perhitungan kadar aspal 6%. Setelah aspal dituang kedalam agregat lalu aduklah campuran sampai merata lalu panaskan diatas kompor sambil terus mengaduknya hingga semua agregat berwarna hitam merata. Ketika semua sudah berwarna hitam merata, kemudian tuangkan resin dengan kadar variasi yang telah ditentukan yaitu 5%, 7% dan 10%. Kemudian aduk kembali hingga merata. Sesudah semua tercampur merata kemudian masukan kedalam alat cetak (*mold*) dan lakukan penumbukan sebanyak 2x75 tumbukan. Setelah benda uji selesai dicetak, kemudian dilakukan pengujian *marshall* untuk mengetahui nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan *Density* (kepadatan), perendaman dengan air pasang (Rob) dengan variasi lama rendaman untuk mengetahui efek air pasang terhadap aspal AC – WC modifikasi dengan penambahan slag baja dan *resin*.

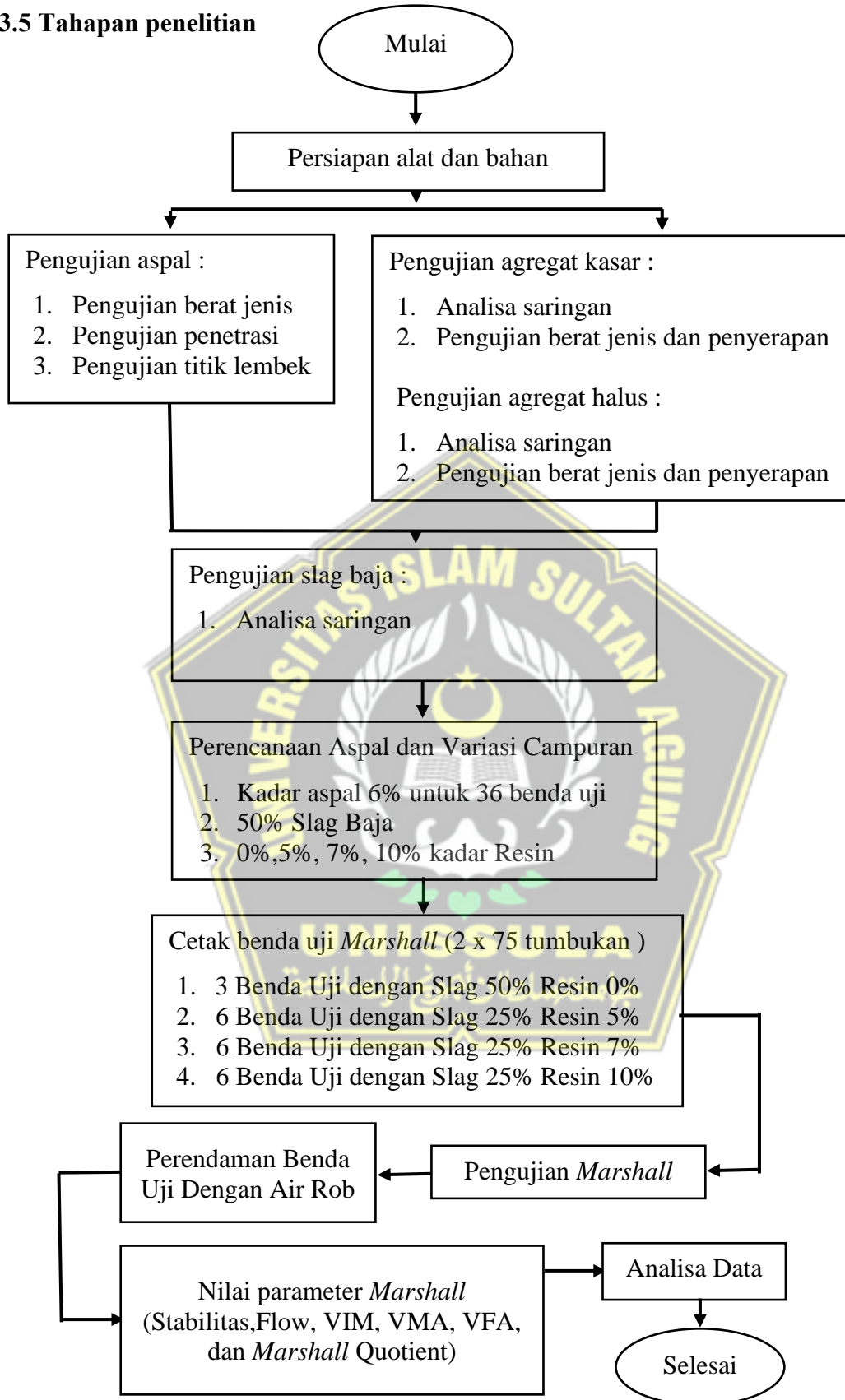
36. Tahap Pengujian *Marshall*

1. Dilakukan penimbangan agregat sesuai dengan hitungan persentase pada target gradasi yang diinginkan untuk masing – masing variasi dengan berat campuran kira – kira 1200 g, untuk diameter 4 inchi, kemudian dilakukan pengeringan campuran agregat tersebut sampai beratnya tetap pada suhu $\pm 145^{\circ}\text{C}$.
2. Hirung berat aspal yang akan dimasukkan kedalam campuran agregat lalu timbang berat aspal.
3. Dilakukan pemanasan aspal untuk pencampuran pada *viskositas* kinematic, agar temperatur campuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan diatas pemanas (kompor) dan diaduk merata hingga lapisan aspal tercampur dengan baik pada agregat.
4. Setelah pencampuran merata dengan baik dalam temperatur 145°C , maka campuran dimasukkan ke dalam cetakan sebelumnya masukkan ketas karton atau kertas filter pada bagian bawah cetakan kemudian dijerojok dengan spatula sebanyak 25 kali dimana 15 kali bagian tepi dan 10 kali bagian tengah. Tutup kembali dengan kertas pada bagian atasnya.
5. Pemadatan dilakukan dengan pemdatan manual dengan jumlah tumbukan sebanyak 75 kali dibagian sisi atas, kemudian dibalik dan ditumbuk lagi dengan volme yang sama sebanyak 75 kali tumbukan.
6. Setelah pemdatan selesai, benda uji didiamkan agar suhunya perlahan menurun kemudian benda uji dikeluarkan dengan *ejector* dan kemudian setiap benda uji diberikan kode / nama sesuai variasi.
7. Benda uji diukur ketebalan dalam 4 sisi sejajar dan mendapatkan ketebalan rata rata benda uji. Dan timbanglah berat tiap – tiap benda uji untuk mendapatkan berat sampel kering.
8. Lalu benda uji direndam dalam air agar udara dalam pori – pori benda uji keluar dalam bentuk gelembung, perendaman benda uji ini dilakukan selama 15 sampai 20 menit sampai gelembung dalam pori – pori benda uji tidak ada lagi.
9. Setelah perendaman lakukan penimbangan didalam air untuk mendapatkan berat sampel dalam air.
10. Benda uji dikeluarkan dan dikeringkan dengan handuk atau kain lap pada permukaan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat sampel.

11. Setelah itu rendam benda uji pada suhu 60°C selama 30 menit.



3.5 Tahapan penelitian



Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Penyajian Data

1.1.1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Bahan agregat yang digunakan pada peneltiann ini, terdiri dari agregat kasar berupa slag baja yang diperoleh dari limbah PT. INTI BAJA MAKMUR Semarang dan Agregat halus yang diperoleh dari Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat sesuai dengan metode pengujian yang dipakai dan spesifikasi yang disyaratkan dan disajikan dalam tabel 4.1 dan hasil pemeriksaan Analisa saringan agregat kasar dan halus disajikan dalam tabel 4.2.

Tabel 4. 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Bahan Agregat

| No | Jenis Pengujian | Hasil Uji | | | | | Spesifikasi | Sat | Metode Pengujian | |
|----|------------------------------------|-----------|---------|---------|----------|-------|-------------|------------|--------------------------|--------------------------|
| | | Agg. 1" | Agg. ¾" | Agg. ½" | Abu batu | Pasir | | | | |
| 1 | Analisa Saringan | TERLAMPIR | | | | | | | (SNI ASTM C136:2012) | |
| 2 | Berat Jenis Curah Kering | 2,675 | 2,734 | 2,084 | 2,542 | | | | | |
| 3 | Berat Jenis Curah Kering Permukaan | 2,710 | 2,762 | 2,659 | 2,604 | | | | | |
| 4 | Berat Jenis Apparent | 2,772 | 2,813 | 2,754 | 2,709 | | | | | |
| 5 | Berat Jenis Efektif | | | | | | | | | |
| 6 | Peyerapan | 1,307 | 1,027 | 1,027 | 2,471 | | | | | |
| 7 | Partikel Pipih dan Lonjong *) | 3,34 | 5,30 | 5,30 | | | MAX. 10 | % | ASTM D 4791 | |
| 8 | Abrasi | 500x | 16,23 | | | | MAX. 40 | % | (SNI 03 - 2417 - 1991) | |
| | | 100x | 11,99 | | | | | | | |
| 9 | Angularitas **) | 100,00 | 100,00 | 100,00 | | | MIN. 95/90 | % | (SNI 03 - 6877 - 2002) | |
| | | | | | 47,15 | 46,69 | MIN. 45 | | (SNI 03-6877-2002) | |
| 10 | Bobot Isi | Lepas | 1,466 | 1,468 | 1,349 | 1,333 | 1,495 | MIN. 1.200 | Kg/m3 | (SNI - 03-4804-1998) |
| | | padat | 1,569 | 1,569 | 1,436 | 1,500 | 1,700 | | | |
| 11 | Soundness | | 2,79 | | | | | MAX. 12 | % | (SNI 3407-2008) |
| | | | | | | | 1,59 | MAX. 10 | | |
| 12 | Lolos Saringan No.200 | | 0,62 | 0,75 | 0,85 | | | MAX. 1 | % | (SNI 03 - 4142 - 1996) |
| | | | | | | 7,71 | | MAX. 10 | | |
| 13 | Kelekatan terhadap Aspal | 98 | 98 | 99 | | | MIN. 95 | % | (SNI 03 - 2417 - 1991) | |
| 14 | Gumpalan Lempung | | | | 0,64 | 0,57 | MIX. 1 | % | (SNI 03 - 4141 - 1996) | |
| 15 | Sand Equivalent | | | | 80,22 | 82,47 | MIN. 50 | % | (SNI 03-4428-1997) | |

(Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Transportasi Jalan Universitas Islam Sultan Agung Semarang)

1.1.2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

Jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal minyak penetrasi 60/70 yang diperoleh dari Laboratorium Transportasi Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Hasil Pemeriksaan Aspal disajikan dalam tabel 4.2 sebagai berikut :

Tabel 4. 2. Pemeriksaan Karakteristik aspal pen 60/70

| Pemeriksaan | Hasil Pengujian | Spesifikasi | Metode Pengujian | Satuan |
|---------------------------|-----------------|-------------|------------------|--------|
| Penetrasi (25°C) | 65 | Dilaporkan | SNI 24556:2011 | 0,1 mm |
| Titik Lembek | 48,75 | Dilaporkan | SNI 24556:2012 | °C |
| Titik Nyala (COC) | 357 | ≥ 230 | SNI 24556:2013 | °C |
| Diktalitas | 151,5 | - | SNI 06-2432-1991 | Cm |
| Berat jenis Bitumen Keras | 1,034 | - | SNI 244:2011 | gr/ml |
| Kehilangan Berat | 0,265 | ≤ 0,8 | SNI 06-2441-1991 | % |

(Sumber: Hasil Pengujian Lab Perkerasan Jalan Universitas Islam Sultan Agung)

1.2 Pembuatan Benda Uji Pada Penentuan KAO

4.2.1. Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO) campuran lapis aspal beton (Laston) dalam penelitian ini digunakan 4% sampai 7% dengan tingkat kenaikan aspal sebesar 0,5%. Kadar aspal optimum (KAO) adalah kadar aspal yang mengalami overlap dari selang yang memenuhi semua spesifikasi dari parameter – parameter yang ditentukan dengan menggunakan standar dari Bina marga 2018 revisi ke – 2, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu: stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall quotient* (MQ), Rongga terisi aspal (VFA), Rongga dalam campuran (VIM) dan Rongga dalam Agregat (VMA).

4.2.2 Penentuan Berat Agregat dan Berat Aspal Dalam Campuran

Setelah mendapatkan persentase masing – masing fraksi agregat dan aspal, maka ditentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas *mold* yang ada.

Contoh untuk campuran AC-WC sebagai berikut :

- Kadar aspal = 6,0 %
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = 6,0 % x 1200 = 72 gr
- Berat total agregat = (100 % x 1200 gr)- 6% = 1.128 gr
 - Coarse Agg. = 25 % x 1200 gr = 300 gr
 - Medium Agg. = 25 % x 1200 gr = 300 gr
 - Pasir = 3 % x 1200 gr = 36 gr
 - Abu batu = 39 % x 1200 gr = 468 gr
 - Filler = 2 % x 1200 gr = 24 gr
 - Total Agregat Gabungan = 1.128 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini :

Tabel 4. 3. Berat aspal dan agregat pada campuran AC-WC

| Kadar Aspal | BeratAspal Terhadap Campuran | Coarse Agregat | Medium Agregat | Pasir | Filler | Abu Batu | Total Agregat Gabungan | Total berat campuran |
|-------------|------------------------------|----------------|----------------|-------|--------|----------|------------------------|----------------------|
| (%) | (gr) | (gr) | (gr) | (gr) | (gr) | (gr) | (gr) | (gr) |
| 4,0 | 48,0 | 300,0 | 300,0 | 36,0 | 24,0 | 492,0 | 1152 | 1200 |
| 4,5 | 54,0 | 300,0 | 300,0 | 36,0 | 24,0 | 486,0 | 1146 | 1200 |
| 5,0 | 60,0 | 300,0 | 300,0 | 36,0 | 24,0 | 480,0 | 1140 | 1200 |
| 5,5 | 66,0 | 300,0 | 300,0 | 36,0 | 24,0 | 474,0 | 1134 | 1200 |
| 6,0 | 72,0 | 300,0 | 300,0 | 36,0 | 24,0 | 468,0 | 1128 | 1200 |
| 6,5 | 78,0 | 300,0 | 300,0 | 36,0 | 24,0 | 462,0 | 1122 | 1200 |
| 7,0 | 84,0 | 300,0 | 300,0 | 36,0 | 24,0 | 456,0 | 1116 | 1200 |

(Sumber : Hasil Perhitungan)

1.3 Data Uji Marshall Penentuan Kada Aspal Optimum

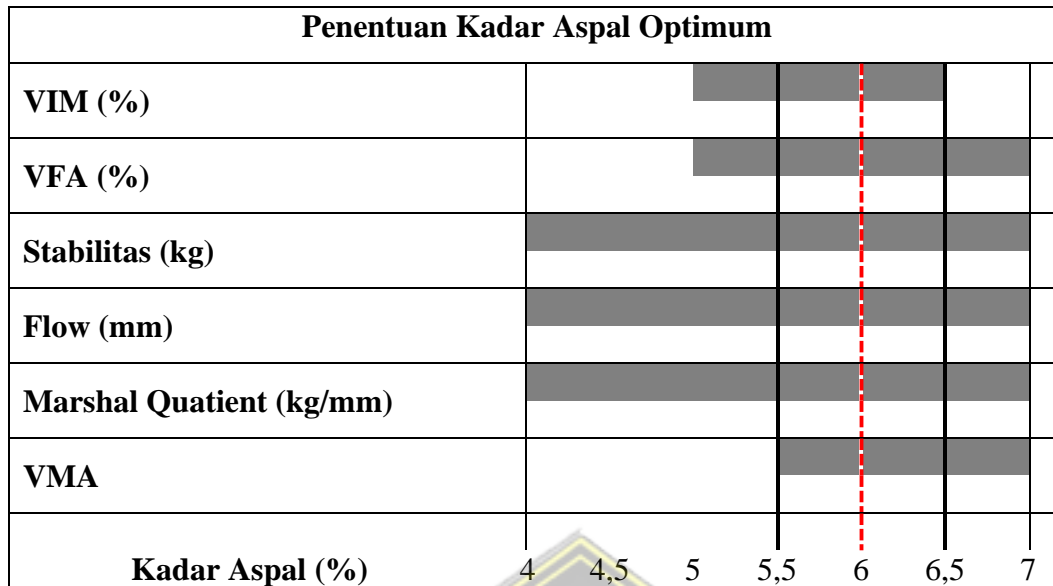
Untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO) campuran Lapisan Aspal Beton (Laston), dalam penelitian ini digunakan kadar aspal mulai dari 4% sampai 7% dengan tingkat kenaikan 0,5%. Data hasil pengujian dan Analisa parameter pada tabel 4.4 selanjutnya kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dengan menggunakan

standar Bina marga, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu: stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall quotient* (MQ), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA).

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

| Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Beraspal | | Stabilitas (Kg) | Flow (mm) | MQ (Kg/mm) | VIM (%) | VMA (%) | VFA (%) |
|--|------|--------------------|--------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| Spesifikasi | Min | 800 | 3 | 250 | 3,5 | 15 | 65 |
| | Maks | - | - | - | 5,5 | - | - |
| 4 | | 1188,55 | 2,50 | 475,42 | 6,94 | 14,24 | 51,24 |
| | | 1209,22 | 2,25 | 537,74 | 7,44 | 14,69 | 49,39 |
| | | 1202,80 | 2,60 | 462,62 | 7,32 | 14,58 | 49,83 |
| Rata-Rata | | 1200,42 | 2,45 | 491,93 | 7,23 | 14,50 | 50,15 |
| 4,5 | | 1159,52 | 3,40 | 341,04 | 6,69 | 15,01 | 55,72 |
| | | 1188,55 | 2,90 | 409,84 | 6,59 | 15,10 | 56,09 |
| | | 1323,80 | 3,60 | 367,72 | 5,36 | 13,89 | 61,42 |
| Rata-Rata | | 1223,96 | 3,30 | 372,87 | 6,21 | 14,67 | 57,74 |
| 5 | | 1202,80 | 3,20 | 375,88 | 4,47 | 14,19 | 68,49 |
| | | 1266,86 | 3,90 | 324,84 | 5,39 | 15,02 | 64,09 |
| | | 1288,21 | 3,20 | 402,57 | 5,15 | 14,80 | 65,22 |
| Rata-Rata | | 1252,63 | 3,43 | 367,76 | 5,00 | 14,67 | 65,93 |
| 5,5 | | 1359,38 | 3,40 | 399,82 | 3,75 | 14,64 | 74,38 |
| | | 1352,27 | 3,70 | 365,48 | 4,13 | 14,98 | 72,44 |
| | | 1330,82 | 3,80 | 350,24 | 4,82 | 15,59 | 69,08 |
| Rata-Rata | | 1347,52 | 3,63 | 371,85 | 4,23 | 15,07 | 71,97 |
| 6 | | 1400,84 | 3,50 | 400,24 | 6,97 | 18,54 | 62,41 |
| | | 1234,08 | 3,30 | 373,96 | 3,06 | 15,12 | 79,74 |
| | | 1345,15 | 4,20 | 320,27 | 1,69 | 13,92 | 87,84 |
| Rata-Rata | | 1326,69 | 3,67 | 364,83 | 3,91 | 15,86 | 76,66 |
| 6,5 | | 1193,18 | 3,50 | 340,91 | 5,39 | 18,21 | 70,40 |
| | | 1191,81 | 3,80 | 313,64 | 2,66 | 15,85 | 83,23 |
| | | 1172,72 | 3,70 | 316,95 | 2,82 | 15,99 | 82,34 |
| Rata-Rata | | 1185,90 | 3,87 | 323,83 | 3,62 | 16,68 | 78,66 |
| 7 | | 1117,75 | 4,70 | 237,82 | 2,22 | 16,53 | 86,58 |
| | | 1195,69 | 3,45 | 346,58 | 0,67 | 15,21 | 95,62 |
| | | 1172,72 | 3,60 | 314,35 | 1,66 | 16,05 | 89,68 |
| Rata-Rata | | 1148,36 | 3,92 | 299,58 | 1,514 | 15,93 | 90,63 |

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* diatas, maka dapat ditentukan kadar aspal optimum sebagai berikut :



Gambar 4. 1 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) AC-WC

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{5,5 + 6,5}{2} = 6,00\%$$

Dimana 5,5 % adalah nilai paling minimum dari Vma dan 6,5% adalah nilai paling maksimum dari VIM.

1.4 Pengujian Air Rob

Pada tabel dibawah ini merupakan hasil pemeriksaan air Rob yang didapat dari penelitian terdahulu oleh (Sulistyo, 2019) dengan sampel yang didapat di Desa Sidogemah Kec. Sayung Kab. demak. Untuk hasil pengujian disajikan pada tabel 4.5.

Tabel 4. 5. Hasil Pemeriksaan Air Rob

| No. | Parameter Pemeriksaan | Satuan | Hasil Pengujian Air Rob |
|-----|-----------------------------|--------|-------------------------|
| 1 | Zat Padat Tersuspensi (TSS) | mg/L | 38,0 |
| 2 | Zat Padat Terlarut (TDS) | mg/L | 1236,0 |
| 3 | Klorida (Cl) | mg/L | 9550,0 |
| 4 | Sulfat (SO ₄) | mg/L | 2000,0 |
| 5 | Kadar Garam / Salinitas | mg/L | 22,58 |
| 6 | pH | | 7,15 |

(Sumber : Data skunder)

Pengujian Air Rob ini dilakukan oleh PT. Superintending Company of Indonesia (Persero) atau disebut dengan PT. SUCOFINDO. Pengujian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui kandungan air rob (secara lebih spesifik) yang mungkin

mempengaruhi atau menuunkan karakteristik campuran aspal beton yang digunakan dalam pengujian ini.

1.5 Hasil Perendaman menerus selama 3 hari

Spesifikasi Bina Marga digunakan sebagai acuan pengujian, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu : stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotien* (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.6.



Tabel 4. 6 Hasil perendaman menerus selama 3

| PERENDAMAN MENERUS 3 HARI DENGAN AIR ROB (Kombinasi slag dan resin) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|---------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------------------|-------|--|
| BJ Aspal : | | 1,034 | | BJ Efektif Agregat (Gse) : | | | 2,399 | | | Bj Total Agregat : | | 2,405 | | Kalibrasi : | | 9,817 | |
| No Benda uji | % Resin | % kadar aspal | berat diudara | berat dalam air | berat ssd | volume isi | bj. Bulk campuran | bj maks. campuran agregat | % rongga diantara agg. (VMA) | % rongga didalam camp. (VIM) | % rongga terisi aspal (VFA) | stabilitas | | kelelahan plastis (flow) | hasil bagi marshall (MQ) | | |
| | | | | | | | | | | | | dibaca arloji | di sesuaikan | | | | |
| | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o | | |
| | | % berat total agregat (%) | data timbang (gr) | data timbang (gr) | data timbang (gr) | e-d | c/f | GMM | $100 - \frac{(100-b)*g}{gsb}$ (%) | $100 - \frac{(100*j)}{h}$ (%) | $100 * \frac{(i-i)}{i}$ (%) | (strip) | (kg) | (mm) | m/n | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0 | 6 | 1.172 | 733 | 1.171 | 437 | 2,680 | 2,389 | | | | 279 | 970,71 | 2,06 | 471,81 | | |
| 2 | | | 1.169 | 682 | 1.168 | 485 | 2,409 | | | | | 234 | 814,14 | 1,98 | 410,93 | | |
| 3 | | | 1.162 | 651 | 1.160 | 509 | 2,284 | | | | | 235 | 843,21 | 1,88 | 448,61 | | |
| | | | | | | | 2,457 | | 3,960 | -2,85 | 171,89 | | 876,00 | 2,00 | 438,00 | | |
| 1 | 5 | 6 | 1.156 | 682 | 1.153 | 471 | 2,456 | 2,389 | | | | 280 | 931,57 | 2,11 | 441,88 | | |
| 2 | | | 1.160 | 690 | 1.158 | 468 | 2,479 | | | | | 236 | 821,10 | 1,70 | 482,49 | | |
| 3 | | | 1.162 | 651 | 1.160 | 509 | 2,284 | | | | | 250 | 869,81 | 2,46 | 353,04 | | |
| | | | | | | | 2,406 | | 10,956 | -0,71 | 106,50 | | 874,20 | 2,10 | 416,29 | | |
| 1 | 7 | 6 | 1.173 | 702 | 1.172 | 470 | 2,495 | 2,389 | | | | 234 | 814,14 | 1,98 | 410,93 | | |
| 2 | | | 1.171 | 700 | 1.169 | 469 | 2,497 | | | | | 230 | 800,23 | 2,41 | 331,63 | | |
| 3 | | | 1.168 | 651 | 1.166 | 515 | 2,268 | | | | | 250 | 869,81 | 2,46 | 353,04 | | |
| | | | | | | | 2,420 | | 12,450 | -1,30 | 110,42 | | 828,10 | 2,30 | 360,04 | | |
| 1 | 10 | 6 | 1.181 | 683 | 1.174 | 491 | 2,406 | 2,389 | | | | 280 | 931,57 | 1,70 | 547,40 | | |
| 2 | | | 1.180 | 677 | 1.179 | 502 | 2,351 | | | | | 236 | 821,10 | 2,46 | 333,27 | | |
| 3 | | | 1.178 | 651 | 1.175 | 524 | 2,248 | | | | | 279 | 970,71 | 2,41 | 402,28 | | |
| | | | | | | | 2,335 | | 18,438 | 2,26 | 87,74 | | 907,80 | 2,20 | 412,64 | | |

Hasil dari perendaman selama 7 hari dapat dilihat dalam tabel dibawah dengan masing masing kadar resin beserta keterangannya.

Tabel 4. 7 Hasil Perendaman Menerus 3 hari Resin 0%

| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 50% | 0% | -2,85 | 3.0 – 5.0 | Tidak Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 3,960 | Min 15 | Tidak Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 171,89 | Min 65 | Memenuhi |
| Stabilitas Marshall | (Kg) | | | 876,00 | Min 800 Kg | Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,00 | 2.0 – 4.0 | Memenuhi |
| Marshall Quotient | - | | | 438,00 | - | - |

Tabel 4. 8 Hasil Perendaman Menerus 3 Hari Resin 5%

| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANAGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 50% | 5% | -0,71 | 3.0 – 5.0 % | Tidak Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 10,956 | Min 15% | Tidak Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 106,50 | Min 65% | Memenuhi |
| Stabilitas Marshall | (Kg) | | | 874,20 | Min 800 Kg | Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,10 | 2.0 – 4.0 | Memenuhi |
| Marshall Quotient | - | | | 416,29 | - | - |

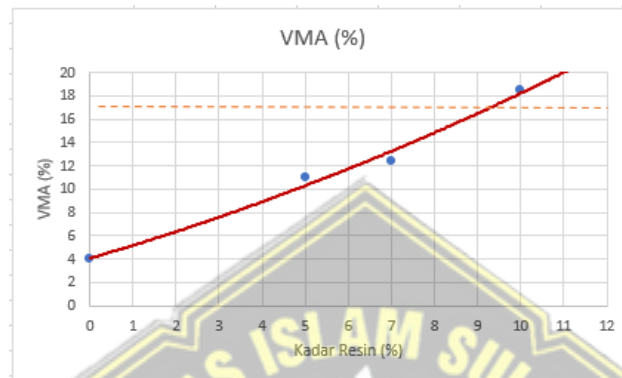
Tabel 4. 9 Hasil Perendaman Menerus 3 Hari Resin 7%

| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 50% | 7% | -1,30 | 3.0 – 5.0 % | Tidak Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 12,450 | Min 15% | Tidak Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 110,42 | Min 65% | Memenuhi |
| Stabilitas Marshall | (Kg) | | | 828,10 | Min 800 Kg | Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,30 | 2.0 – 4.0 | Memenuhi |
| Marshall Quotient | - | | | 360,04 | - | - |

Tabel 4. 10 Hasil Perendaman Menerus 3 Hari Resin 10%

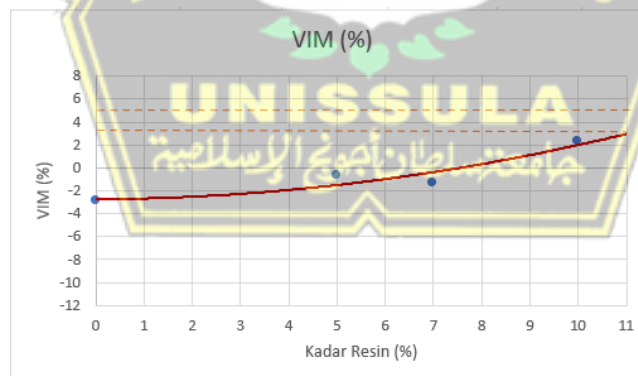
| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 50% | 7% | 2,26 | 3.0 – 5.0 % |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 18,438 | Min 15% |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 87,74 | Min 65% |
| Stabilitas Marshall | (Kg) | | | 907,80 | Min 800 Kg |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,20 | 2.0 – 4.0 |
| Marshall Quotient | - | | | 412,64 | - |

Hasil Perendaman menerus 3 hari yaitu pada slag 25% dan 50% dengan kadar resin 5%, 7%, dan 10% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah -2.84, -0.71, -1.30, 2.26. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



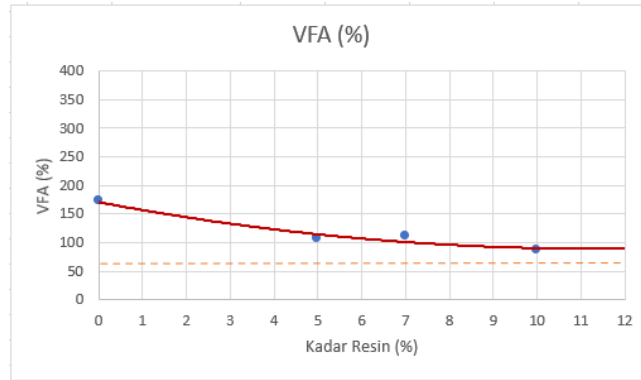
Gambar 4. 2 Grafik VMA perendaman 3 Hari

Pada grafik VMA diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 3,960%, 10,956%, 12,450% dan 18,438% ,hanya kadar resin 10% yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



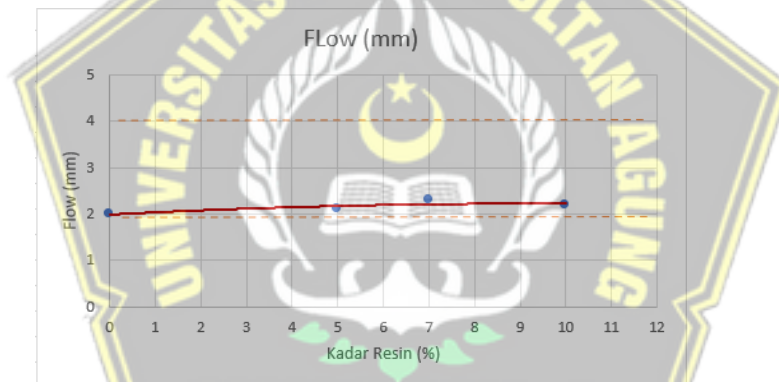
Gambar 4. 3 Grafik VIM Perendaman 3 Hari

Pada grafik VIM diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu -2,85 %, -0,71 %, -1,30 % dan 2,26 % ,dari hasil yang didapatkan belum ada yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VIM dari Binamarga yaitu minimum 3,00 % dan untuk nilai maksimum adalah 5,00%.



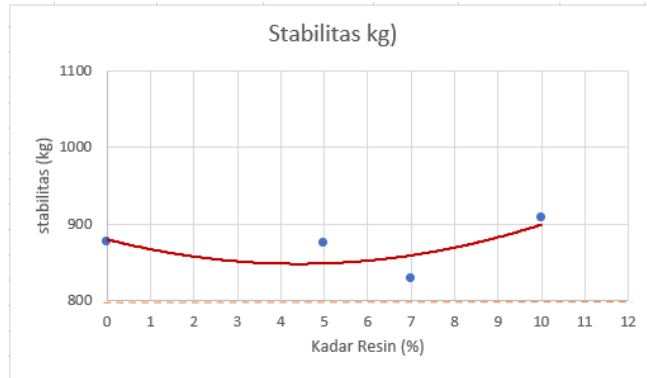
Gambar 4. 4 Grafik VFA Perendaman 3 Hari

Pada grafik VFA diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 171,89 %, 106,50 %, 110,42 % dan 87,74 % ,dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFA dari Binamarga yaitu minimum 65%.



Gambar 4. 5 Grafik Flow Perendaman 3 Hari

Pada grafik Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 2,00 mm , 2,10 mm, 2,30 mm dan 2,20 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VIM dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm

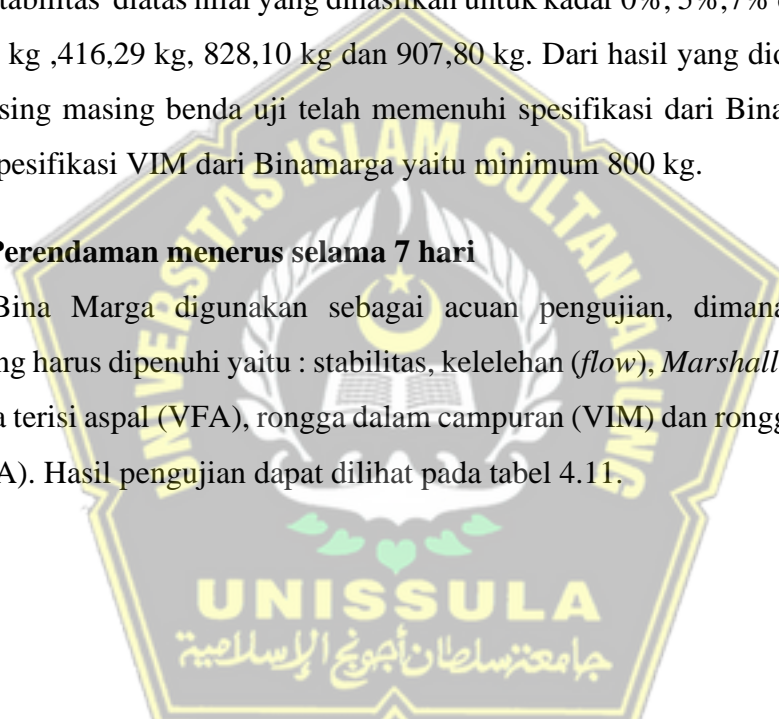


Gambar 4. 6 Grafik Stabilitas Perendaman 3 Hari

Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 438,00 kg ,416,29 kg, 828,10 kg dan 907,80 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VIM dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.

1.6 Hasil Perendaman menerus selama 7 hari

Spesifikasi Bina Marga digunakan sebagai acuan pengujian, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu : stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall* Quotien (MQ), rongga terisi aspal (VFA), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA). Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.11.



Tabel 4. 11 Hasil perendaman menerus selama 7 hari

| PERENDAMAN MENERUS 7 HARI DENGAN AIR ROB (Kombinasi slag dan resin) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---------|-----------------------|---------------|----------------------------|--------------|------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------|--------|--------------------------|--------------------------|-------------|--|-------|--|
| BJ Aspal : | | 1,034 | | BJ Efektif Agregat (Gse) : | | | 2,359 | | | Bj Total Agregat : | | | 2,587 | | | Kalibrasi : | | 9,817 | |
| No Benda uji | % Resin | % kadar aspal | berat diudara | berat dalam air | berat ssd | volume isi | bj. Bulk campuran | bj maks. campuran agregat | % rongga diantara agg. (VMA) | % rongga didalam camp. (VIM) | % rongga terisi aspal (VFA) | stabilitas | | kelelahan plastis (flow) | hasil bagi marshall (MQ) | | | | |
| | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o | | | | |
| | | % berat total agregat | data timbang | data timbang | data timbang | e-d | c/f | GMM | 100 - (100-b)*g gsb (%) | 100 - (100*g) h (%) | 100 * (i-j) i (%) | | | | m/n | | | | |
| | | (%) | (gr) | (gr) | (gr) | | | | | | | (strip) | (kg) | (mm) | (kg/mm) | | | | |
| 1 | 0 | 6 | 1.172 | 733 | 1.171 | 437 | 2,680 | 2,389 | | | | 160 | 619,78 | 2,15 | 288,08 | | | | |
| 2 | | | 1.169 | 682 | 1.168 | 485 | 2,409 | | | | | 280 | 974,19 | 2,17 | 448,58 | | | | |
| 3 | | | 1.162 | 651 | 1.160 | 509 | 2,284 | | | | | 163 | 631,40 | 2,08 | 303,15 | | | | |
| | | | | | | | 2,457 | | 10,720 | -2,85 | 126,59 | | 741,79 | 2,14 | 347,44 | | | | |
| 1 | 5 | 6 | 1.202 | 742 | 1.206 | 464 | 2,593 | 2,389 | | | | 215 | 771,45 | 2,36 | 326,58 | | | | |
| 2 | | | 1.168 | 691 | 1.170 | 479 | 2,438 | | | | | 160 | 619,78 | 2,06 | 301,24 | | | | |
| 3 | | | 1.192 | 705 | 1.193 | 488 | 2,445 | | | | | 263 | 915,04 | 2,49 | 367,60 | | | | |
| | | | | | | | 2,492 | | 9,450 | -4,31 | 145,61 | | 768,76 | 2,30 | 333,81 | | | | |
| 1 | 7 | 6 | 1.159 | 661 | 1.165 | 504 | 2,300 | 2,389 | | | | 280 | 974,19 | 2,15 | 452,82 | | | | |
| 2 | | | 1.168 | 664 | 1.174 | 510 | 2,290 | | | | | 263 | 915,04 | 2,36 | 387,37 | | | | |
| 3 | | | 1.171 | 666 | 1.176 | 510 | 2,296 | | | | | 233 | 810,66 | 2,06 | 394,02 | | | | |
| | | | | | | | 2,295 | | 16,610 | 3,93 | 76,34 | | 899,96 | 2,20 | 409,07 | | | | |
| 1 | 10 | 6 | 1.207 | 633 | 1.210 | 576 | 2,094 | 2,389 | | | | 160 | 619,78 | 2,06 | 301,24 | | | | |
| 2 | | | 1.213 | 677 | 1.201 | 524 | 2,315 | | | | | 263 | 915,04 | 2,49 | 367,60 | | | | |
| 3 | | | 1.232 | 651 | 1.221 | 570 | 2,161 | | | | | 233 | 810,66 | 2,25 | 360,63 | | | | |
| | | | | | | | 2,190 | | 13,545 | 8,33 | 38,50 | | 781,80 | 2,30 | 339,91 | | | | |

Hasil dari perendaman selama 7 hari dapat dilihat dalam tabel dibawah dengan masing masing kadar resin beserta keterangannya.

Tabel 4. 12 Hasil Perendaman Menerus 7 hari Resin 0%

| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 50% | 0% | -2,85 | 3.0 – 5.0 % | Tidak Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 10,720 | Min 15% | Tidak Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 126,59 | Min 65% | Memenuhi |
| Stabilitas <i>Marshall</i> | (Kg) | | | 741,79 | Min 800 Kg | Tidak Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,14 | 2.0 – 4.0 | Memenuhi |
| <i>Marshall</i> Quotient | - | | | 347,44 | - | - |

Tabel 4. 13 Hasil Perendaman Menerus 7 hari Resin 5%

| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 25% | 5% | -4,31 | 3.0 – 5.0 % | Tidak Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 9,450 | Min 15% | Tidak Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 145,61 | Min 65% | Memenuhi |
| Stabilitas <i>Marshall</i> | (Kg) | | | 768,76 | Min 800 Kg | Tidak Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,30 | 2.0 – 4.0 | Tidak Memenuhi |
| <i>Marshall</i> Quotient | - | | | 333,81 | - | - |

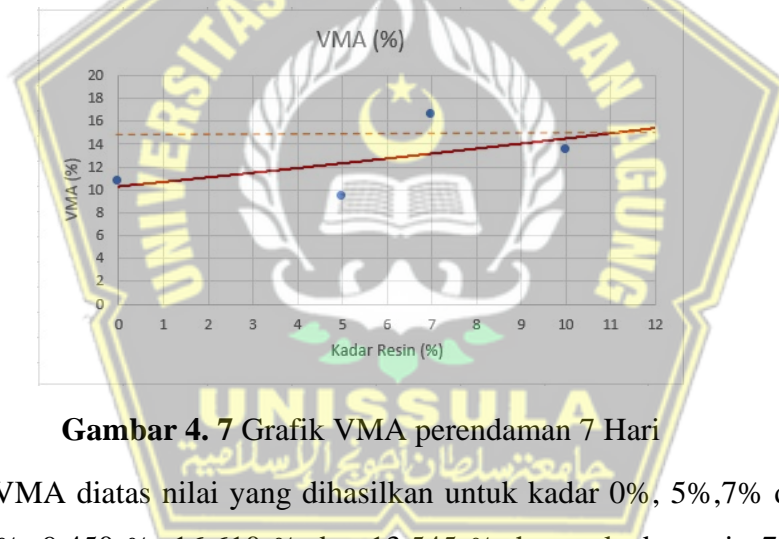
Tabel 4. 14 Hasil Perendaman Menerus 7 hari Resin 7%

| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 25% | 7% | 3,93 | 3.0 – 5.0 % | Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 16,610 | Min 15% | Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 76,34 | Min 65% | Memenuhi |
| Stabilitas <i>Marshall</i> | (Kg) | | | 899,96 | Min 800 Kg | Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,20 | 2.0 – 4.0 | Memenuhi |
| <i>Marshall</i> Quotient | - | | | 409,07 | - | - |

Tabel 4. 15 Hasil Perendaman Menerus 7 hari Resin 10%

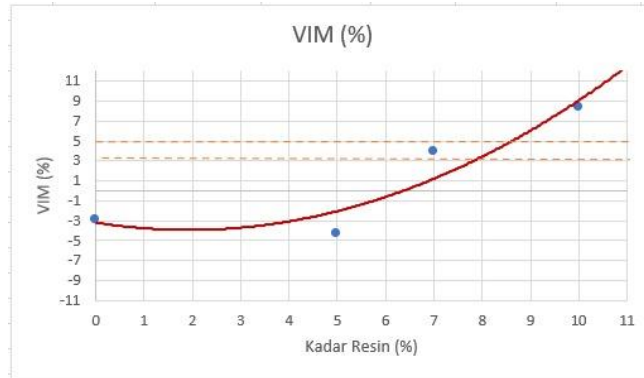
| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 25% | 10% | 8,33 | 3.0 – 5.0 % | Tidak Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 13,545 | Min 15% | Tidak Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 38,50 | Min 65% | Tidak Memenuhi |
| Stabilitas Marshall | (Kg) | | | 781,80 | Min 800 Kg | Tidak Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,30 | 2.0 – 4.0 | Memenuhi |
| Marshall Quotient | - | | | 339,91 | - | - |

Hasil Perendaman menerus 7 hari yaitu pada slag 25% dan 50% dengan kadar resin 0%, 5%, 7%, dan 10% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah - 15,48 %, -8,58%, -8,90%, -7,72%, -5,74%, -6,28%, -3,48%.



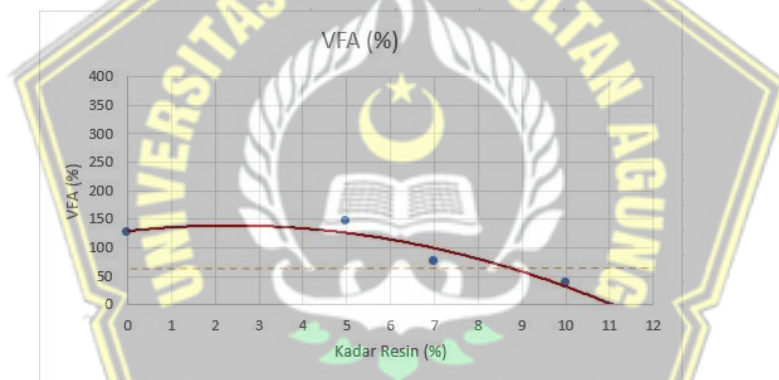
Gambar 4. 7 Grafik VMA perendaman 7 Hari

Pada grafik VMA diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%, 7% dan 10% yaitu 10,720%, 9,450 %, 16,610 % dan 13,545 % ,hanya kadar resin 7 % yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



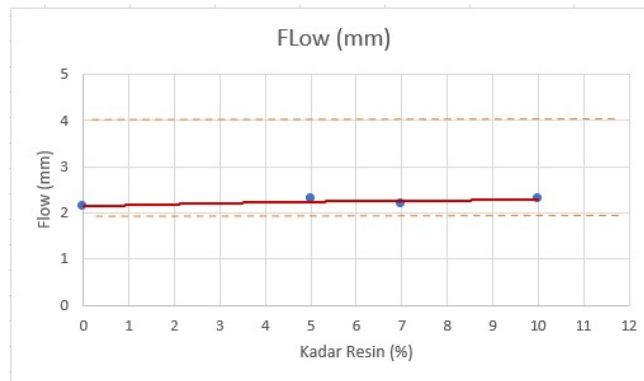
Gambar 4. 8 Grafik VIM perendaman 7 Hari

Pada grafik VIM diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu -2,85 %, -4,31 %, 3,93 % dan 8,33 % ,dari hasil yang didapatkan hanya kadar resin 7% yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VIM dari Binamarga yaitu minimum 3,00 % dan untuk nilai maksimum adalah 5,00%.



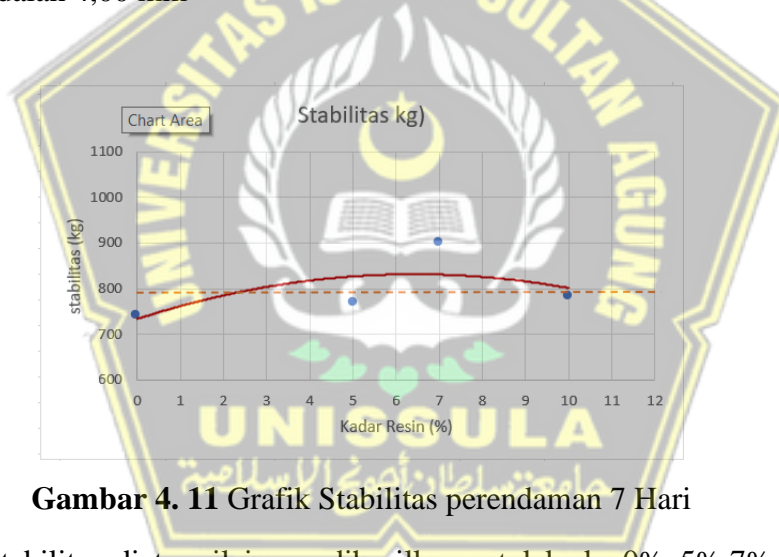
Gambar 4. 9 Grafik VFA perendaman 7 Hari

Pada grafik VFA diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 126,59 %, 145,61 %, 76,34 % dan 38,50 % ,dari hasil yang untuk kadar resin 10% belum memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFA dari Binamarga yaitu minimum 65%.



Gambar 4. 10 Grafik Flow perendaman 7 Hari

Pada grafik Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 2,14 mm , 2,30 mm, 2,20 mm dan 2,30 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Flow dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm



Gambar 4. 11 Grafik Stabilitas perendaman 7 Hari

Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 741,79 kg ,768,76 kg, 899,96 kg dan 781,80 kg. Dari hasil yang didapatkan hanya kadar resin 7% yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.

1.7 Hasil Perendaman Menerus 14 Hari

Spesifikasi Bina Marga digunakan sebagai acuan pengujian, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu : stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall* Quotien (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA). Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 4.16.

Tabel 4. 16 Hasil perendaman menerus selama 14 hari

| PERENDAMAN MENERUS 14 HARI DENGAN AIR ROB (Kombinasi slag dan resin) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|-----------------------|---------------|----------------------------|--------------|------------|-------------------|---------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------------|-------------|---------|--------------------------|--------------------------|-------|--|
| BJ Aspal : | | 1,034 | | BJ Efektif Agregat (Gse) : | | 2,359 | | Bj Total Agregat : | | 2,359 | | Kalibrasi : | | | | 9,817 | |
| No Benda uji | % Resin | % kadar aspal | berat diudara | berat dalam air | berat ssd | volume isi | bj. Bulk campuran | bj maks. campuran agregat | % rongga diantara agg. (VMA) | % rongga didalam camp. (VIM) | % rongga terisi aspal (VFA) | stabilitas | | kelelahan plastis (flow) | hasil bagi marshall (MQ) | | |
| | a | b | c | d | e | f | g | h | i | j | k | l | m | n | o | | |
| | | % berat total agregat | data timbang | data timbang | data timbang | e-d | c/f | GMM | $100 - \frac{(100-b)*g}{gsb}$ (%) | $100 - \frac{(100*j)}{h}$ (%) | $100 * \frac{(i-j)}{i}$ (%) | | | | m/n | | |
| | | (%) | (gr) | (gr) | (gr) | | | | | | | (strip) | (kg) | (mm) | (kg/mm) | | |
| 1 | 0 | 6 | 1.172 | 733 | 1.171 | 437 | 2,680 | 2,389 | | | | 190,00 | 681,74 | 2,10 | 325,34 | | |
| 2 | | | 1.170 | 682 | 1.168 | 485 | 2,412 | | | | | 290 | 1008,98 | 1,65 | 611,13 | | |
| 3 | | | 1.148 | 651 | 1.160 | 509 | 2,255 | | | | | 110 | 394,69 | 1,27 | 310,78 | | |
| | | | | | | | 2,449 | | 11,010 | -2,51 | 122,80 | | 695,14 | 1,67 | 415,75 | | |
| 1 | 5 | 6 | 1.202 | 757 | 1.208 | 451 | 2,664 | 2,389 | | | | 156 | 559,75 | 1,47 | 379,95 | | |
| 2 | | | 1.170 | 698 | 1.169 | 471 | 2,484 | | | | | 160 | 574,10 | 1,47 | 389,70 | | |
| 3 | | | 1.148 | 675 | 1.147 | 472 | 2,433 | | | | | 105 | 376,75 | 2,06 | 183,12 | | |
| | | | | | | | 2,527 | | 8,180 | -5,78 | 170,66 | | 503,53 | 1,67 | 301,88 | | |
| 1 | 7 | 6 | 1.174 | 676 | 1.170 | 494 | 2,376 | 2,389 | | | | 290 | 681,74 | 2,10 | 325,34 | | |
| 2 | | | 1.163 | 669 | 1.161 | 493 | 2,361 | | | | | 160 | 574,10 | 1,55 | 370,53 | | |
| 3 | | | 1.185 | 652 | 1.182 | 530 | 2,234 | | | | | 168 | 602,81 | 2,84 | 211,90 | | |
| | | | | | | | 2,324 | | 15,560 | 2,72 | 82,52 | | 619,55 | 2,20 | 281,61 | | |
| 1 | 10 | 6 | 1.176 | 653 | 1.174 | 521 | 2,256 | 2,389 | | | | 156 | 559,75 | 1,47 | 379,95 | | |
| 2 | | | 1.168 | 664 | 1.174 | 510 | 2,290 | | | | | 168 | 602,81 | 2,84 | 211,90 | | |
| 3 | | | 1.171 | 666 | 1.176 | 510 | 2,296 | | | | | 105 | 376,75 | 2,06 | 183,12 | | |
| | | | | | | | 2,281 | | 14,107 | 4,52 | 67,96 | | 513,10 | 2,10 | 244,33 | | |

Hasil dari perendaman selama 7 hari dapat dilihat dalam tabel dibawah dengan masing masing kadar resin beserta keterangannya.

Tabel 4. 17 Hasil Perendaman Menerus 14 hari Resin 0%

| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 50% | 0% | -2,51 | 3.0 – 5.0 % | Tidak Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 11,010 | Min 15% | Tidak Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 122,80 | Min 65% | Memenuhi |
| Stabilitas Marshall | (Kg) | | | 695,14 | Min 800 Kg | Tidak Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 1,67 | 2.0 – 4.0 | Tidak Memenuhi |
| Marshall Quotient | - | | | 415,75 | - | - |

Tabel 4. 18 Hasil Perendaman Menerus 14 hari Resin 5%

| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 25% | 5% | -5,78 | 3.0 – 5.0 % | Tidak Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 8,180 | Min 15% | Tidak Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 170,66 | Min 65% | Memenuhi |
| Stabilitas Marshall | (Kg) | | | 503,3 | Min 800 Kg | Tidak Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 1,67 | 2.0 – 4.0 | Tidak Memenuhi |
| Marshall Quotient | - | | | 183,12 | - | - |

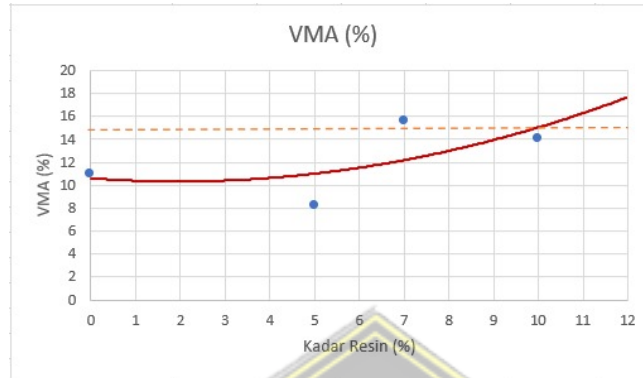
Tabel 4. 19 Hasil Perendaman Menerus 14 hari Resin 7%

| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 25% | 7% | 2,72 | 3.0 – 5.0 % | Tidak Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 15,560 | Min 15% | Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 82,52 | Min 65% | Memenuhi |
| Stabilitas Marshall | (Kg) | | | 619,55 | Min 800 Kg | Tidak Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,20 | 2.0 – 4.0 | Memenuhi |
| Marshall Quotient | - | | | 281,61 | - | - |

Tabel 4. 20 Hasil Perendaman Menerus 14 hari Resin 10%

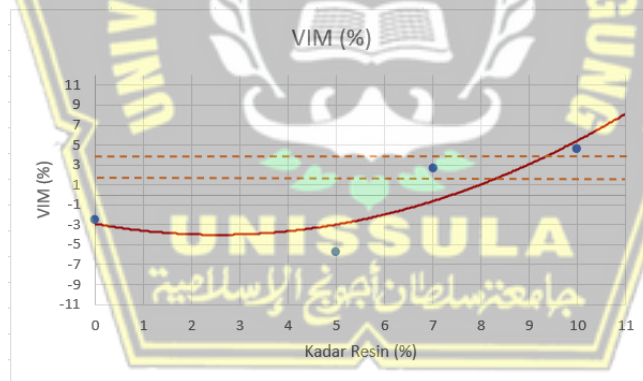
| URAIAN | | AGREGAT SLAG | RESIN | SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM | SPESIFIKASI | KETERANGAN |
|------------------------------------|------|--------------|-------|---------------------------------------|-------------|----------------|
| Rongga Udara (VIM) | (%) | 25% | 10% | 4,52 | 3.0 – 5.0 % | Memenuhi |
| Rongga Dalam mineral Agregat (VMA) | (%) | | | 14,107 | Min 15% | Memenuhi |
| Rongga Terisi Aspal (VFA) | (%) | | | 67,96 | Min 65% | Memenuhi |
| Stabilitas Marshall | (Kg) | | | 513,10 | Min 800 Kg | Tidak Memenuhi |
| Kelelahan Plastis (Flow) | - | | | 2,10 | 2.0 – 4.0 | Memenuhi |
| Marshall Quotient | - | | | 244,33 | - | - |

Hasil Perendaman menerus 14 hari yaitu pada slag 25% dan 50% dengan kadar resin 5%, 7%, dan 10% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dikarenakan tidak memenuhi 6 parameter spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2.



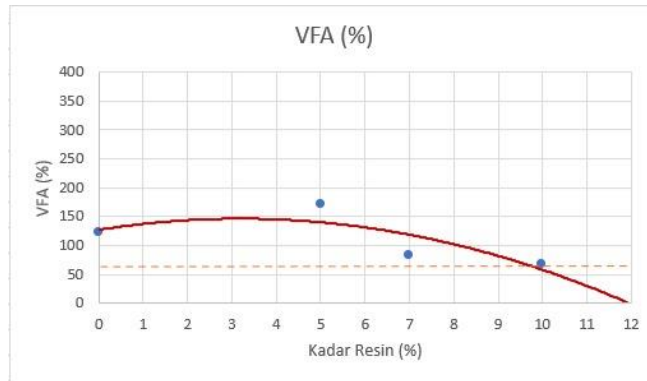
Gambar 4.12 Grafik VMA perendaman 14 Hari

Pada grafik VMA diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 11,010%, 8,180 %, 15,560 % dan 14,107 % ,hanya kadar resin 7 % yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



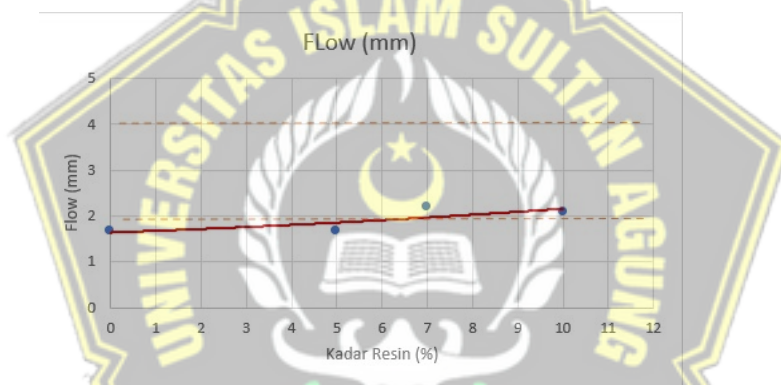
Gambar 4.13 Grafik VIM perendaman 14 Hari

Pada grafik VIM diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu -2,51 %, -5,78 %, 2,72 % dan 4,52 % ,dari hasil yang didapatkan hanya kadar resin 7% yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VIM dari Binamarga yaitu minimum 3,00 % dan untuk nilai maksimum adalah 5,00%.



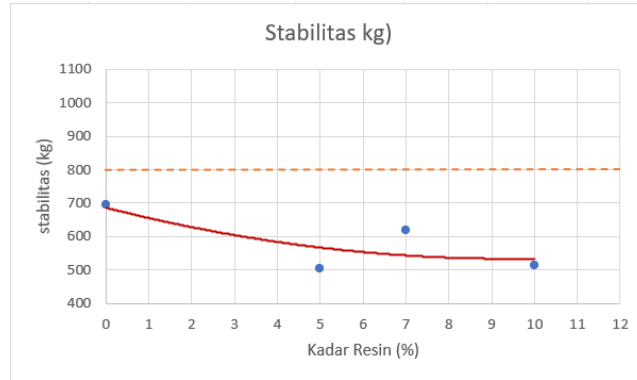
Gambar 4. 14 Grafik VFA perendaman 14 Hari

Pada grafik VFA diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 122,80 %, 170,66 %, 82,52 % dan 67,96 % ,dari hasil yang didapatkan, masing masing benda uji sudah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFA dari Binamarga yaitu minimum 65%.



Gambar 4. 15 Grafik Flow perendaman 14 Hari

Pada grafik Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 1,67 mm , 1,67 mm, 2,20 mm dan 2,10 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji hanya kadar resin 7% dan 10% yang memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VIM dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm



Gambar 4. 16 Grafik Stabilitas perendaman 14 Hari

Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar 0%, 5%,7% dan 10% yaitu 695,14 kg ,503,30 kg, 619,55 kg dan 513,10 kg. Dari hasil yang didapatkan belum memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VIM dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan uji marshal nilai stabilitas untuk campuran kadar resin 0%, 3%, 7% dan 10% dengan perendaman selama 3 dan 7 hari memenuhi spesifikasi Bina Marga. Namun untuk benda uji dengan campuran resin 0%, 3%, 7% dan 10% dengan perendaman selama 14 hari tidak memenuhi spesifikasi dari Bina Marga di karenakan nilai stabilitas masih dibawah 800kg, sedangkan untuk nilai spesifikasi dari Bina Marga adalah 800kg.
2. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka untuk *job mix design* untuk kondisi jalan yang terendam air Rob berada pada campuran aspal dengan kadar resin 7%, dikarenakan hasil dari pengujian memenuhi spesifikasi dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2.
3. Berdasarkan hasil perendaman air rob yang dilakukan, semakin lama perendaman dengan air Rob dapat menyebabkan penurunan nilai stabilitas aspal dan nilai Flow yang dapat mempengaruhi ketahanan aspal.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang dilakukan ada beberapa hal yang dapat disarankan sebagai berikut :

1. Pengaruh campuran aspal dipengaruhi oleh seberapa lama uji rendaman di lakukan. Sehingga perendaman selama 14 hari untuk aspal modifikasi dengan penambahan Slag Baja dan resin sebaiknya tidak digunakan karena menyebabkan penurunan angka stabilitas.
2. *Slag Baja* dan *Resin* dapat digunakan untuk substitusi pada campuran aspal untuk jalan yang terendam Rob, namun hanya dengan kadar *Slag Baja* 25% dan Kadar *Resin* 7% berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan.
3. Untuk penggunaan slag baja dan resin dapat menahan rendaman air rob kurang lebih selama 7 hari, dikarenakan berdasarkan pengujian dengan perendaman 14 hari dapat menyebabkan penurunan nilai flow (kelelehan).

DAFTAR PUSTAKA

- Banurea, K.F. 2020. Pemanfaatan Limbah Baja (Slag Baja) Sebagai Bahan Campuran Aspal Terhadap Karakteristik Marshall. *Universitas Medan Area: 1–92.*
- Basuki, R. & Machsus, M. 2007. Penambahan Gilsonite Resin Pada Aspal Prima 55 untuk Meningkatkan Kualitas Perkerasan Hot Mix. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 3(1): 16.
- Bethary, R.T., Intari, D.E. & Septian. 2016. Kinerja Campuran Lapis Aus (AC-WC) yang Memakai Material RAP Dan Slag. *Proceedings of the 19th International Symposium of FSTPT*, 7(October): 820–830.
- Dinda, S., Putri, Y. & Putra, K.H. 2018. Modifikasi Campuran Perkerasan LASTON AC – WC Dengan Penambahan Kadar 8 % Gilsonite Resin Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. *FTSP ITATS*: 22–29.
- Emil Adly, F.L.R. 2021. Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang Surut terhadap Campuran Lapis Aspal Beton AC-WC dengan Modifikasi Steel slag Ramah Lingkungan. *Buletin Teknik Sipil*, 1(2): 87–92.
- Firmansyah & Astuti. 2013. Nanokomposit Epoxy-Titanium Dioksida. *jurnal Fisika Unand*, 2(2): 72–80.
- Kartolo, J., Putra, A.S., Yosuanita, D. & Sebayang, E.M. 2016. Pengaruh Penambahan Dempul Epoxy Pada Campuran Beton Aspal Effect of Epoxy Putty in Mixed Asphalt Concrete. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*: 385–392.
- Muaya, G.S., H.Kaseke, O. & R.E.Manoppo, M. 2015. Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal oleh Air Laut yang Ditinjau Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Sipil Statik*, 3(8): 562–570.
- Nugraha, A.A. 2021. Pengaruh Steel Slag Sebagai Substitusi Agregat Kasar Dan Aspal Starbit E60 Sebagai Bahan Ikat Pada Perkerasan Campuran Asphalt Concrete- Wearing Coarse (Ac-Wc) (the Effect of Steel Slag As a Substitution of Coarse Aggregate and Starbit E60 Asphalt As a. *Tesis*.
- Suhardi. 2016. Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jrsdd*, 4(2): 284–293. <http://journal.eng.unila.ac.id/index.php/jrsdd/article/viewFile/381/pdf>.

- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Pertama. S. 2003 Sukirman, ed. J: Institut Teknologi Nasional.
- Sulistyo, J.A. 2019. *Analisi Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) Terhadap Aspal Wearing Course*. Universitas Islam Sultan Agung Semarang. <http://repository.unissula.ac.id/20551/>.
- Suyarso, ongkosongo dan. 1989. Analisa Karakteristik Pasang Surut Alur Pelayaran Sungai Musi Menggunakan Metode Least Square. *Repository.Its.Ac.Id*.
- Yosef Putuhena, Anastasia Wardaningrum, Arutu Elkarsa, Lidya Suryatenggara, E.M.S. 2016. Campuran Beton Aspal Effect of Addition of Mixed Resin Gilsonite. *Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer*, 05(19): 269–278.
- Yuniarti, R. & Widianty, D. 2020. Tinjauan Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Tua Dengan Berbagai Bahan Peremaja Review on Durability of Asphalt Concrete Wearing Course Using Aged Asphalt with Various Rejuvenating Agent. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 6(2): 132–143.

