# EVALUASI KINERJA LIMBAH PATCHING ASPAL SEBAGAI MATERIAL RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) UNTUK CAMPURAN LAPISAN AC-BC JALAN

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik Sipil Jenjang Pendidikan Strata-1


Diajukan Oleh:

Juan Arvianto

2010107008



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**

**UNIVERSITAS PRADITA**


**2024**

# EVALUASI KINERJA LIMBAH PATCHING ASPAL SEBAGAI MATERIAL RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) UNTUK CAMPURAN LAPISAN AC-BC JALAN

**TUGAS AKHIR**

UNTUK MEMENUHI SEBAGIAN DARI SYARAT-SYARAT

GUNA MENCAPAI SARJANA TEKNIK SIPIL (S1)


Diajukan Oleh:

Juan Arvianto

2010107008

**PROGRAM STUDI**

**TEKNIK SIPIL**

**UNIVERSITAS PRADITA**


**2024**

# HALAMAN PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR

| | | |
|---|---|---|
| Nama | : | Juan Arvianto |
| NIM | : | 2010107008 |
| Program Studi | : | Teknik Sipil |
| Bentuk Tugas Akhir | : | Skripsi |
| Peminatan Tugas Akhir | : | Transportasi |
| Judul Tugas Akhir | : | Evaluasi Kinerja Limbah Patching Aspal sebagai Material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) untuk Campuran Lapisan AC-BC Jalan |

Diterima dan Disetujui untuk Diujikan

Tangerang, 19 Juli 2024

Menyetujui,

Pembimbing

Dr. Ir. Amelia Makmur, S.T., M.T.

# HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR

| | | |
|---|---|---|
| Nama | : | Juan Arvianto |
| NIM | : | 2010107008 |
| Program Studi | : | Teknik Sipil |
| Bentuk Tugas Akhir | : | Skripsi |
| Peminatan Tugas Akhir | : | Transportasi |
| Judul Tugas Akhir | : | Evaluasi Kinerja Limbah Patching Aspal sebagai Material Reclaimed Asphalt Pavement untuk Campuran Lapisan AC-BC Jalan |

Telah diujikan pada hari Senin, 5 Agustus 2024

Dengan dinyatakan lulus

**TIM PENGUJI**

Penguji I

Dr. Van Basten, S.T., M.T., M.B.A.

Penguji II

Nadia Diandra, S.T., M.T.

**Disahkan oleh:**

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Mulyadi Sugih Dharsono, M.M., M.Th., M.Kom., D.M.S.

# PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Dengan ini saya menyatakan bahwa tugas akhir yang telah saya susun ini adalah benar karya ilmiah saya sendiri dan tidak mengandur unsur plagiat dari karya ilmiah orang lain (sebagian/seluruhnya). Semua karya ilmiah orang lain atau Lembaga lain yang dikutip dalam tugas akhir ini telah disebutkan sumber kutipannya dan dicantumkan di dalam Daftar Pustaka.

Jika di kemudian hari terbukti ditemukan kecurangan atau penyimpangan baik dalam pelaksanaan maupun penyusunan tugas akhir, maka saya bersedia untuk mendapatkan sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku dan dinyatakan TIDAK LULUS.

Tangerang,

Yang Menyatakan

Juan Arvianto

2010107008

# HALAMAN PERNYATAAN PERSUTUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Dengan ini saya sebagai civitas akademik Universitas Pradita yang bertandatangan dibawah ini :

| | | |
|---|---|---|
| Nama | : | Juan Arvianto |
| NIM | : | 2010107008 |
| Program Studi | : | Teknik Sipil |
| Bentuk Tugas Akhir | : | Skripsi |

Untuk meningkatkan pengembangan ilmu pengetahuan, memberikan skripsi/tugas akhir kepada Universitas Pradita Hak Bebas Royalti Noneksklusif (None:Exclusive Royalty Free Right) dengan judul :

**EVALUASI KINERJA LIMBAH PATCHING ASPAL SEBAGAI MATERIAL RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) UNTUK CAMPURAN LAPISAN AC-BC JALAN**

Beserta dokumen tugas akhir yang ada sesuai ketentuan yang berlaku. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*None-exclusive Royalty Free Right*) ini, maka Universitas Pradita berhak menyimpan dan mengelola dalam bentuk database, dan mempublikasikan tugas akhir ini dengan tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis tugas akhir ini sebagai penulis/pencipta dan pemilik hak cipta

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya

Tangerang, 15 Agustus 2024

Yang Menyatakan

Juan Arvianto

# KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas kasih dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir yang berjudul "Evaluasi Kinerja Limbah *Patching* Aspal sebagai Material *Reclaimed Asphalt Pavement* untuk Campuran Lapisan AC-BC Jalan" disusun untuk memenuhi syarat akademik dalam rangka meraih gelar Sarjana Teknik Sipil dari Universitas Pradita, Tangerang.

Penulis ingin menyampaikan rasa terimakasih yang tulus kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam proses penyusunan tugas akhir ini, karena tanpa bimbingan, bantuan dan doa dari berbagai pihak, tugas akhir ini tidak akan dapat terselesaikan dengan tepat waktu. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, meliputi:

1. Orang Tua.
2. Bapak Ir. Mulyadi Sugih Dharsono, M.M., M.Kom., M.Th., D.M.S. selaku Kepala Program Studi Teknik Sipil Universitas Pradita.
3. Ibu Dr. Ir. Amelia Makmur, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing.
4. Bapak Dr. Van Basten, S.T., M.T. selaku Dosen Koordinator Tugas Akhir.
5. Rekan- Rekan PT.Dwi Ratna Putra.
6. Rekan- Rekan Mahasiswa jurusan Teknik Sipil Universitas Pradita.

Sebagai penutup, penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Oleh karena itu, kritik, saran, dan masukan dari pembaca sangat diharapkan untuk perbaikan di masa mendatang Melalui tugas akhir ini, semoga dapat memberikan manfaat kepada pihak yang membacanya.

# ABSTRAK

Juan Arvianto (2010107008)

## EVALUASI KINERJA LIMBAH PATCHING ASPAL SEBAGAI MATERIAL RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) UNTUK CAMPURAN LAPISAN AC-BC JALAN

**(xiii+82 halaman; 23 gambar; 17 tabel; 3 lampiran)**

Pembangunan infrastruktur jalan baru dan perbaikan infrastruktur jalan eksisting terus meningkat setiap tahunnya menyebabkan peningkatan kebutuhan akan material baru, baik aspal atau agregat yang jumlahnya terbatas. Di sisi lain, perbaikan infrastruktur jalan menghasilkan limbah *patching* aspal atau yang dikenal sebagai *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penambahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) terhadap karakteristik Marshall dalam campuran beraspal dan menganalisis kadar *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) yang paling optimal untuk ditambahkan dalam campuran beraspal. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan menggunakan pengujian Marshall. Variasi kadar RAP yang digunakan adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan RAP mencapai nilai paling optimum pada kadar 20% dengan nilai stabilitas 952 kg. Penggunaan RAP dengan kadar 50% dalam campuran beraspal mengalami penurunan stabilitas dan tidak memenuhi beberapa parameter pengujian seperti VIM dan VFA yang dapat berdampak pada kinerja campuran beraspal

Kata kunci : *Reclaimed asphalt pavement* (RAP), karakteristik Marshall, campuran beraspal

Referensi : 18 (1995-2023)

# ABSTRACT

Juan Arvianto (2010107008)

***EVALUATION OF ASPHALT PATCHING WASTE PERFORMANCE AS RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) MATERIAL FOR AC-BC LAYERS MIXTURES***

**(xiii+82 pages; 23 images; 17 tables; 3 attachments)**

*The increasing construction of new road infrastructure and the repair of existing road infrastructure each year leads to a rising demand for new material, both asphalt and aggregates, which are limited in supply. On the other hand, road infrastructure repairs produce asphalt patching waste, known as Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). Therefore, this study aims to analyze the effect of adding Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) on the marshall characteristics in asphalt mixtures and to determine the optimal percentage of RAP to be added to the asphalt mixture. The research method used is experimental, employing Marshall test. The RAP content variations used are 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%. The test results show that the use of RAP reaches the optimum value at a content of 20% with a stability value of 952 kg. The use of RAP content of 50% in asphalt mixtures results in a decrease in stability and does not meet several test parameters such as VIM and VFA which can affect the performance of the asphalt mixture*

*Keywords*: *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), *Marshall characteristics, asphalt mixtures*

*References*: 18 (1995-2023)

# DAFTAR ISI

**HALAMAN SAMPUL** ..... ii

**HALAMAN JUDUL** ..... i

**HALAMAN PERSETUJUAN SIDANG TUGAS AKHIR** ..... iii

**HALAMAN PENGESAHAN TUGAS AKHIR** ..... iv

**PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT** ..... v

**HALAMAN PERNYATAAN PERSUTUJUAN PUBLIKASI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS** ..... vi

**KATA PENGANTAR** ..... vii

**ABSTRAK** ..... viii

**ABSTRACT** ..... ix

**DAFTAR ISI** ..... x

**DAFTAR GAMBAR** ..... xii

**DAFTAR TABEL** ..... xiii

**DAFTAR LAMPIRAN** ..... xiv

**BAB 1 PENDAHULUAN** ..... 1

1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 3
1.3 Tujuan Penelitian ..... 3
1.4 Manfaat Penelitian ..... 4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian ..... 4
1.6 Sistematika Penulisan ..... 5

**BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA** ..... 7

2.1 Agregat ..... 7
2.2 Aspal ..... 10
2.3 Lapisan Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) ..... 11
2.4 Limbah *Patching* Aspal ..... 14
2.5 Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) ..... 15
2.6 Perkerasan Daur Ulang ..... 16

2.7 Kadar Aspal Optimum (KAO) ..... 17
2.8 Pengujian Marshall ..... 18
2.9 Penelitian Terdahulu ..... 25
2.10 Kebaruan Penelitian ..... 27
**BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN** ..... 30
3.1 Rancangan Penelitian ..... 30
3.2 Kerangka Penelitian ..... 31
3.3 Persiapan Material ..... 34
3.4 Pengujian Sifat Fisik Material ..... 35
3.5 Perencanaan Campuran Asphalt-Concrete Binder Coarse ..... 39
3.6 Pembuatan Sampel Uji ..... 40
3.7 Penentuan Kadar Aspal Optimum ..... 42
3.8 Pengujian Sampel Uji ..... 42
3.9 Metode Analisis Data ..... 43
**BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN** ..... 45
4.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Material ..... 45
4.2 Perencanaan Campuran Beraspal ..... 51
4.3 Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum ($G_{mm}$) Campuran Beraspal ..... 55
4.4 Hasil Pengujian Marshall Campuran Beraspal ..... 56
4.5 Perencanaan Campuran Beraspal dengan Tambahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) ..... 64
4.6 Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum ($G_{mm}$) Campuran Beraspal dengan Tambahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) ..... 66
4.7 Hasil Pengujian Marshall Campuran Beraspal dengan Tambahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) ..... 67
**BAB V KESIMPULAN DAN SARAN** ..... 77
5.1 Kesimpulan ..... 77
5.2 Saran ..... 80
**DAFTAR PUSTAKA** ..... 81

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Struktur Perkerasan Lentur ..... 12
Gambar 2. 2 Alat Pengujian Marshall ..... 19
Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian ..... xii
Gambar 3. 2 Lapisan Permukaan Jalan yang akan di-Patching ..... 34
Gambar 3. 3 Proses Pemotongan Lapisan Perkerasan Jalan yang Rusak dengan Asphalt Saw ..... 34
Gambar 3. 4 Sieve Shaker ..... 36
Gambar 3. 5 Alat Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan ..... 37
Gambar 3. 6 Mesin Abrasi Los Angeles ..... 38
Gambar 3. 7 Alat Pengujian Sand Equivalent ..... 39
Gambar 4. 1 Hubungan Nilai Stabilitas dengan Variasi Kadar Aspal ..... 58
Gambar 4. 2 Hubungan Nilai Flow dengan Variasi Kadar Aspal ..... 59
Gambar 4. 3 Hubungan Nilai MQ dengan Variasi Kadar Aspal ..... 60
Gambar 4. 4 Hubungan Nilai VIM dengan Variasi Kadar Aspal ..... 60
Gambar 4. 5 Hubungan Nilai VFA dengan Variasi Kadar Aspal ..... 61
Gambar 4. 6 Hubungan Nilai VMA dengan Variasi Kadar Aspal ..... 62
Gambar 4. 7 Pemilihan Kadar Aspal Optimum ..... 63
Gambar 4. 8 Hubungan Nilai Stabilitas dengan Variasi Kadar RAP ..... 68
Gambar 4. 9 Hubungan Nilai Flow dengan Variasi Kadar RAP ..... 69
Gambar 4. 10 Hubungan Nilai MQ dengan Variasi Kadar RAP ..... 70
Gambar 4. 11 Hubungan Nilai ViM dengan Variasi Kadar RAP ..... 71
Gambar 4. 12 Hubungan Nilai VFA dengan Variasi Kadar RAP ..... 72
Gambar 4. 13 Hubungan Nilai VMA dengan Variasi Kadar RAP ..... 73
Gambar 4. 14 Kadar RAP Optimum ..... 74

# DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Standar Pengujian Sifat Fisik Material ..... 28
Tabel 3. 1 Sampel Pengujian Campuran Lapisan AC-BC untuk KAO ..... 40
Tabel 3. 2 Sampel Pengujian Marshall Campuran Limbah Patching Aspal ..... 41
Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Analisis Saringan ..... 46
Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat ..... 48
Tabel 4. 3 Persamaan Perhitungan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan ..... 48
Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Keausan dengan Mesin Los Angeles ..... 50
Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian Sand Equivalent ..... 51
Tabel 4. 6 Komposisi Campuran Beraspal Rencana ..... 52
Tabel 4. 7 Komposisi Campuran Beraspal yang akan Digunakan ..... 53
Tabel 4. 8 Distribusi Berat Agregat dan Berat Aspal ..... 54
Tabel 4. 9 Hasil Pengujian $G_{mm}$ Campuran Beraspal ..... 56
Tabel 4. 10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan KAO ..... 57
Tabel 4. 11 Komposisi Campuran Beraspal dengan Tambahan RAP ..... 64
Tabel 4. 12 Distribusi Berat Agregat dan Berat Aspal dalam Campuran RAP ..... 65
Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Gmm Campuran Beraspal ..... 66
Tabel 4. 14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Campuran Beraspal RAP ..... 67

# DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Formulir Hasil Pengujian Agregat…….…….……L-1

LAMPIRAN 2 Formulir Hasil Pengujian Marshall…….……L-2

LAMPIRAN 3 Formulir Bimbingan Tugas Akhir……...……...…….…L-3

# BAB 1

# PENDAHULUAN

## 1.1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur jalan, baik konstruksi jalan baru maupun perbaikan dan pemeliharaan jalan eksisting terus mengalami kenaikan setiap tahunnya. Konstruksi perkerasan lentur banyak dipilih karena keunggulannya dalam efisiensi biaya konstruksi serta waktu penyelesaian konstruksi yang relative lebih singkat dibandingkan metode perkerasan kaku. Peningkatan kebutuhan infrastruktur ini berdampak pada lonjakan permintaan terhadap material konstruksi, terutama agregat dan aspal yang digunakan dalam komposisi campuran perkerasan jalan. Untuk memenuhi permintaan tersebut, eksploitasi sumber daya mineral menjadi semakin intensif. Kondisi ini berpotensi menimbulkan risiko kelangkaan material jika eksploitasi dilakukan secara terus menerus tanpa adanya intervensi dalam bentuk adposi material alternatif atau penerapan strategi pengelolaan material yang berkelanjutan.

Laju peningkatan infrastruktur jalan tidak sebanding dengan persediaan aspal di Indonesia. Produksi aspal nasional yang terbatas menyebabkan 83% kebutuhan aspal Republik Indonesia masih diimpor (Ridwan, 2022). Dengan tingkat konsumsi saat ini, persediaan aspal nasional Republik Indonesia akan habis dalam 125 tahun ke depan (Antara, 2022). Oleh karena itu, penting untuk mencari alternatif dan inovasi dalam penggunaan bahan untuk mengatasi permasalahan ini sebagai solusi berkelanjutan.

Di sisi lain, pekerjaan perbaikan infrastruktur jalan menghasilkan limbah konstruksi berupa limbah *patching* aspal atau yang dikenal sebagai *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Volume limbah *patching* aspal yang dihasilkan meningkat setiap tahunnya. Komponen limbah *patching* aspal sebagai *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) memiliki manfaat signifikan dalam hal efisiensi sumber daya dan keberlanjutan lingkungan. Material komponen *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) baik dari bahan pengikat (aspal) maupun agregatnya masih memiliki nilai guna tapi mengalami penurunan kinerja seiring dengan pemakaian jalan dalam jangka waktu yang relatif lama.

*Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) mengandung senyawa kimia berbahaya seperti *Polycyclic Aromatic Hydrocarbons* (PAHs) yang bersifat karsinogenik yang dapat menimbulkan masalah kesehatan seperti kanker dan gangguan sistem pernapasan jika terpapar dalam jangka waktu yang lama. Komponen limbah *patching* aspal seperti minyak dan hidrokarbon dapat meresap ke dalam tanah dan mengganggu keseimbangan ekosistem tanah serta menghambat pertumbuhan tanaman. Selain itu, jika limbah *patching* aspal dibuang ke sungai atau sumber air tanah, bahan kimia beracun yang terkandung dalam aspal dapat mengganggu ekosistem air dan dapat membahayakan makhluk di dalamnya.

Berdasarkan uraian yang telah dijabarkan sebelumnya, dirasakan penting untuk melakukan identifikasi potensi penggunaan kembali limbah *patching* aspal sebagai material pengganti dalam campuran beraspal dan mengevaluasi sejauh mana penurunan kinerja yang terjadi serta komposisi campuran limbah *patching* aspal yang paling optimal agar campuran beraspal dapat memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (revisi 2). Dengan demikian, diharapkan bahwa

penelitian ini dapat memberikan solusi dalam pengelolaan limbah *patching* aspal sekaligus mengurangi ketergantungan terhadap sumber daya aspal yang terbatas.

## 1.2. Rumusan Masalah

Kebutuhan akan material baru, baik agregat maupun aspal yang semakin meningkat menuntut pengembangan teknologi konstruksi jalan yang lebih efisien. RAP sebagai material daur ulang yang berasal dari sisa-sisa proyek perbaikan infrastruktur jalan beraspal, memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali secara material pengganti dalam perkerasan daur ulang. Namun, penerapan RAP dalam campuran beraspal menghadapi tantangan terkait penurunan stabilitas campuran dan penentuan proporsi kadar RAP yang optimal. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menjawab bagaimana pengaruh penambahan RAP terhadap karakteristik Marshall dalam campraun beraspal dan menentukan berapa kadar RAP yang optimal yang perlu ditambahkan agar campuran beraspal memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (revisi 2).

## 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan RAP terhadap karakteristik Marshall dalam campuran beraspal. Penelitian ini juga bertujuan untuk menganalisis kadar RAP yang paling optimal untuk ditambahkan dalam campuran beraspal, dengan analisis terhadap perubahan stabilitas, *flow*, kepadatan, dan rongga udara dalam campuran beraspal dengan variasi kadar RAP.

## 1.4. Manfaat Penelitian

Melalui penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi pelaku industri konstruksi jalan, khususnya dalam pekerjaan perkerasan lentur. Melalui identifikasi potensi penggunaan limbah *patching* aspal sebagai RAP dalam campuran beraspal diharapkan dapat memberikan solusi praktis untuk mengurangi dampak lingkungan dari limbah konstruksi. Selain manfaat teknis, melalui penelitian ini juga diharapkan dapat mendorong adopsi lebih luas terhadap penggunaan RAP di industri konstruksi jalan untuk mendukung visi pemerintah dalam upaya mengoptimalisasi pengelolaan limbah konstruksi dan pembangunan infrastruktur yang ramah lingkungan.

## 1.5. Ruang Lingkup Penelitian

Batasan penelitian ini meliputi beberapa ruang lingkup yang harus dipertimbangkan, antara lain :

a. Penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium PT. Dwi Ratna Putra.
b. Material utama yang menjadi fokus utama pada penelitian ini merupakan limbah *patching* aspal.
c. Limbah *patching* aspal yang digunakan tidak dievaluasi kinerjanya sehingga penelitian tidak memperhitungkan karakteristik fisik dan mekanis RAP.
d. Aspal yang akan dijadikan sebgai material pengikat dalam penelitian ini adalah jenis aspal dengan angkan penetrasi 60/70.
e. Metode pengujian sifat fisik material diatur dalam

- SNI 03-1971-1990 untuk pengujian analisis saringan agregat,
- SNI 03-1969-1990 untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar
- SNI 03-1970-1990 untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus
- SNI 03-2417-2008 untuk pengujian keausan agregat kasar dengan mesin Los Angeles
- SNI 03-4428-1997 untuk pengujian nilai *sand equivalent* agregat halus.

f. Parameter pengujian Marshall untuk mengevaluasi nilai stabilitas pada campuran beraspal yang digunakan untuk pengujian ini didasarkan pada SNI 2489:2018.

g. Standar hasil pengujian karakteristik campuran beraspal akan dievaluasi sesuai dengan standar Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (revisi 2).

## 1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini akan disusun secara sistematis ke dalam beberapa bab, dimana setiap bab akan membahas topik tertentu secara rinci. Dimulai dengan Bab 1 Pendahuluan, menyediakan analisis mendalam mengenai latar belakang penelitian, identifikasi permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta batasan lingkup penelitian. Selain itu, akan diuraikan dalam sistematika penulisan yang diterapkan dalam penelitian ini. Selanjutnya Bab 2 Tinjauan Pustaka, mengeksplorasi literatur terkait topik penelitian, termasuk aspek-aspek seperti sifat-sifat aspal, agregat, lapisan perkerasan lentur (*flexible pavement*), *Reclaimed Asphalt Pavement*, limbah *patching* aspal, perkerasan daur ulang, kadar aspal optimum (KAO), pengujian

Marshall, penelitian-penelitian terdahulu, serta kebaruan yang dilakukan dalam penelitian ini. Kemudian Bab 3 Metodologi Penelitian, memberikan gambaran rinci mengenai rancangan penelitian, kerangka penelitian, tahapan persiapan, dan pengujian material, perencanaan kadar limbah *patching* aspal sebagai RAP yang optimal untuk campuran beraspal, metode pengolahan analisis data hingga dapat ditarik kesimpulan dari penelitian.

Bab 4 Analisis dan Pembahasan, memberikan data-data hasil pengujian agregat RAP dan campuran beraspal dengan bahan tambahan RAP yang dianalisis dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal atau kadar RAP dengan parameter Marshall. Terakhir Bab 5 Kesimpulan dan Saran, memberikan kesimpulan dari hasil penelitian dan jawaban terhadap pertanyaan penelitian serta saran untuk peneliti selanjutnya.

# BAB 2

# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1. Agregat

Agregat adalah partikel-partikel mineral yang terbentuk melalui proses disintegrasi alami batuan berupa erosi, pengikisan, patahan atau pemecahan batuan yang dilakukan dengan menggunakan mesin pemecah batu (*stone crusher*). Agregat memegang peran penting dalam konstruksi perkerasan jalan karena sebagian besar bagian dari struktur lapisan perkerasan jalan tersusun dari agregat.

Agregat merupakan komponen utama yang membentuk sekitar 90-95% dari berat lapisan perkerasan jalan atau 75-80% dari volume lapisan perkerasan jalan (Sukirman, 1995). Oleh karena itu, karakteristik agregat dan komposisi campuran agregat dengan material lainnya sangat mempengaruhi kemampuan daya dukung, ketahanan, dan kualitas dari perkerasan jalan secara keseluruhan.

Kualitas material konstruksi perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh sifat agregat. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi sifat agregat antara lain distribusi ukuran agregat, ukuran maksimum, kadar tanah liat, kekuatan, resistensi, karakter butiran, dan tekstur permukaan. Agregat dengan kualitas dan mutu yang tinggi dapat menjamin kekuatan dan ketahanan lapisan perkerasan jalan.

Distribusi ukuran agregat atau gradasi agregat memainkan peran penting dalam menentukan stabilitas perkerasan (White, 2017). Gradasi agregat mempengaruhi ukuran rongga antar butiran yang dapat mempengaruhi stabilitas dan kelancaran proses konstruksi. Gradasi agregat umumnya dibedakan menjadi gradasi seragam, gradasi rapat, dan gradasi senjang.

Daya tahan agregat menggambarkan seberapa kuat agregat dalam menghadapi abrasi atau penurunan kualitas yang diakibatkan oleh pengaruh mekanis atau kimia. Agregat dapat mengalami degradasi karena pemadatan, tekanan berulang dari lalu lintas, atau kerusakan akibat faktor lingkungan. Untuk mengukur ketahanan agregat terhadap abrasi, dapat dievaluasi melalui proses pengujian menggunakan mesin abrasi Los Angeles.

Bentuk dan struktur permukaan agregat mempengaruhi nilai stabilitas, ketahanan aus, dan interaksi antara agregat-agregat dan aspal(Sumiati, 2014). Agregat memiliki bentuk bulat, lonjong, *angular*, *sub-angular* dan memiliki tekstur halus, sedang, dan kasar. Variasi bentuk dan tekstur agregat ini akan mempengaruhi data *interlocking* antar partikel dan kemampuan lapisan perkerasan untuk menopang beban lalu lintas.

Terdapat tiga jenis agregat berdasarkan ukuran dan jenis butirannya, yang terdiri dari :

a. Agregat kasar dengan fraksi yang tertahan pada saringan No.4 dengan diameter lubang ayakan sebesar 4,75 mm. Agregat kasar memiliki persyaratan untuk memastikan kualitasnya. Pengujian keausan agregat kasar dilakukan dengan mesin abrasi Los Angeles pada 500 putaran, dimana nilai keausan maksimum yang diperbolehkan adalah 40%. Selain itu, agregat harus memiliki nilai kelekatan terhadap aspal minimal 95% dan indeks kepipihan butiran tertahan dibawah 25%. Penyerapan agregat kasar terhadap air maksimum 3% dan berat jenis *bulk* agregat minimal 2,5. Agregat kasar yang dipilih harus berasal dari

sumber dan jenis yang konsisten untuk mempertahankan kestabilan kualitasnya.

b. Agregat halus dengan fraksi yang lolos pada saringan No.4 dengan diameter lubang ayakan sebesar 4,75 mm. agregat halus merupakan komponen penting dalam pembuatan Laston yang memiliki karakteristik untuk memastikan kualitas perkerasan jalan yang optimal. Agregat halus terdiri dari pasir alam, material hasil pemecahan batuan, maupun kombinasi keduanya yang harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Nilai *sand equivalent* dari agregat halus minimum 50%. Nilai ini mengindikasikan agregat halus bersih dari bahan organik atau kontaminan lain yang dapat mengganggu kinerja perkerasan. Berat jenis semu agregat halus (*Apparent*) minimum 2,5 yang mengindikasikan kepadatan agregat halus dan tingkat penyerapan agregat terhadap air tidak boleh melebihi 3% agar tidak mengakibatkan perubahan volume agregat dan mengurangi kualitas campuran beraspal.

c. *Filler* merupakan jenis agregat halus yang melewati saringan No.200. Peran utama *filler* (bahan pengisi) adalah untuk meningkatkan viskositas aspal dan mengurangi sensitivitas terhadap perubahan suhu dalam campuran beraspal, selain itu material *filler* memiliki tingkat penyerapan yang tinggi terhadap aspal. Salah satu material *filler* yang paling umum digunakan adalah *fly ash* atau abu batu karena mampu memberikan stabilitas yang paling optimal terhadap perkerasan jalan. Penambahan abu batu sebagai *filler* ke dalam campuran beraspal akan meningkatkan kohesi antar butiran agregat dan aspal yang dapat meningkatkan kekentalan aspal. Abu batu juga dapat mengurangi sensitivitas campuran beraspal terhadap perubahan suhu, sehingga dapat

meningkatkan kinerja campuran beraspal dalam berbagai kondisi iklim. Kemampuan abu batu untuk menyerap aspal secara efektif mampu membantu meningkatkan pengikatan antara butiran agregat dan aspal sehingga akan meningkatkan daya tahan campuran terhadap keausan dan keretakan. Maka dari itu, pemilihan *filler* abu batu sesuai standar yang mempengaruhi kualitas Laston yang dihasilkan

## 2.2. Aspal

Aspal merupakan substansi perekat yang kompleks, berwarna gelap hingga coklat tua dan terdiri dari senyawa hidrokarbon. Aspal terbuat dari material perekat yang disebut bitumen yang diperoleh dari proses pengolahan sisa-sisa minyak bumi. Aspal memiliki karakteristik viskoelastisitas, yang mencakup viskositas (aliran) dan elastisitas (deformasi elastis) dimana ketika suhu mencapai atau melebihi titik lelehnya, aspal akan mencair dan dapat dengan mudah diaplikasikan sebagai material perekat konstruksi pekerjaan perkerasan lentur dan setelah mendingin, aspal akan menjadi material yang padat dan kuat.

Proporsi aspal yang optimal dalam campuran beraspal sangat penting untuk mecapai kekuatan mekanis dan daya tahan yang diinginkan dalam jalan raya. Variasi proporsi kadar aspal dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk jenis aspal yang digunakan dalam proyek konstruksi, iklim lokasi proyek, dan karakteristik lalu lintas. Variasi dalam proporsi aspal dalam campuran perkerasan lentur dapat mempengaruhi kinerja jangka panjang perkerasan, termasuk kekuatan, ketahanan terhadap deformasi, dan umur layanan jalan.

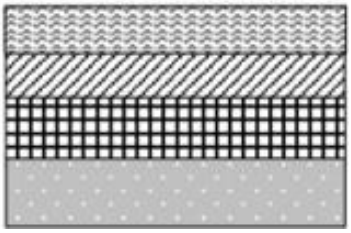
Aspal berperan sebagai material pengikat dan material pengisi dalam pekerjaan perkerasan lentur. Sebagai material pengikat, aspal memiliki sifat adhesi yang kuat untuk mengikat partikel-partikel agregat untuk meningkatkan kekuatan dan kestabilan struktur perkerasan jalan. Selain itu, aspal juga dapat mengikat lapisan dasar dan lapisan permukaan agar dapat menahan beban lalu lintas dan tahan lama. Sebagai material pengisi (*filler*), saat dicampur dengan agregat aspal dan mengisi rongga dan pori-pori di antara agregat sehingga dapat meningkatkan kepadatan campuran aspal dan mengurangi terjadinya deformasi atau keretakan pada lapisan perkerasan jalan.

Aspal dapat diklasifikasikan ke dalam tiga bentuk primer, yakni aspal padat, aspal cair, dan aspal emulsi(Roberts, 1996). Aspal padat, yang juga dikenal sebagai *asphalt cement* memiliki keadaan padat pada suhu ruang tetapi akan mencair saat mencapai titik lelehnya. Aspal padat perlu dilelehkan sebelum digunakan. Aspal cair dihasilkan dari proses penyulingan minyak bumi dan berwujud cair, dibedakan berdasarkan waktu pengeringan (*curing*). Sementara itu, aspal emulsi (*Emulsified Asphalt*) adalah kombinasi dari aspal, air, dan zat pengemulsi, yang membuatnya memiliki konsentrasi lebih cair daripada aspal konvensional. Aspal emulsi dibedakan berdasarkan waktu pengerasan (*setting*).

## 2.3. Lapisan Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur merupakan salah satu jenis konstruksi perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai material pengikat utama(Sukirman, 1999). Lapisan perkerasan lentur direncanakan untuk menahan beban lalu lintas dan meratakan

distribusi beban ke lapisan tanah dasar (*subgrade*). Tujuan utama dari perkerasan jalan adalah memberikan layanan yang optimal bagi sarana transportasi dan memastikan keselamatan dan kenyamanan bagi pengguna selama masa layanannya. Untuk memastikan perkerasan jalan sesuai dengan standar mutu yang diharapkan, diperlukan pemahaman yang mendalam tentang sifat fisik dan mekanis dari komponen-komponen penyusun perkerasan jalan, seperti agregat, aspal, dan bahan pengikat lainnya, proses pemilihan, penggalian, pemrosesan, dan pengangkutan material, penanganan, penyimpangan, dan penggunaan material secara efisien dan efektif selama masa konstruksi.




Gambar 2. 1 Struktur Perkerasan Lentur

Pada Gambar 2.1 disajikan gambar lapisan-lapisan perkerasan lentur jalan raya yang terdiri dari komponen utama sebagai berikut :

a. Lapisan pondasi bawah / sub-base coarse

   Komponen paling dasar dalam struktur perkerasan jalan yang terletak diantara lapisan pondasi atas (*base coarse*) dan tanah dasar (*sub-grade*). Fungsi utama *sub-base coarse* adalah untuk mendukung lapisan *base coarse* dan lapisan permukaan (*surface coarse*), menjaga stabilitas struktural dan mencegah terjadinya penurunan atau deformasi pada perkerasan dengan mencegah air dan kelembaban berlebih dari tanah dasar (*sub grade*) menyerap ke dalam perkerasan, menyebarkan beban dari roda kendaraan yang melintas di atasnya

secara merata agar mengurangi tekanan yang diterima oleh lapisan perkerasan atas sehingga dapat memperpanjang umur layanan perkerasan.

b. Lapisan pondasi atas / *base coarse*

Komponen dari struktur perkerasan lentur yang terletak di bawah lapis permukaan jalan. *Base coarse* menerima beban yang signifikan dari lalu lintas kendaraan dan menyalurkan beban ke lapisan pondasi bawah (*sub-base coarse*). Fungsi utama dari *base coarse* adalah menopang gaya lateral dari beban roda kendaraan dan menyebarkannya secara merata ke lapisan di bawahnya, sebagai bantalan yang mendukung lapisan pemukaan jalan (*surface coarse*) untuk mencegah deformasi atau kerusakan pada lapisan permukaan akibat beban lalu lintas kendaraan, sebagai lapisan peresapan air dan kelembaban di bawah lapisan perkerasan (*surface coarse*) yang berpotensi merusak stabilitas lapisan pondasi bawah (*sub-base coarse*).

Dalam memilih material *base-coarse*, terdapat beberapa syarat yang harus diperhatikan berupa mutu material yang tinggi untuk memastikan material kuat dan tahan menerima beban lalu lintas diatasnya, memiliki susunan gradasi yang rapat untuk mengurangi rongga dan meningkatkan kepadatan struktur *base coarse*, memiliki kekuatan dan ketahanan yang tinggi dengan nilai California Bearing Ratio (CBR) ≥ 50% dan nilai indeks kepipihan (PI) ≤ 4% untuk memastikan kinerja dan umur layanan yang optimal dari perkerasan jalan.

c. Lapisan Permukaan / *Surface Coarse*

Lapisan paling atas dari struktur perkerasan jalan yang kontak secara langsung dengan roda kendaraan. Fungsi utama dari lapisan permukaan adalah untuk menopang dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima pada perkerasan jalan untuk mempertahankan nilai stabilitas structural jalan, mengurangi penyerapan air dan kelembaban berlebih agar tidak meresap ke lapisan di bawahmya yang berpotensi menyebabkan pelemahan atau penurunan kekuatan lapisan, memberikan permukaan jalan yang rata dan tidak licin agar kendaraan dapat berjalan dengna nyaman dan aman, sebagai lapisan perlindungan dari beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan.

## 2.4. Limbah *Patching* Aspal

Limbah *patching* aspal adalah sisa material dari perbaikan lapisan perkerasan lentur jalan yang mengalami kerusakan atau retakan. Proses perbaikan jalan yang baru melibatkan pemotongan aspal lama dengan *asphalt saw* dan proses penggantian dengan aspal baru akan menghasilkan limbah *patching* yang biasanya tidak lagi dapat digunakan pada perkerasan aspal baru dan jumlahnya cukup melimpah karena setiap tahunnya banyak permukaan jalan yang mengalami kerusakan dan memerlukan pemeliharaan dan perawatan.

Limbah *patching* aspal umumnya hanya digunakan sebagai material timbunan atau urugan. Hal ini menimbulkan tantangan terkait dampak lingkungan dan inefisiensi dalam pemanfaatan sumber daya yang tersedia. Namun, terdapat potensi dalam memanfaatkan limbah *patching* aspal sebagai *Reclaimed asphalt pavement* (RAP).

Dengan memanfaatkan kembali *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), ketergantungan terhadap agregat dan aspal baru akan berkurang. Oleh karena itu, strategi pengelolaan dan pemanfaatan yang efektif dari *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), termasuk limbah *patching* aspal menjadi penting untuk memperbaiki keberlanjutan industri konstruksi jalan raya.

## 2.5. Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)

*Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) merupakan pengembangan teknologi di dalam industri konstruksi jalan yang dapat dijadikan alternatif untuk mengurangi penggunaan agregat dan aspal baru dalam pembuatan campuran beraspal panas / *hotmix* (Copeland, 2011). Penggunaan RAP membawa manfaat dalam mengurangi eksploitasi material untuk produksi aspal baru dan juga dapat menghemat biaya produksi aspal dalam *Asphalt Mixing Plant* (AMP).

Material penyusunan RAP akan diekstraksi untuk mengevaluasi komponen-komponen penyusun yang terkandung di dalam material RAP secara akurat. Evaluasi ini akan menguji parameter-parameter utama seperti stabilitas, *flow* (kelelahan), kepadatan, rongga dalam agregat (*Voids in Mineral Aggregates* / VMA), rongga dalam campuran (*Voids in Mix* / VIM ), rongga yang terisi aspal (*Voids Filler with Asphalt* / VFA), dan *Marshall Quotient* (MQ).

Kerusakan perkerasan lentur dapat divariasikan dalam beberapa kategori umum seperti deformasi, keretakan, kerusakan berlubang, dll.

a. Deformasi merupakan perubahan struktur aspal dalam bentuk berbagai jenis *rutting* dan perubahan profil permukaan yang tidak merata. Penyebab

deformasi dapat disebabkan akibat beban lalu lintas berlebihan yang berulang-ulang, kualitas material perkerasan yang buruk, ketebalan lapisan yang tidak memadai, dll.

b. Keretakan merupakan kerusakan yang membentuk celah pada permukaan aspal baik secara longitudinal maupun transversal. Keretakan dapat disebabkan oleh berbagai factor seperti perubahan suhu, deformasi, penurunan tanah dasar, atau faktor- faktor lain yang menyebabkan tegangan berlebih pada lapisan permukaan aspal.

c. Kerusakan lubang merupakan kerusakan yang membentuk lubang dengan ukuran dan kedalaman yang bervariasi. Kerusakan lubang dapat disebabkan oleh berbagai faktor seperti deformasi, keausan lapisan permukaan, dan beban kendaraan yang tidak sesuai rencana konstruksi.

## 2.6. Perkerasan Daur Ulang

Perkerasan daur ulang merupakan salah satu inovasi dalam bidang Teknik sipil yang terus berkembang. Teknologi ini berfokus pada pemanfaatan Kembali material dari limbah perkerasan lama, seperti agregat dan aspal sebagai komponen utama dalam campuran lapisan perkerasan yang baru. Fokus utama dari pengembangan perkerasan daur ulang adalah meminimalisir dampak lingkungan dari limbah konstruksi, sambil mempertahankan atau bahkan meningkatkan kinerja structural dari perkerasan yang dihasilkan.

Perkerasan daur ulang memiliki manfaat yang signifikan dalam menangani tantangan terkait perbaikan atau rekonstruksi jalan. Hal ini meliputi penghematan penggunaan aspal dan agregat baru serta pencegahan terhadap kerusakan geometri

jalan akibat penumpukan yang berlebihan pada lapisan perkerasan. Material utama yang digunakan dalam metode perkerasan daur ulang adalah limbah *patching* aspal yang mengandung campuran aspal dan agregat bekas dari lapisan perkerasan lama. Namun, untuk mencapai hasil yang optimal, perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui kinerja dan karakteristik yang perlu diperbaharui dari aspal dan agregat lama ini.

Penggunaan bahan daur ulang dalam perkerasan memiliki beberapa keunggulan yang terdiri dari :

a. Penghematan biaya produksi konstruksi yang signifikan. Efisiensi material dengan mendaur ulang RAP sebagai material campuran beraspal baru dapat mencapai hingga angka 50%.
b. Ikut berkontribusi dalam upaya pemerintah melakukan konservasi sumber daya alam, berupa eksploitasi material agregat secara berlebihan dengan mengurangi kebutuhan akan material baru.
c. Kondisi pemeliharaan geometri perkerasan jalan menjadi lebih baik karena tidak terjadi penambahan ketebalan perkerasan yang berlebihan.

## 2.7. Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal merupakan parameter paling penting dalam penentuan campuran perkerasan lapisan aspal beton yang mempengaruhi kualitas dari campuran beraspal (Setiawan, 2016). Kadar aspal yang tepat untuk dicampurkan ke dalam campuran beraspal akan memastikan lapisan perkerasan mencapai kinerja yang optimal. Penetapan nilai kadar aspal optimum dipengaruhi oleh berbagai variable, termasuk

jenis agregat, gradasi agregat, tipe agregat, dan karakteristik campuran perkerasan lentur.

Dalam menentukan kadar aspal optimum, salah satu pendekatan teknis yang paling umum dilakukan adalah melalui pengujian Marshall. Kadar aspal yang terlalu rendah dapat mengakibatkan campuran beraspal rapuh dan mudah retak, sementara kadar aspal yang terlalu tinggi menyebabkan campuran menjadi terlalu lunak dan rentan terhadap deformasi, seperti alur atau *bleeding*.

Nilai KAO ditentukan dengan memilih kadar aspal yang memberikan keseimbangan terbaik antara stabilitas, durabilitas, dan kepadatan. Dengan memilih KAO yang tepat, campuran beraspal mampu menahan beban lalu lintas dan perubahan iklim tanpa mengalami kerusakan berlebihan.

## 2.8. Pengujian Marshall

Metode pengujian Marshall merupakan salah satu teknik yang paling umum digunakan dalam industri konstruksi perkerasan jalan untuk mengevaluasi kinerja campuran beraspal. Melalui pengujian ini, data mengenai nilai stabilitas dan *flow* campuran beraspal dapat diperoleh. Stabilitas mengukur kemampuan campuran beraspal untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen yang mengindikasikan kekuatan structural dan daya tahannya. Sementara itu, parameter *flow* mengukur besarnya deformasi plastis yang terjadi pada campuran beraspal di bawah beban yang menggambarkan fleksibilitas serta ketahanannya terhadap deformasi berlebihan.

Proses pengujian Marshall melibatkan penggunaan alat uji khusus yang terdiri dari cincin penguji (*proving ring*) yang dilengkapi dengan arloji pengukur. Campuran beraspal dipadatkan akan dipadatkan di dalam cincin penguji (*proving ring*) dengan menggunakan alat pemadat khusus. Setelah itu, sampel uji akan dikenai beban secara bertahap hingga mencapai titik deformasi. Alat uji Marshall memiliki peranan penting untuk memastikan campuran beraspal sesuai dengan standar kualitas yang ditetapkan dalam konstruksi jalan dan infrastruktur. Ilustrasi mengenai alat uji Marshall disajikan dalam Gambar 2.2.

Gambar 2. 2 Alat Pengujian Marshall

Dalam penerapan pengujian Marshall, sangat penting untuk memastikan seluruh prosedur dan hasil pengujian memenuhi standar ketentuan yang berlaku sesuai spesifikasi teknis yang ditetapkan. Pengujian ini mengukur sejumlah parameter penting yang menjadi indikator utama kinerja dan kualitas campuran beraspal. Parameter- parameter penting yang harus diperhatikan dalam pengujian Marshall meliputi kepadatan, VIM, VMA, VFA, stabilitas, dan *flow*.Standar pengukuran parameter-parameter Marshall mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (revisi 2) sebagai standarisasi teknis.

Kepadatan (*density*) merupakan parameter penting yang menentukan kinerja campuran beraspal dalam menopang beban lalu lintas. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan, antara lain kadar aspal yang digunakan, kualitas material penyusun, komposisi campuran, dan teknik penumbukan. Kepadatan optimal campuran beraspal diperlukan untuk memastikan stabilitas yang memadai terhadap beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi berlebihan yang dapat mengurangi umur layanan jalan. Kepadatan (*density*) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Gmb = \frac{Wmp}{\frac{Wmssd}{\gamma w} - \frac{Wmv}{\gamma w}} \quad (2\text{-}1)$$

Keterangan :

Gmb = Berat volume benda uji (*density*) (gr/cc)

Wmp = Berat kering dari benda uji sebelum di rendam dalam air (gr)

Wmssd = Berat benda uji saat berada dalam keadaan jenuh air (gr)

Wmv = Berat benda uji saat berada dalam air (gr)

Γw = Berat volume air (gr/cc)

*Voids In Mix* (VIM) merupakan parameter penting yang menggambarkan jumlah rongga atau ruang kosong diantara partikel agregat dan bahan pengikat dalam campuran beraspal. Pengukuran nilai *Voids in Mix* (VIM) berfungsi untuk memberikan informasi mengenai seberapa rapat campuran beraspal tersebut setelah proses pemadatan. Semakin rendah nilai VIM, menunjukkan semakin sedikit rongga yang ada dalam campuran beraspal. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran tersebut memiliki kepadatan yang tinggi. Nilai VIM dapat dihitung dengan persamaan berikut :

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

Keterangan :

VIM = Kadar rongga dalam campuran (%)

$G_{mm}$ = Berat jenis maksimum teoritis

Gmb = Berat volume benda uji (*density*) (gr/cc)

*Voids in Mineral Aggregates* (VMA) merupakan parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi jumlah rongga di antara partikel-partikel agregat dalam campuran beraspal, serta menyertakan volume efektif aspal dalam campuran tersebut. VMA memberikan gambaran mengenai seberapa besar ruang kosong yang tersedia di antara agregat yang memungkinkan pengikatan dan penyebaran aspal ke seluruh permukaan agregat. Nilai VMA dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$VMA = (1-\frac{Gmb}{Gsb}) \times 100\% - Ps \quad (2\text{-}3)$$

Keterangan :

VMA = Ruang kosong diantara partikel- partikel agregat dalam campuran beraspal

Gsb = Berat jenis dari agregat (gr/cc)

Gmb = Berat jenis dari campuran padat (gr/cc)

Ps = Berat total campuran yang terdiri dari agregat (%)

*Voids Filled with Asphalt* (VFA) merupakan parameter penting yang digunakan untuk mengukur persentase volume rongga dalam campuran beraspal yang telah terisi oleh aspal, dengan pengecualian aspal yang diserap oleh agregat. Nilai VFA menunjukkan seberapa efektif aspal mengikat agregat dalam campuran beraspal

yang menunjukkan kekuatan dan daya tahan campuran terhadap deformasi dan keausan. Nilai VFA dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \quad (2\text{-}4)$$

Keterangan :

VFA = Rongga terisi aspal (%)

VMA = Rongga diantara mineral agregat (%)

VIM = Rongga di dalam campuran (%)

*Flow* merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk mengevaluasi sifat deformasi dari campuran beraspal setelah diberi beban. Nilai *flow* menunjukkan karakteristik campuran beraspal bersifat lentur atau getas. Campuran beraspal harus memiliki nilai *flow* yang tepat untuk memberikan stabilitas dan keamanan yang optimal pada konstruksi jalan. Jika nilai *flow* terlalu rendah, hal ini menunjukkan bahwa campuran beraspal lebih kaku. Sementara jika nilai *flow* terlalu tinggi, hal ini menunjukkan bahwa campuran beraspal lebih elastis.

Stabilitas merupakan parameter penting dalam mengevaluasi kinerja campuran beraspal untuk menahan beban sebelum mengalami deformasi. Nilai stabilitas harus tepat untuk mencapai kinerja dan durabilitas yang optimal. Kelebihan nilai stabilitas dapat menyebabkan campuran beraspal menjadi keras dan rentan terhadap keretakan karena kurangnya ruang pori di dalam agregat dalam campuran beraspal. Nilai stabilitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

S = q x kalibrasi *proving ring* x koreksi tebal benda uji (2-5)

Keterangan :

S = Stabilitas (kg)

q = Nilai pembacaan arloji

Marshall Quotient (MQ) merupakan suatu indikator dalam menilai sifat keseluruhan dari campuran beraspal. Faktor- faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah kestabilan dan kelenturan campuran, penetrasi aspal, viskositas aspal, persentase aspal dalam campuran, sifat geometris, tekstur permukaan agregat, dan distribusi ukuran butiran agregat. Semakin besar nilai MQ mengindikasikan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas yang tinggi dan cenderung lebih kaku. Dengan mempertimbangkan faktor- faktor yang mempengaruhi nilai MQ, dapat disusun campuran beraspal yang memiliki kinerja yang optimal dalam menopang beban lalu lintas. Nilai MQ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$MQ = \frac{MS}{MF} \tag{2-6}$$

Keterangan :

MQ = Nilai Marshall Quotient (kg/mm)

MS = Nilai Marshall *Stability* (kg)

MF = Nilai Marshall *Flow* (m)

Pada pengujian Marshall terdapat beberapa parameter untuk mencari nilai dari *Marshall Quotient* (MQ). Parameter yang digunakan untuk mencari nilai berat jenis dan volume pada campuran terdiri dari berat jenis kering, berat jenis semu, dan berat jenis efektif.

Berat jenis kering (*bulk*) diukur dari berat jenis total dari suatu sampel uji termasuk seluruh pori yang terdapat di dalamnya, baik yang dapat diisi oleh air maupun tidak. Pengukuran berat jenis kering (*bulk*) digunakan untuk mengevaluasi kepadatan dan

porositas suatu material. Berat jenis kering (*bulk*) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Gsb total agregat} = \frac{P1 + P2 + \ldots + Pn}{\frac{P1}{Gsb1} + \frac{P2}{Gsb2} + \cdots + \frac{Pn}{Gsbn}} \quad (2\text{-}7)$$

Berat jenis semu (*apparent*) diukur dari total berat jenis dari suatu agregat yang mencakup porositas yang dapat terisi oleh air. Berat jenis semu (*apparent*) diukur untuk menentukan berat agregat dalam keadaan terendam air dan hasilnya dibagi dengan volume agregat yang terendam. Pengukuran ini digunakan untuk menentukan berat jenis agregat saat jenuh air. Berat jenis kering (*apparent*) dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\text{Gsa total agregat} = \frac{P1 + P2 + \ldots + Pn}{\frac{P1}{Gsa1} + \frac{P2}{Gsa2} + \cdots + \frac{Pn}{Gsan}} \quad (2\text{-}8)$$

Berat jenis efektif diukur dari total berat jenis dari suatu agregat yang mencakup pori-pori yang dapat diisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk pori-pori yang diisi oleh udara atau air. Pengukuran total berat jenis efektif digunakan untuk mengevaluasi sejauh mana agregat mampu menyerap aspal, yang mempengaruhi stabilitas dan daya tahan campuran beraspal. Total berat jenis efektif dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$\text{Gse total agregat} = \frac{Gsb - Gsa}{2} \quad (2\text{-}9)$$

$$\text{Gse total agregat} = \frac{Pmm - Pb}{\frac{Pnn}{Gmm} + \frac{Pb}{Gb}} \quad (2\text{-}10)$$

## 2.9. Penelitian Terdahulu

Hasil studi literatur mengenai pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) sebagai material daur ulang menunjukkan adanya karakteristik yang bervariasi dalam campuran beraspal. Berikut adalah hasil dari penelitian terdahulu mengenai pemanfaatan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) :

a. "Pengaruh Penambahan Aspal terhadap Stabilitas Marshall pada Material *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) di Ruas Jalan Jenderal Sudirman-Rijali Kota Ambon" (Masri et al., 2023). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik aspal beton pada campuran beraspal dengan menggunakan kembali material *Reclaimed Asphalt Pavememt* (RAP) yang berasal dari pembongkaran lapisan permukaan jalan dan menambahkan material baru berupa agregat dan aspal pen 60/70 untuk menghasilkan campuran dengan kinerja yang baik. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen meliputi proses penyiapan material, pengujian material, perencanaan campuran, dan pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas dan *flow*. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 untuk campuran Laston AC-WC. Analisis karakteristik campuran beraspal dilakukan dengan mengukur nilai VIM, VMA, VFB, stabilitas, *flow, Marshall Quotient* pada berbagai kadar aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengunaan material RAP 20% memenuhi batas Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 untuk campuran Laston AC-WC. Kekurangan dari penelitian ini adalah pengujian hanya dilakukan dengan penggunaan RAP 20% sehingga perlu dilakukan penelitian dengan variasi kadar RAP yang lebih beragam.

b. “Studi Analisis Pemanfaatan Hasil Pengupasan Aspal untuk Daur Ulang Campuran HRS-WC” (Latjemma, 2022). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan menganalisis pemanfaatan limbah perkerasan aspal yang dihasilkan dari pengupasan RAP dalam campuran aspal beton lapis aus (HRS-WC). Penelitian ini juga bertujuan mengetahui bagaimana hasil pengujian ekstraksi kadar aspal dan gradasi dari perkerasan lama, serta menentukan penambahan kadar aspal agar campuran HRS-WC memenuhi spesifikasi. Metode penelitian yang digunakan adalah metode daur ulang *in-place* dan *in-plant,* pengujian ekstraksi penambahan kadar aspal. Hasil dari penelitian ini adalah kadar ekstraksi aspal rata-rata untuk campuran HRS-WC adalah 5,19%. memerlukan penambahan kadar aspal sebanyak 1,31% untuk memenuhi spesifikasi. Kekurangan dari penelitian ini adalah keterbatasan sampel yang digunakan sehingga hasilnya tidak dapat digeneralisasikan secara luas, variasi dalam kualitas dam komposisi material RAP yang dapat mempengaruhi hasil akhir dari campuran daur ulang.

c. “Daur Ulang Penggunaan Aspal Panas Retak Kulit Buaya yang Digunakan pada Lapisan Perkerasan” (Tahir et al., 2024). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran beraspal AC-WC dengan mengunakan RAP (Aspal retak kulit buaya). Penambahan aspal baru pada aspal retak kulit buaya divariasikan pada kadar 1,77%, 2,27%, 2,77%, 3,27%, dan 3,77% dengan perendaman 1x24 jam. Metode penelitian dilakukan dengan metode eksperimental dengan tahapan meliputi pengujian agregat dan aspal, pengujian campuran beraspal dengan metode Marshall, dan pengambilan sampel jalan dari Jalan Poros Pangkep-Barru yang kemudian diuji dengan alat Marshall.

Hasil dari penelitian ini adalah data karakteristik agregat, hasil pengujian Marshall yang mencakup nilai stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, MQ untuk campuran beraspal dengan dan tanpa penambahan aspal baru, komposisi campuran beraspal dengan tambahan RAP dengan berbagai variasi kadar aspal. Kekurangan penelitian ini adalah material RAP yang digunakan hanya RAP yang berjenis aspal retak kulit buaya sehingga hasil penelitian tidak sepenuhnya representatif untuk jenis kerusakan aspal lainnya.

## 2.10. Kebaruan Penelitian

Berdasarkan literatur dari penelitian terdahulu, kebaruan penelitian yang dapat dilakukan adalah jenis *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) yang digunakan bervariasi dari jenis kerusakan retakan, lubang, deformasi yang didapat dari proyek *patching* Kawasan PIK 2 yang diperoleh dengan metode pemotongan dengan alat *Asphalt saw*. *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) kemudian akan dijadikan material pengganti dalam campuran beraspal untuk lapisan AC-BC jalan baru. Penelitian ini akan difokuskan pada analisis dampak penambahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) terhadap karakteristik Marshall dalam campuran beraspal dan menentukan proporsi kadar *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) yang optimal dalam campuran beraspal agar memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (Revisi 2). Jumlah sampel uji yang akan dibuat sebanyak 10 sampel uji untuk masing masing kadar RAP (0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%).

Efisiensi penggunaan material baru dalam konstruksi perkerasan jalan dapat ditingkatkan dengan memaksimalkan pemanfaatan material aspal bekas melalui pendekatan daur ulang yang efektif. Dalam upaya ini, seluruh fraksi gradasi agregat

yang berasal dari limbah *patching* aspal akan diintegrasikan secara menyeluruh ke dalam campuran beraspal sebagai material pengganti agregat kasar, agregat halus, serta fraksi abu batu yang lolos dari saringan No.200.

Standarisasi pengujian parameter Marshall pada penelitian terdahulu menggunakan Standar Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018. Pada penelitian ini standar pengujian parameter Marshall akan menggunakan standarisasi revisi terbaru, yaitu Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (revisi 2). Revisi terbaru ini akan memastikan pengujian dilakukan sesuai dengan standar yang lebih relevan sehingga data hasil penelitian yang didapat lebih akurat dan valid.

Pengujian sifat fisik material, mulai dari pengujian analisis saringan agregat, pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dan halus, pengujian keausan agregat kasar dengan mesin Los Angeles, pengujian nilai *sand equivalent* untuk agregat halus mengacu pada SNI yang diuraikan sebagai berikut:

Tabel 2. 1 Standar Pengujian Sifat Fisik Material

| No. | Jenis Pengujian | Standar Pengujian |
|---|---|---|
| 1. | Analisis Saringan Agregat | SNI 03-1971-1990 |
| 2. | Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar | SNI 03-1969-1990 |
| 3. | Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus | SNI 03-1970-1990 |
| 4. | Keausan Agregat Kasar | SNI 03-2417-2008 |
| 5. | *Sand Equivalent* Agregat Halus | SNI 03-4428-1997 |

Dengan demikian, data hasil penelitian ini akan memberikan kontribusi baru dalam upaya meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan dalam konstruksi jalan, dengan mengoptimalkan pemanfaatan limbah *patching* aspal dan memperbarui standarisasi

pengujian sifat fisik material untuk menjamin keakuratan dan kevalidan hasil pengujian.

# BAB 3

# METODOLOGI PENELITIAN

## 3.1. Rancangan Penelitian

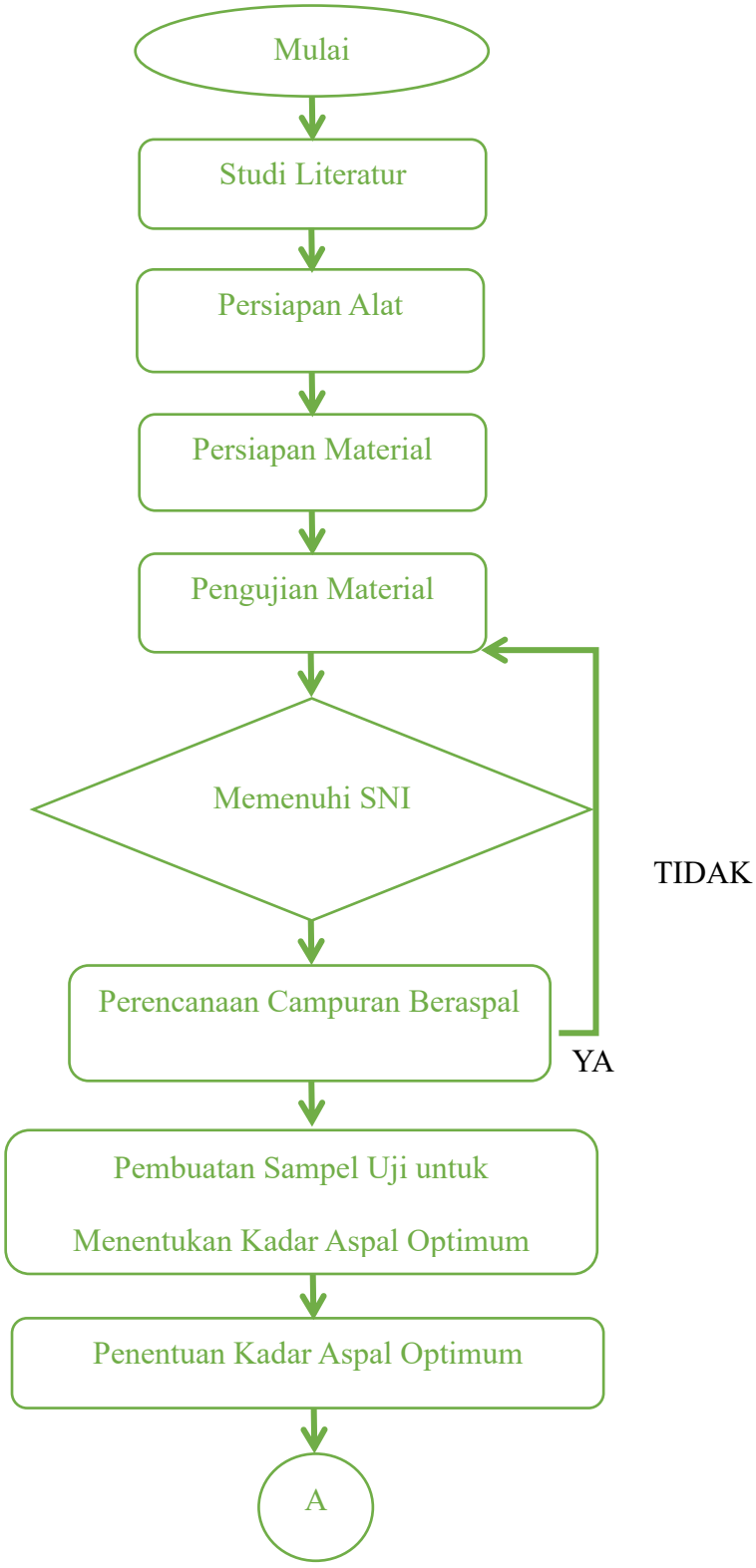
Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah pendekatan eksperimental untuk mengevaluasi potensi pemanfaatan limbah *patching* aspal sebagai *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Limbah *patching* aspal akan dikumpulkan dari lokasi proyek jalan yang dipelihara dan dirawat dengan metode pemotongan dengan *Asphalt saw.* Limbah *patching* aspal ini kemudian akan dipersiapkan untuk pembuatan sampel eksperimen dan melewati serangkaian pengujian laboratorium untuk mengevaluasi kinerja limbah *patching* aspal ini.

Penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi kelayakan penggunaan limbah *patching* aspal dalam campuran beraspal untuk lapisan AC-BC dengan variasi kadar aspal sebesar 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%. Proses penelitian dimulai dengan tahap persiapan dan pengujian material, yang meliputi analisis saringan agregat, pengujian berat jenis dan penyerapan air, uji nilai *sand equivalent* untuk agregat halus, uji keausan agregat kasar dengan mesin Los Angeles, serta pembuatan campuran beraspal AC-BC dengan kadar aspal bervariasi. Material yang akan digunakan dalam eksperimen ini mencakup limbah *patching* aspal dari lapisan perkerasan lama yang telah rusak, agregat kasar, agregat halus, *filler* (abu batu, dan aspal dengan spesifikasi penetrasi 60/70. Peralatan yang digunakan berupa *Asphalt Saw* untuk memotong lapisan perkerasan lama yang sudah rusak, saringan sesuai standar *ASTM*, oven dengan pengatur suhu, timbangan dengan ketelitian 0,01 gr, cetakan berbentuk silinder, *Marshall Compactor*, alat pengujian Marshall, dan beberapa peralatan pendukung lainnya.

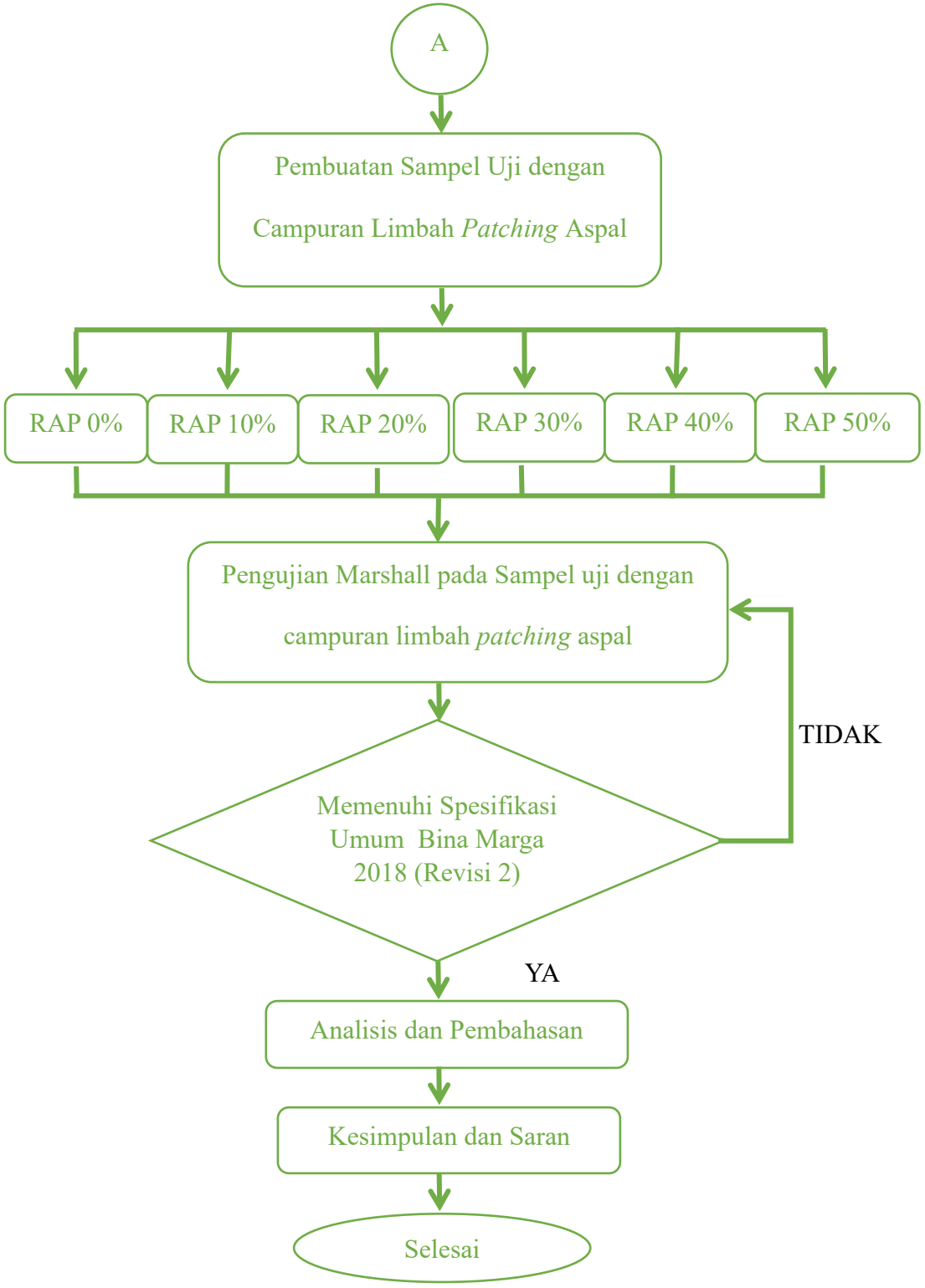
Setelah tahap persiapan selesai, dilakukan proses pengujian Marshall untuk mengevaluasi stabilitas dan *flow*, volune pori di antara agregat (*Voids in Mineral Aggregates /* VMA*)*, volume pori dalam campuran (*Voids in Mix /* VIM), volume pori yang terisi aspal (*Voids Filled with Asphalt /* VFA), dan *Marshall Quotient (*MQ) pada campuran beraspal dengan campuran limbah *patching* aspal sebagai material *Reclaimed Asphalt Pavement*. Data yang dihasilkan dari pengujian Marshall ini kemudian akan dianalisis dalam bentuk grafik untuk menentukan penurunan kinerja limbah *patching* aspal dan terhadap parameter Marshall dan untuk mengevaluasi kelayakan penggunaan kembali sampel limbah *patching* aspal ini dalam proyek pemeliharaan dan perawatan jalan, sesuai ketentuan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2) terkait pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan.

## 3.2. Kerangka Penelitian

Pada kerangka penelitian yang tercantum dalam Gambar 3.1, disajikan tahapan-tahapan penelitian yang menggambarkan urutan kegiatan secara analitis untuk menyajikan informasi secara berurutan. Dalam pengembangan kerangka penelitian ini, setiap tahapan penelitian direncanakan dan dilaksanakan dengan cermat, mulai dari pengambilan sampel yang representatif hingga analisis data dengan teliti agar data yang diperoleh valid dan dapat memberikan kontribusi dalam penelitian ini.




Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian


A
Pembuatan Sampel Uji dengan
Campuran Limbah *Patching* Aspal
RAP 0%
RAP 10%
RAP 20%
RAP 30%
RAP 40%
RAP 50%
Pengujian Marshall pada Sampel uji dengan
campuran limbah *patching* aspal
Memenuhi Spesifikasi
Umum Bina Marga
2018 (Revisi 2)
TIDAK
YA
Analisis dan Pembahasan
Kesimpulan dan Saran
Selesai

### 3.3. Persiapan Material

Persiapan material untuk penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahapan yang bertujuan untuk memastikan kualitas dan karakteristik campuran beraspal yang akan diuji. Tahapan ini mencakup pengumpulan material utama yang terdiri dari agregat, aspal jenis pen 60/70, dan limbah *patching* aspal dari lokasi proyek *patching* aspal di Kawasan Pantai Indah Kapuk 2.

Gambar 3. 2 Lapisan Permukaan Jalan yang akan di-Patching

Pada Gambar 3.2 menunjukan proses survei lapisan permukaan perkerasan jalan rusak yang memerlukan pemeliharaan dan perawatan. Lapisan permukaan perkerasan jalan yang rusak ini akan di-*marking* setelah survey. Setelah di *marking* area kerusakan tadi akan dipotong dengan *Asphalt Saw* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.3. Limbah *patching* aspal ini kemudian diangkut ke laboratorium PT. Dwi Ratna Putra untuk dijadikan sampel penelitian.

Gambar 3. 3 Proses Pemotongan Lapisan Perkerasan Jalan yang Rusak dengan Asphalt Saw

### 3.4. Pengujian Sifat Fisik Material

Material yang akan dicampur dalam pembuatan sampel uji harus memenuhi standar dan syarat spesifikasi yang berlaku untuk memastikan kualitasnya sebelum diaplikasikan. Oleh karena itu, pengujian material terhadap agregat, aspal, dan limbah *patching* aspal yang telah dipersiapkan menjadi tahapan penting. Pengujian pada agregat dan aspal meliputi proses evaluasi yang matang terhadap karakteristik fisik dan kimia yang terkandung di dalamnya. Pengujian agregat termasuk analisis ukuran butiran, kepadatan, keausan, kekerasan, dan kestabilan terhadap beban. Sedangkan pengujian aspal meliputi analisis komposisi kimia, viskositas, kekuatan ikatan, serta sifat- sifat aliran dan deformasi. Pada penelitian ini, ada beberapa prosedur pengujian yang akan dilakukan, termasuk:

a. Pengujian analisis gradasi agregat kasar dan halus

   Prosedur pengujian untuk menganalisis gradasi agregat kasar dan halus disesuaikan dengan standar SNI 03-1971-1990. Standar pengujian ini merincikan persyaratan serta langkah- langkah yang harus dijalankan untuk mengevaluasi penyebaran dimensi partikel dalam agregat kasar dan agregat halus. Melalui pengujian ini, informasi terkait distribusi ukuran butiran dalam agregat dapat diperoleh untuk mengevaluasi kualitas dan karakteristik material agregat yang digunakan dalam proyek konstruksi. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan ukuran agregat yang lolos saringan ukuran 1/2”. Untuk memastikan representativitas hasil pengujian, berat sampel uji yang digunakan minimum 2 kg dengan kondisi kering oven pada suhu 110 ± 5°C. Setelah agregat mencapai kondisi kering oven, masukkan kedalam ayakan dengan ukuran terbesar diletakkan di paling atas untuk tahap penyaringan. Ayak

agregat selama 15 menit dengan menggunakan alat *sieve shaker*, kemudian agregat yang tertahan pada ayakan ditimbang dan dicatat beratnya. Data dari pengujian akan digunakan untuk menentukan distribusi ukuran partikel agregat dan mengevaluasi kualitas agregat dan hubungannya dengan kinerja campuran beton atau aspal dalam suatu proyek konstruksi jalan. Alat *sieve shaker* dapat dilihat pada Gambar 3.4.

Gambar 3. 4 Sieve Shaker

b. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat

Standar yang mengatur metode pengujian untuk menentukan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar ditetapkan dalam SNI 03-1969-1990. Sedangkan, metode uji untuk berat jenis dan penyerapan air agregat halus diatur dalam SNI 03-1970-1990. Data hasil pengujian ini akan digunakan untuk menentukan berat jenis serta tingkat penyerapan air agregat, dan untuk mengevaluasi kualitas agregat serta hubungannya dengan kinerja campuran beraspal dalam suatu proyek konstruksi jalan.

Pengujian agregat kasar dilakukan dengan berat benda uji minimal 2 kg yang direndam hingga mencapai kondisi *Saturated-Surface Dry* (SSD) kemudian ditimbang berat dalam air dan lakukan pengeringan pada suhu 110 ± 5°C. hingga mencapai berat konstan.

Pengujian agregat halus dilakukan dengan berat benda uji minimal 1 kg yang direndam hingga mencapai kondisi *Saturated-Surface Dry* (SSD) kemudian ditimbang dengan menggunakan piknometer yang berisi air dan lakukan pengeringan pada suhu 110 ± 5°C. hingga mencapai berat konstan. Alat pengujian berat jenis dan penyerapan dapat dilihat pada Gambar 3.5.

Gambar 3. 5 Alat Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

c. Pengujian keausan agregat kasar dengan mesin Los Angeles

Standar yang mengatur tentang prosedur pengujian ketahanan abrasi agregat adalah SNI 03-2417-2008. Metode pengujian ini bertujuan untuk menentukan tingkat keausan agregat dengan membandingkan berat bahan yang lolos dari ayakan No. 12 (1,7 mm) terhadap berat awalnya, yang diukur dalam persentase. Data dari hasil pengujian ini akan digunakan untuk mengevaluasi daya tahan agregat kasar terhadap abrasi dan pengikisan serta mengevaluasi kualitas

agregat kasar dan kinerjanya sebagai campuran beraspal dalam suatu proyek konstruksi jalan.

Pengujian keausan dilakukan dengan memasukkan agregat ke dalam mesin abrasi Los Angeles dan menggunakan bola baja sebagai elemen abrasif. Mesin Los Angeles akan dijalankan sebanyak 500 kali putaran, dengan kecepatan berkisar antara 30 hingga 33 putaran per menit. Setelah pengujian selesai, benda uji akan diayak dengan ayakan no. 12 sesuai standar SNI 03-2417-2008.

Dalam pengujian ini, bahan uji yang akan digunakan adalah agregat kasar ukuran lolos ayakan 1/2” tertahan 3/8” dan ukuran lolos ayakan 3/4” tertahan 1/2” yang digunakan pada campuran beraspal. Mesin abrasi Los Angeles disajikan dalam Gambar 3.6.

Gambar 3. 6 Mesin Abrasi Los Angeles

d. Pengujian *sand equivalent* untuk agregat halus

Standar yang mengatur cara pengujian *sand equivalent* untuk agregat halus adalah SNI 03-4428-1997. Pengujian ini dilakukan dengan mencampurkan agregat halus dengan larutan *Natrium Hidroksida* dan larutan *Klorida Kalsium* di dalam sebuah tabung silinder, lalu diamkan untuk menunggu pengendapan. Nilai *Sand Equivalent* ditentukan dengan mengukur kedalaman air di atas agregat dan air yang jernih di bawah agregat. Data dari pengujian *Sand*

*Equivalent* ini akan digunakan untuk mengukur kemurnian agregat halus dalam campuran tanah dan agregat serta mengevaluasi kualitas agregat halus yang akan digunakan dalam proyek konstruksi jalan. Alat pengujian *sand equivalenti* dapat dilihat pada Gambar 3.7.

Gambar 3. 7 Alat Pengujian Sand Equivalent

### 3.5. Perencanaan Campuran Asphalt-Concrete Binder Coarse

Proses perencanaan campuran beraspal, yang dikenal sebagai Job M*ix-Design* untuk *Asphalt-Concrete Binder Base (JMD AC-BC)* bertujuan untuk menetapkan komposisi campuran beraspal yang akan digunakan dalam proses pembuatan sampel uji di laboratorium. Proses perencanaan ini mengikuti pedoman yang tercantum pada standar Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2) untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan terkait campuran agregat dengan mempertimbangkan hasil analisis agregat untuk menyesuaikan kadar aspal dengan total komposisi campuran. Penyesuaian ini melibatkan berat agregat dan berat aspal dari keseluruhan benda uji yang ditetapkan sebesar 1150 gr.

Perencanaan campuran *Asphalt-Concrete Binder Base (AC-BC)* bertujuan untuk menentukan nilai KAO. Nilai KAO yang diperoleh akan digunakan sebagai panduan dalam menentukan kadar aspal yang tepat dalam pembuatan sampel uji dengan mencampurkan RAP yang berasal dari limbah *patching* aspal. Nilai KAO ini kemudian dijadikan acuan untuk membuat sampel uji yang ditambahkan limbah *patching* aspal dengan proporsi 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% dari berat total sampel.

### 3.6. Pembuatan Sampel Uji

Setelah seluruh material yang akan digunakan dalam campuran beraspal melewati serangkaian proses pengujian laboratorium, termasuk uji analisis saringan, uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dan halus, uji keausan agregat dengan mesin Los Angeles, uji nilai *sand equivalent* agregat halus, proses pembuatan sampel uji dapat dimulai sesuai hasil *job mix design*. Pembuatan benda uji akan dilakukan dengan cetakan berbentuk silinder yang dipadatkan dengan *Marshall Compactor*. Jumlah sampel uji yang akan disiapkan akan dijelaskan dalam Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Sampel Pengujian Campuran Lapisan AC-BC untuk KAO

| No. | Kadar Aspal | Kode Sampel Uji | Jumlah Sampel |
|---|---|---|---|
| 1. | 4,5% | K45-01,K45-02,K45-03 | 3 |
| 2. | 5,0% | K50-04,K50-05,K50-06 | 3 |
| 3. | 5,5% | K55-07,K55-08,K55-09 | 3 |
| 4. | 6,0% | K60-10,K60-11,K60-12 | 3 |
| 5. | 6,5% | K65-13,K65-14,K65-15 | 3 |

Tabel 3.1 menyajikan jumlah sampel uji yang akan disiapkan untuk menentukan KAO, dengan tiga sampel uji disiapkan untuk setiap variasi kadar aspal yang tercantum dalam tabel tersebut. Data hasil dari pengujian ini akan digunakan sebagai referensi untuk menentukan kadar aspal yang tepat, yang kemudian akan diterapkan pada pengujian Marshall untuk campuran beraspal yang mengandung tambahan limbah *patching* aspal.

Tabel 3. 2 Sampel Pengujian Marshall Campuran Limbah Patching Aspal

| No. | Kadar RAP | Kode Sampel Uji | Jumlah Sampel |
|---|---|---|---|
| 1. | 0% | R0-01,R0-02,R0-03,R0-04,R0-05, R0-06,R0-07,R0-08,R0-09,R0-10 | 10 |
| 2. | 10% | R10-01,R10-02,R10-03,R10-04,R10-05, R10-06,R10-07,R10-08,R10-09,R10-10 | 10 |
| 3. | 20% | R20-01,R20-02,R20-03,R20-04,R20-05, R20-06,R20-07,R20-08,R20-09,R20-10 | 10 |
| 4. | 30% | R30-01,R30-02,R30-03,R30-04,R30-05, R30-06,R30-07,R30-08,R30-09,R30-10 | 10 |
| 5. | 40% | R40-01,R40-02,R40-03,R40-04,R40-05, R40-06,R40-07,R40-08,R40-09,R40-10 | 10 |
| 6. | 50% | R50-01,R50-02,R50-03,R50-04,R50-05, R50-06,R50-07,R50-08,R50-09,R50-10 | 10 |

Tabel 3.2 menjelaskan jumlah sampel uji yang akan dibuat untuk pengujian Marshall pada campuran beraspal dengan tambahan limbah *patching* aspal sebanyak 10 sampel uji per kadar *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) untuk meningkatkan akurasi dan validitas serta mempermudah dalam mendeteksi adanya *error* dalam proses pengujian. Variasi kadar *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) disajikan pada tabel 3.2.

Dalam penelitian ini, akan dibuat 75 sampel uji. Dari total 75 sampel uji tersebut, 15 sampel akan digunakan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), sementara 60 sampel uji lainnya akan digunakan untuk pengujian Marshall pada campuran beraspal dengan 6 variasi tambahan limbah *patching* aspal.

### 3.7. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum akan dilakukan dengan pengujian Marshall pada 3 sampel uji dengan 5 variasi kadar aspal yaitu 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%. Setelah melakukan pengujian Marshall, akan diperoleh parameter- parameter yang dibutuhkan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum meliputi stabilitas, *flow,* VMA (*Voids in Mineral Aggregates*), VFA (*Voids Filled with Asphalt*), VIM (*Voids in Mix*), MQ (*Marshall Quotient*). Data yang diperoleh dari pengujian Marshalll kemudian dianalisis berdasarkan kriteria yang ditetapkan SNI 2489:2018.

Berdasarkan hasil analisis, kadar aspal optimum dapat ditentukan dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua kriteria parameter Marshall (stabilitas, *flow,* VMA (*Voids in Mineral Aggregates*), VFA (*Voids Filled with Asphalt*), VIM (*Voids in Mix*), MQ (*Marshall Quotient*). Nilai kadar aspal optimum (KAO) akan ditentukan dari nilai tengah atau nilai rata-rata dari rentang kadar aspal yang memenuhi persyaratan.

### 3.8. Pengujian Sampel Uji

Dalam penelitian ini, proses pengujian yang digunakan adalah pengujian Marshall dengan kalibrasi proving ring sebesar 15,76 kg untuk mengukur stabilitas dan deformabilitas campuran aspal *hotmix*. Sebelum dilakukan pengujian Marshall,

sampel uji akan direndam dalam air selama 30 menit pada suhu $60^0$C untuk menghilangkan kelembaban lalu sampel uji dibiarkan dingin selama beberapa jam. Melalui pengujian Marshall akan diperoleh nilai stabilitas yang merupakan beban maksimum yang diperlukan untuk mencapai kegagalan dan nilai *flow* yang merupakan perubahan ketebalan sampel pada saat kegagalan.

Pengujian selanjutnya adalah pengujian berat jenis maksimum ($G_{mm}$) untuk menetapkan berat jenis maksimum dari campuran beraspal dengan acuan standar SNI 6893-2002. Hasil pengujian berat jenis maksimum ($G_{mm}$) akan menentukan nilai kerapatan atau kepadatan campuran beraspal yang dapat digunakan untuk membandingkan kinerja campuran beraspal, mengoptimalkan desain campuran, dan memastikan kualitas campuran beraspal sesuai dengan standar spesifikasi yang berlaku. Pengujian berat jenis maksimum ($G_{mm}$) akan memperoleh volune pori di antara agregat (*Voids in Mineral Aggregates /* VMA*)*, volume pori dalam campuran (*Voids in Mix /* VIM), volume pori yang terisi aspal (*Voids Filled with Asphalt /* VFA), dan *Marshall Quotient (*MQ). Hasil pengujian mengacu pada standar Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (revisi 2) untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum dan nilai kadar RAP optimum.

### 3.9. Metode Analisis Data

Metode analisis data dalam penelitian ini mengenai kinerja limbah *patching* aspal sebagai *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) untuk lapisan AC-BC jalan melibatkan beberapa tahapan analitis yang sistematis. Pertama, dilakukan pengumpulan data dari hasil pengujian Marshall untuk menentukan nilai Kadar Aspal Optimum

(KAO). Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) akan dijadikan referensi untuk menetapkan kadar aspal yang optimal dalam pembuatan sampel uji dengan tambahan RAP sebagai material pengganti.

Dari hasil pengujian Marshall akan diperoleh parameter- parameter seperti nilai stabilitas, *flow*, *Voids in Mineral Aggregates (*VMA*)*, *Voids in Mix* (VIM), *Voids Filled with Asphalt* (VFA), dan *Marshall Quotient (*MQ). Data ini akan disajikan dalam bentuk grafik yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal atau kadar RAP dengan parameter Marshall seperti stabilitas, *flow*, MQ, VIM, VMA, VFA.

Proses pengolahan data melibatkan pencarian dan penyesuaian persamaan garis atau kurva yang merepresentasikan hubungan antara kadar aspal atau kadar RAP dengan masing-masing parameter Marshall. Melalui interpretasi data dan analisis kurva ini, akan dihasilkan kesimpulan yang memberikan jawaban terhadap pertanyaan penelitian dan penilaian terhadap kinerja campuran beraspal yang diuji.

# BAB 4

# ANALISIS DAN PEMBAHASAN

## 4.1. Hasil Pengujian Sifat Fisik Material

Pengujian terhadap sifat fisik material merupakan langkah penting untuk memastikan kinerja optimal dari campuran beraspal. Terdapat beberapa pengujian yang perlu dilakukan untuk menilai kualitas agregat yang akan digunakan dengan metode pengujian mengacu pada Standar Nasional Indonesia. Pertama, uji analisis saringan agregat dilakukan untuk mengetahui distribusi ukuran partikel agregat sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Kemudian, pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dan halus bertujuan untuk menilai kemampuan agregat dalam menahan beban dan ketahannya terhadap penetrasi asi. Selain itu, pengujian keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin Los Angeles memberikan informasi mengenai ketahanan agregat terhadap erosi dan abrasi selama penggunaan di jalan. Terakhir, ada pengujian nilai *Sand Equivalent* yang bertujuan untuk menilai kontaminasi organik dan partikel halus yang dapat mempengaruhi kinerja campuran beraspal.

a. Analisis Saringan Agregat

   Pengujian analisis saringan agregat untuk campuran beraspal merupakan proses untuk mengevaluasi distribusi ukuran agregat yang digunakan dalam campuran beraspal yang dapat mempengaruhi kinerja struktural dan fungsional jalan. Standar pengujian analisis saringan yang umum digunakan adalah SNI 03-1971-1990. Data hasil pengujian analisis saringan agregat dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Data Hasil Pengujian Analisis Saringan

| Saringan No. | Diameter Ayakan (mm) | Persentase lolos | | | | Spesifikasi bina marga 2018 | Terpilih |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Bin 1 | Bin 2 | Bin 3 | Bin 4 | | |
| 1" | 25,400 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100.00 |
| 3/4" | 19,050 | 100 | 100 | 100 | 80,73 | 90-100 | 97,30 |
| 1/2" | 12,700 | 100 | 100 | 82,16 | 25,05 | 75-90 | 85,94 |
| 3/8" | 9,600 | 100 | 92,82 | 40,93 | 5,82 | 66-82 | 73,42 |
| No.4 | 4,740 | 100 | 40,31 | 2,32 | 1,63 | 46-64 | 53,56 |
| No.8 | 2,400 | 80,26 | 9,73 | 0,94 | 0 | 30-49 | 37,64 |
| No.16 | 1,200 | 52,89 | 7,26 | 0 | 0 | 18-38 | 24,87 |
| No.30 | 0,425 | 39,15 | 6,12 | 0 | 0 | 12-28 | 18,57 |
| No.50 | 0,300 | 24,95 | 3,35 | 0 | 0 | 7-20 | 11,72 |
| No.100 | 0,150 | 17,23 | 0 | 0 | 0 | 5-13 | 7,58 |
| No.200 | 0,075 | 9,22 | 0 | 0 | 0 | 4-8 | 4,06 |
| | | | | | | Bin 1 | 44% |
| | | | | | | Bin 2 | 22% |
| | | | | | | Bin 3 | 20% |
| | | | | | | Bin 4 | 14% |

Berdasarkan data hasil pengujian analisis saringan yang tercantum pada Tabel 4.1, diketahui bahwa agregat yang akan digunakan telah memenuhi persyaratan sesuai Standar Nasional Indonesia. Persentase terpilih didapatkan dengan melakukan *trial and error* pada presentase fraksi agregat yang akan digunakan dalam campuran beraspal dan kemudian dihitung untuk mendapatan nilai agregat terpilih.

Terpilih = (a x %a) + (b x %b) + (c x %c) + (d x %d)

Keterangan :

a = Persentase lolos Bin 1 saringan ke-n (%)

b = Persentase lolos Bin 2 saringan ke-n (%)

c = Persentase lolos Bin 3 saringan ke-n (%)

d = Persentase lolos Bin 4 saringan ke-n (%)

%a = Agregat Bin 1 (%)

%b = Agregat Bin 2 (%)

%c = Agregat Bin 3 (%)

%d = Agregat Bin 4 (%)

Contoh perhitungan pada nilai agregat terpilih saringan 3/8": Terpilih saringan 3/8" = (100 x 44%) + (92,82 x 22%) + (40,92 x 20%) + (5,82 x 14%) = 73,42%

b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar dan Agregat Halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar dan agregat halus bertujuan untuk mengevaluasi kualitas agregat yang akan digunakan dalam konstruksi jalan. Berat jenis agregat menggambarkan massa per unit volume agregat, sedangkan penyerapan menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air. Agregat dengan berat jenis tinggi dan tingkat penyerapan air yang rendah menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam campuran beraspal. Dalam penelitian ini, standar yang digunakan untuk pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar adalah SNI 03-1969-1990, sedangkan untuk agregat halus digunakan SNI 03-1970-1990. Data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar serta halus dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Data Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

| Pengujian Agregat | Hasil | | | | Spesifikasi Bina Marga 2018 |
|---|---|---|---|---|---|
| | Bin 1 | Bin 2 | Bin 3 | Bin 4 | |
| *Apparent Specific Gravity* | 2,648 | 2,682 | 2,675 | 2,703 | Min. 2,5 gr/cm$^2$ |
| *Specific Gravity on Dry Basis* | 2,502 | 2,528 | 2,537 | 2,603 | Min. 2,5 gr/cm$^2$ |
| *Specific Gravity SSD Basis* | 2,551 | 2,585 | 2,589 | 2,640 | Min. 2,5 gr/cm$^2$ |
| *Water Absorption(%)* | 2,35 | 2,28 | 2,04 | 1,42 | Maks. 3% |

Berdasarkan data hasil pengujian berat jenis dan penyerapan yang tercantum dalam Tabel 4.2, dapat diketahui bahwa agregat yang akan digunakan telah mencapai persyaratan Standar Nasional Indonesia. Nilai berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*), berat jenis kering (*Specific Gravity on Dry Basis),* dan berat jenis SSD (*Specific Gravity SSD Basis*), dan penyerapan air (*Water Absorption*) dihitung dengan menggunakan persamaan pada Tabel 4.3.

Tabel 4. 3 Persamaan Perhitungan Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan

| Pengujian Agregat | Spesifikasi Bina Marga 2018 |
|---|---|
| *Apparent Specific Gravity* | $\frac{G}{G - (E - F)}$ |
| *Specific Gravity on Dry Basis* | $\frac{G}{D - (E - F)}$ |
| *Specific Gravity SSD Basis* | $\frac{D}{D - (E - F)}$ |
| *Water Absorption(%)* | $\frac{D - G}{G}$ x 100% |

Keterangan :

A = Berat contoh SSD di udara

B = Berat flask + contoh SSD

C = Berat Flask

D = Berat contoh SSD (B-C)

E = Berat flask + air + contoh

F = Berat flask + air

G = Berat contoh kering

c. Pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles

Pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles adalah metode standar yang digunakan dalam industri konstruksi jalan untuk mengevaluasi ketahanan agregat terhadap abrasi dan fragmentasi yang disebabkan oleh tekanan dan gesekan akibat beban lalu lintas kendaraan yang melintas di atas lapis perkerasan. Pengujian ini penting dilakukan untuk mengetahui agregat yang digunakan dalam campuran beraspal memiliki durabilitas yang memadai untuk menahan kondisi operasional yang berat tanpa mengalami degradasi yang signifikan, yang dapat mempengaruhi kinerja dan umur layanan perkerasan jalan.

Metode pengujian dijalankan sesuai dengan SNI 03-2417-2008, yang menetapkan prosedur untuk memastikan konsistensi dan keakuratan hasil pengujian. Dalam pengujian ini, sampel agregat kasar dikenakan rotasi dalam drum baja yang berisi bola-bola baja, yang menghasilkan gaya abrasi. Hasil pengujian ini memberikan indikasi langsung mengenai durabilitas agregat terhadap keausan.

Tabel 4. 4 Data Hasil Pengujian Keausan dengan Mesin Los Angeles

| Pengujian Agregat | | Hasil | | |
|---|---|---|---|---|
| | | Bin 2 | Bin 3 | Bin 4 |
| Berat total contoh sebelum diuji (A) | Sampel 1 | 5000 | 5000 | 5000 |
| | Sampel 2 | 5000 | 5000 | 5000 |
| Berat contoh tertahan pada saringan No.12 (B) | Sampel 1 | 3782 | 3824 | 3924 |
| | Sampel 2 | 3759 | 3852 | 3897 |
| Keausan (%) | Sampel 1 | 24,36 | 23,52 | 21,52 |
| | Sampel 2 | 24,82 | 22,96 | 22,06 |
| Keausan rata-rata (%) | | 24,59 | 23,24 | 21,79 |

Berdasarkan analisis data hasil pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles, dapat disimpulkan bahwa agregat yang diuji telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam standar konstruksi perkerasan jalan. Hal ini ditunjukkan oleh persentase abrasi yang berada dibawah batas maksimum yang diizinkan, yaitu 40%. Persentase abrasi yang lebih rendah mengindikasikan bahwa agregat memiliki durabilitas yang baik terhadap abrasi dan fragmentasi.

d. Pengujian Sand Equivalent

Pengujian *Sand Equivalent* adalah metode standar yang digunakan untuk menentukan proporsi relatif agregat halus yang bersih dan agregat halus yang tercemar oleh material berlumpur atau organik. Pengujian ini penting dilakukan karena agregat halus yang bersih memiliki kemampuan yang lebih baik untuk membentuk campuran beraspal yang kuat dan tahan lama. Standar

pengujian *Sand Equivalent* yang digunakan adalah SNI 03-4428-1997. Data dari hasil pengujian *Sand Equivalent* dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4. 5 Data Hasil Pengujian Sand Equivalent

| | Sampel 1 | Sampel 2 |
|---|---|---|
| *Scale Reading of Sand* | 38 | 39,5 |
| *Scale Reading of Clay* | 52 | 54,5 |
| *Sand Equivalent (%)* | 73,08 | 72,48 |
| Rata-rata*(%)* | 72,78 | |

*Sand Equivalent* : $\frac{A}{B}$ X 100%

Keterangan :

A = *Scale Reading of Sand*

B = *Scale Reading of Clay*

Contoh perhitungan pada nilai *Sand Equivalent sampel 1*

*Sand Equivalent* sampel 1 = $\frac{38}{52}$ x 100% = 73,08%

## 4.2. Perencanaan Campuran Beraspal

Data yang didapat dari hasil pengujian analisis saringan akan digunakan untuk merencanakan campuran beraspal. Apda perencanaan campuran beraspal akan dilakukan perhitungan untuk mendapat komposisi campuran beraspal yang optimal. Komposisi campuran beraspal yang akan dibuat terbagi menjadi 2 komposisi, komposisi 1 merupakan komposisi campuran beraspal rencana dan komposisi 2 merupakan komposisi campuran beraspal yang sebenarnya yang akan digunakan. Komposisi campuran beraspal rencanan dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Komposisi Campuran Beraspal Rencana

| **Material** | **Komposisi Campuran Beraspal Rencana** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Kadar Aspal (%) | **4,5** | **5,0** | **5,5** | **6,0** | **6,5** |
| Bin 4 | 14,06 | 14,06 | 14,06 | 14,06 | 14,06 |
| Bin 3 | 32,38 | 32,38 | 32,38 | 32,38 | 32,38 |
| Bin 2 | 15,92 | 15,92 | 15,92 | 15,92 | 15,92 |
| Bin 1 | 37,64 | 37,64 | 37,64 | 37,64 | 37,64 |
| **Total** | **104,5** | **105,0** | **105,5** | **106,0** | **106,5** |

Perhitungan komposisi campuran beraspal rencana :

Fraksi Bin 1 (%) = 100 – terpilih saringan ½”

100 – 85,94 = 14,06

Fraksi Bin 2 (%) = Terpilih saringan ½” – terpilih saringan No.4

85,94 – 53,56 = 32,38

Fraksi Bin 3 (%) = Terpilih saringan No.4 – Terpilih saringan No.8

53,56 – 37,64 = 15,92

Fraksi Bin 4 (%) = Terpilih saringan No.8

37,64

Setelah mendapatkan komposisi campuran beraspal rencana, langkah selanjutnya adalah menghitung kadar aspal dan kadar agregat sebenarnya yang akan digunakan dalam campuran beraspal. Komposisi campuran beraspal yang direncanakan harus memiliki total persentasi 100%. Hasil dari perencanaan komposisi campuran beraspal yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.7 yang menunjukkan rincian komposisi dalam bentuk persentase dari total berat campuran beraspal yang bila dijumlahkan totalnya mencapai angka 100% untuk memastikan tidak ada

kekurangan atau kelebihan material yang dapat mempengaruhi kualitas campuran beraspal.

Tabel 4. 7 Komposisi Campuran Beraspal yang akan Digunakan

| **Material** | **Komposisi Campuran Beraspal Rencana** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Kadar Aspal (%) | **4,5** | **5,0** | **5,5** | **6,0** | **6,5** |
| Bin 4 | 13,46 | 13,39 | 13,33 | 13,27 | 13,2 |
| Bin 3 | 30,98 | 30,84 | 30,69 | 30,55 | 30,4 |
| Bin 2 | 15,23 | 15,16 | 15,09 | 15,02 | 14,95 |
| Bin 1 | 36,02 | 35,85 | 35,68 | 35,51 | 35,35 |
| **Total** | **100** | **100** | **100** | **100** | **100** |

Contoh perhitungan komposisi campuran beraspal rencana yang akan digunakan :

$$\text{Fraksi Lolos Bin 4} = \frac{\text{Komposisi Campuran Beraspal Rencana Bin 4} \times 100}{\sum \text{Komposisi Campuran Beraspal Rencana}}$$

$$= \frac{14{,}06 \times 100}{104{,}5} \times 100 = 13{,}46$$

$$\text{Kadar Aspal (\%)} = 100 - \sum \text{Komposisi Campuran Beraspal yang akan Digunakan}$$

$$= 100 - 95{,}69 - 4{,}31$$

Setelah menentukan kadar aspal dan kadar agregat yang akan digunakan, langkah berikutnya adalah mengestimasi berat total agregat dan aspal dalam gram berdasarkan berat total campuran beraspal untuk satu sampel uji. Pada penelitian ini, satu mould sampel uji memiliki berat 1150 gram. Hasil dari perhitungan distribusi berat agregat dan berat aspal dalam komposisi campuran beraspal dapat dilihat pada Tabel 4.8

Tabel 4. 8 Distribusi Berat Agregat dan Berat Aspal

| **Material** | **Komposisi Campuran Beraspal Rencana** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Kadar Aspal (%) | **4,31** | **4,76** | **5,21** | **5,66** | **6,1** |
| Berat Aspal (gr) | 49,57 | 54,74 | 59,92 | 65,09 | 70,15 |
| Berat Agg. Bin 4 | 154,79 | 154 | 153,27 | 152,55 | 151,83 |
| Berat Agg. Bin 3 | 356,27 | 354,62 | 352,94 | 351,28 | 349,63 |
| Berat Agg. Bin 2 | 175,15 | 174,33 | 173,51 | 172,69 | 171,88 |
| Berat Agg. Bin 1 | 414,23 | 412,28 | 410,33 | 408,39 | 406,47 |
| **Total** | **1150** | **1150** | **1150** | **1150** | **1150** |

Contoh perhitungan distribusi berat agregat dan aspal :

$$\text{Berat Aspal} = \frac{\text{Kadar Aspal (\%) x 1150}}{100}$$

$$= \frac{4{,}31 \text{ x } 1150}{100} = 49{,}57$$

$$\text{Berat Agregat Bin 4} = \frac{\text{Berat agregat bin n x 1150}}{100}$$

$$= \frac{13{,}46 \text{ x } 1150}{100} = 154{,}79$$

Melalui Tabel 4.8, dapat diketahui perhitungan berat agregat dan berat aspal yang akan digunakan untuk membuat sebuah sampel uji dalam hitungan gram dengan variasi 5 kadar aspal yang berbeda. Penyesuaian kadar aspal dilakukan untuk menentukan komposisi campuran yang optimal dan memastikan bahwa campuran tersebut memenuhi spesifikasi teknis yang diinginkan. Berat kumulatif aspal dan agregat ini digunakan untuk memastikan campuran beraspal memiliki komposisi

yang tepat mengingat setiap variasi kadar aspal mempengaruhi berat total agregat yang digunakan.

Perhitungan perencanaan campuran dilakukan untuk pembuatan sampel uji yang akan diuji menggunakan metode uji Marshall. Melalui pengujian Marshal, akan didapat nilai kadar aspal optimum (KAO) yang merupakan kadar aspal yang memberikan keseimbangan terbaik antara stabilitas, kelelahan, dan densitas campuran beraspal.

### 4.3. Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum ($G_{mm}$) Campuran Beraspal

Sebelum dilakukan proses pemadatan (*compacting*) dengan *marshall compactor* terhadap sampel uji campuran beraspal, terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk menentukan berat jenis maksimum ($G_{mm}$) dari campuran beraspal tersebut. Setiap sampel campuran beraspal yang diuji memiliki berat sebesar 1150 gram, dengan berbagai variasi kadar aspal yang telah dicampur secara merata pada suhu pemanasan yang terkontrol, yaitu 150$^{o}$C

Setelah proses pencampuran selesai, campuran beraspal akan didiamkan selama 30 menit untuk memungkinkan penyerapan aspal oleh agregat secara optimal dan untuk memastikan distribusi panas yang merata dalam campuran. Kemudian, campuran beraspal akan dipisahkan menggunakan ayakan dengan ukuran saringan 3/8” untuk membedakan fraksi agregat berdasarkan ukuran partikelnya. Campuran ini kemudian akan dibagi menjadi dua sampel terpisah. Sampel pertama terdiri dari agregat yang tertahan pada ayakan 3/8”, sedangkan sampel kedua adalah agregat campuran beraspal yang lolol melalui ayakan 3/8”.

Tabel 4. 9 Hasil Pengujian $G_{mm}$ Campuran Beraspal

| | Kadar Aspal (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 4,5% | 5,0% | 5,5% | 6,0% | 6,5% |
| Sampel 1 | 2,517 | 2,336 | 2,453 | 2,445 | 2,363 |
| Sampel 2 | 2,379 | 2,502 | 2,379 | 2,339 | 2,413 |
| Rata-rata | 2,448 | 2,419 | 2,416 | 2,392 | 2,388 |

Dengan memanfaatkan data berat jenis maksimum ($G_{mm}$) yang disajikan pada Tabel 4.9, dapat dilakukan perhitungan nilai-nilai penting seperti *Voids in Mineral Aggregates* (VMA), *Voids Filled with Asphalt* (VFA), *Voids in Mix* (VIM) untuk setiap variasi kadar aspal yang diujikan. Perhitungan parameter-parameter ini merupakan langkah krusial dalam proses evaluasi campuran beraspal, karena memberikan gambaran rinci mengenai struktur internal dan distribusi rongga dalam campuran yang berpengaruh langsung terhadap performa akhir perkerasan jalan.

Dengan menganalisis nilai VMA, VFA, VIM untuk setiap variasi kadar aspal, para peneliti dapat menentukan KAO yang memberikan keseimbangan terbaik antara kekuatan,, durabilitas, dan fleksibilitas dalam campuran beraspal yang digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan. Hasil ini dapat membantu memilih proporsi campuran yang paling efektif, tetapi juga memastikan bahwa campuran yang dipilih mampu bertahan dalam kondisi operasional yang berat dan memiliki umur layanan yang optimal.

## 4.4. Hasil Pengujian Marshall Campuran Beraspal

Setelah menyelesaikan tahapan pembuatan sampel uji dengan menggunakan komposisi kadar aspal yang telah ditentukan sebelumnya, langkah berikutnya

adalah memulai proses pengujian Marshall. Pengujian Marshall merupakan langkah penting dalam menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk campuran beraspal. Pengujian Marshall melibatkan beberapa parameter penting mencakup stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), *Voids in Mix* (VIM), *Voids Filled with Asphalt* (VFA), *Voids in Mineral Aggregates* (VMA). Data hasil pengujian Marshall ini kemudian dicatat dan dianalisis untuk menentukan parameter penting yang tercantum dalam Tabel 4.10. Tabel 4.10 menyajikan perhitungan untuk lima kadar aspal yang berbeda, dimana setiap kadar diuji dengan menggunakan tiga sampel uji melalui metode pengujian Marshall.

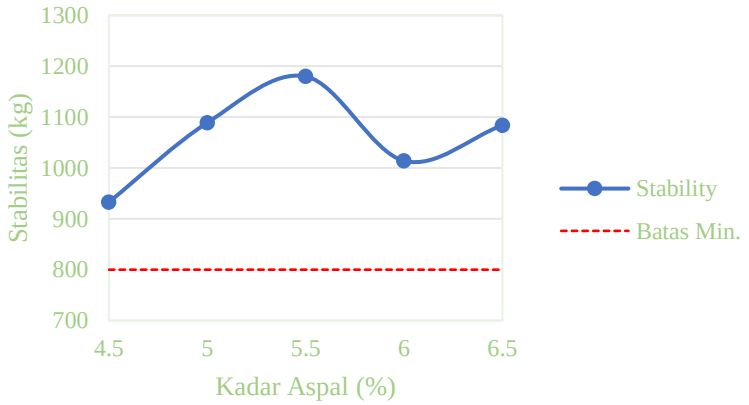
Setelah data karakteristik dari pengujian pada lima kadar aspal berbeda dikumpulkan, langkah berikutnya adalah menghitung nilai rata-rata dari setiap hasil pengujian pada masing-masing kadar aspal. Perhitungan ini mencakup parameter-parameter penting seperti stabilitas, flow, Marshall Quotient (MQ), Voids in Mix (VIM) / Air Voids, Voids Filled with Asphalt (VFA), Voids in Mineral Aggregates (VMA). Hasil pengujian Marshall akan direkapitulasi secara rinci pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall untuk Menentukan KAO

| Parameter | Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 | Kadar Aspal | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 4,5% | 5,0% | 5,5% | 6,0% | 6,5% |
| Stabilitas (kg) | Min.800 | 933 | 1089 | 1180 | 1014 | 1084 |
| *Flow* (mm) | 2-4 | 3,43 | 3,67 | 3,43 | 3,40 | 3,53 |
| MQ (kg/mm) | Min. 250 | 271 | 297 | 344 | 298 | 307 |
| VIM (%) | 3-5 | 5,08 | 4,95 | 4,12 | 3,12 | 2,89 |
| VFA (%) | Min.65 | 60,92 | 65,50 | 70,91 | 78,59 | 80,67 |
| VMA (%) | Min.14 | 12,99 | 14,35 | 14,16 | 14,58 | 14,96 |

Data - data dari Tabel 4.11 ini kemudian digunakan untuk membuat grafik yang menggambarkan hubungan antara variasi kadar aspal dengan berbagai karakteristik campuran beraspal. Grafik- grafik ini mencakup hubungan antara kadar aspal dengan nilai stabilitas, flow, MQ, VFA, VIM, VMA. Grafik- grafik ini akan memberikan visualisasi tentang bagaimana setiap parameter berubah seiring dengan variasi kadar aspal. Hal ini memungkinkan analisis yang lebih mendalam dan pemahaman yang lebih baik mengenai perilaku campuran beraspal. Informasi ini sangat penting untuk menentukan kadar aspal yang paling optimal guna mencapai keseimbangan terbaik antara stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas campuran beraspal.

Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai stabilitas dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.1.

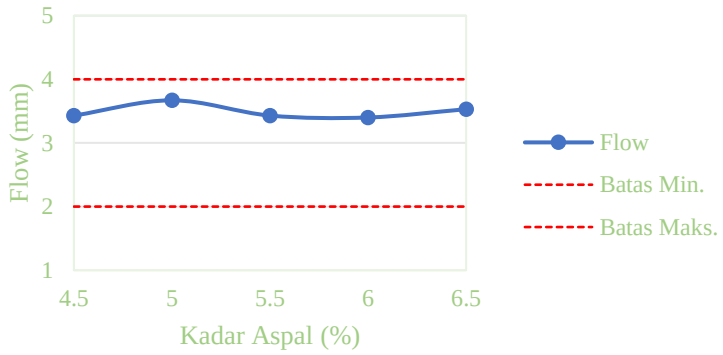



Gambar 4. 1 Hubungan Nilai Stabilitas dengan Variasi Kadar Aspal

Melalui Gambar 4.1 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas cenderung mengalami peningkatan seiring peningkatan kadar aspal dan mencapai puncaknya pada kadar aspal 5,5% dengan nilai stabilitas mencapai 1180 gram. Nilai stabilitas kemudian mulai menurun Ketika kadar aspal ditingkatkan menjadi 6% - 6,5%, hal ini

menunjukkan penambahan kadar aspal 5,5% mengurangi kekuatan campuran yang dapat disebabkan karena keleebihan aspal menyebabkan campuran beraspal menjadi terlalu lunak. Namun, semua nilai stabilitas pada berbagai variasi kadar aspal berada diatas batas izin minimum.

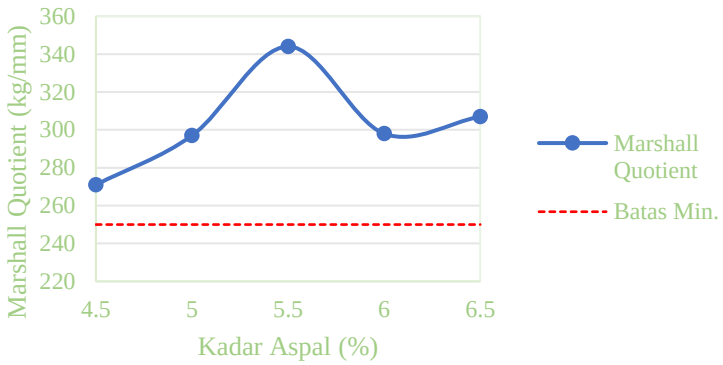
Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai *flow* dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.2.




Gambar 4. 2 Hubungan Nilai Flow dengan Variasi Kadar Aspal

Melalui Gambar 4.2 dapat dilihat bahwa nilai *flow* cenderung stabil di angka *flow* 3,0 – 4,0 mm. Meskipun ada sedikit fluktuasi, nilai *flow* berada di dalam rentang yang diizinkan. Nilai *flow* yang stabil mengindikasikan bahwa campuran beraspal memiliki konsistensi dalam fleksibilitas dan kemampuan deformasinya dan perubahan kadar aspal dalam campuran beraspal tidak memiliki pengaruh yang signifikan terhadap deformasi plastis yang terjadi dalam campuran saat diberikan beban.

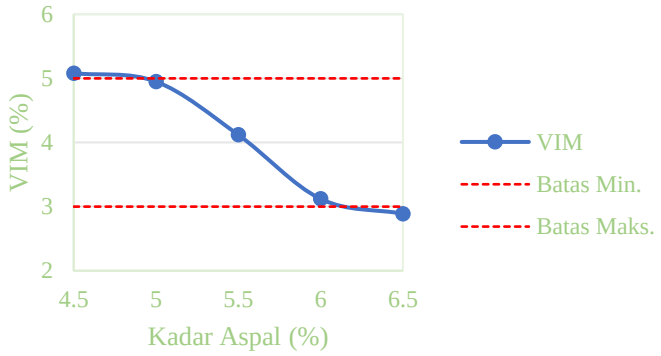
Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai *Marshall Quotient* (MQ) dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.3.




Gambar 4. 3 Hubungan Nilai MQ dengan Variasi Kadar Aspal

Melalui Gambar 4.3 dapat dilihat bahwa nilai MQ cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Nilai MQ mencapai puncaknya pada kadar aspal 5,5% dengan nilai MQ sebesar 344 kg/mm. setelah mencapai puncaknya, nilai MQ mulai mengalami penurunan pada kadar aspal 6,0% dan 6,5% tetapi masih berada di atas batas izin minimumnya.

Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai *Voids in Mix* (VIM) dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.4.

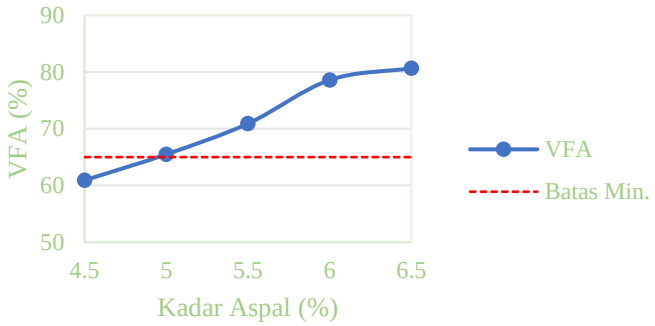



Gambar 4. 4 Hubungan Nilai VIM dengan Variasi Kadar Aspal

Melalui Gambar 4.4 dapat dilihat bahwa nilai VIM cenderung mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya kadar aspal yang mengindikasikan bahwa peningkatan kadar aspal mengisi lebih banyak rongga di dalam campuran beraspal,

sehingga mengurangi volume rongga udara. Nilai VIM yang terlalu rendah mengindikasikan campuran terlalu kaku yang dapat menyebabkan potensi retakan. Di sisi lain, nilai VIM yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran beraspal kurang padat sehingga dapat mengurangi durabilitas dan meningkatkan kerentanan terhadap deformasi.

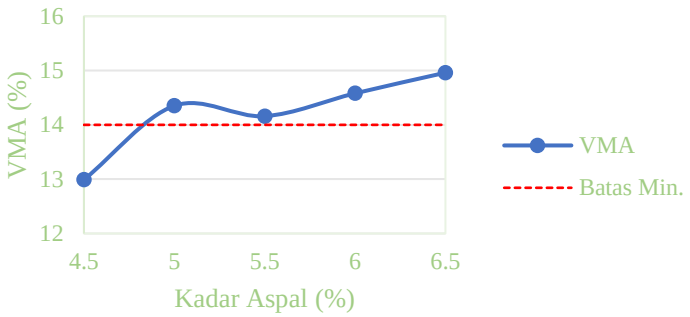
Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA) dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.5.




Gambar 4. 5 Hubungan Nilai VFA dengan Variasi Kadar Aspal

Melalui Gambar 4.5 dapat dilihat bahwa nilai VFA pada kadar aspal 4,5% tidak mencapai batas izin minimum yang mengindikasikan rongga pada campuran beraspal tidak cukup terisi aspal yang bisa menyebabkan kurangnya kekuatan ikatan antar partikel agregat, Nilai VFA mencapai batas izin minimum pada kadar aspal 5,0% dan terus meningkat hingga mencapai puncaknya pada kadar aspal 6,5%. Nilai VFA yang terlalu tinggi menunjukkan bahwa rongga-rongga dalam campuran beraspal terisi sepenuhnya. Hal ini dapat membuat campuran beraspal menjadi terlalu padat dan kurang fleksibel.

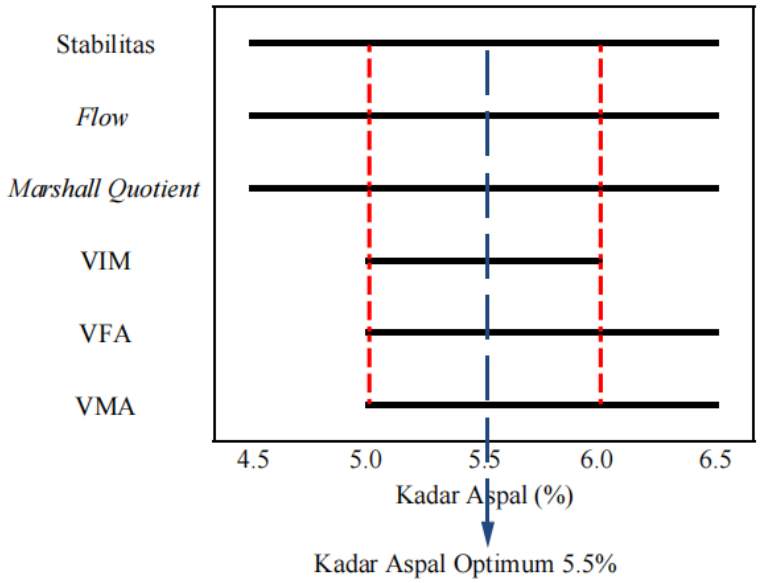
Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai *Voids in Mineral Aggregates* (VMA) dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 4.6.




Gambar 4. 6 Hubungan Nilai VMA dengan Variasi Kadar Aspal

Melalui Gambar 4.6 dapat dilihat bahwa nilai VMA pada kadar aspal 4,5% berada di bawah batas minimum yang diizinkan. Hal ini mengindikasikan campuran beraspal memiliki terlalu sedikit rongga yang mempengaruhi kemampuan campuran beraspal dalam menampung aspal dan udara secara efektif serta durabilitas terhadap deformasi. Nilai VMA pada kadar aspal diatas 5,0% telah mencapai batas minimum yang diizinkan dan memiliki nilai VMA yang terus meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai puncaknya pada kadar aspal 6,5%. Nilai VMA yang terlalu tinggi mengindikasikan campuran beraspal menjadi terlalu banyak rongga yang bisa menyebabkan campuran beraspal kurang stabil.

Berdasarkan hasil analisis parameter-parameter Marshall yang telah diuraikan, dapat ditentukan nilai KAO yang akan divisualisasikan berdasarkan kurva-kurva karakteristik Marshall yang diperoleh dari variasi kadar aspal yang telah diuji. Gambaran yang lebih jelas mengenai pemilihan nilai KAO akan divisualisasikan dalam Gambar 4.7.




Gambar 4. 7 Pemilihan Kadar Aspal Optimum

Gambar 4.7 menggambarkan kurva yang digunakan untuk menetapkan nilai KAO dalam campuran beraspal, dengan mempertimbangkan sejumlah parameter kritis, meliputi nilai *Air Voids* (VIM), nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA), nilai stabilitas, nilai *flow*, dan nilai *Marshall Quotient* (MQ). Berdasarkan hasil analisis, Nilai KAO diperoleh berdasarkan hasil rata-rata dari batas minimum pada kadar aspal 5,0% dan batas maksimum pada kadar aspal 6,0% sehingga ditetapkan nilai KAO sebesar 5,5%

Nilai KAO 5,5% memiliki jumlah rongga udara (VIM) dalam kisaran yang ideal memungkinkan penyerapan dan pengisian aspal yang memadai (VFA), namum tetap mempertahankan nilai stabilitas dan MQ. Campuran beraspal dengan penambahan kadar aspal 5,5% menunjukkan performa yang seimbang dalam hal kekuatan strukturan, durabilitas terhadap deformasi, dan fleksibilitas yang diperlukan untuk mendukung durabilitas jangka panjang di bawah beban lalu lintas

## 4.5. Perencanaan Campuran Beraspal dengan Tambahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP)

Formulasi campuran beraspal yang direncanakan ini secara khusus mengintegrasikan penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) sebagai material pengganti dalam komposisi campuran beraspal. Rincian hasil perencanaan campuran beraspal yang mencakup penambahan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) akan disajikan secara rinci pada Tabel 4.11.

Tabel 4. 11 Komposisi Campuran Beraspal dengan Tambahan RAP

| **Material** | **Komposisi Campuran Beraspal** |
|---|---|
| Kadar Aspal (%) | **5,2** |
| Bin 4 (%) | 13,3 |
| Bin 3 (%) | 30,7 |
| Bin 2 (%) | 15,1 |
| Bin 1 (%) | 35,7 |
| **Total (%)** | **100** |

Setelah menetapkan kadar aspal dan proporsi agregat yang akan digunakan dalam campuran beraspal, tahap selanjutnya adalah menghitung kebutuhan agregat untuk masing-masing komponen, dinyatakan dalam satuan gram, berdasarkan total berat campuran yang dibutuhkan untuk setiap sampel uji. Proses ini melibatkan perhitungan distribusi agregat yang tepat pada setiap fraksi, serta berat aspal yang sesuai dengan formulasi yang diinginkan. Distribusi berat agregat dan berat aspal dalam formulasi campuran beraspal akan disajikan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4. 12 Distribusi Berat Agregat dan Berat Aspal dalam Campuran RAP

| **Material** | **Distribusi Berat Campuran** |
|---|---|
| Berat Aspal (gr) | 59,95 |
| Berat Agg. Bin 4 (gr) | 153,26 |
| Berat Agg. Bin 3 (gr) | 352,96 |
| Berat Agg. Bin 2 (gr) | 173,54 |
| Berat Agg. Bin 1 (gr) | 410,29 |
| **Total (gr)** | **1150** |

Melalui data yang disajikan pada Tabel 4.12, dapat dilakukan perhitungan kebutuhan agregat untuk setiap variasi kadar RAP yang dijadikan sebagai material pengganti dalam campuran beraspal.

Contoh perhitungan kebutuhan agregat untuk penambahan kadar RAP sebesar 50%:

$$\text{Berat 50\% RAP Bin 1} = \frac{\text{Kadar RAP}}{100} \text{ x Berat Aggregat Bin}$$

$$= \frac{50}{100} \text{ x } 410{,}29$$

$$= 205{,}15 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Aspal} = \frac{\text{Kadar Aspal x Berat Total Agregat}}{100}$$

$$= \frac{5{,}2 \text{ x } 1150}{100} \text{ x } 59{,}95 \text{ gram}$$

## 4.6. Hasil Pengujian Berat Jenis Maksimum ($G_{mm}$) Campuran Beraspal dengan Tambahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP)

Pengujian nilai berat jenis maksimum ($G_{mm}$) dilakukan pada dua sampel campuran beraspal, di mana sampel pertama terdiri dari agregat yang tertahan pada ayakan 3/8", sedangkan sampel kedua merupakan campuran agregat beraspal yang lolos pada ayakan 3/8". Hasil pengujian nilai $G_{mm}$ ini memberikan gambaran mengenai kepadatan maksimum yang dicapai oleh campuran beraspal dengan penambahan RAP. Data hasil pengujian $G_{mm}$ untuk berbagai variasi kadar RAP dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4. 13 Hasil Pengujian Gmm Campuran Beraspal

| | Kadar RAP | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Sampel 1 | 2,333 | 2,424 | 2,561 | 2,269 | 2,454 | 2,417 |
| Sampel 2 | 2,432 | 2,355 | 2,243 | 2,579 | 2,371 | 2,420 |
| Rata-rata | 2,383 | 2,390 | 2,402 | 2,424 | 2,413 | 2,418 |

Dalam Tabel 4.13, tercantum data hasil pengujian $G_{mm}$ yang menunjukkan nilai rata-rata berat jenis maksimum untuk berbagai kadar RAP. Pada kadar RAP 0%, rata-rata nilai $G_{mm}$ sebesar 2,383 gr/cc. Ketika kadar RAP ditingkatkan menjadi 10%, nilai $G_{mm}$ rata-rata meningkat menjadi 2,390 gr/cc. Pada kadar RAP 20%, nilai Gmm rata-rata meningkat menjadi 2,402 gr/cc. Penambahan kadar RAP hingga 30% meningkatkan nilai Gmm rata-rata menjadi 2,424. Namun pada kadar 40%, terdapat penurunan pada nilai $G_{mm}$ rata-rata menjadi 2,413 gr/cc dan kembali meningkat pada kadar RAP 50% dengan nilai $G_{mm}$ rata-rata 2,418 gr/cc.

## 4.7. Hasil Pengujian Marshall Campuran Beraspal dengan Tambahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP)

Pada penelitian ini, pengujian Marshall dirancang dengan menggunakan 60 sampel uji, yang terbagi merata menjadi 10 sampel uji untuk setiap variasi kadar RAP. Material tambahan yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah *Reclaimed Asphalt Pavement* berupa limbah *patching* aspal, yang distribusi beratnya telah dihitung untuk setiap kadar percobaan guna memastikan homogenitas dan konsistensi hasil pengujian.

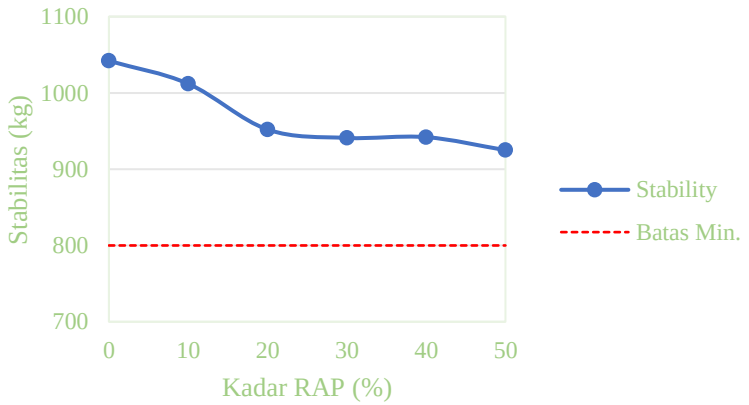
Data hasil pengujian Marshall, yang mencakup parameter-parameter kunci seperti nilai stabilitas, *flow*, MQ, VIM, VMA, dan VFA dari campuran dengan tambahan RAP sebagai material pengganti agregat. Data hasil pengujian campuran beraspal dengan tambahan RAP direkapitulasi pada Tabel 4.14.

Tabel 4. 14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Campuran Beraspal RAP

| Parameter | Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 | Kadar RAP | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0% | 10% | 20% | 30% | 40% | 50% |
| Stabilitas (kg) | Min.800 | 1042 | 1012 | 952 | 941 | 942 | 925 |
| *Flow* (mm) | 2-4 | 3,76 | 3,58 | 3,40 | 3,45 | 3,57 | 3,34 |
| MQ (kg/mm) | Min. 250 | 266 | 283 | 280 | 273 | 253 | 273 |
| VIM (%) | 3-5 | 3,56 | 4,17 | 3,82 | 4,59 | 4,84 | 5,33 |
| VFA (%) | Min.65 | 75,85 | 72,26 | 73,29 | 67,68 | 67,36 | 64,65 |
| VMA (%) | Min.14 | 14,75 | 15,05 | 14,31 | 14,19 | 14,83 | 15,06 |

Data hasil pengujian Marshall campuran beraspal dengan material pengganti tersebut, kemudian akan divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk menemukan hubungan antara penambahan kadar RAP dengan perubahan karakteristik Marshall pada setiap variasi kadar RAP.

Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai stabilitas dengan variasi kadar RAP dapat dilihat pada Gambar 4.8.

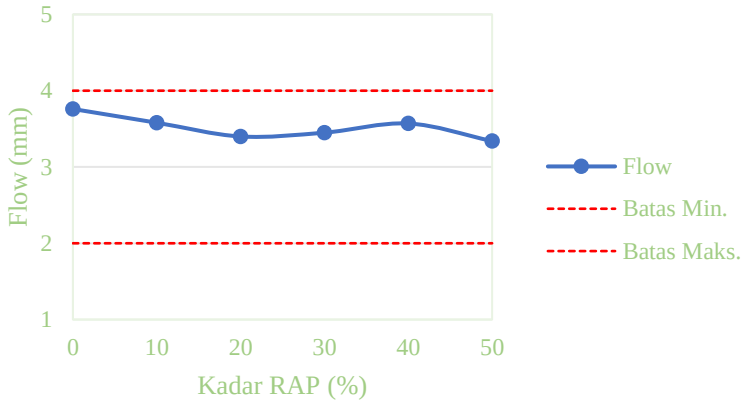



Gambar 4. 8 Hubungan Nilai Stabilitas dengan Variasi Kadar RAP

Berdasarkan hasil analisis yang ditunjukkan pada Gambar 4.8, dapat diidentifikasi bahwa nilai stabilitas tertinggi terdapat pada campuran beraspal dengan kadar RAP 0% atau campuran beraspal tanpa penambahan RAP, dengan nilai stabilitas mencapai angka 1042 kg. Seiring dengan penambahan kadar RAP dalam campuran beraspal, nilai stabilitas cenderung menurung tetapi penurunan ini tetap mempertahankan nilai stabilitas di atas batas minimum yang disyaratkanm yaitu 800 kg. Hal ini mengindikasikan bahwa meskipun terjadi penurunan stabilitas seiring peningkatan kadar RAP, campuran beraspal tetap menunjukkan kinerja yang memadai dan stabilitas yang diizinkan, sehingga penggunaan RAP memungkinkan

penggunaan RAP sebagai material pengganti dalam formulasi campuran beraspal tanpa mengesampingkan kinerja strukturalnya

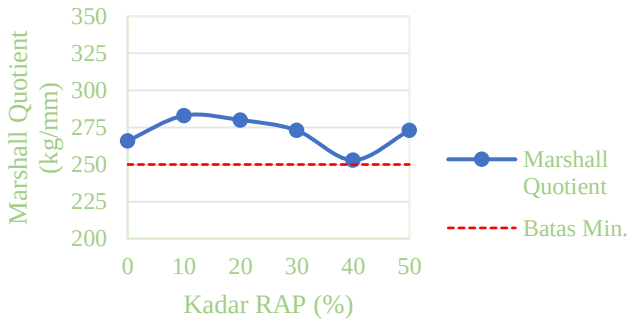
Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai *flow* dengan variasi kadar RAP dapat dilihat pada Gambar 4.9.




Gambar 4. 9 Hubungan Nilai Flow dengan Variasi Kadar RAP

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.9, nilai *flow* untuk campuran beraspal dengan penambahan RAP berada dalam rentang yang masih memenuhi batas izin yang ditetapkan, yaitu berkisar antara rentang 3,0 mm – 4,0 mm. Rentang ini menunjukkan kestabilan deformasi campuran beraspal, yang mengindikasikan bahwa penambahan RAP tidak memberikan dampak signifikan terhadap deformasi.dan campuran beraspal dapat menahan deformasi yang optimal dibawah beban, tanpa mengalami kekakuan berlebih yang dapat mengurangi fleksibilitas atau menjadi terlalu plastis yang dapat menyebabkan deformasi permanen.

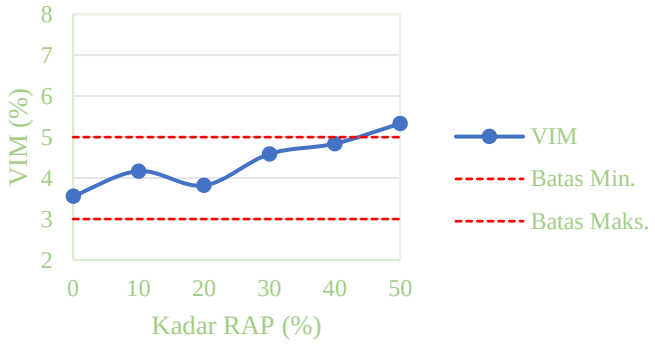
Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai MQ dengan variasi kadar RAP dapat dilihat pada Gambar 4.10




Gambar 4. 10 Hubungan Nilai MQ dengan Variasi Kadar RAP

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.10, dapat diamati bahwa nilai MQ menunjukkan kecenderungan yang stabil pada berbagai variasi kadar RAP yang digunakan. Kestabilan nilai MQ mengindikasikan bahwa penambahan kadar RAP tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap nilai MQ. Dengan demikian, penggunaan kadar RAP hingga 50% dalam campuran beraspal tetap menghasilkan kinerja yang memadai, terutama dalam hal stabilitas campuran serta ketahanan terhadap deformasi di bawah beban. Hal ini menunjukkan bahwa campuran beraspal dengan penambah kadar hingga 50% tetap dapat mempertahankan keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas serta durabilitas jangka panjang dari lapisan perkerasan.

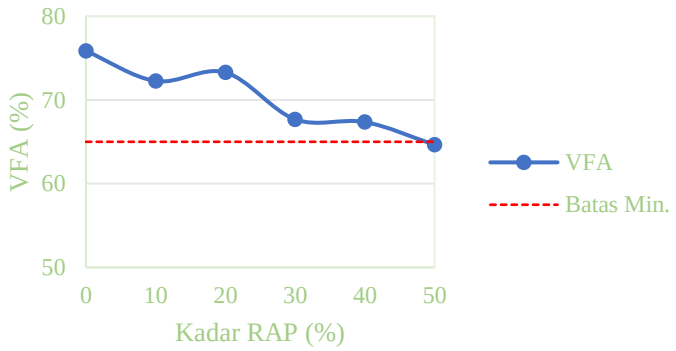
Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai VIM dengan variasi kadar RAP dapat dilihat pada Gambar 4.11




Gambar 4. 11 Hubungan Nilai ViM dengan Variasi Kadar RAP

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.11, dapat dilihat bahwa nilai VIM pada campuran beraspal dengan kadar RAP 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40% menunjukkan kestabilan dan tetap berada dalam rentang batas yang diizinkan. Kestabilan ini mengindikasikan bahwa campuran beraspal mampu mempertahankan keseimbangan antara fleksibilitas dan kekuatan untuk durabilitas terhadap beban lalu lintas dan pengaruh perubahan cuaca. Kondisi ini menunjukkan padatnya campuran, sehingga mampu memberikan kinerja yang baik dalam jangkan panjang. Namun, penambahan kadar RAP hingga 50%, melebihi nilai batas maksimum VIM yang diizinkan. Hal ini mengindikasikan adanya peningkatan ruang kosong dalam campuran,sehingga campuran beraspal menjadi kurang padat dan berpotensi mengurangi durabilitas terhadap beban lalu lintas serta membuatnya lebih rentan terhadap deformasi dan kerusakan akibat tekanan eksternal.

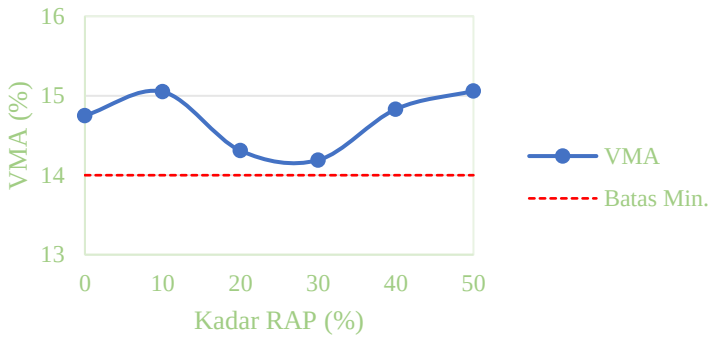
Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai VFA dengan variasi kadar RAP dapat dilihat pada Gambar 4.12




Gambar 4. 12 Hubungan Nilai VFA dengan Variasi Kadar RAP

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.12, dapat dilihat bahwa nilai VFA mengalami penurunan seiring dengan peningkatan kadar RAP dalam campuran beraspal. Nilai VFA yang tinggi menunjukkan bahwa proporsi aspal dalam campuran cukup mengisi rongga-rongga yang ada. Hal ini mengindikasikan campuran beraspal memiliki potensi performasi yang baik dalam hal durabilitas terhadap retakan, deformasi, dan perubahan kondisi cuaca. Namun, pada penambahan kadar RAP hingga 50%, nilai VFA menurun sangat signifikan hingga melampaui batas minimum yang diizinkan. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar RAP yang digunakan, kemampuan campuran beraspal untuk menyerap aspal baru semakin berkurang. Hal ini dapat menyebabkan campuran menjadi kurang padat dan berpotensi mengurangi durabilitas terhadap beban lalu lintas serta mempercepat munculnya retakan atau deformasi.

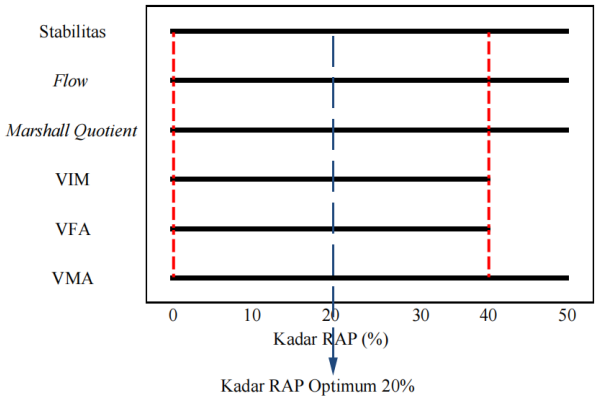
Grafik yang menunjukkan hubungan antara nilai VMA dengan variasi kadar RAP dapat dilihat pada Gambar 4.13




Gambar 4. 13 Hubungan Nilai VMA dengan Variasi Kadar RAP

Berdasarkan hasil analisis pada Gambar 4.13, terlihat bahwa nilai VMA relative stabil pada setiap variasi kadar RAP yang digunakan, tetapi tetap berada di atas batas minimum yang diizinkan. Kestabilan nilai VMA mengindikasikan bahwa campuran beraspal memiliki jumlah ruang kosong yang cukup untuk diisi oleh aspal dan udara. Ruang kosong yang memadai ini memungkinkan aspal untuk mengikat agregat secara optimal, sehingga menghasilkan ikatan yang kuat dan tahan lama. Nilai VMA yang memadai memastikan campuran beraspal tidak mudah terlepas untuk menjaga kekuatan struktural keseluruhan campuran.

Hasil analisis parameter-parameter Marshall yang telah diuraikan akan divisualisasikan berdasarkan kurva-kurva karakteristik Marshall yang telah diperoleh dari variasi kadar RAP yang telah diuji. Gambaran yang lebih jelas mengenai pemilihan nilai kadar RAP optimum akan divisualisasikan dalam Gambar 4.14.




Gambar 4. 14 Kadar RAP Optimum

Gambar 4.13 menunjukkan analisis berbagai parameter Marshall yang dilakukan terhadap campuran beraspal dengan variasi kadar RAP. Parameter yang diuji meliputi stabilitas,*flow*, *Marshall Quotient*(MQ), *Voids in Mix*(VIM), *Voids Filled with Asphalt*(VFA), *Voids in Mineral Aggregates*(VMA).

Nilai stabilitas untuk semua variasi kadar RAP berada diatas batas minimum yang diizinkan, yaitu 800 kg. Hal ini menunjukkan bahwa campuran beraspal memiliki durabilitas yang memadai terhadap deformasi. Namun peningkatan kadar RAP cenderung menurunkan nilai stabilitas meskipun masih berada dalam batas yang diizinkan.

Nlai *flow* yang mengindikasikan kemampuan deformasi campuran beraspal, berada dalam rentang izin di angka 2,0 mm hingga 4,0 mm untuk semua variasi kadar RAP. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan RAP dalam campuran beraspal tidak secara signifikan mempengaruhi fleksibilitas campuran beraspal dan tetap berada dalam rentang yang diizinkan, tidak terlalu kaku dan tidak terlalu plastis.

Nilai *Marshall Quotient* yang merupakan indikator keseimbangan antara nilai stabilitas dan *flow* tetap stabil di atas batas minimum yang diizinkan, yaitu 250

kg/mm untuk semua variasi kadar RAP. Hal ini mengindikasikan bahwa penambahan kadar RAP tidak mengakibatkan perubahan yang signifikan dalam kekakuan campuran beraspal.

Nilai *Voids in Mix* cenderung meningkat seiring dengan penambahan kadar RAP yang menunjukkan adanya peningkatan jumlah rongga dalam campuran beraspal. Pada kadar RAP 50%, nilai VIM melebihi batas maksimum yang diizinkan yang menunjukkan bahwa jumlah rongga yang terbentuk dalam campuran beraspal terlalu banyak sehingga bisa mengurangi durabilitas campuran beraspal tersebut.

Nilai *Voids Filled with Asphalt* cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar RAP. Pada kadar RAP 50%, nilai VFA turun dibawah batas minimum yang diizinkan yang menunjukkan bahwa rongga dalam campuran beraspal tidak terisi cukup oleh aspal. Hal ini dapat berdampak pada durabilitas jangka panjang campuran beraspal.

Nilai *Voids in Mineral Aggregates* cenderung stabil untuk semua variasi kadar RAP dan tetap berada diatas batas minimum yang diizinkan. Hal ini menunjukkan bahwa campuran beraspal memiliki ruang yang cukup untuk aspal mengisi rongga di antara agregat untuk memastikan durabilitas campuran beraspal dan mencegah terjadinya pemisahan partikel aspal dengan agregat.

Berdasarkan hasil analisis parameter Marshall yang telah diuraikan, kadar RAP yang optimal untuk ditambahkan dalam campuran beraspal ditentukan pada kadar RAP 20%. Pada kadar ini, semua parameter berada dalam rentang batas yang diizinkan. Hal ini menunjukkan campuran beraspal dengan tambahan kadar 20% RAP memberikan keseimbangan yang baik antara kekuatan, fleksibilitas dan

durabilitas. Sebaliknya, penggunaan kadar RAP hingga 50% dalam campuran beraspal tidak disarankan karena tidak memenuhi beberapa parameter izin, khususnya nilai VIM dan VFA. Hal ini mengindikasikan penggunaan kadar RAP dengan tambahan kadar RAP 50% dapat menyebabkan penurunan performa dan mengurangai umur pakai dari perkerasan jalan.

# BAB V

# KESIMPULAN DAN SARAN

## 5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian evaluasi kinerja limbah *patching* aspal sebagai bahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam campuran lapisan AC-BC jalan didapat beberapa poin penting yang diuraikan sebagai berikut :

a. Penggunaan material RAP limbah *patching* aspal sebagai material pengganti dalam campuran beraspal AC-BC dapat dilakukan dengan rentang kadar RAP 0% - 40%. Pengaruh penambahan RAP terhadap parameter Marshall dapat diuraikan sebagai berikut:

   i. Nilai stabilitas campuran beraspal mengalami penurunan secara bertahap seiring dengan peningkatan kadar RAP. Meskipun demikian, nilai stabilitas masih berada diatas batas izin minimum yang disyaratkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (revisi 2). Hal ini menunjukkan bahwa, meskipun terdapat penurunan stabilitas, campuran masih memiliki daya dukung yang cukup untuk diaplikasikan dalam lapisan perkerasan jalan.

   ii. Nilai *flow*, VMA, dan MQ dengan penambahan variasi kadar RAP cenderung stabil dan tidak menunjukkan perubahan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa campuran beraspal mampu mempertahankan sifat mekanisnya tanpa mengalami penurunan performa yang signifikan meskipun menggunakan RAP sebagai material pengganti agregat

   iii. Nilai *Voids in* Mix (VIM) dalam campuran beraspal menunjukkan peningkatan seiring dengan penambahan kadar RAP. Pada campuran

beraspal dengan penambahan kadar RAP 50%, nilai VIM tercatat melebihi batas maksimum yang diizinkan, yaitu pada rentang 3%-5% dengan nilai VIM aktual sebesar 5,33%. Peningkatan VIM mengindikasikan peningkatan volume rongga udara dalam campuran beraspal. Hal ini berpotensi mempengaruhi karakteristik fisik dan kinerja campuran beraspal terhadap beban lalu lintas, khususnya dalam hal kekuatan dan durabilitas terhadap deformasi perman

iv. Nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA) dalam campuran beraspal menunjukkan penurunan seiring dengan penambahan kadar RAP. Pada penambahan kadar RAP 50%, nilai VFA mengalami penurunan hingga melewati batas minimum yang diizinkan, yaitu pada angka 65%, dengan nilai VFA aktual sebesar 64,65%. Penurunan ini menunjukkan bahwa campuran beraspal tidak memiliki cukup aspal untuk mengisi rongga agregat yang tersedia. Hal ini berdampak negative pada kekuatan dan stabilitas campuran dan berpotensi membuat campuran lebih rentan terhadap keretakan dan kerusakan akibat beban lalu lintas yang berulang.

b. Pengambilan kadar RAP optimum di angka 20 % didasarkan pada analisis parameter kinerja campuran beraspal yang menunjukkan bahwa pada kadar ini semua parameter berada dalam batas yang diizinkan atau batas optimal. Hal ini memastikan bahwa campuran beraspal memiliki keseimbangan yang baik antara kekuatan, kekakuan, fleksibilitas, dan daya tahan serta memaksimalkan penggunaan material daur ulang tanpa mengesampingkan kualitas dan kinerja perkerasan jalan.

c. Kadar Aspal Optimum (KAO) yang digunakan adalah sebesar 5,5%.

d. Nilai *Voids in Mineral Aggregates* (VMA) pada campuran beraspal dengan variasi kadar RAP cenderung stabil di angka 14% - 15% yang mana memenuhi persyaratan batas izin minimumnya. Hal ini menujukkan proporsi agregat dan aspal dalam campuran beraspal telah menyediakan cukup ruang untuk aspal mengisi rongga di antara agregat sehingga campuran beraspal memiliki pengikatan yang kuat dan ketahanan terhadap deformasi.

e. Nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada campuran beraspal dengan variasi kadar RAP cenderung stabil di angka 250 - 300 kg/mm yang mana memenuhi persyaratan batas izin minimumnya. Hal ini menunjukkan campuran beraspal memiliki kekakuan yang optimal, memberikan stabilitas yang baik terhadap beban lalu lintas dan deformasi yang tidak berlebihna di bawah beban lalu lintas.

f. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kadar RAP 50% terdapat beberapa parameter Marshall yang tidak memenuhi persyaratan, sepert nilai VIM dan VFA. Hal ini menunjukkan penggunaan kadar RAP sebesar 50% dalam campuran beraspal tidak direkomendasikan, mengingat dampak negatif terhadap performa mekanis dan durabilitas secara keseluruhan.

g. Penyebab potensial nilai VIM dan VFA pada campuran beraspal dengan kadar RAP 50% tidak memenuhi persyaratan batas izinnya adalah dengan meningkatnya kadar RAP, campuran beraspal mengalami masalah dalam pengikatan antara aspal baru dan material RAP. Aspal lama yang terdapat dalam RAP tidak mampu menyatu dengan baik dengan aspal baru sehingga rongga kurang terisi.

## 5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, berikut saran yang mungkin dapat berguna untuk penelitian selanjutnya :

a. Melakukan penelitian dengan kadar RAP yang berbeda atau RAP dari jenis kerusakan yang berbeda dari penelitian ini. Limbah *patching* yang digunakan pada penelitian ini mayoritas dengan jenis kerusakan jalan retakan (*cracking*) dan lubang.
b. Melakukan analisis terhadap penghematan biaya, pengurangan limbah, dan manfaat lingkungan lainnya dari penggunaan limbah *patching* aspal dibandingkan penggunaan material baru.

# DAFTAR PUSTAKA


Antara. (2022). *Rachmat Gobel: Cadangan Aspal Buton Cukup untuk Swasembada Hingga 125 Tahun*. Tempo.Co.

Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 03-1969-1990: Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Jakarta:BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 03-1969-1990: Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Jakarta:BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2008). SNI 03-1970-1990: Metode Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Jakarta:BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 03-2417-2008. Metode Pengujian Keausan Agregat Kasar dengan Mesin Los Angeles. Jakarta:BSN.

Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 03-4428-1997: Metode Pengujian Sand Equivalent untuk Agregat Halus. Jakarta:BSN.

Copeland, A. (2011). *Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures : State of the Practice* . Federal Highway Administration : Office of Research.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2021). Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (revisi 2).

Latjemma, S. (2022). Studi Analisis Pemanfaatan Hasil Pengupasan Aspal untuk Daur Ulang Campuran HRS-WC. *Jurnal Multidisiplin Madani*, *2*(10), 3678–3687. https://doi.org/10.55927/mudima.v2i10.1410

Masri, Y., Siahaya, V. Th. C., & Istia, P. (2023). Pengaruh Penambahan Aspal Terhadap Stabilitas Marshall Pada Material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Di Ruas Jalan Jenderal Sudirmal – Rijali Kota Ambon. *JURNAL SIMETRIK*, *13*(1), 683–689. https://doi.org/10.31959/js.v13i1.1529

Ridwan, M. (2022). *"Kementerian PUPR: 83 Persen Kebutuhan Aspal RI Masih Impor."* Bisnis.Com.

Roberts, F. (1996). *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design, and Construction* (2nd ed.). National Asphalt Pavement Association Research and Education Foundation.

Setiawan, E. (2016). Estimasi Kadar Aspal Optimum pada Laston Berdasarkan Data Historis Penelitian di Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Tanjungpura*.

Sukirman, S. (1995). *Dasar - Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*.

Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit NOVA.

Sumiati. (2014). Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Nilai Karakteristik Aspal Beton (AC-BC). *PILAR Jurnal Teknik Sipil*, *10*(1).

Tahir, R. H., Nurdin, Abd. R., & Mallawangeng, T. (2024). Daur Ulang Penggunaan Aspal Panas Retak Kulit Buaya Yang Digunakan Pada Lapis Perkerasan. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil Konsolidasi*, *2*(1), 50–58. https://doi.org/10.56326/jptsk.v2i1.3290

White, P. (2017). *Asphalt and Aggregate Studies*. Journal of Civil Engineering.

# LAMPIRAN 1

# FORMULIR HASIL PENGUJIAN AGREGAT

| | ANALISA SARINGAN | PT. DWI RATNA PUTRA HOTMIX ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

JENIS : Agregat hotbin I

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 1000 gr

| Saringan No. | Diameter (mm). | Berat Tertahan (gr) | Jumlah Tertahan (%) | Jumlah Lolos (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1" | 25.400 | 0 | 0 | 100 |
| 3/4" | 19.050 | 0 | 0 | 100 |
| 1/2" | 12.700 | 0 | 0 | 100 |
| 3/8" | 9.600 | 0 | 0 | 100 |
| No.4 | 4.740 | 0 | 0 | 100 |
| No.8 | 2.400 | 212 | 19,74 | 80,26 |
| No.16 | 1.200 | 294 | 47,11 | 52,89 |
| No.30 | 0.425 | 147,5 | 60,85 | 39,15 |
| No.50 | 0.300 | 152,5 | 75,05 | 24,94 |
| No.100 | 0.150 | 83 | 82,77 | 17,23 |
| No.200 | 0.075 | 86 | 90,78 | 9,22 |
| Pan | | 99 | 100 | 0 |
| Total (gr) | | 1074 | | |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JUAN ADVANTO | ANDI, S |

CS Scanned with CamScanner

| | ANALISA SARINGAN | PT. DWI RATNA PUTRA HOTMIX ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

JENIS : Agregat hotbin II

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 5000 gr

| Saringan No. | Diameter (mm). | Berat Tertahan (gr) | Jumlah Tertahan (%) | Jumlah Lolos (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1" | | 0 | 0 | 100 |
| 3/4" | | 0 | 0 | 100 |
| 1/2" | | 0 | 0 | 100 |
| 3/8" | | 360 | 7,18 | 92,82 |
| No.4 | | 2634 | 59,69 | 40,31 |
| No.8 | | 1534 | 90,27 | 9,73 |
| No.16 | | 124 | 92,74 | 7,26 |
| No.30 | | 57 | 93,88 | 6,12 |
| No.50 | | 139 | 96,65 | 3,35 |
| No.100 | | 0 | 96,65 | 3,35 |
| No.200 | | 0 | 96,65 | 3,35 |
| Pan | | 168 | 100 | 0 |
| Total (gr) | | 5016 | | |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JUAN ADVIANTO | ANDI, S |

CS Scanned with CamScanner

| | ANALISA SARINGAN | PT. DWI RATNA PUTRA HOTMIX ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

JENIS : Agregat halbin III

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 5000 gr

| Saringan No. | Diameter (mm). | Berat Tertahan (gr) | Jumlah Tertahan (%) | Jumlah Lolos (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1" | | 0 | 0 | 100 |
| 3/4" | | 0 | 0 | 100 |
| 1/2" | | 915 | 17,84 | 82,16 |
| 3/8" | | 2114 | 59,07 | 40,93 |
| No.4 | | 1980 | 97,68 | 2,32 |
| No.8 | | 71 | 99,06 | 0,94 |
| No.16 | | 0 | 99,06 | 0,94 |
| No.30 | | 0 | 99,06 | 0,94 |
| No.50 | | 0 | 99,06 | 0,94 |
| No.100 | | 0 | 99,06 | 0,94 |
| No.200 | | 0 | 99,06 | 0,94 |
| Pan | | 48 | 100 | 0 |
| Total (gr) | | 5128 | | |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JHAN ARVIANTO | ANDI. S |

Scanned with CamScanner

# ANALISA SARINGAN

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

JENIS : Agregat hotbin IV

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 5000 gr

| Saringan No. | Diameter (mm). | Berat Tertahan (gr) | Jumlah Tertahan (%) | Jumlah Lolos (%) |
|---|---|---|---|---|
| 1" | | 0 | 0 | 100 |
| 3/4" | | 1007 | 19,27 | 80,73 |
| 1/2" | | 2910 | 74,95 | 25,05 |
| 3/8" | | 1005 | 94,18 | 5,82 |
| No.4 | | 219 | 98,37 | 1,63 |
| No.8 | | 0 | 98,37 | 1,63 |
| No.16 | | 0 | 98,37 | 1,63 |
| No.30 | | 0 | 98,37 | 1,63 |
| No.50 | | 0 | 98,37 | 1,63 |
| No.100 | | 0 | 98,37 | 1,63 |
| No.200 | | 0 | 98,37 | 1,63 |
| Pan | | 85 | 100 | 0 |
| Total (gr) | | 5226 | | |

Tested By

JUAN ARIANTO

Checked By

ANDI. S

CS Scanned with CamScanner

| | PENGUJIAN SP. GRAVITY AGREGAT KASAR | PT. DWI RATNA PUTRA HOTMIX ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

JENIS : Agregat hotbin II

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 5000 gr

| No. | Parameter | Notasi | Berat (gr) |
|---|---|---|---|
| 1 | Berat contoh SSD di udara | A | 5114 |
| 2 | Berat contoh SSD di dalam air | B | 3136 |
| 3 | Berat contoh kering | C | 5000 |

| | | |
|---|---|---|
| APP. SP GRAVITY | $\frac{C}{(C-B)}$ | 2,682 |
| SP. GRAVITY ON DRY BASIS | $\frac{C}{(A-B)}$ | 2,528 |
| SP. GRAVITY ON SSD BASIS | $\frac{A}{(A-B)}$ | 2,585 |
| WATER ABSORPTION | $\frac{A-C}{C}$ | 2,28 % |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JUAN PRIANTA | ANDI. S |

CS Scanned with CamScanner

| | PENGUJIAN SP. GRAVITY AGREGAT KASAR | PT. DWI RATNA PUTRA HOTMIX ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

JENIS : Agregat hotbin III

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 5000 gr

| No. | Parameter | Notasi | Berat (gr) |
|---|---|---|---|
| 1 | Berat contoh SSD di udara | A | 5102 |
| 2 | Berat contoh SSD di dalam air | B | 3131 |
| 3 | Berat contoh kering | C | 5000 |

| | | |
|---|---|---|
| APP. SP GRAVITY | $\frac{C}{(C-B)}$ | 2,675 |
| SP. GRAVITY ON DRY BASIS | $\frac{C}{(A-B)}$ | 2,537 |
| SP. GRAVITY ON SSD BASIS | $\frac{A}{(A-B)}$ | 2,589 |
| WATER ABSORPTION | $\frac{A-C}{C}$ | 2,04 % |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JUDI FRIANTO | ANDI. S |

Scanned with CamScanner

# PENGUJIAN SP. GRAVITY AGREGAT KASAR

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

JENIS : Agregat hotbin 0-5

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 5000 gr

| No. | Parameter | Notasi | Berat (gr) |
|---|---|---|---|
| 1 | Berat contoh SSD di udara | A | 5071 |
| 2 | Berat contoh SSD di dalam air | B | 3150 |
| 3 | Berat contoh kering | C | 5000 |

| | | |
|---|---|---|
| APP. SP GRAVITY | $\frac{C}{(C-B)}$ | 2,703 |
| SP. GRAVITY ON DRY BASIS | $\frac{C}{(A-B)}$ | 2,603 |
| SP. GRAVITY ON SSD BASIS | $\frac{A}{(A-B)}$ | 2,640 |
| WATER ABSORPTION | $\frac{A-C}{C}$ | 1,42 % |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JUAN MAVIANT. | ANDI.S |

Scanned with CamScanner

| | PENGUJIAN SP. GRAVITY AGREGAT HALUS | PT. DWI ADITAMA PUTRA HOTMIX ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

JENIS : Agregat hotbin 1

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 500 gr

| No. | Parameter | Notasi | Berat (gr) |
|---|---|---|---|
| 1 | Berat contoh SSD di udara | A | 500 |
| 2 | Berat flask + contoh SSD | B | 657 |
| 3 | Berat flask | C | 155 |
| 4 | Berat contoh SSD (B-C) | D | 500 |
| 5 | Berat flask + air + contoh | E | 961 |
| 6 | Berat flask + air | F | 657 |
| 7 | Berat contoh kering | G | 488,5 |

| | | |
|---|---|---|
| APP. SP GRAVITY | $\frac{G}{G-(E-F)}$ | 2,648 |
| SP. GRAVITY ON DRY BASIS | $\frac{G}{D-(E-F)}$ | 2,492 |
| SP. GRAVITY ON SSD BASIS | $\frac{D}{D-(E-F)}$ | 2,551 |
| WATER ABSORPTION | $\frac{D-G}{G}$ | 2,35 % |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JUAN REVINATO | ANDI. S |

CS Scanned with CamScanner

# PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

PT. DWI RATAA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

JENIS : Agregat holbin II

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 5000 gr

| | | |
|---|---|---|
| Berat total contoh sebelum di uji (A) | 5000 | 5000 |
| Berat contoh tertahan pada saringan No.12 setelah diuji (B) | 3782 | 3759 |
| Keausan (%) | 24,36 % | 24,82 % |
| Keausan rata-rata (%) | 24,59 % | |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JUAN ARNANDO | ANNI.S |

CS Scanned with CamScanner

| | PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT KASAR | PT. DWI RATNA PUTRA HOTMIX ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

JENIS : Agregat hotbin III

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 5000 gr

| | | |
|---|---|---|
| Berat total contoh sebelum di uji (A) | 5000 | 5000 |
| Berat contoh tertahan pada saringan No.12 setelah diuji (B) | 3824 | 3852 |
| Keausan (%) | 23,52 % | 22,96 % |
| Keausan rata-rata (%) | 23,24 % | |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JUAN ANIANTO | ANDIS |

| | PENGUJIAN KEAUSAN AGREGAT KASAR | PT. [illegible] ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

JENIS : Agregat hotbin IV

TANGGAL : 18 Mei 2024

BERAT SAMPEL : 5000 gr

| | | |
|---|---|---|
| Berat total contoh sebelum di uji (A) | 5000 | 5000 |
| Berat contoh tertahan pada saringan No.12 setelah diuji (B) | 3924 | 3897 |
| Keausan (%) | 21,52 % | 22,06 % |
| Keausan rata-rata (%) | 21,79 % | |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| JUAN ARVIANTO | ANDI S |

CS Scanned with CamScanner

| | PENGUJIAN SAND EQUIVALENT | PT. DWI RATNA PUTRA HOTMIX ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

JENIS : Agregat hotbin I

TANGGAL : 18 Mei 2024

UKURAN SAMPEL :

| | 1 | 2 |
|---|---|---|
| Scale reading of sand | 38 | 39,5 |
| Scale reading of clay | 52 | 54,5 |
| Sand Equivalent (%) | 73,08 | 72,48 |
| Average (%) | 72,78 | |

| Tested By | Checked By |
|---|---|
| [signature] | [signature] |
| [illegible] | ANDI . S |

CS Scanned with CamScanner

# LAMPIRAN 2

# FORMULIR HASIL PENGUJIAN $G_{mm}$

Scanned with CamScanner

MAXIMUM SPECIFIC GRAVITY ( GMM )

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

| NO SAMPLE | | 4,5% | | 5,0% | | 5,5% | | 6,0% | | 6,5% | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tertahan #3/8 | Lolos #3/8 | Tertahan #3/8 | Lolos #3/8 | Tertahan #3/8 | Lolos #3/8 | Tertahan #3/8 | Lolos #3/8 | Tertahan #3/8 | Lolos #3/8 |
| WEIGHT OF PICNOMETER IN AIR | A | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 |
| WEIGHT OF PICNOMETER + WATER | B | 1596.5 | 1596.5 | 1596.5 | 1596.5 | 1596.5 | 1596.5 | 1596.5 | 1596.5 | 1596.5 | 1596.5 |
| VOLUME OF PICNOMETER | C = B-A | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 |
| WEIGHT OF PICNOMETER + SAMPLE | D | 1039.2 | 1016.1 | 1035.1 | 1012.8 | 1066.3 | 1010.0 | 1003.4 | 1028.9 | 1003.8 | 1039.2 |
| WEIGHT OF SAMPLE | E = D-A | 577.3 | 554.2 | 573.2 | 550.9 | 604.4 | 548.1 | 541.5 | 567.0 | 541.9 | 577.3 |
| WEIGHT OF PICNOMETER + WATER + SAMPLE | F | 1944.4 | 1917.7 | 1924.3 | 1927.2 | 1954.5 | 1914.2 | 1916.5 | 1921.1 | 1909.1 | 1934.6 |
| WEIGHT OF WATER | G = F-D | 905.2 | 901.6 | 889.2 | 914.4 | 888.2 | 904.2 | 913.1 | 892.2 | 905.3 | 895.4 |
| VOLUME OF SAMPLE | H = C-G | 229.4 | 233.0 | 245.4 | 220.2 | 246.4 | 230.4 | 221.5 | 242.4 | 229.3 | 239.2 |
| SPECIVIC GRAVITY OF BITUMENT | I = E/H | 2.517 | 2.379 | 2.366 | 2.502 | 2.453 | 2.379 | 2.445 | 2.339 | 2.363 | 2.413 |
| AVERAGE | | **2.448** | | **2.419** | | **2.416** | | **2.392** | | **2.388** | |

Scanned with CamScanner

| | MAXIMUM SPECIFIC GRAVITY ( GMM ) | PT. DWI RATNA PUTRA HOTMIX ASPHALT PLANT |
|---|---|---|

| NO SAMPLE | | 0% | | 10% | | 20% | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tertahan | Lolos | Tertahan | Lolos | Tertahan | Lolos |
| | | #3/8 | #3/8 | #3/8 | #3/8 | #3/8 | #3/8 |
| WEIGHT OF PICNOMETER IN AIR | A | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 |
| WEIGHT OF PICNOMETER + WATER | B | 1595.5 | 1595.5 | 1595.5 | 1595.5 | 1595.5 | 1595.5 |
| VOLUME OF PICNOMETER | C = B-A | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 |
| WEIGHT OF PICNOMETER + SAMPLE | D | 1007.7 | 1049.3 | 1069.1 | 1057.8 | 1051.6 | 1036.3 |
| WEIGHT OF SAMPLE | E = D-A | 545.8 | 587.4 | 607.2 | 595.9 | 589.7 | 574.4 |
| WEIGHT OF PICNOMETER + WATER + SAMPLE | F | 1908.4 | 1942.4 | 1953.2 | 1939.4 | 1955.9 | 1914.8 |
| WEIGHT OF WATER | G = F-D | 900.7 | 893.1 | 884.1 | 881.6 | 904.3 | 878.5 |
| VOLUME OF SAMPLE | H = C-G | 233.9 | 241.5 | 250.5 | 253.0 | 230.3 | 256.1 |
| SPECIVIC GRAVITY OF BITUMENT | I = E/H | 2.333 | 2.432 | 2.424 | 2.355 | 2.561 | 2.243 |
| AVERAGE | | **2.383** | | **2.390** | | **2.402** | |

Scanned with CamScanner

MAXIMUM SPECIFIC GRAVITY ( GMM )

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

| NO SAMPLE | | 30% | | 40% | | 50% | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Tertahan #3/8 | Lolos #3/8 | Tertahan #3/8 | Lolos #3/8 | Tertahan #3/8 | Lolos #3/8 |
| WEIGHT OF PICNOMETER IN AIR | A | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 | 461.9 |
| WEIGHT OF PICNOMETER + WATER | B | 1595.5 | 1595.5 | 1595.5 | 1595.5 | 1595.5 | 1595.5 |
| VOLUME OF PICNOMETER | C = B-A | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 | 1134.6 |
| WEIGHT OF PICNOMETER + SAMPLE | D | 1042.4 | 1049.7 | 1048.9 | 1049.7 | 1044.1 | 1054.5 |
| WEIGHT OF SAMPLE | E = D-A | 580.5 | 587.8 | 587.0 | 587.8 | 582.2 | 592.6 |
| WEIGHT OF PICNOMETER + WATER + SAMPLE | F | 1921.2 | 1956.4 | 1944.3 | 1936.4 | 1937.8 | 1944.2 |
| WEIGHT OF WATER | G = F-D | 878.8 | 906.7 | 895.4 | 886.7 | 893.7 | 889.7 |
| VOLUME OF SAMPLE | H = C-G | 255.8 | 227.9 | 239.2 | 247.9 | 240.9 | 244.9 |
| SPECIVIC GRAVITY OF BITUMENT | I = E/H | 2.269 | 2.579 | 2.454 | 2.371 | 2.417 | 2.420 |
| AVERAGE | | **2.424** | | **2.413** | | **2.418** | |

# LAMPIRAN 3

# FORMULIR HASIL PENGUJIAN MARSHALL

Scanned with CamScanner

# MARSHALL STABILITY TEST

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

TYPE OF MIXTURE : AC-BC
COMPACTION BLOW : 2 x 75
COMPACTION TEMP : 150 °c
SPGR OF ASPHALT ( R ) : 1.030
SPGR OF AGGREGATE (S) : 2.550
GRADE OF ASPHALT : 60/70

DATE :

| NO. | ASPHALT CONTENT BY WEIGHT ( % ) | WEIGHT IN AIR ( Gr ) | WEIGHT IN WATER ( Gr ) | WEIGHT SSD IN AIR ( Gr ) | BULK VOLUME ( CC ) | BULK DENSITY ( Gr/CC ) | MAXIMUM SPGR MIX ( GMM ) ( Gr/CC ) | VOLUME TOTAL MIX ASPHALT CONTENT ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AIR VOID ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AGGREGATE ( % ) | VMA ( % ) | VOID FILLED ( % ) | STABILITY READING | STABILITY ADJUST ( KG ) | FLOW ( MM ) | MARSHALL QUOTIENT ( KG/MM ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | E | F=E-D | G=C/F | H =AASTHO T - 209 | I = (BxG)/R | J =(H-G)/ Hx100 | K = 100-I-J | L=100-((Gx (100-B))/S) | M =((L-J) /L)x100 | N | O NxCALIBRATION | P | Q = O/P |
| 1 | | 1139.4 | 656.5 | 1149.1 | 492.6 | 2.313 | | | | | | | 40 | 605 | 3.3 | |
| 2 | 4.5 | 1131.0 | 650.0 | 1139.3 | 489.3 | 2.311 | | | | | | | 60 | 908 | 3.4 | |
| 3 | | 1133.8 | 659.8 | 1143.2 | 483.4 | 2.345 | | | | | | | 85 | 1286 | 3.6 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.323** | **2.448** | **10.15** | **5.08** | **84.78** | **12.99** | **60.92** | | **933** | **3.43** | **271** |
| 1 | | 1144.1 | 657.0 | 1154.5 | 497.5 | 2.300 | | | | | | | 73 | 1104 | 3.8 | |
| 2 | 5.0 | 1139.4 | 652.1 | 1148.8 | 496.7 | 2.294 | | | | | | | 78 | 1180 | 3.5 | |
| 3 | | 1127.8 | 648.0 | 1137.6 | 489.6 | 2.304 | | | | | | | 65 | 983 | 3.7 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.299** | **2.419** | **11.16** | **4.95** | **83.89** | **14.35** | **65.50** | | **1089** | **3.67** | **297** |
| 1 | | 1125.0 | 649.0 | 1134.7 | 485.7 | 2.316 | | | | | | | 76 | 1150 | 3.6 | |
| 2 | 5.5 | 1137.5 | 652.0 | 1143.8 | 491.8 | 2.313 | | | | | | | 82 | 1241 | 3.5 | |
| 3 | | 1140.1 | 656.6 | 1148.0 | 491.4 | 2.320 | | | | | | | 76 | 1150 | 3.2 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.316** | **2.416** | **12.37** | **4.12** | **83.51** | **14.16** | **70.91** | | **1180** | **3.43** | **344** |

TESTED BY,

JUAN ARVIANTO

CHECKED BY,

ANDI . S

APPROVED BY,

Remarks :
Calibration Of Proving Ring
15.76 kg

Scanned with CamScanner

# MARSHALL STABILITY TEST

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

TYPE OF MIXTURE : AC-BC
COMPACTION BLOW : 2 x 75
COMPACTION TEMP : 150 °c

SPGR OF ASPHALT ( R ) : 1.030
SPGR OF AGGREGATE (S) : 2.550
GRADE OF ASPHALT : 60/70

DATE :

| NO. | ASPHALT CONTENT BY WEIGHT ( % ) | WEIGHT IN AIR ( Gr ) | WEIGHT IN WATER ( Gr ) | WEIGHT SSD IN AIR ( Gr ) | BULK VOLUME ( CC ) | BULK DENSITY ( Gr/CC ) | MAXIMUM SPGR MIX ( GMM ) ( Gr/CC ) | VOLUME TOTAL MIX ASPHALT CONTENT ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AIR VOID ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AGGRE GATE ( % ) | VMA ( % ) | VOID FILLED ( % ) | STABILITY READING | STABILITY ADJUST ( KG ) | FLOW ( MM ) | MARSHALL QUOTIENT ( KG/MM) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | E | F=E-D | G=C/F | H =AASTHO T - 209 | I = (BxG)/R | J =(H-G)/ Hx100 | K = 100-I-J | L=100-((Gx (100-B))/S) | M =((L-J) /L)x100 | N | O NxCALIBRATION | P | Q = O/P |
| 1 | | 1136.1 | 656.1 | 1144.1 | 488.0 | 2.328 | | | | | | | 71 | 1074 | 3.3 | |
| 2 | 6.0 | 1135.2 | 654.5 | 1143.8 | 489.3 | 2.320 | | | | | | | 56 | 847 | 3.1 | |
| 3 | | 1135.0 | 651.7 | 1144.4 | 492.7 | 2.304 | | | | | | | 74 | 1120 | 3.8 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.317** | **2.392** | **13.50** | **3.12** | **83.38** | **14.58** | **78.59** | | **1014** | **3.40** | **298** |
| 1 | | 1138.1 | 653.3 | 1145.7 | 492.4 | 2.311 | | | | | | | 70 | 1059 | 3.7 | |
| 2 | 6.5 | 1142.4 | 656.6 | 1148.8 | 492.2 | 2.321 | | | | | | | 69 | 1044 | 3.4 | |
| 3 | | 1125.6 | 647.6 | 1131.6 | 484.0 | 2.326 | | | | | | | 76 | 1150 | 3.5 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.319** | **2.388** | **14.64** | **2.89** | **82.47** | **14.96** | **80.67** | | **1084** | **3.53** | **307** |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |

TESTED BY,

JUAN ARVIANTO

CHECKED BY,

ANDI. S

APPROVED BY,

Calibration Of Proving Ring
15.76 kg

Scanned with CamScanner

# MARSHALL STABILITY TEST

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

TYPE OF MIXTURE : AC-BC
COMPACTION BLOW : 2 x 75
COMPACTION TEMP : 150 °c
KADAR RAP : 0%

SPGR OF ASPHALT ( R ) : 1.030
SPGR OF AGGREGATE (S) : 2.550
GRADE OF ASPHALT : 60/70

| NO. | ASPHALT CONTENT BY WEIGHT ( % ) | WEIGHT | | | BULK VOLUME ( CC ) | BULK DENSITY ( Gr/CC ) | MAXIMUM SPGR MIX ( GMM ) ( Gr/CC ) | VOLUME TOTAL MIX | | | VMA ( % ) | VOID FILLED ( % ) | STABILITY | | FLOW ( MM ) | MARSHALL QUOTIENT ( KG/MM) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | IN AIR ( Gr ) | IN WATER ( Gr ) | SSD IN AIR ( Gr ) | | | | ASPHALT CONTENT ( % ) | AIR VOID ( % ) | AGGRE GATE ( % ) | | | READING | ADJUST ( KG ) | | |
| A | B | C | D | E | F=E-D | G=C/F | H =AASTHO T - 209 | I = (BxG)/R | J =(H-G)/ Hx100 | K = 100-I-J | L=100-((Gx (100-B))/S) | M =((L-J) /L)x100 | N | O NxCALIBRATION | P | Q = O/P |
| 1 | 5.5 | 1131.2 | 653.2 | 1137.8 | 484.6 | 2.334 | | | | | | | 59 | 893 | 3.7 | |
| 2 | | 1142.7 | 658.8 | 1150.0 | 491.2 | 2.326 | | | | | | | 57 | 862 | 4.3 | |
| 3 | | 1126.5 | 634.2 | 1138.6 | 504.4 | 2.233 | | | | | | | 68 | 1029 | 4.0 | |
| 4 | | 1136.1 | 655.9 | 1143.3 | 487.4 | 2.331 | | | | | | | 69 | 1044 | 4.1 | |
| 5 | | 1139.2 | 649.5 | 1148.4 | 498.9 | 2.283 | | | | | | | 67 | 1014 | 3.0 | |
| 6 | | 1140.8 | 654.2 | 1149.5 | 495.3 | 2.303 | | | | | | | 59 | 893 | 3.8 | |
| 7 | | 1135.0 | 653.8 | 1142.7 | 488.9 | 2.322 | | | | | | | 76 | 1150 | 3.4 | |
| 8 | | 1150.5 | 661.3 | 1157.7 | 496.4 | 2.318 | | | | | | | 69 | 1044 | 3.7 | |
| 9 | | 1135.2 | 694.2 | 1144.5 | 495.3 | 2.292 | | | | | | | 61 | 923 | 3.8 | |
| 10 | | 1134.3 | 653.1 | 1141.7 | 488.6 | 2.322 | | | | | | | 76 | 1150 | 3.8 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.298** | **2.383** | **12.05** | **3.56** | **84.39** | **14.75** | **75.85** | | **1042** | **3.76** | **266** |

TESTED BY,

JUAN ARVIANTO

CHECKED BY,

ANDI. S

APPROVED BY,

Remarks :
Calibration Of Proving Ring
15.76 kg

Scanned with CamScanner

# MARSHALL STABILITY TEST

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

TYPE OF MIXTURE : AC-BC
COMPACTION BLOW : 2 x 75
COMPACTION TEMP : 150 °c
KADAR RAP : 10%

SPGR OF ASPHALT ( R ) : 1.030
SPGR OF AGGREGATE (S) : 2.550
GRADE OF ASPHALT : 60/70

| NO. | ASPHALT CONTENT BY WEIGHT ( % ) | WEIGHT IN AIR ( Gr ) | WEIGHT IN WATER ( Gr ) | WEIGHT SSD IN AIR ( Gr ) | BULK VOLUME ( CC ) | BULK DENSITY ( Gr/CC ) | MAXIMUM SPGR MIX ( GMM ) ( Gr/CC ) | VOLUME TOTAL MIX ASPHALT CONTENT ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AIR VOID ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AGGREGATE ( % ) | VMA ( % ) | VOID FILLED ( % ) | STABILITY READING | STABILITY ADJUST ( KG ) | FLOW ( MM ) | MARSHALL QUOTIENT ( KG/MM) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | E | F=E-D | G=C/F | H =AASTHO T - 209 | I = (BxG)/R | J =(H-G)/ Hx100 | K = 100-I-J | L=100-((Gx (100-B))/S) | M =((L-J) /L)x100 | N | O NxCALIBRATION | P | Q = O/P |
| 1 | 5.5 | 1131.8 | 642.2 | 1140.9 | 498.7 | 2.270 | | | | | | | 67 | 1014 | 3.3 | |
| 2 | | 1124.4 | 645.1 | 1131.9 | 486.8 | 2.310 | | | | | | | 73 | 1104 | 3.8 | |
| 3 | | 1126.2 | 641.7 | 1133.4 | 491.7 | 2.290 | | | | | | | 67 | 1014 | 3.6 | |
| 4 | | 1142.7 | 655.4 | 1149.5 | 494.1 | 2.313 | | | | | | | 68 | 1029 | 3.4 | |
| 5 | | 1137.4 | 647.0 | 1145.5 | 498.5 | 2.282 | | | | | | | 65 | 983 | 3.6 | |
| 6 | | 1138.4 | 652.9 | 1146.6 | 493.7 | 2.306 | | | | | | | 64 | 968 | 3.8 | |
| 7 | | 1144.1 | 644.1 | 1152.8 | 508.7 | 2.249 | | | | | | | 63 | 953 | 3.4 | |
| 8 | | 1143.0 | 658.5 | 1150.4 | 491.9 | 2.324 | | | | | | | 65 | 983 | 3.7 | |
| 9 | | 1146.0 | 652.5 | 1155.0 | 502.5 | 2.281 | | | | | | | 68 | 1029 | 3.4 | |
| 10 | | 1148.6 | 659.8 | 1157.3 | 497.5 | 2.309 | | | | | | | 69 | 1044 | 3.8 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.290** | **2.390** | **12.00** | **4.17** | **83.82** | **15.05** | **72.26** | | **1012** | **3.58** | **283** |

TESTED BY,
JUAN ARVIANTO

CHECKED BY,
ANDI. S

APPROVED BY,

Remarks :
Calibration Of Proving Ring
15.76 kg

Scanned with CamScanner

# MARSHALL STABILITY TEST

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

TYPE OF MIXTURE : AC-BC
COMPACTION BLOW : 2 x 75
COMPACTION TEMP : 150 °c
KADAR RAP : 20%

SPGR OF ASPHALT ( R ) : 1.030
SPGR OF AGGREGATE (S) : 2.550
GRADE OF ASPHALT : 60/70

| NO. | ASPHALT CONTENT BY WEIGHT ( % ) | WEIGHT | | | BULK VOLUME ( CC ) | BULK DENSITY ( Gr/CC ) | MAXIMUM SPGR MIX ( GMM ) ( Gr/CC ) | VOLUME TOTAL MIX | | | VMA ( % ) | VOID FILLED ( % ) | STABILITY | | FLOW ( MM ) | MARSHALL QUOTIENT ( KG/MM) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | IN AIR ( Gr ) | IN WATER ( Gr ) | SSD IN AIR ( Gr ) | | | | ASPHALT CONTENT ( % ) | AIR VOID ( % ) | AGGRE GATE ( % ) | | | READING | ADJUST ( KG ) | | |
| A | B | C | D | E | F=E-D | G=C/F | H =AASTHO T - 209 | I = (BxG)/R | J =(H-G)/ Hx100 | K = 100-I-J | L=100-((Gx (100-B))/S) | M =((L-J) /L)x100 | N | O NxCALIBRATION | P | Q = O/P |
| 1 | 5.5 | 1145.8 | 656.9 | 1154.6 | 497.7 | 2.302 | | | | | | | 56 | 847 | 3.1 | |
| 2 | | 1136.1 | 650.5 | 1141.5 | 491.0 | 2.314 | | | | | | | 70 | 1059 | 3.7 | |
| 3 | | 1128.0 | 646.8 | 1134.3 | 487.5 | 2.314 | | | | | | | 68 | 1029 | 3.8 | |
| 4 | | 1138.9 | 656.6 | 1145.6 | 489.0 | 2.329 | | | | | | | 63 | 953 | 3.3 | |
| 5 | | 1143.3 | 659.8 | 1150.5 | 490.7 | 2.330 | | | | | | | 68 | 1029 | 3.2 | |
| 6 | | 1139.3 | 648.4 | 1148.2 | 499.8 | 2.280 | | | | | | | 67 | 1014 | 4.0 | |
| 7 | | 1131.5 | 651.5 | 1139.0 | 487.5 | 2.321 | | | | | | | 59 | 893 | 3.5 | |
| 8 | | 1130.4 | 645.4 | 1136.0 | 490.6 | 2.304 | | | | | | | 61 | 923 | 3.1 | |
| 9 | | 1128.7 | 636.7 | 1137.5 | 500.8 | 2.254 | | | | | | | 59 | 893 | 3.3 | |
| 10 | | 1131.1 | 626.8 | 1140.9 | 514.1 | 2.201 | | | | | | | 58 | 878 | 3.0 | |
| AVERAGE | | | | | | 2.310 | 2.402 | 12.11 | 3.82 | 84.07 | 14.31 | 73.29 | | 952 | 3.40 | 280 |

TESTED BY,

JUAN ARIANTO

CHECKED BY,

ANDI.S

APPROVED BY,

Remarks :
Calibration Of Proving Ring
15.76 kg

Scanned with CamScanner

# MARSHALL STABILITY TEST

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

TYPE OF MIXTURE : AC-BC
COMPACTION BLOW : 2 x 75
COMPACTION TEMP : 150 °c
KADAR RAP : 30%

SPGR OF ASPHALT ( R ) : 1.030
SPGR OF AGGREGATE (S) : 2.550
GRADE OF ASPHALT : 60/70

| NO. | ASPHALT CONTENT BY WEIGHT ( % ) | WEIGHT IN AIR ( Gr ) | WEIGHT IN WATER ( Gr ) | WEIGHT SSD IN AIR ( Gr ) | BULK VOLUME ( CC ) | BULK DENSITY ( Gr/CC ) | MAXIMUM SPGR MIX ( GMM ) ( Gr/CC ) | VOLUME TOTAL MIX ASPHALT CONTENT ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AIR VOID ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AGGRE GATE ( % ) | VMA ( % ) | VOID FILLED ( % ) | STABILITY READING | STABILITY ADJUST ( KG ) | FLOW ( MM ) | MARSHALL QUOTIENT ( KG/MM) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | E | F=E-D | G=C/F | H =AASTHO T - 209 | I = (BxG)/R | J =(H-G)/ Hx100 | K = 100-I-J | L=100-((Gx (100-B))/S) | M =((L-J) /L)x100 | N | O NxCALIBRATION | P | Q = O/P |
| 1 | 5.5 | 1137.0 | 646.8 | 1143.2 | 496.4 | 2.290 | | | | | | | 51 | 772 | 3.7 | |
| 2 | | 1132.2 | 650.5 | 1137.5 | 487.0 | 2.325 | | | | | | | 77 | 1165 | 4.1 | |
| 3 | | 1139.0 | 652.8 | 1142.9 | 490.1 | 2.324 | | | | | | | 71 | 1074 | 3.1 | |
| 4 | | 1127.1 | 645.2 | 1132.8 | 487.6 | 2.312 | | | | | | | 57 | 862 | 3.3 | |
| 5 | | 1134.8 | 649.1 | 1143.4 | 494.3 | 2.296 | | | | | | | 53 | 802 | 3.4 | |
| 6 | | 1140.0 | 644.8 | 1144.6 | 499.8 | 2.281 | | | | | | | 79 | 1195 | 3.6 | |
| 7 | | 1139.0 | 653.5 | 1143.9 | 490.4 | 2.323 | | | | | | | 61 | 923 | 3.2 | |
| 8 | | 1145.6 | 656.3 | 1151.0 | 494.7 | 2.316 | | | | | | | 60 | 908 | 3.6 | |
| 9 | | 1145.3 | 655.0 | 1151.1 | 496.1 | 2.309 | | | | | | | 60 | 908 | 3.2 | |
| 10 | | 1134.1 | 649.9 | 1140.3 | 490.4 | 2.313 | | | | | | | 53 | 802 | 3.3 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.313** | **2.424** | **12.13** | **4.59** | **83.29** | **14.19** | **67.68** | | **941** | **3.45** | **273** |

TESTED BY,

JUAN PRIANTO

CHECKED BY,

ANDI.S

APPROVED BY,

Remarks :
Calibration Of Proving Ring
15.76 kg

Scanned with CamScanner

# MARSHALL STABILITY TEST

**PT. DWI RATNA PUTRA**
HOTMIX ASPHALT PLANT

TYPE OF MIXTURE : AC-BC
COMPACTION BLOW : 2 x 75
COMPACTION TEMP : 150 °c
KADAR RAP : 40%

SPGR OF ASPHALT ( R ) : 1.030
SPGR OF AGGREGATE (S) : 2.550
GRADE OF ASPHALT : 60/70

| NO. | ASPHALT CONTENT BY WEIGHT ( % ) | WEIGHT IN AIR ( Gr ) | WEIGHT IN WATER ( Gr ) | WEIGHT SSD IN AIR ( Gr ) | BULK VOLUME ( CC ) | BULK DENSITY ( Gr/CC ) | MAXIMUM SPGR MIX ( GMM ) ( Gr/CC ) | VOLUME TOTAL MIX ASPHALT CONTENT ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AIR VOID ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AGGREGATE ( % ) | VMA ( % ) | VOID FILLED ( % ) | STABILITY READING | STABILITY ADJUST ( KG ) | FLOW ( MM ) | MARSHALL QUOTIENT ( KG/MM) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | E | F=E-D | G=C/F | H =AASTHO T - 209 | I = (BxG)/R | J =(H-G)/ Hx100 | K = 100-I-J | L=100-((Gx (100-B))/S) | M =((L-J) /L)x100 | N | O NxCALIBRATION | P | Q = O/P |
| 1 | 5.5 | 1138.1 | 650.2 | 1145.4 | 495.2 | 2.298 | | | | | | | 56 | 847 | 3.3 | |
| 2 | | 1136.2 | 648.7 | 1143.0 | 494.3 | 2.299 | | | | | | | 63 | 953 | 3.2 | |
| 3 | | 1135.6 | 647.9 | 1143.7 | 495.8 | 2.290 | | | | | | | 58 | 878 | 4.0 | |
| 4 | | 1139.4 | 650.2 | 1148.0 | 497.8 | 2.289 | | | | | | | 55 | 832 | 3.0 | |
| 5 | | 1135.7 | 650.2 | 1143.2 | 493.0 | 2.304 | | | | | | | 62 | 938 | 3.9 | |
| 6 | | 1135.6 | 647.3 | 1140.9 | 493.6 | 2.301 | | | | | | | 56 | 847 | 3.8 | |
| 7 | | 1136.6 | 648.5 | 1145.5 | 497.0 | 2.287 | | | | | | | 56 | 847 | 3.9 | |
| 8 | | 1134.5 | 647.8 | 1140.3 | 492.5 | 2.304 | | | | | | | 72 | 1089 | 4.4 | |
| 9 | | 1132.4 | 647.3 | 1136.7 | 489.4 | 2.314 | | | | | | | 57 | 862 | 3.2 | |
| 10 | | 1134.3 | 649.0 | 1140.9 | 491.9 | 2.306 | | | | | | | 63 | 953 | 3.0 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.296** | **2.413** | **12.04** | **4.84** | **83.12** | **14.83** | **67.36** | | **942** | **3.57** | **253** |

TESTED BY,

JUPN ARIANTO

CHECKED BY,

ANDI, S

APPROVED BY,

Remarks :
Calibration Of Proving Ring
15.76 kg

Scanned with CamScanner

# MARSHALL STABILITY TEST

PT. DWI RATNA PUTRA
HOTMIX ASPHALT PLANT

TYPE OF MIXTURE : AC-BC
COMPACTION BLOW : 2 x 75
COMPACTION TEMP : 150 °c
KADAR RAP : 50%

SPGR OF ASPHALT ( R ) : 1.030
SPGR OF AGGREGATE (S) : 2.550
GRADE OF ASPHALT : 60/70

Kadar RAP : 50 %

| NO. | ASPHALT CONTENT BY WEIGHT ( % ) | WEIGHT IN AIR ( Gr ) | WEIGHT IN WATER ( Gr ) | WEIGHT SSD IN AIR ( Gr ) | BULK VOLUME ( CC ) | BULK DENSITY ( Gr/CC ) | MAXIMUM SPGR MIX ( GMM ) ( Gr/CC ) | VOLUME TOTAL MIX ASPHALT CONTENT ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AIR VOID ( % ) | VOLUME TOTAL MIX AGGREGATE ( % ) | VMA ( % ) | VOID FILLED ( % ) | STABILITY READING | STABILITY ADJUST ( KG ) | FLOW ( MM ) | MARSHALL QUOTIENT ( KG/MM) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | B | C | D | E | F=E-D | G=C/F | H =AASTHO T - 209 | I = (BxG)/R | J =(H-G)/ Hx100 | K = 100-I-J | L=100-((Gx (100-B))/S) | M =((L-J) /L)x100 | N | O NxCALIBRATION | P | Q = O/P |
| 1 | 5.5 | 1131.7 | 645.9 | 1141.2 | 495.3 | 2.285 | | | | | | | 51 | 772 | 3.4 | |
| 2 | | 1126.6 | 645.4 | 1135.0 | 489.6 | 2.301 | | | | | | | 66 | 923 | 3.5 | |
| 3 | | 1133.3 | 646.0 | 1142.5 | 496.5 | 2.283 | | | | | | | 55 | 983 | 3.1 | |
| 4 | | 1129.5 | 647.7 | 1139.5 | 491.8 | 2.297 | | | | | | | 57 | 862 | 3.0 | |
| 5 | | 1131.3 | 644.6 | 1141.3 | 496.7 | 2.278 | | | | | | | 63 | 953 | 3.2 | |
| 6 | | 1111.9 | 636.4 | 1119.1 | 482.7 | 2.304 | | | | | | | 58 | 878 | 3.3 | |
| 7 | | 1136.2 | 653.5 | 1144.0 | 490.5 | 2.316 | | | | | | | 61 | 923 | 3.5 | |
| 8 | | 1147.2 | 645.3 | 1152.5 | 507.2 | 2.262 | | | | | | | 55 | 832 | 3.4 | |
| 9 | | 1137.5 | 645.4 | 1148.9 | 503.5 | 2.259 | | | | | | | 67 | 1014 | 3.5 | |
| 10 | | 1130.5 | 647.2 | 1138.4 | 491.2 | 2.302 | | | | | | | 64 | 968 | 3.5 | |
| **AVERAGE** | | | | | | **2.290** | **2.418** | **12.00** | **5.33** | **82.67** | **15.06** | **64.65** | | **925** | **3.34** | **273** |

TESTED BY,

JUFRI ARWANTO

CHECKED BY,

ANDI. S

APPROVED BY,

Remarks :
Calibration Of Proving Ring
15.76 kg

# LAMPIRAN 3

# FORMULIR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

PRADITA University

PRU/SPMI/FR-PP-24/0821

Program Studi Teknik Sipil
Universitas Pradita
Scientia Business Park Tower 1, Blok 0/1, Jl. Boulevard Gading Serpong, Kelapa Dua
Tangerang, Banten 15810

## FORMULIR BIMBINGAN TUGAS AKHIR

Nama : Juan Arvianto
Nim : 2010107008
Bentuk Tugas Akhir : (skripsi/~~tugas akhir/publikasi/karya akhir/proyek akhir~~) *coret yang tidak perlu
Peminatan : Transportasi
Pembimbing : Dr. Ir. Amelia Makmur, S.T., M.T.
Judul Tugas Akhir : Evaluasi Kinerja Limbah *Patching Aspal* sebagai *Reclaimed Asphalt Pavement* untuk Campuran Lapisan AC-BC Jalan

| No | Tanggal | Catatan Bimbingan | Paraf Dosen |
|---|---|---|---|
| 1. | 18 April 2024 | Revisi proposal | |
| 2. | 25 Juni 2024 | Bimbingan hasil pengolahan data | |
| 3. | 8 Juli 2024 | Revisi bab 1 → perkuat latar belakang, penulisan diringkukan, tujuan penelitian diganti | |
| 4. | 10 Juli 2024 | Revisi bab 1-2 → perbaikan sitasi, cari sumber terbaru | |
| 5. | 12 Juli 2024 | Revisi bab 1 - 3 → ganti sub-bab metode analisis data | |
| 6. | 15 Juli 2024 | Revisi bab 1 - 5 → perbaikan tabel dan gambar | |
| 7. | 17 Juli 2024 | Revisi bab 1 - daftar pustaka | |
| 8. | 18 Juli 2024 | Persetujuan sidang akhir | |
| 9. | | | |

Tangerang, 19 Juli 2024
Disetujui Untuk Sidang Tugas Akhir

Dr. Ir. Amelia Makmur, S.T., M.T.

**Untuk dapat mendaftar sidang tugas akhir minimal bimbingan adalah 8 (Delapan) kali.**

Scanned with CamScanner