

**KINERJA CAMPURAN ASPAL LAPIS ANTARA (AC-BC)
DENGAN MENGGUNAKAN *RECLAIMED ASPHALT*
PAVEMENT (RAP)**

SKRIPSI

Disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik (S.T)



Disusun oleh :

Doni Heru Haeruman

3336180074

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya sebagai penulis Skripsi berikut :

Judul : Kinerja Campuran Aspal Lapis Antara (AC-BC) Dengan Menggunakan *RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT* (RAP)
Nama : Doni Heru Haeruman
NPM : 3336180074
Fakultas / Jurusan : Teknik / Teknik Sipil

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi tersebut di atas adalah benar-benar hasil karya asli saya dan tidak memuat hasil karya orang lain, kecuali dinyatakan melalui rujukan yang benar dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila dikemudian hari ditemukan hal-hal yang menunjukkan bahwa sebagian atau seluruh karya ini bukan karya saya, maka saya bersedia dituntut melalui hukum yang berlaku. Saya juga bersedia menanggung segala akibat hukum yang timbul dari pernyataan yang secara sadar dan sengaja saya nyatakan melalui lembar ini.

Cilegon, 11 November 2024



Doni Heru Haeruman
3336180074

SKRIPSI
KINERJA CAMPURAN ASPAL LAPIS ANTARA (AC-BC)
DENGAN MENGGUNAKAN *RECLAIMED ASPHALT*
PAVEMENT (RAP)

Dipersiapkan dan disusun oleh :
DONI HERU HAERUMAN / 3336180074
Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Pada Tanggal : November 2024

Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I

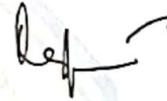
Dosen Pembimbing II



Dr. Rindu Twidi Bethary, ST., M.T.

NIP. 1982212062010122001

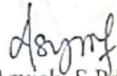
Dosen Penguji I



Dwi Esti Intari, ST., M.sc.

NIP. 198601242014042001

Dosen Penguji II



Siti Asyiah, S.Pd., M.T.

NIP. 198601312019032009

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan

untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal : November 2024

Mengetahui,

Ketua Jurusan Teknik Sipil



Dr. Rindu Twidi Bethary, S.T., M.T.

NIP. 1982212062010122001

PRAKATA

Puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas rahmat dan hidayah-Nya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan memperoleh derajat kesarjanaan Strata-1 pada jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten.

Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Rindu Twidi Bethary, ST., M.T. dan Ibu Dwi Esti Intari, ST., M.sc. selaku dosen pembimbing I dan II.
2. Ibu Siti Asyiah, S.Pd.,M.T. selaku dosen penguji I serta Ibu Dwi Novi S, S.T., M.T. selaku dosen penguji II.
3. Ibu Dr. Rindu Twidi Bethary, ST., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
4. Ibu Woelandari Fathonah, ST., MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
5. Ibu Dwi Esti Intari, ST., M.sc. selaku dosen pembimbing akademik.
6. Bapak Otong Sontani dan Ibu Jubaedah, orang tua yang selalu memberikan do'a dan dukungan serta memotivasi kepada penyusun.
7. Kakak-Kakak, saudara yang telah memberikan dukungan dan masukkan kepada penyusun
8. Teman-teman angkatan 2018 yang turut memberikan dukungan dan bantuan kepada penyusun.

Cilegon, 11 November 2024

Penulis

PERFORMANCE OF INTERMEDIATE ASPHALT MIXTURE (AC-BC) USING RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP)

Doni Heru Haeruman

ABSTRACT

Infrastructure development is one indicator of a country's progress, including road infrastructure development. In road construction, the utilization and renewal of waste from the construction sector has become an important issue in recent years in an effort to reduce the use of raw materials. On the other hand, the limited construction raw materials and the increasing demand for aggregates and asphalt for construction that will occur in the future need to be sought for alternative materials. RAP (reclaimed asphalt pavement) can be used.

This study aims to determine the effect of variations in aggregate content (RAP) of 0%, 25%, and 50% on the characteristics of marshalls in asphalt concrete mixtures between Asphalt Concrete Base Course (AC-BC). by testing the characteristics of materials and marshalls.

The results obtained from this study indicate that the use of RAP (reclaimed asphalt pavement) as a substitute for aggregate. Through a marshall test referring to the general specifications of Bina Marga 2018, the ideal proportion of adding RAP (reclaimed asphalt pavement) to the asphalt concrete mixture was obtained based on the highest stability value in each mixture proportion that meets all the characteristics of the marshall mixture according to the general specifications of Bina Marga 2018 Division 6 for the type of Asphalt Concrete Layer (Laston) Intermediate Layer (AC-BC) mixture, namely at a content (RAP) of 0% with an asphalt content of 5.5% with a stability value of 1052.97 kg. Where from the results of this study it can be concluded that the use of RAP (reclaimed asphalt pavement) as a substitute for aggregate can be used as a road paving material because it meets the Bina Marga Specification Standards.

Keywords : *RAP (reclaimed asphalt pavement), marshall, asphalt.*

**KINERJA CAMPURAN ASPAL LAPIS ANTARA (AC-BC)
DENGAN MENGGUNAKAN *RECLAIMED ASPHALT
PAVEMENT (RAP)***

Doni Heru Haeruman

INTISARI

Pembangunan infrastruktur menjadi indikasi kemajuan suatu negara, termasuk dengan pembangunan infrastruktur jalan. Dalam hal pembangunan jalan penggunaan dan pembaharuan limbah dari produk sampingan dari sektor konstruksi menjadi isu yang penting dalam beberapa tahun terakhir ini dalam mengurangi penggunaan bahan baku. Di sisi lain keterbatasan bahan baku untuk pembangunan dan meningkatnya permintaan agregat dan aspal untuk konstruksi yang terjadi dalam waktu mendatang perlu dicarikan adanya material alternatif. RAP (*reclaimed asphalt pavement*) dapat digunakan .

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi kadar agregat (RAP) 0%, 25%, dan 50% terhadap karakteristik marshall pada campuran beton beraspal lapis antara *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC). dengan pengujian karakteristik material dan *marshall*.

Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan RAP (*reclaimed asphalt pavement*) sebagai pengganti agregat.. Melalui uji *marshall* yang mengacu pada spesifikasi umum bina marga 2018 didapat proporsi ideal penambahan RAP (*reclaimed asphalt pavement*) pada campuran aspal beton berdasarkan nilai stabilitas tertinggi pada setiap proporsi campuran yang memenuhi semua karakteristik marshall campuran sesuai spesifikasi umum bina marga 2018 Divisi 6 untuk jenis campuran Lapis Aspal Beton (Laston) Lapis Antara (AC-BC) yaitu pada kadar (RAP) 0% dengan kadar aspal 5,5 % dengan nilai stabilitas 1052,97 kg. Dimana dari hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan RAP (*reclaimed asphalt pavement*) sebagai pengganti agregat dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan jalan karena memenuhi Standar Spesifikasi Bina Marga.

Kata kunci : RAP (*reclaimed asphalt pavement*), *marshall*, aspal.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PRAKATA.....	iv
INTISARI.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii

	Halaman
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
1.6 Keaslian Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kinerja Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Pengikat (AC-BC) dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)	6
2.2 Kinerja Modulus Resilin dan Deformasi Permanen dari Campuran Lapis antar (AC-BC) yang menggunakan Material Hasil Daur Ulang (RAP)	7
2.3 Optimalisasi Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) sebagai Bahan Campuran Beraspal Panas (Asphaltic Concrete) Tipe AC-Base Course (AC-Base) dengan menggunakan Aspal Modifikasi Asbuton (BNA).....	8
2.4 Pengaruh Bahan Peremaja terhadap Kinerja Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus menggunakan Daur Ulang Perkerasan Beraspa.....	9
2.5 Kinerja Modulus Resilien Campuran Beraspal Panas Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) yang menggunakan Recycled Concrete Aggregate (RCA)	9
2.6 Peta Penelitian	13

BAB 3 LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan	18
3.2 Jenis Konstruksi Perkerasan	18
3.3 Stuktur Perkerasan Jalan Lentur	19
3.4 Jenis Campuran Beraspal	21
3.5 Karakteristik Campuran Aspal Beton	22
3.6 Bahan Penyusun Perkerasan Jalan	25
3.7 Perencanaan Campuran Lapisan Aspal Beton	28
3.8 Marshall Test	30
3.9 RAP (Material Hasil Duar Ulang)	31
3.10 Bahan Peremaja (Rejuvenator)	33

BAB 4 METODOLOGI PENELITIAN

4.1 Umum	35
4.2 Persiapan Alat dan Bahan	35
4.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian	37
4.4 Diagram Alir	47
4.5 Jadwal Penelitian	48

BAB 5 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Sifat Fisik Material	49
5.2 Rancangan Campuran Aspal	68
5.3 Pengujian Campuran Aspal Beton	80
5.4 Pengujian Campura Aspal Beton Tahap Kedua	91

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan	95
6.2 Saran	95

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Hasil Tinjauan Pustaka Terhadap Penelitian Sebelumnya.....	10
Tabel 3.1 Ketentuan Agregat Kasar	23
Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Halus	24
Tabel 3.3 Persyaratan Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal ..	25
Tabel 4.1 Standar Pengujian Aspal	35
Tabel 4.2 Standar Pengujian Agregat Kasar	35
Tabel 4.3 Standar Pengujian Agregat Halus	35
Tabel 4.4 Persyaratan Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal ..	36
Tabel 4.5 Jumlah Benda Uji untuk KAO	37
Tabel 4.6 Tabel Keterkaitan.....	44
Tabel 5.1 Hasil pengujian Agregat Kasar	45
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus	48
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal	51
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Ekstrasi RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)	55
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Agregat Kasar RAP(Reclaimed Asphalt Pavement)	57
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Agregat Halus RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)	59
Tabel 5.7 Hasil Pengujian ekstrasi RAP(Reclaimed Asphalt Pavement)	62
Tabel 5.8 Hasil pengujian saringan ekstrasi RAP(Reclaimed Asphalt Pavement)	62
Tabel 5.9 Presentase Lolos Gradasi Campuran.....	65
Tabel 5.10 Pembagian Butir Agregat Kasar dan Agregat Halus	66
Tabel 5.11 Perkiraan Nilai Kadar Aspal	67
Tabel 5.12 Perkiraan Nilai Kadar Aspal	67
Tabel 5.13 Perhitungan Agregat Untuk Campuran kebutuhan benda uji	68
Tabel 5.14 Data Berat Aspal Beton padat.....	73
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall	76
Tabel 5.16 Data Hasil Pengujian VMA	78
Tabel 5.17 Data Hasil Pengujian VIM.....	79
Tabel 5.18 Data Hasil Pengujian VFA.....	81
Tabel 5.19 Data Hasil Pengujian Stabilitas.....	82
Tabel 5.20 Data Hasil Pengujian Flow	84

Tabel 5.21 Data Hasil Pengujian MQ	85
Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Kadar Aspal Optimum	88
Tabel 5.23 Kelebihan dan kekurangan pengaruh dari kadar RAP terhadap nilai Kadar Aspal Optimum	90
Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian Stabilitas Marshall Sisa	89
Tabel 5.25 Hasil Analisis Proporsi Ideal Penambahan Kadar RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) dengan Kadar Aspal Optimum	90
Tabel 5.26 Hasil Analisis Proporsi Ideal Pengganti kadar RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) dengan Kadar Aspal Optimum Terhadap Nilai Stabilitas	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagan Keterkaitan Penelitian	12
Gambar 2.2 Irisan Hubungan Penelitian	13
Gambar 3.1 Gambar Struktur Lapisan Perkerasan.....	15
Gambar 3.2 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON) ...	22
Gambar 3.3 Gambar alat dan bahan RAP (Reclaimed Asphalt Pavement)	28
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal	37
Gambar 4.2 Diagram Alir	43
Gambar 5.1 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar	46
Gambar 5.2 Pengujian Peyerapan Agregat Kasar	46
Gambar 5.3 Pengujian Keausan Agregat Kasar	47
Gambar 5.4 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar	48
Gambar 5.5 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus	49
Gambar 5.6 Pengujian Penyerapan Agregat Halus	49
Gambar 5.7 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus	50
Gambar 5.8 Pengujian Berat Jenis Aspal	52
Gambar 5.9 Pengujian Titik Lembek Aspal.....	52
Gambar 5.10 Pengujian Penetrasi Aspal.....	53
Gambar 5.11 Pengujian Kehilangan Berat Aspal	53
Gambar 5.12 Grafik Pengujian Viskositas.....	54
Gambar 5.13 Pengujian Viskositas Aspal.....	54
Gambar 5.14 Pengujian Titik Nyala dan Bakar	55
Gambar 5.15 Pengujian Ekstrasi Aspal.....	56
Gambar 5.16 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar RAP (Reclaimed Asphalt Pavement).....	58
Gambar 5.17 Pengujian Keausan Agregat Kasar RAP (Reclaimed Asphalt Pavement).....	59
Gambar 5.18 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus RAP (Reclaimed Asphalt Pavement).....	60
Gambar 5.19 Pengujian Penyerapan Agregat Halus RAP (Reclaimed Asphalt Pavement).....	61

Gambar 5.20 Grafik Gradasi Campuran Aspal Lapis AC-BC.....	66
Gambar 5.21 Pembuatan Benda Uji.....	73
Gambar 5.22 Pengujian Marshall Test.....	77
Gambar 5.23 Grafik Hubungan Nilai VMA dan Kadar Aspal.....	78
Gambar 5.24 Grafik Hubungan Nilai VIM dan Kadar Aspal	80
Gambar 5.25 Grafik Hubungan Nilai VFA dan Kadar Aspal.....	81
Gambar 5.26 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dan Kadar Aspal	83
Gambar 5.27 Grafik Hubungan Nilai Flow dan Kadar Aspal.....	84
Gambar 5.28 Grafik Hubungan Nilai MQ dan Kadar Aspal	85
Gambar 5.29 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum	86
Gambar 5.30 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum	86
Gambar 5.31 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum	87

DAFTAR LAMPIRAN

1. Data Hasil Pengujian Laboratorium
2. Hasil Analisis Perhitungan
3. Dokumentasi

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur menjadi indikasi kemajuan suatu negara, termasuk dengan pembangunan infrastruktur jalan. Pembangunan infrastruktur jalan terus menjadi perhatian untuk mendukung perekonomian sehingga jalan memiliki peran yang sangat penting dan strategis. Kebutuhan material untuk infrastruktur jalan cukup tinggi di Indonesia diperlukan material aspal sekitar 1,3 juta ton pertahunnya, apabila campuran beraspal mempunyai kadar aspal sebesar 6% terhadap berat campuran, maka 1,3 juta ton aspal tersebut itu akan menghasilkan sebanyak 21,6 juta ton campuran beraspal panas (Affandi dan Kusnianti, 2013). Produksi aspal di Indonesia selain harganya semakin meningkat, kemampuan produksi aspal sebanyak 900.000 ton per tahun dimana Pertamina hanya mampu memproduksi 600.000 ton per tahun dan Sarana Karya sebanyak 300.000 ton per tahun, sedangkan sisanya diimpor untuk memenuhi kekurangannya (Illyin, 2012) (Pertamina,2015). Berdasarkan hal tersebut dibutuhkan ketersediaan material infrastruktur jalan yang cukup besar baik itu agregat ataupun aspal.

Menurut Handayani, 2016, jalan merupakan berbagai tempat bergantung pada perkembangan ekonomi dan social, dan prasyarat berlangsungnya aktivitas yang terjadi di masyarakat. Pembangunan yang sedang marak ini dilakukan untuk mempermudah distribusi arus orang dan barang, sehingga dapat mengurangi jarak, waktu, dan biaya yang akan mempengaruhi pada peningkatan kualitas hidup masyarakat. Dengan perkembangan lalu lintas itu pula perkerasan jalan akan mengalami penurunan secara kualitas seiring dengan bertambahnya umur jalan itu sendiri. Kondisi cuaca dan lingkungan serta perkembangan beban lalu lintas yang terjadi baik dari jenis kendaraan maupun volume lalu lintas. Hal itu mengakibatkan perlu dilakukannya pemeliharaan ataupun perbaikan jalan guna mempertahankan kualitas jalan itu sendiri.

Pada umumnya pemeliharaan atau perbaikan jalan dilakukan dengan cara penambahan lapisan tambahan secara terus menerus agar kualitas jalan tetap baik. Namun hal ini mengakibatkan elevasi jalan terus bertambah akibat dilakukannya proses pelapisan yang berulang yang menimbulkan bahaya bagi pengguna jalan, terdapat solusi agar tetap dapat melakukan pemeliharaan atau perbaikan tanpa membahayakan pengguna jalan yaitu dengan melakukan pengerukan lapisan permukaan perkerasan lama dengan cara cold milling sebelum dilakukan pelapisan perkerasan yang baru. Hasil kerukan itu dikenal sebagai daur ulang perkerasan. (R Juharni, 2015).

Dalam hal pembangunan jalan penggunaan dan pembaharuan limbah dari produk sampingan dari sektor konstruksi menjadi isu yang penting dalam beberapa tahun terakhir ini dalam mengurangi penggunaan bahan baku. Di sisi lain keterbatasan bahan baku untuk pembangunan dan meningkatnya permintaan agregat dan aspal untuk konstruksi yang terjadi dalam waktu mendatang perlu dicarikan adanya material alternatif. RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dapat digunakan di lapisan perkerasan yang lebih rendah yaitu lapis pengikat untuk memberikan peningkatan terhadap beban lalu lintas (al-qadi, dkk. 2012). Penambahan bahan baru dan atau bahan tambahan pada material bekas garukan perkerasan lama merupakan salah satu alternatif untuk meingkatkan daya dukung dari material garukan (*scrapping*) (Ardi Seno dkk. 2016). Material pada RAP mengalami penuaan yang menyebabkan penurunan kekakuan meningkat selama umur struktur dan sifat adhesi terhadap aspal berkurang hal ini di cegah oleh material slag yang memiliki permukaan dan tekstur yang kasar sehingga mencegah terjadinya retak oleh gesekan internal campuran yang mengakibatkan tingginya adhesi dalam campuran antar agregat dengan aspal (Rindu Twidi B dkk. 2017) .RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) juga dapat merehabilitasi dan atau mengganti struktur perkerasan yang mengalami kerusakan permanen deformasi dan kerusakan secara struktural (Valdes G dkk. 2011). Material hasil pengerukan ini dapat dimanfaatkan kembali dengan optimal menjadi pengganti aspal dan agregat baru dalam perkerasan jalan, sehingga dapat menghemat sumber daya alam, mengurangi laju kerusakan alam akibat penambangan, dan juga dapat

menghemat anggaran. Aspal daur ulang juga merupakan sumber limbah jika dibiarkan dan tidak dimanfaatkan secara optimal serta dapat menjadi limbah yang merusak lingkungan.

Berdasarkan isu diatas maka perlu dilakukan pengembangan teknologi perkerasan pemanfaatan hasil daur ulang perkerasan lama atau RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai material ramah lingkungan di Indonesia untuk infrastruktur jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka dapat diambil rumusan masalah adalah :

- a. Bagaimana pengaruh variasi kadar agregat (RAP) 0%, 25%, dan 50% terhadap karakteristik marshall pada campuran beton beraspal lapis antara *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC)?
- b. Berapakah perentase optimum aspal daur ulang pada campuran beraspal *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC)?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian tugas akhir ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut :

- a. Untuk mengetahui pengaruh variasi kadar agregat (RAP) 0%, 25%, dan 50% terhadap karakteristik marshall pada campuran beton beraspal lapis antara *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC).
- b. Mengetahui persentase optimum daur ulang perkerasan lama pada campuran beraspal *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC).

1.4 Batasan Masalah

- a. Standar pengujian karakteristik material agregat dan aspal yang digunakan adalah Spesifikasi Umum Campuran Beraspal Panas (Kementrian Pekerjaan Umum Tahun 2018), Standar Nasional Indonesia (SNI).
- b. Jenis campuran beraspal yang digunakan adalah campuran beton beraspal lapis antara *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC).

- c. Bahan pengganti material yang digunakan dalam penelitian ini adalah RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) ini diperoleh dari salah satu ruas jalan Nasional di Indonesia yaitu di jalan Nasional Karawang.
- d. Perencanaan campuran beraspal panas menggunakan metode Marshall dan pendekatan kepadatan mutlak untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC).
- e. Campuran aspal yang digunakan yaitu campuran aspal panas *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC). Yang mengacu pada spesifikasi Umum yang dikeluarkan oleh Direktorat jendral Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum Tahun 2018.
- f. Bahan peremaja yang digunakan adalah *Reclamite*.
- g. Pengujian yang dilakukan adalah *Marshall Test* dengan metode penggabungan bahan baru dengan material daur ulang dengan persentase sebesar 0%, 25% dan 50%.
- h. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70.
- i. Bahan untuk memisahkan RAP yaitu menggunakan bahan bakar berupa pertalite.
- j. Penelitian dan pengujian dilakukan di laboratorium Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Mengetahui pengaruh RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai campuran material pada perkerasan jalan.
- b. RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dapat menjadi solusi bagi permasalahan limbah RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) yang melimpah dengan dimanfaatkan sebagai campuran material perkerasan baru.
- c. Diharapkan penelitian ini dapat memberikan kontribusi ilmiah bagi para stakeholder dan pemerintah khususnya pengelola/penyelenggara infrastruktur jalan dalam upaya mengurangi limbah RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) yang melimpah.

1.6 Keaslian Penelitian

Penelitian tentang “kinerja campuran aspal lapis antara *Asphalt Concrete Base Course (AC-BC)* dengan menggunakan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)” ini belum pernah ada yang meneliti sebelumnya, sehingga benar-benar asli dan tanpa unsur plagiat dari perencanaan sebelumnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kinerja Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Pengikat *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC) dengan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP)

Pada penelitian yang dilakukan Indra Maha et al, pada tahun 2015 di Institut Teknologi Bandung mengenai “Kinerja Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Pengikat *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC) dengan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP)”. *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) merupakan perkerasan beraspal lama yang telah rusak dan didaur ulang untuk digunakan kembali sebagai material campuran beraspal dan Material *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) diperoleh dari penggarukan perkerasan lama yang mengalami retak buaya pada ruas jalan Cibiru-Cileunyi (Cinunuk) Kabupaten Bandung Provinsi Jawa Barat. Untuk mencapai tujuan penelitian, tiga campuran dengan satu gradasi Laston *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC) dirancang menggunakan prosedur *Marshall* dengan memperhatikan seluruh persyaratan campuran Spesifikasi Umum Jalan dan Jembatan Bina Marga 2010. Terdapat enam variasi regangan yang dilakukan untuk masing-masing campuran yaitu pada 400, 450, 500, 550, 600 and 650 microstrain serta 124 *microsecond load time pulse width*, frekuensi 8.06 Hz dan temperatur pengujian pada 20°C. penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui lebih jauh sifat campuran dengan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) yang dibuat dengan teknologi hangat secara laboratorium sehingga diperoleh gambaran kekuatan dan katahanannya serta kinerjanya terhadap persyaratan campuran beraspal yang ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Bina Marga 2010. Modifikasi aspal minyak Penetrasi 60/70 dengan bahan aditif Sasobit dapat menurunkan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan hingga $\pm 30^{\circ}\text{C}$ dengan nilai volumetrik dan parameter *Marshall*. Pencampuran hangat yang dilakukan diatas titik melembek aspal *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) memperlihatkan adanya aktivasi aspal *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP)

terhadap aspal barunya yang ditunjukkan dengan jumlah kebutuhan aspal lebih tinggi hanya 0,1% antara campuran yang menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) terhadap campuran tanpa *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Modifikasi aspal dengan penambahan Sasobit sebesar 3% pada aspal minyak Penetrasi 60/70 diiringi penurunan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan hingga 30°C dan disertai penggunaan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) sebesar 30% sebagai pengganti agregat baru.

2.2 Kinerja Modulus Resilien dan Deformasi Permanen dari Campuran Lapis antara (AC-BC) yang menggunakan Material Hasil Daur Ulang (RAP)

Pada penelitian yang di lakukan Suherman pada tahun 2012 di Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau mengenai “Kinerja Modulus Resilien dan Deformasi Permanen dari Campuran *Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC) yang menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Kelebihan lain dari teknologi daur ulang adalah mampu meningkatkan kekuatan struktural perkerasan dengan tetap mempertahankan geometri perkerasan yang lama. Pada penelitian ini penulis membandingkan kinerja *Modulus Resilien* (MR) dan Total Deformasi pada campuran *Laston Asphalt Concrete Base Course* (AC-BC) yang menggunakan 15% dan 25% material *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dari berat total campuran. Perencanaan campuran beraspal panas menggunakan metode *Marshall* dan pendekatan kepadatan mutlak untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan *Modulus Resilien* dengan alat UMATTA dan pengujian ketahanan Deformasi dengan alat *Wheel Tracking Machine* (WTM). hasil pengujian didapat nilai stabilitas *Marsahall* pada KAO untuk campuran I (15 % Material RAP) sebesar 1361,9 Kg dan 1415 untuk campuran II (25% Material RAP). hasil pengujian untuk kedua campuran didapat nilai KAOREf 5,1% untuk campuran yang menggunakan 25% RAP dan 5,24% untuk campuran yang menggunakan 15% RAP. Nilai Stabilitas *Marshall* Sisa (IKS) hasil pengujian untuk campuran I (15% RAP) menghasilkan nilai 96,47 Kg dan 96,99 Kg untuk campuran II (25% RAP). Dari semua pengujian yang dilakukan

dapat disimpulkan bahwa campuran I (25% RAP) memberikan nilai Stabilitas dan *Modulus Resilien* yang paling tinggi dan mengalami Total Deformasi yang paling kecil.

2.3 Optimalisasi Penggunaan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) sebagai Bahan Campuran Beraspal Panas (*Asphaltic Concrete*) Tipe AC-Base Course (AC-Base) dengan menggunakan Aspal Modifikasi Asbuton (BNA)

Pada penelitian yang di lakukan Ari Sujiartono et al, pada tahun 2013 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember mengenai “Optimalisasi Penggunaan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) sebagai Bahan Campuran Beraspal Panas (*Asphaltic Concrete*) Tipe AC-Base Course (AC-Base) dengan menggunakan Aspal Modifikasi Asbuton (BNA)”. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemungkinan penggunaan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) pada perkerasan campuran beraspal panas lapisan Asphalt Concrete tipe AC-Base Course dengan menggunakan bahan pengikat aspal berupa aspal modifikasi Asbuton yaitu BNA Blend namun tetap memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat diaplikasikan di lapangan untuk jalan-jalan yang memerlukan peningkatan struktur, peningkatan kapasitas jalan, dan pembangunan jalan baru. Metode yang digunakan untuk peneltian ini yaitu pengujian material (*Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), agregat baru, aspal BNA Blend), dan pengujian campuran beraspal panas dengan bahan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), aspal BNA Blend dan agregat baru. Pengujian terhadap benda uji menggunakan kadar RAP 25% dan aspal BNA Blend, didapatkan hasil bahwa semua hasil pengujian memenuhi persyaratan sehingga didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran tersebut sebesar 5,7%, pengujian terhadap benda uji menggunakan kadar RAP 35% dan aspal BNA Blend, didapatkan hasil bahwa semua hasil pengujian memenuhi persyaratan sehingga didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran tersebut sebesar 5,65%, pengujian terhadap benda uji dengan kadar RAP 40% dan aspal BNA Blend, didapatkan hasil bahwa tidak semua hasil pengujian memenuhi persyaratan sehingga tidak didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran, sehingga didapatkan penggunaan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) Pilang-Probolinggo yang efektif pada lapisan tipe AC-Base hanya sebesar 35%. Dan penelitian ini menunjukkan bahwa campuran beraspal panas dengan aspal modifikasi yang dapat memenuhi persyaratan untuk lapisan AC-Base sebesar 35% RAP, 59,26% agregat baru, 1% semen, dan 4,74% aspal BNA Blend.

2.4 Pengaruh Bahan Peremaja terhadap Kinerja Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus menggunakan Daur Ulang Perkerasan Beraspal

Pada penelitian yang di lakukan Ari Sujiartono et al, pada tahun 2013 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember mengenai ” Pengaruh Bahan *Peremaja* terhadap Kinerja Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus menggunakan Daur Ulang Perkerasan Beraspal” Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh tiga bahan *peremaja* terhadap kinerja campuran beraspal panas yang menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP). Metodologi yang digunakan adalah eksperimental di laboratorium, yaitu dengan membandingkan antara kinerja campuran beraspal yang menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) ditambah peremaja dan yang tidak menggunakan peremaja, serta membandingkan pengaruh tiga jenis peremaja terhadap kinerja setiap campuran beraspal panas. Hasil studi ini menunjukkan bahwa penggunaan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dalam campuran beraspal panas yang tanpa peremaja adalah maksimum 10%. Hasil pengujian terhadap ketahanan deformasi dan kelelahan, diperoleh bahwa penggunaan *peremaja RejIRE* dalam campuran beraspal panas yang menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dapat mencapai 30% dan memiliki kinerja yang terbaik. Penggunaan bahan peremaja *RejIRE* dalam campuran beraspal panas yang menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) dapat menjadi salah satu alternatif untuk digunakan dalam campuran beraspal. Jadi dapat disimpulkan bahwa sifat campuran beraspal panas dengan memanfaatkan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) yang terbaik adalah yang menggunakan *peremaja RejIRE*, baik yang menggunakan 20% RAP maupun 30% RAP.

2.5 Kinerja Modulus Resilien Campuran Beraspal Panas *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) yang menggunakan *Recycled Concrete Aggregate* (RCA)

Pada penelitian yang di lakukan Ari Sujiartono et al, pada tahun 2013 di Institut Teknologi Sepuluh Nopember mengenai “Kinerja Modulus Resilien Campuran Beraspal Panas *Asphalt Concrete Binder Course* (AC-BC) yang menggunakan

Recycled Concrete Aggregate (RCA)”. Penelitian ini bertujuan tentang Pengaruh limbah beton pada campuran beraspal panas pada gradasi *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* terhadap nilai kekakuan. Penelitian ini menggunakan metode *marshall test* (data pengujian tes *Marshall*, rendaman *marshall* dan kepadatan mutlak didapatkan dari penelitian terdahulu) sampai dengan uji modulus resilien sehingga didapat hasil karakteristik *Marshall* berserta hasil dari modulus resilien. Dari hasil penelitian yang dilakukan didapat untuk ketiga jenis campuran pada temperatur 25°C, 35°C, dan 45°C. Kenaikan kembali nilai Modulus Resilien pada RCA 15% yaitu 2487 Mpa. Pada temperatur 35°C pada kadar RCA 0%, nilai Modulus Resilien adalah 597 Mpa dan terjadi kenaikan pada kadar RCA 5% yaitu 817 Mpa, dan terjadi penurunan nilai Modulus Resilien pada kadar RCA 10% yaitu 663 Mpa dan kadar RCA 15% yaitu 616 Mpa. Pada temperatur 45°C, kadar RCA 0% nilai Modulus Resilien adalah 246 Mpa dan terjadi kenaikan pada kadar RCA 5% yaitu 283 Mpa, dan pada kadar RCA 10% yaitu 322 Mpa dan terjadi penurunan pada kadar RCA 15% yaitu 272 Mpa. Apabila dilihat dari hasil nilai Modulus Resilien maka secara umum penambahan RCA dapat meningkatkan nilai modulus.. Maka dapat disimpulkan bahwa Nilai modulus resilien campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* yang mengandung RCA lebih superior dibandingkan dengan tanpa *Recycle Concrete Aggregate (RCA)* di tiga temperature pengujian yaitu 25°C, 35°C, dan 45°C.

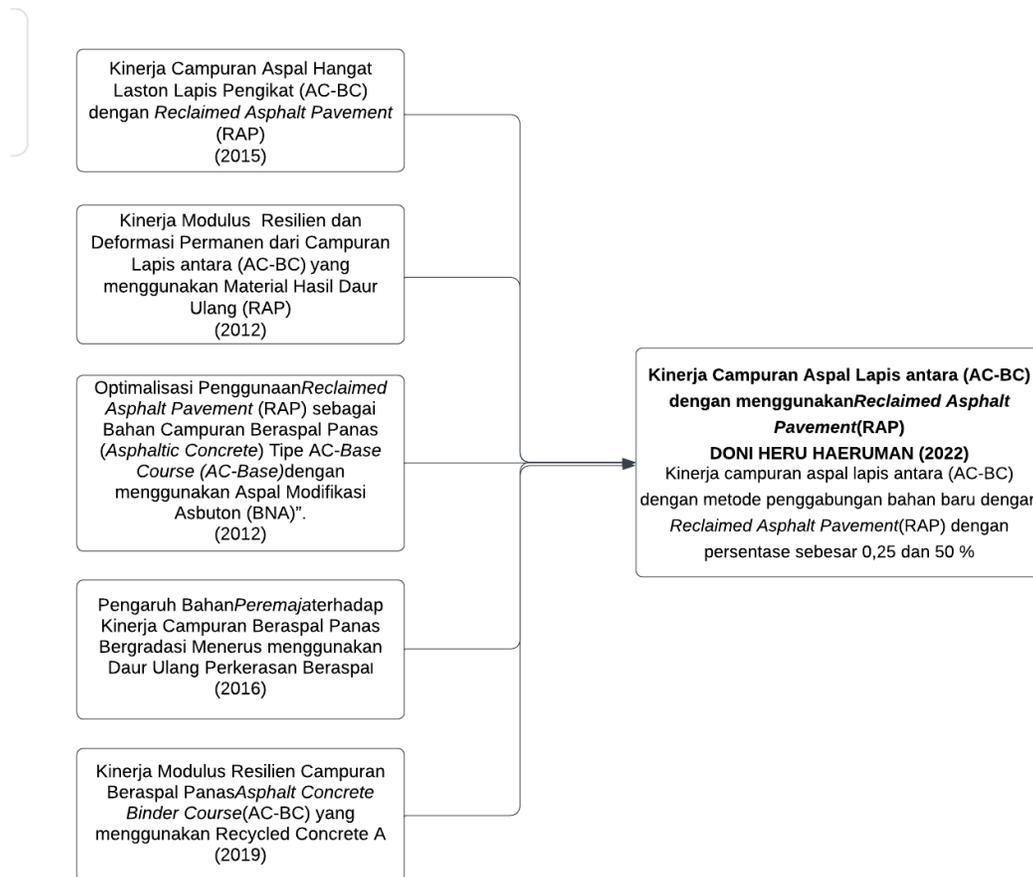
Tabel 2.1 Hasil Tinjauan Pustaka Terhadap Penelitian Sebelumnya

NO	Penelitian	Judul	Tujuan	Hasil
1.	Indra Maha et al (2015)	Kinerja Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Pengikat (AC-BC) dengan <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP).	untuk mengetahui lebih jauh sifat campuran dengan RAP yang dibuat dengan teknologi hangat secara laboratorium sehingga diperoleh gambaran kekuatan dan katahanan-nya serta kinerjanya terhadap persyaratan campuran beraspal	menunjukkan jumlah siklus beban dipengaruhi oleh regangan yang diberikan untuk kesemua campuran, semakin besar regangan yang diberikan semakin pendek jumlah siklus perulangan bebannya.
2.	Suherman (2012)	Kinerja <i>Modulus Resilien</i> dan Deformasi Permanen dari Campuran Lapis antara (AC-BC) yang menggunakan Material Hasil Daur Ulang (RAP).	membandingkan kinerja <i>Modulus Resilien</i> (MR) dan Total Deformasi pada campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) yang menggunakan 15% dan 25% material RAP dari berat total campuran.	Hasil pengujian memperlihatkan bahwa semakin banyak kandungan aspal RAP maka nilai penetrasi semakin turun dan nilai titik lembek semakin naik campuran (25% RAP) memberikan nilai <i>Stabilitas</i> dan <i>Modulus Resilien</i> yang paling tinggi dan mengalami Total Deformasi yang paling kecil.
3.	Ari Sujiartono et al (2012)	Optimalisasi Penggunaan <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP) sebagai Bahan Campuran Beraspal Panas (<i>Asphaltic Concrete</i>) Tipe <i>AC-Base Course</i> (<i>AC-Base</i>) dengan menggunakan Aspal Modifikasi Asbuton (BNA)".	untuk mengetahui kemungkinan penggunaan RAP pada perkerasan campuran beraspal panas lapisan Asphalt Concrete tipe AC-Base Course dengan menggunakan bahan pengikat aspal berupa aspal modifikasi Asbuton yaitu BNA Blend.	campuran beraspal panas dengan aspal modifikasi yang dapat memenuhi persyaratan untuk lapisan AC-Base sebesar 35% RAP, 59,26% agregat baru, 1% semen, dan 4,74% aspal BNA Blend.
4.	Nono (2016)	Pengaruh Bahan <i>Peremaja</i> terhadap Kinerja Campuran Beraspal Panas Bergradasi Menerus menggunakan Daur Ulang Perkerasan Beraspal	Untuk mengevaluasi pengaruh tiga bahan <i>peremaja</i> terhadap kinerja campuran beraspal panas yang menggunakan <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP)	Penggunaan <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP) dalam campuran beraspal panas yang tanpa <i>peremaja</i> adalah maksimum 10%. Penggunaan <i>peremaja</i> ReJIRE dalam campuran beraspal panas yang menggunakan <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> dapat

				mencapai 30% dan memiliki kinerja yang terbaik.
5.	Galih Wulandari Subagyo (2019)	Kinerja Modulus Resilien Campuran Beraspal Panas <i>Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)</i> yang menggunakan <i>Recycled Concrete Aggregate (RCA)</i>	Pengaruh limbah beton pada campuran beraspal panas pada gradasi <i>Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)</i> terhadap nilai kekakuan	Nilai modulus resilien campuran <i>Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)</i> yang mengandung RCA lebih superior dibandingkan dengan tanpa <i>Recycle Concrete Aggregate (RCA)</i> di tiga temperature pengujian yaitu 25°C, 35°C, dan 45°C.

Sumber: Analisis Penulis, 2024

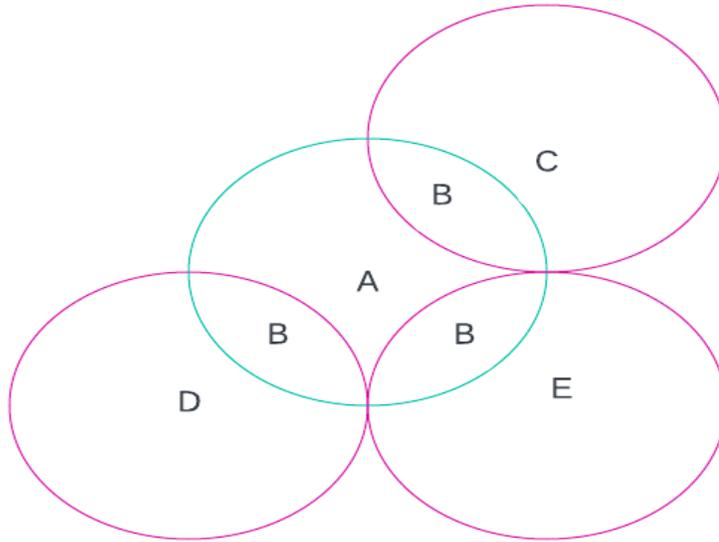
Gambar 2.1 Bagan Keterkaitan Penelitian



Sumber: Analisis Penulis, 2024

2.6 Peta Penelitian

Gambar 2.2 Irisan Hubungan Penelitian[



Sumber : Analisis Penulis, 2024

Keterangan :

A = Penelitian ini mengacu pada *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*

- Indra Maha et al, (2015).
- Suherman, (2012).
- Galih Wulandari Subagyo, (2019).

B = Penelitian ini menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

- Ambia, I. Al, Syarwan, S., & AR, S. (2022).
- Juharni, R. (2015).
- Twidi Bethary, R., & Sugeng Subagio, B. (2020)

C = Penelitian ini menggunakan bahan *Peremaja* sebagai pengikat

- Yandes, A. M., Rismanto, R., Julianto, J., & Jusi, U. (2021)

D = Penelitian ini mengacu pada karakteristik material *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

- Permadi, M. R., Prastyaningrum, R. H., Setiadji, B. H., & Supriyono. (2015)
- Suwarto, F., Setiadji, B. H., & Supriyono, S. (2018)

E = Penelitian ini menggunakan metode Ekstrasi pada *Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*

- SNI 03-6894. (2002).

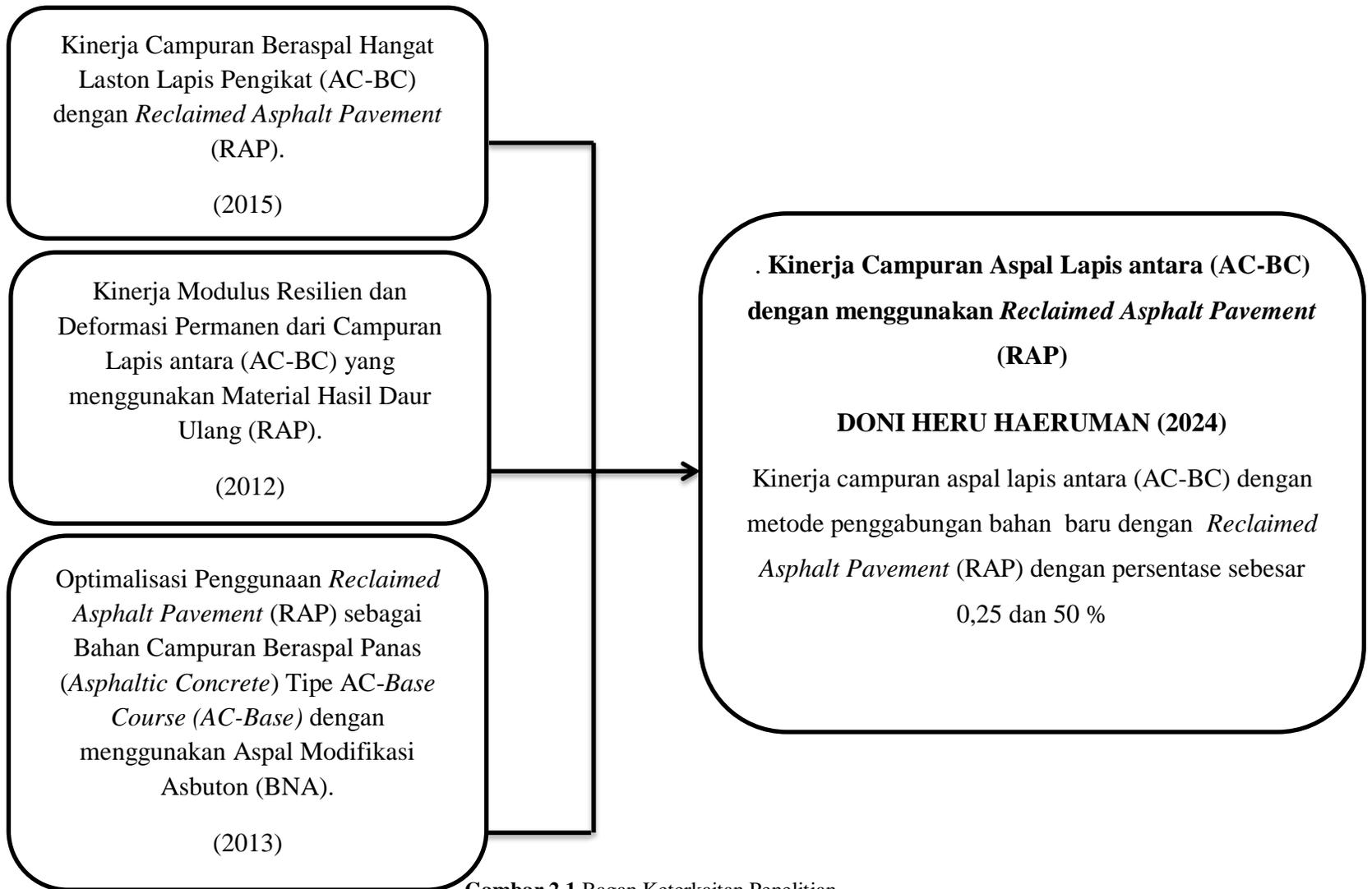
Tabel 2.1 Tabel Keterkaitan

No	Penelitian	Tahun	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1.	Indra Maha et al	2015	Kinerja Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Pengikat (AC-BC) dengan <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP).	untuk mengetahui lebih jauh sifat campuran dengan RAP yang dibuat dengan teknologi hangat secara laboratorium sehingga diperoleh gambaran kekuatan dan katahanan-nya serta kinerjanya terhadap persyaratan campuran beraspal	Eksperimental	menunjukkan jumlah siklus beban dipengaruhi oleh regangan yang diberikan untuk kesemua campuran, semakin besar regangan yang diberikan semakin pendek jumlah siklus perulangan bebannya.

2.	Suherman	2012	<p>Kinerja Modulus Resilien dan Deformasi Permanen dari Campuran Lapis antara (AC-BC) yang menggunakan Material Hasil Daur Ulang (RAP).</p>	<p>membandingkan kinerja Modulus Resilien (MR) dan Total Deformasi pada campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) yang menggunakan 15% dan 25% material RAP dari berat total campuran.</p>	Eksperimental	<p>Hasil pengujian memperlihatkan bahwa semakin banyak kandungan aspal RAP maka nilai penetrasi semakin turun dan nilai titik lembek semakin naik campuran (25% RAP) memberikan nilai Stabilitas dan Modulus Resilien yang paling tinggi dan mengalami Total Deformasi yang paling kecil.</p>
----	----------	------	---	--	---------------	---

3	Ari Sujiartono et al	2013	Optimalisasi Penggunaan <i>Reclaimed Asphalt Pavement</i> (RAP) sebagai Bahan Campuran Beraspal Panas (<i>Asphaltic Concrete</i>) Tipe <i>AC-Base Course</i> (AC-Base) dengan menggunakan Aspal Modifikasi Asbuton (BNA)”	untuk mengetahui kemungkinan penggunaan RAP pada perkerasan campuran beraspal panas lapisan Asphalt Concrete tipe AC-Base Course dengan menggunakan bahan pengikat aspal berupa aspal modifikasi Asbuton yaitu BNA Blend	Eksperimental	campuran beraspal panas dengan aspal modifikasi yang dapat memenuhi persyaratan untuk lapisan AC-Base sebesar 35% RAP, 59,26% agregat baru, 1% semen, dan 4,74% aspal BNA Blend.
---	----------------------	------	---	--	---------------	--

Sumber : (analisa penulis,2024)



Gambar 2.1 Bagan Keterkaitan Penelitian

Sumber ; Analisa Penulis (2024)

BAB 3

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003).

Tanah saja biasanya tidak cukup kuat dan tahan, tanpa adanya deformasi yang berarti, terhadap beban roda berulang. Untuk itu perlu lapis tambahan ini dapat dibuat dari bahan khusus yang terpilih (yang lebih baik), yang selanjutnya disebut lapis keras/perkerasan/*pavement*. Mengingat volume pekerjaan jalan, pada umumnya diinginkan perkerasan yang murah, baik yang berkaitan dengan bahan maupun biaya pelaksanaan, namun masih dapat memenuhi tuntutan lalu-lintasnya. Pada mulanya konstruksi perkerasan dikelompokkan menjadi perkerasan lentur (*flexible*), dan perkerasan kaku (*rigid*), perkembangan selanjutnya menunjukkan bahwa adanya berbagai bentuk perkerasan lain seperti : perkerasan komposit, perkerasan beton presstress, cakar ayam dan conblok. (Ir. Suprpto, 2004).

3.2 Jenis Konstruksi Perkerasan

Berdasarkan bahan pengikat yang digunakan untuk membentuk lapisan atas perkerasan jalan dibedakan menjadi:

a) Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

b) Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan yang menggunakan semen (*Portland Cement*) sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton

c) Kontruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*)

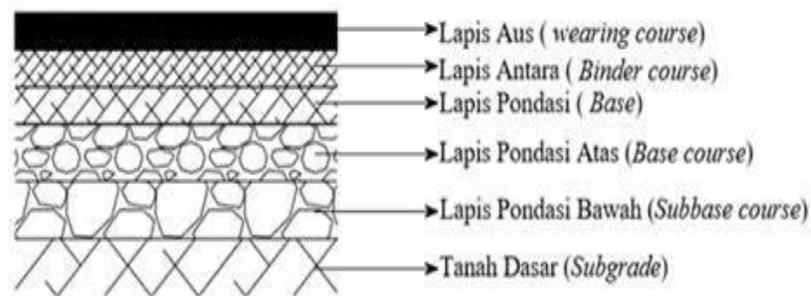
Perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau perkerasan kaku, diatas perkerasan lentur.

3.3 Struktur Perkerasan Jalan Lentur

Menurut Sukirman (1999:4) Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Struktur perkerasan jalan lentur dibuat secara berlapis dan terdiri atas lapisan permukaan (*surface course*) yaitu lapisan aus dan lapis antara. Lapisan dibawahnya ialah lapisan pondasi yang terdiri dari lapisan pondasi atas (*base course*) dan pondasi bawah (*subbase course*). Lapisan ini diletakkan di atas tanah dasar yang dipadatkan (*subgrade*). Lapisan antara (*binder course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di antara lapis pondasi atas (*base course*) dengan lapis aus (*wearing course*).

Gambar 3.1 Gambar Struktur Lapisan Perkerasan



Sumber: Perancangan Perkerasan Jalan, 2018

Masing-masing elemen lapisan di atas termasuk tanah dasar secara bersama-sama memikul beban lalu lintas. Tebal struktur perkerasan dibuat sedemikian rupa sampai batas kemampuan tanah dasar memikul beban lalu lintas, 6 atau dapat dikatakan tebal struktur perkerasan sangat tergantung pada kondisi atau daya dukung tanah dasar.

a) Elemen Tanah dasar (*sub grade*)

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. beberapa sifat yang penting untuk kepentingan struktur jalan, seperti: daya dukung dan kestabilan tanah yang cukup, komposisi dan gradasi butiran tanah, sifat kembang susut tanah, kemudahan untuk dipadatkan, kemudahan meluluskan air (drainase), plastisitas dari tanah, sifat ekspansif tanah dan lain-lain.

b) Elemen Lapis Pondasi Bawah (*subbase course*)

suatu lapisan yang terletak antara lapis tanah dasar dan lapis pondasi atas (*base*), yang berfungsi sebagai bagian perkerasan yang meneruskan beban di atasnya, dan selanjutnya menyebarkan tegangan yang terjadi ke lapis tanah dasar.

Lapis pondasi bawah dibuat di atas tanah dasar yang berfungsi di antaranya sebagai:

- Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda.
- Menjaga efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisanlapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
- Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

c) Elemen Lapis Pondasi Atas (*base course*)

suatu lapisan perkerasan jalan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (*sub-base*), yang berfungsi sebagai bagian perkerasan yang mendukung lapis permukaan dan beban-beban roda yang bekerja di atasnya dan menyebarkan tegangan yang terjadi ke lapis pondasi bawah, kemudian ke lapis tanah dasar.

Lapis pondasi atas dibuat di atas lapis pondasi bawah yang berfungsi di antaranya:

- Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda.
- Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.
- Meneruskan limpahan gaya lalu lintas ke lapis pondasi bawah.

d) Elemen Lapis Permukaan (*surface course*)

Sebagai lapisan aus (*wearing course*) yaitu lapisan yang langsung menderita gesekan akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus. Fungsi lapis permukaan adalah sebagai berikut:

- Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda.
- Sebagai lapis kedap air, yaitu lapisan yang melindungi lapisan di bawahnya dari resapan air yang jatuh di atas permukaan perkerasan

e) Elemen Lapis Antara (*Binder Course*)

Lapis antara (*binder course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di antara lapis pondasi atas (*base course*) dengan lapis aus (*wearing course*). Fungsi dari lapis antara adalah sebagai berikut:

- Mengurangi tegangan.
- Menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas sehingga harus mempunyai kekuatan yang cukup.

3.4 Jenis Campuran Beraspal.

3.4.1 Stone Matrix Asphalt (SMA)

Menurut Soehartono (2015) *Stone Matrix Asphalt* (SMA) adalah campuran aspal bergradasi senjang di mana campuran agregat dan aspal tersebut masih ditambah dengan serbuk selulosa (serat kayu lembut) dengan adanya penambahan serat selulosa diharapkan akan meningkatkan titik leleh aspal sehingga mampu meningkatkan kinerja lapisan perkerasan jalan tersebut. Beton Aspal SMA, terdiri dari tiga jenis : SMA Tipis; SMA Halus dan SMA Kasar, dengan ukuran partikel maksimum agregat masing-masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm, 25 mm. Setiap campuran SMA yang menggunakan bahan Aspal Polymer disebut masing-masing sebagai SMA Tipis Modifikasi, SMA Halus Modifikasi dan SMA Kasar Modifikasi.

3.4.2 Lapis Aspal Beton (LASTON)

Menurut Sukirman (2003), Lapis Aspal Beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dicampur dan dihampar dalam keadaan panas serta dipadatkan pada suhu tertentu. Beton Aspal merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur.

Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum 2018 Laston terdiri dari tiga jenis campuran yaitu :

- a. Laston sebagai lapis aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm dan ukuran maksimum agregat 19 mm.
- b. Laston sebagai lapis antara, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete Bearing Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm dan ukuran maksimum agregat 25,4 mm.
- c. Laston sebagai lapis pondasi, dikenal dengan nama AC-Base (*Asphalt Concrete Base*), dengan tebal nominal minimum adalah 7,5 cm dan ukuran maksimum agregat 37,5 mm.

3.4.3 Lapis aspal beton (*Asphalt Concrete, AC*)

Aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi perkerasan jalan raya yang terdiri dari campuran aspal dan agregat yang mempunyai gradasi menerus yang dicampur, dihampar lalu dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas pada suhu tertentu (Sukirman, 1993).

3.5 Karakteristik Campuran Aspal Beton

3.5.1 Stabilitas

Stabilitas lapisan pekerjaan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan memakai jalan tersebut. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan dengan volume lalu lintas yang hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Kestabilan yang terlalu tinggi menyebabkan lapisan itu menjadi kaku dan cepat mengalami retak, disamping itu karena volume antar agregat kurang, mengakibatkan kadar aspal yang dibutuhkan rendah. Hal ini menghasilkan film aspal tipis dan mengakibatkan ikatan aspal mudah lepas sehingga durabilitasnya rendah.

Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan :

- agregat dengan gradasi yang rapat (*dense graded*)
- agregat dengan permukaan yang kasar
- agregat berbentuk kubus
- aspal dengan penetrasi rendah
- aspal dengan jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir

Agregat bergradasi baik, bergradasi rapat memberikan rongga antar butiran agregat (*voids in mineral agregat = VMA*) yang kecil. Keadaan ini menghasilkan stabilitas yang tinggi, tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. VMA yang kecil mengakibatkan aspal yang dapat menyelimuti agregat terbatas dan menghasilkan film aspal yang tipis. Film aspal yang tipis mudah lepas yang mengakibatkan lapis tidak lagi kedap air, oksidasi mudah terjadi, dan lapis perkerasan menjadi rusak. Pemakaian aspal yang banyak mengakibatkan aspal tidak lagi dapat menyelimuti agregat dengan baik (karena VMA kecil) dan juga menghasilkan rongga antar campuran (*voids in mix = VIM*) yang kecil. Adanya beban lalu lintas yang menambah pemadatan lapisan mengakibatkan lapisan lapisan aspal meleleh keluar yang dinamakan bleeding.

3.5.2 Durabilitas (keawetan / daya tahan)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan dapat mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.

Faktor yang mempengaruhi durabilitas lapis aspal beton adalah :

- Film aspal atau selimut aspal, film aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis aspal beton yang berdurabilitas yang tinggi, tetapi kemungkinan terjadinya bleeding menjadi tinggi.
- VIM kecil sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran yang menyebabkan terjadinya oksidasi dan aspal menjadi rapuh / getas.

➤ VMA besar, sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika VMA dan VIM kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya bleeding besar. Untuk mencapai VMA yang besar ini dipergunakan agregat bergradasi senjang.

3.5.3 Fleksibilitas (kelenturan)

Fleksibilitas pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan :

- Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
- Penggunaan aspal lunak (aspal dengan penetrasi yang tinggi)
- Penggunaan aspal yang cukup banyak sehingga diperoleh VIM yang kecil.

3.5.4 Skid resistance (tahanan geser / kekesatan)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau basah maupun diwaktu kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien geser antar permukaan jalan dan ban kendaraan.

Tahanan geser tinggi jika :

- penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tak terjadi bleeding.
- penggunaan agregat dengan permukaan kasar
- penggunaan agregat berbentuk kubus
- penggunaan agregat kasar yang cukup

3.5.5 Ketahanan kelelahan (fatigue resistance)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan dari lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur (ruting) dan retak.

- VIM yang tinggi dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan yang lebih cepat.
- VMA yang tinggi dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi fleksibel.

3.5.6 Kemudahan pelaksanaan (workability)

Yang dimaksud dengan kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

- Gradasi agregat, agregat bergradasi baik lebih mudah dilaksanakan dari pada agregat bergradasi lain.
- Temperatur campuran, yang ikut mempengaruhi kekerasan bahan pengikat yang bersifat termoplastis.
- Kandungan bahan pengisi (*filler*) yang tinggi menyebabkan pelaksanaan lebih sukar.

3.6 Bahan Penyusun Perkerasan Jalan

3.6.1 Aspal

Aspal adalah suatu bahan bentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai coklat gelap, bersifat perekat (*cementious*) yang akan menjadi lembek dan meleleh bila dipanasi. Bahan itu sebagian besar tersusun oleh bitumen yang kesemuanya terdapat dalam bentuk padat atau setengah padat dari alam atau hasil pemurnian minyak bumi, atau merupakan campuran dari bahan bitumen dengan minyak bumi atau derivatnya (ASTM, 1994). Aspal terbuat dari bahan minyak menta, melalui proses penyulingan, atau dapat ditemukan dalam kandungan alam bersama – sama material lain. Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks seperti *Asphaltenese, Resins, dan Oils*. Bitumen mempunyai sifat *viscoelastis* dan tergantung dari waktu pembebanan (The Blue Book – Building & Construction, 2009)

Gambar 3.2 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)

Sifat-sifat Campuran		LASTON					
		AC-WC		AC-BC		AC-Base	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar Aspal Efektif (%)	Min.	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan Aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah Tumbukan per Bidang		75					112
Rongga dalam Campuran (%)	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam Agregat (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800	
Pelelehan (mm)	Min.	3,0				4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	
Stabilitas Marshall Sisa setelah Perendaman 24 jam . 60 C (%)	Min.	90					
Rongga dalam Campuran pada Kepadatan Membal (%)	Min.	2,5					

Sumber : Lapisan Aspal Beton, 2020

3.6.2 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan (SNI No: 1737-1989-F). Agregat adalah material granular, misalnya pasir, kerikil, batu pecah yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan perkerasan jalan, yaitu 90% – 95% agregat berdasarkan persentase 4 berat, atau 75 – 85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Menurut Silvia, Sukirman, (2003), agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar mauppun kecil atau fragmen- fragmen.

a) Agregat kasar

1. Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan no.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet, dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam **table 3.1**.
2. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis, campuran yang direncanakan seperti ditunjukkan pada **table 3.1**.

3. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam **table 3.1**. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut SNI 7619:2012.
4. Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.

Tabel 3.1 Ketentuan Agregat Kasar

pengujian		metode pengujian		nilai
kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12%	
	magnesium sulfat		Maks.18%	
abrasi dengan mesin Los Angeles	campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks.6%
		500 putaran		Maks.30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	SNI 2439:2011	Maks.8%
		500 putaran		Maks.40%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90*)
		Lainnya		95/90**)
partikel Pipih dan Lonjong		SMA	SNI 8287:2016	Maks.5%
		Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks.10%
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117: 2012	Maks.1%	

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2)

b) Agregat halus

1. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm).
2. Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.
3. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpukan terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) yang terpisah sehingga gradasi gabungan dan presentase pasir di dalam campuran dapat dikendalikan dengan baik.

4. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC (*Asphalt Concrete*) sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran.
5. Agregat halus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada **table 3.1**

Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min.50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Permadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2021	Maks.10%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2)

3.6.3 Bahan Pengisi /*Filler*

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 revisi 2, bahan pengisi/*filler* dapat berupa semen atau kapur terhidrasi dan harus bebas dari gumpalan serta diterima setelah pemeriksaan secara visual. Bahan pengisi yang digunakan harus diperhitungkan sebagai bagian dari gradasi agregat campuran.

Bahan pengisi *filler* harus memenuhi persyaratan SNI 06-6723:2002. Bila diuji dengan pengayak sesuai SNI ASTM C136:2012, bahan pengisi harus mengandung berbutir halus yang lolos ayakan No.16 dan lolos ayakan 0,075 mm (No.200) masing-masing tidak kurang dari 100% dan 75% terhadap beratnya.

3.7 Perencanaan Campuran Lapisan Aspal Beton

3.7.1 Gradasi Agregat Gabungan

Sukirman (2003) berpendapat bahwa gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang dapat menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan.

Gradasi agregat gabungan untuk campuran Beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam **table 3.3**. Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat

gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam **table 3.3**.

Tabel 3.3 Persyaratan Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lastoston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
¾"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
½"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
¾"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	8 - 12	8 - 11	8 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2)

3.7.2 Kadar Aspal Rencana (Pb)

Kadar aspal awal atau kadar aspal perkiraan, ini merupakan kadar aspal tengah/ideal. Kadar aspal tengah dapat ditentukan dengan menggunakan rumus atau persamaan dari Spesifikasi Depkimpraswil (2004), yaitu dikenal dengan kadar aspal rencana (Pb) dari persamaan berikut :

$$Pb = 0,035\%CA + 0,045\%FA + 0,18\%Filler + K \quad (3.1)$$

Keterangan:

Pb = kadar aspal tengah, persen terhadap berat campuran

%CA = Persen agregat tertahan saringan No.8.

%FA = Agregat halus lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200.

%Filler = persen agregat minimal 75% lolos saringan No.200.

K = Konstanta 0,5-1 untuk lapis AC.

3.8 Marshall Test

Pengujian dengan alat marshall dilakukan sesuai dengan prosedur Bina Marga. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik campuran, menentukan ketahanan atau stabilitas terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal.

Hubungan antara ketahanan (stabilitas) dan kelelahan plastis (*flow*) adalah berbanding lurus, semakin besar stabilitas, semakin besar pula flownya, dan begitu juga sebaliknya, jadi semakin besar stabilitas nya maka aspal akan semakin mampu menahan beban, demikian juga sebaliknya. Dan jika flow semakin tinggi maka aspal semakin mampu menahan beban.

3.8.1 Parameter *Marshall Test*

a) Stabilitas

Kemampuan lapisan perkerasan menahan deformasi permanen pada saat menerima beban lalu lintas (baik beban statis maupun beban dinamis). Tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun bleeding.

b) Kelelahan (*flow*)

Deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

c) *Voild In the Mix* (VIM)

VIM menunjukkan persentase rongga dalam campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan dari campuran aspal agregat, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous.

d) *Voild Filled With Asphalt* (VFA)

VFA adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat (VMA), sehingga antara nilai VMA dan VFA mempunyai kaitan yang sangat erat. Faktor-faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energy pemadat (jumlah dan temeperatur pemadatan), dan absorpsi agregat. Mengecilnya nilai VMA pada kadar aspal yang tetap, berakibat memperbesar presentase rongga terisi aspal.

e) *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Bila nilai MQ terlalu tinggi, maka campuran akan cenderung terlalu kaku dan mudah retak. Sebaliknya bila nilai MQ terlalu rendah, maka perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil.

3.9 RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)

Pada umumnya ruas-ruas jalan di Indonesia menggunakan teknologi perkerasan lentur atau perkerasan beraspal, lebih dari 90% dari seluruh panjang jalan yang ada. Untuk pembangunan dan pemeliharaan perkerasan beraspal pada setiap tahunnya dikerenakan kekurangan aspal dengan impor aspal. Salah satu alternatif untuk mengatasi kendala kekurangan aspal adalah pemanfaatan material daur ulang khususnya untuk pekerjaan pemeliharaan perkerasan beraspal dengan menggunakan metode *cut and fill* (Nono, 2015).

Keterbatasan material tersebut sebagai pendorong penggunaan bahan daur ulang perkerasan dimana *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) adalah bahan alternatif yang berguna untuk bahan perkerasan karena mengurangi kebutuhan penggunaan agregat alam dan bahan pengikat aspal baru yang diperlukan dalam campuran aspal (Audrey Copeland, 2011), *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) juga dapat merehabilitasi dan atau mengganti struktur perkerasan yang mengalami kerusakan permanen deformasi dan kerusakan secara struktural (Valdes G dkk. 2011), Secara umum perkerasan daur ulang adalah memanfaatkan kembali material (agregat dan aspal) perkerasan lama untuk dijadikan sebagai perkerasan baru yang ditambahkan agregat baru dan atau bahan peremaja. Untuk mencapai hasil yang memadai, aspal dan agregat lama perlu diperbaharui baik sifat-sifatnya maupun gradasinya (Novita,dll 2011). Aspal *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) secara signifikan telah mengalami penuaan pada saat diproduksi, pelayanan terhadap beban kendaraan, dan pengaruh lingkungan saat menjadi lapisan/struktur perkerasan. Hal ini dikarenakan reologi aspal telah teroksidasi dan mempunyai kelelahan, sehingga aspal pada *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) menjadi mengeras (O'Sullivan 2011).

Material daur ulang adalah limbah sisa perkerasan jalan yang telah rusak atau habis umur rencananya umumnya digunakan untuk perkerasan dengan metode pencampuran dingin. Namun untuk dapat digunakan sebagai bahan perkerasan baru, memiliki kendala dalam hal kualitas, agar kualitas dari campuran daur ulang ini mendekati atau bahkan lebih baik dari kualitas campuran aspal konvensional dengan memperbaiki propertis dari daur ulang tersebut. Perbaikan propertis dari material daur ulang ini bisa dengan penambahan *filler*, bahan peremaja, agregat baru, aspal baru atau dengan penambahan bahan tambah lainnya (Alivia Ayu Pratiwi, 2020).

Penggunaan material daur ulang dalam campuran beraspal panas berdasarkan *The Asphalt Institute* (1993) adalah sekitar 10% - 35% untuk unit produksi jenis takaran, sedangkan untuk unit produksi jenis drum kuantitas yang praktis adalah sekitar 10% - 50%. Valdes dkk. (2011) menyampaikan bahwa persyaratan campuran daur ulang sekitar 10% - 50%, dengan campuran 40% RAP masih dalam rentang yang diterima sedangkan campuran dengan 60% diluar batas yang ditentukan.

Gambar 3.3 Gambar alat dan bahan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)



sumber : Dokumentasi Pribadi, 2024

3.10 Bahan Peremaja (*Rejuvenator*)

Rejuvenator merupakan suatu peremaja bahan pengikat untuk RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), di mana didalamnya terkandung dan tersusun senyawa aromatik ringan, untuk menggantikan senyawa aromatik ringan yang menguap atau teroksidasi

pada RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*). Kemampuan senyawa aromatik ringan dari *rejuvenator* harus dapat menembus lapisan aspal dan berdifusi pada RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sehingga dapat merekonstruksi aspal yang telah menua menjadi bahan lapis perkerasan baru (Qiu et al. 2013).

Rejuvenator merupakan suatu aditif dengan viskositas rendah yang dirancang untuk mengembalikan sifat-sifat bahan pengikat pada RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dan untuk meningkatkan sifat-sifat campuran aspal yang mengandung RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*). Peremaja yang ideal tidak hanya mengembalikan sifat mekanik aspal, tetapi harus dapat mengoreksi komposisi kimia dari aspal (Lehtimäki 2012). Bahan *rejuvenator* dari senyawa aromatik yang sangat ringan dapat meningkatkan ketahanan terhadap retak pada temperatur rendah dan deformasi permanen (Lehtimäki 2012). Ekstrak senyawa aromatik pada peremaja konvensional merupakan suatu molekul aromatik polar yang dominan, dengan kandungan sekitar 75% campuran minyak dan resin dengan sedikit minyak jenuh (Yu et al. 2014).

Bahan pengikat daur ulang dari bahan petrokimia yang asli, minyak goreng dan bitumen aspal yang lembek dengan penentrasi 160/220 dapat digunakan sebagai bahan *rejuvenator* (Dony et al. 2012).

3.10.1 Bahan Peremajaan Reclamite

Menurut National *Center for Pavement Preservation* “ Peremajaan aspal sejati adalah produk minyak berbasis malthena yang memiliki kemampuan untuk menyerap atau menembus kedalam perkerasan beton aspal dan mengembalikan komponen reaktif (*malthena*) yang telah hilang dari pengikat semen aspal. Karena proses alami oksidasi.

Reclamite terdiri dari fraksi malthena yang sama dengan pengikat aspal. *Reclamite* disuling dari bahan dasar *naphthenic* (bebas lilin) yang menyegel dan mempertahankan permukaan “dalam-dalam”.

Reclamite telah digunakan selama lebih dari 50 tahun dan terbukti menambah 5-7 tahun masa pakai perkerasan jalan. Ini menembus, menerjemahkan dan menyegel

permukaan dengan mengisi kembali fraksi *malthena* yang hilang dalam pengikat aspal. *Malthena* diperlukan untuk membuat permukaan tahan lama dan fleksibel. *Reclamite* fluck dengan pengikat aspal, memulihkan ikatan agregat/aspal.

Reclamite mencegah *raveling* dan *stripping* dengan memadatkan permukaan perkerasan, membantu mengatasi masalah pemadatan, mengurangi permeabilitas permukaan, dan mencegah intrusi udara dan kelembapan. Ini menyesuaikan nilai viskositas dan penetrasi. (*Indiana preservation study. Schneider Engineering Case Study Presented at Purdue University*).

Bab 4

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Pada bagian ini akan dijelaskan bagaimana alur dari penelitian berlangsung. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa dengan panduan standar pada Spesifikasi Umum Divisi 6 Bina Marga 2018 revisi 2.

Metode yang digunakan sebagai pengujian campuran adalah metode Marshall, dimana di pengujian Marshall tersebut didapatkan hasil-hasil yang berupa komponen-komponen *Marshall* yaitu flow, VIM, VFA, VMA, dan kemudian dapat dihitung *Marshall* Quotient-nya. Pemeriksaan material daur ulang pada campuran aspal, setelah itu memvariasikan persentase RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) yaitu 0%, 25%, dan 50% lalu semua bahan di campurkan untuk tahap pembuatan benda uji, pengujian benda uji dan bagian akhir disajikan pengolahan dan analisis data.

4.2 Persiapan Alat dan Bahan

Berikut adalah alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Alat uji pengujian agregat, yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain satu set saringan (*sieve*) yang berguna untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat, mesin los angeles untuk tes keausan agregat kasar, dan alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).
- b. Alat uji pengujian aspal, yang digunakan untuk pengujian aspal adalah alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji kehilangan berat, alat uji daktalitas dan alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan).
- c. Alat uji ekstraksi aspal yang digunakan *centrifuge extractor*
- d. Alat uji karakteristik campuran agregat aspal, yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi:

1. Alat uji tekan Marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji flowmeter.
2. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).
3. Alat penumbuk manual yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 50 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah).
4. Alat pendorong benda uji untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan dipakai dongkrak hidrolis.
5. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
6. Alat-alat penunjang yang meliputi penggorengan pencampur, kompor panas, thermometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, timbangan, bak untuk merendam benda uji, jangka sorong, dan spidol yang digunakan untuk menandai benda uji.

Metode pengujian ini menggunakan SNI 03-6894-2002 dengan ketentuan cara uji pemisahan aspal dan penentuan kadar aspal dari campuran beraspal dengan cara *centrifuge* agregat yang di peroleh dapat digunakan untuk pengujian analisa saringan.

➤ Kadar aspal

$$B = \frac{(w_1 - w_2) - (w_3 + w_4)}{w_1 - w_2} \times 100\% \quad (4.1)$$

Dengan pengertian:

B adalah Kadar aspal (%)

W1 adalah Berat contoh (gram)

W2 adalah Berat air dalam contoh (gram)

W3 adalah berat agregat dalam contoh (gram)

W4 adalah berat mineral dalam larutan beraspal (dihitung dari berat mineral cara pengabuan dan *centrifuge*)

➤ Cara centrifuge

$$W_4 = M_2 - M_1 \quad (4.2)$$

Dengan pengertian :

W4 adalah Berat mineral dalam larutan beraspal (gram)

M1 adalah Berat tabung sentrifus (gram)

M2 adalah Berat tabung *centrifuge* + mineral dalam larutan beraspal (gram)

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

- a. Aspal Penetrasi 60/70.
- b. Agregat kasar, berupa split 1-2 dengan ukuran maks, $\frac{3}{4}$ " dan screening.
- c. Agregat halus.
- d. RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)

4.3 Prosedur Pelaksanaan Penelitian

Prosedur pelaksanaan penelitian ini dari data-data berupa data primer yang didapat dari hasil pengujian yang dilakukan sedangkan data sekunder didapat dari literatur, baik dari buku-buku dan jurnal-jurnal terdahulu yang membahas tentang perkerasan jalan. Adapun prosedur penelitian meliputi :

4.3.1 Persiapan

Pemeriksaan yang dilakukan yaitu meliputi studi pustaka dan persiapan alat dan bahan yang digunakan. Persiapan bahan (aspal keras, agregat halus dan *filler*) dilakukan dengan mendatangkan bahan dari sumbernya ke Laboratorium Teknik Sipil Untirta dan menyediakan bahan-bahan tersebut sebelum digunakan dalam campuran beraspal.

4.3.2 Pemeriksaan Aspal

- a. Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Pemeriksaan dilakukan dengan cara memasukan jarum standar dengan berat standar pada material aspal pada rentang waktu dan suhu yang standar.

- b. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menentukan berat jenis aspal keras dengan piknometer. Berat jenis aspal merupakan perbandingan antara berat jenis dan berat air suling pada isi yang sama pada suhu tertentu.

c. Pemeriksaan Kehilangan Berat

Pemeriksaan ini dilakukan untuk menetap penurunan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasaan dan tebal tertentu, yang dinyatakan dalam persen berat semula.

d. Pemeriksaan titik lembek

dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dimana bola baja jatuh dari cincin aspal menyentuh dasar pelat atau dasar bejana gelas dengan ketinggian tertentu. Titik lembek aspal berkisar antara 30 °C-200°C. Hasil yang didapat pada pemeriksaan titik lembek aspal adalah bola baja.

e. Pemeriksaan viskositas

suatu cara untuk dapat menyatakan berapa daya tahan dari aliran yang diberikan terhadap suatu cairan. Kebanyakan dari viscometer digunakan untuk dapat mengukur kecepatan suatu cairan yang mengalir melalui pipa gelas (gelas kapiler).

f. Pemeriksaan daktilitas

untuk mengetahui salah satu sifat mekanik bahan bitumen yaitu kekenyalan yang diwujudkan dalam bentuk kemampuannya untuk ditarik yang memenuhi syarat jarak tertentu (dalam pemeriksaan ini adalah 100 cm), maka dianggap bahan ini mempunyai sifat daktilitas yang tinggi.

g. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui besaran suhu dimana terlihat nyala singkat kurang dari 5 detik (titik nyala) dan terlihat nyala lebih dari 5 detik (titik bakar) diatas permukaan aspal.

Table 4.1 Standar Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Penetrasi Aspal	SNI 06-2456-2011
2	Kehilangan Berat	SNI 06-2441-1991
3	Berat Jenis	SNI 2441:2011
4	Titik lembek	SNI 24334:2011
5	Viskositas	SNI 03-6721-2002
6	daktilitas	SNI 2434:2011
7	Titik Nyala dan Titik Bakar	SNI 2433-2011

Sumber : (Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6)

4.3.3 Pemeriksaan Agregat

Pemeriksaan agregat dimaksudkan untuk mengetahui apakah agregat tersebut telah memenuhi standar dan dapat digunakan atau tidak sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pemeriksaan ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Untirta dengan menggunakan metode SNI.

Table 4.2 Standar Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Analisa Saringan	SNI ASTM C136-2012
2	Berat Jenis dan Penyerapan Air	SNI 1969 : 20016
3	Keausan Agregat	SNI 2417 : 2008
4	Abrasi	SNI 2417:2008
5	kelekatan	SNI 2439:2011

Sumber : (Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6)

Table 4.3 Standar Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Analisa Saringan	SNI ASTM C136-2012
2	Berat Jenis dan Penyerapan Air	SNI 1970 : 20016

Sumber : (Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi (Umum 2018 Divisi 6)

4.3.4 Pemeriksaan RAP

Pemeriksaan RAP dimaksudkan untuk mengekstrasi aspal daur ulang yaitu proses pemisahan campuran dua atau lebih bahan dengan cara menambahkan pelarut yang bias melarutkan salah satu bahan yang ada dalam campuran tersebut dapat dipisahkan. Tujuan dilakukan ekstrasi yaitu untuk mengetahui kadar aspal dan gradasi agregat RAP yang terdapat dalam campuran aspal yang di buat menggunakan alat Centrifuge Extractor dengan pelarut yang biasa di gunakan.

4.3.5 Perencanaan Gradasi Agregat

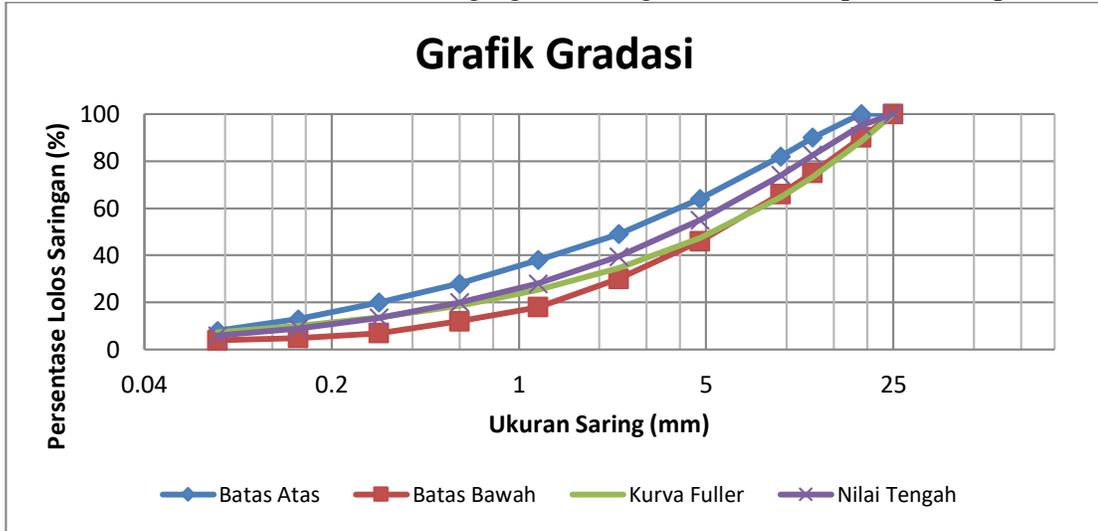
Pada penelitian ini menggunakan gradasi agregat lapis antara AC-BC. Gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam **Tabel 4.4**. Rancangan dan perbandingan Campuran untuk gradasi agregat gabungan harus memenuhi jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam **Tabel 4.4**.

Table 4.4 Persyaratan Gradasi Gabungan Untuk Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat								
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)			
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base	
1½"	37,5								100	
1"	25			100				100	90 - 100	
¾"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90	
½"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78	
¼"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71	
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	46 - 64	35 - 54	
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41	
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30	
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22	
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15	
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10	
No.200	0,075	8 - 12	8 - 11	8 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7	

Sumber : (Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6)

Gambar 4.1 Grafik Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal



Sumber : Analisa Penulis, 2024

4.3.6 Kadar Aspal Perkiraan

Pada penilitan ini menggunakan 3 variasi persentase RAP yaitu 0%, 25%, dan 50% dan 5 variasi kadar aspal yaitu 1 kadar aspal rencana, 4 kadar aspal dibawah dan diatas kadar aspal rencana seperti yang ditunjukkan pada table 4.5 sehingga keseluruhan benda uji sebanyak 45 benda uji.

Tabel 4.5 Jumlah Benda Uji untuk KAO

Kadar Aspal	1+Pb	0,5 + Pb	Pb	1+Pb	0,5 + Pb	Total
0% RAP						
Marshall Rendaman	3	3	3	3	3	15
KAO	3					3
25% RAP						
Marshall Rendaman	3	3	3	3	3	15
KAO	3					3
50% RAP						
Marshall Rendaman	3	3	3	3	3	15
KAO	3					3
Total Benda Uji						54

Sumber : Analisis Penulis, 2024

4.3.7 Metode Pembuatan Benda Uji

Metode pencampuran yang digunakan adalah metode pada umumnya yaitu metode kering yakni mencampurkan aspal panas dan bahan-bahan lain seperti agregat kasar/split screen, RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dan *filler*.

a. Pembuatan Benda Uji Campuran Beraspal

- 1) Menghitung perkiraan awal kadar aspal (Pb) sebagai berikut :

Pb = Menghitung perkiraan awal kadar aspal (Pb) sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta} \quad (4.3)$$

Keterangan :

Pb : Kadar aspal tengah (ideal), persen terhadap berat campuran

CA : Persen agregat tertahan saringan No.8

FA : Persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200

FF : Persen agregat minimal 75% lolos No.200

K : Konstanta Nilai konstanta kira-kira 0,5 sampai 1,0 untuk laston dan 2,0 sampai 3,0 untuk lataston. Untuk jenis campuran lain gunakan nilai 1,0 sampai 2,5.

- 2) Setelah didapat nilai kadar aspal, selanjutnya berat jenis maksimum dihitung dengan mengambil data dari percobaan berat jenis agregat halus dan agregat kasar.
- 3) Kemudian melanjutkan mengesktrasi aspal daur ulang RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dimkasudkan untuk pemisahan aspal dan agregat bekas, yang nanti nya akan menjadi campuran untuk benda uji, yang tentu nya dilakukan pengujian terhadap aspal dan agregat bekas tersebut.adapun langkah langkah pelaksanaan untuk ekstrasi aspal daur ulang , sebagai berikut:
 - a) Menimbang sampel dan saringan ekstrasi sebelum melakukan ekstrasi aspal.
 - b) Meletakkan mesin *Centrifuge Extractor* pada lantai dasar yang keras.

- c) Melepaskan pengunci *Centrifuge Extractor* lalu memasukan sampel dan bahan pelarut kemudian memasang saringan ekstrasi dan memasang penutup alat tersebut. Serta menguncinya.
 - d) Menyalakan mesin *Centrifuge Extractor* dan mengulanginya 3-4 kali hingga bersih atau jenuh.
 - e) Pada proses ke 4, Pelarut yang terakhir keluarkan yang sudah bersih atau jenuh ditadah di gelas ukur untuk digunakan pada sampel berikutnya.
 - f) Setelah selesai lalu, mengeluarkan sampe hingga pelarutnya habis.
 - g) Setelah itu diamankan sampai dingin, lalu ditimbang beserta wadahnya.
 - h) Mengulangi prosedur tersebut untuk sampel atau RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) berikutnya.
- 4) Jika semua data telah didapatkan, yang dilakukan berikutnya adalah megnhitung berat sampel, berat aspal dan berat agregat berdasarkan persentase tertahan.
 - 5) Mencampurkan agregat dengan aspal pada suhu dibawah 150 C
 - 6) Melakukan pemadatan terhadap sampel sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah) dengan alat penumbuk.
 - 7) Mendinginkan benda uji terlebih dahulu agar mengeras sebelum mengeluarkannya dari cetakan, dan kemudian mendinginkannya kurang lebih 24 jam.
 - 8) Mengukur ketebalan, menimbang, dan kemudian merendam benda uji dalam air biasa pada suhu normal selama 24 jam/
 - 9) Menimbang kembali benda uji untuk mendapatkan berat jenuh (SSD)
 - 10) Sebelum menguj benda uji dengan alat *Marshall*, merendam benda uji terlebih dahulu dalam waterbath selama 30 menit.
- b. Proses Pencampuran Benda Uji
- 1) Menyiapkan bahan untuk setiap benda uji diperlukan yaitu campuran beraspal sebanyak ± 1200 gr.
 - 2) Memanaskan panci pencampur beserta agregat kasar/split, screening, RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), dan *filler* diaduk sampe suhu 165° C.

Sementara itu aspal juga dipanaskan secara terpisah pada suhu 150 ° C dalam panci aspal,

- 3) Dalam memanaskan aspal hal yang perlu diperhatikan adalah adukan yang konsisten, hal ini dimaksudkan untuk menghindari pengumpulan dengan kana lain campuran tidak menjadi homogen.
- 4) Setelah pemanasan campuran mencapai suhu 165 ° C lalu meletakkannya pada timbangan dalam keadaan panas, setelah itu tuangkan aspal yang telah dipanasi pada suhu 150° C sebanyak kadar aspal yang dibutuhkan.
- 5) Kemudian campuran tersebut diaduk dengan cepat sampai seluruh permukaan agregat terselimuti aspal secara merata. Suhu selama pengadukan, campuran diusahakan tetap dipertahankan 155° C, dimana hal ini dikontrol dengan termometer.
- 6) Melakukan pemadatan terhadap sampel sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah) dengan menggunakan alat penumbuk.
- 7) Mendinginkan benda uji terlebih dahulu agar mengeras sebelum mengeluarkannya dari cetakan, dan kemudian mendinginkannya kurang lebih 24 jam.
- 8) Mengukur ketebalan, menimbang, dan kemudian merendam benda uji dalam air biasa pada suhu normal selama 24 jam,
- 9) Menimbang kembali benda uji untuk mendapatkan berat jenuh (SSD).
- 10) Sebelum menguji benda uji dengan alat *Marshall*, merendam benda uji terlebih dahulu dalam waterbath selama 30 menit.

c. Uji *Marshall*

Pengujian ini dilakukan dengan alat marshall sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T245-90 yaitu dengan meletakkan benda uji kedalam segmen bawah, waktu yang diperlukan dari saat diangkat benda uji dari bak perendaman maksimum tidak boleh melebihi 30 detik. Kemudian benda uji dibebani dengan kecepatan sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh alat

pencatat. Kemudian mencatat nilai stabilitas dan *flow* yang tertera pada alat pencatat.

d. Analisa Data dan Penentuan KAO

Dari hasil penelitian di Laboratorium akan diperoleh nilai parameter *Marshall* (Stabilitas, *Flow*, VMA, VIM, VFA, dan *Marshall Quotient*). Dari hasil yang telah diperoleh maka dapat ditentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang akan dipakai untuk *mix design* selanjutnya

4.3.8 Pembahasan dan Analisis Hasil

Dari data hasil penelitian di Laboratorium akan membandingkan stabilitas dan karakteristik campuran (rongga dalam campuran, rongga antara agregat dan rongga terisi aspal) dalam perendaman air tawar dengan air hujan dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70. Kemudian menggambarkan grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall*, yaitu gambar hubungan antara:

a. Rongga di dalam campuran (VIM)

$$VIM = 100 - \frac{Gmm \times Gmb}{Gmm} \quad (4.4)$$

Keterangan:

VIM = Rongga di dalam campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

b. Rongga di antara mineral agregat (VMA)

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \quad (4.5)$$

Keterangan:

VMA = Rongga di antara mineral agregat

Gsb = Kadar aspal terhadap campuran

Gmb = Berat jenis efektif

Ps = Persen agregat terhadap berat total campuran

- c. Rongga terisi aspal (VFA)

$$VFA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \quad (4.6)$$

Keterangan:

VFA = Rongga terisi aspal, persen terhadap VMA

VMA = Rongga di antara mineral agregat

VIM = Rongga di dalam campuran

- d. Stabilitas (*stability*)

$$S = P \times r \quad (4.7)$$

Keterangan:

S = Stabilitas

P = Kalibrasi *proving ring*

r = Nilai pembacaan arloji stabilitas

- e. Pelelehan (flow)

Pembacaan pada arloji pengukur pelelehan

- f. Marshall Quotient (MQ)

$$MQ = S \times t \quad (4.8)$$

Keterangan:

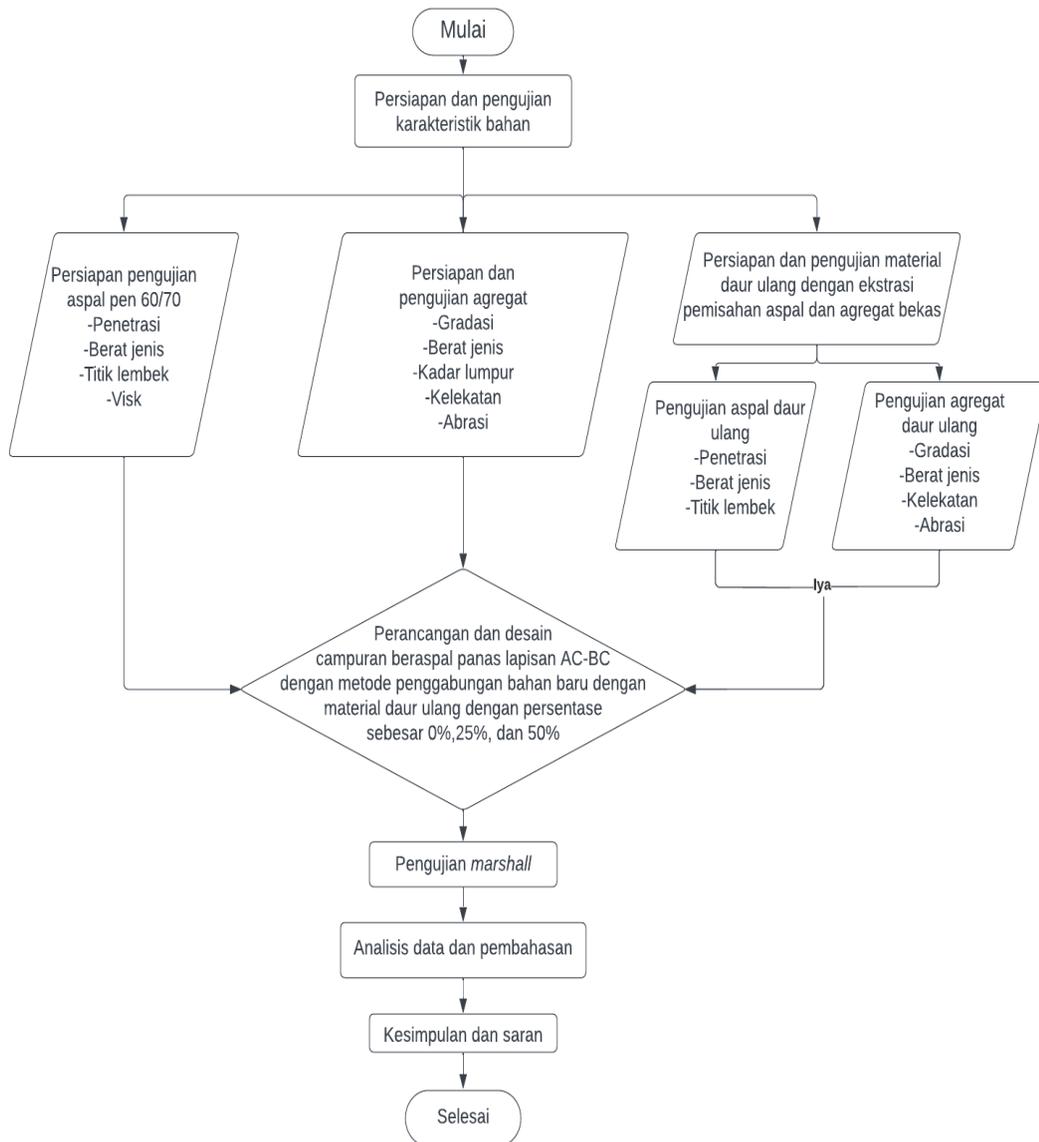
MQ = Marshall Quotient

S = nilai stabilitas

t = nilai kelelehan

4.4 Diagram Alir

Gambar 4.2 diagram alir



BAB 5

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Sifat Fisik Material

Dari penelitian yang dilakukan pada laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sultan Ageng tirtayasa diperoleh data hasil pemeriksaan terhadap agregat kasar, agregat halus, ekstrasi RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) di peroleh dari salah satu ruas jalan Nasional di Indonesia yaitu di jalan Nasional Karawang, dan benda uji aspal sebagai berikut.

5.1.1 Agregat

Agregat yang digunakan berasal dari daerah Cilegon, Banten, agregat nya meliputi split, screening dan abu batu. Pengujian material agregat meliputi berat jenis, keausan (los angeles) analisa saringan dan kadar lumpur.

Tabel 5.1 Hasil pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian		Hasil Split	Spesifikasi	Metode Pengujian
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	BJ Bulk	2,503	Min. 2,5	SNI-1969-2016
	BJ SSD	2,569		
	BJ Apparent	2,679	Max.3%	
	Absorption	2,630		
Pengujian Keausan Agregat Kasar		19,24	Max.40%	SNI-2417-2008
Kadar Lumpur Agregat		0,4375	Max. 1%	SNI ASTM C117-2012

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian terhadap berat jenis dan penyerapan agregat kasar berdasarkan SNI 1969-2016 yang di lakukan sebanyak 2 kali pada masing-masing agregat kasar Split dan *Screening*. Dari hasil rata-rata pengujian berat jenis yang ditabulasi pada Tabel 5.1. terlihat hasil dari pengujian berat jenis mendapatkan hasil untuk berat jenis bulk $2,503 \text{ gr/cm}^3$, berat jenis ssd $2,569 \text{ cm}^3$, dan berat jenis apparent $2,679 \text{ gr/cm}^3$. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan agregat telah sesuai dengan spesifikasi yang diisyaratkan yaitu minimal $2,5 \text{ gr/cm}^3$. Agregat dengan berat

jenis yang kecil mempunyai volume yang besar maka dari itu dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak.

Gambar 5.1 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar



Sumber: Analisis Penulis, 2024

b. Pengujian Penyerapan Agregat Kasar

Pada Tabel 5.1 didapatkan hasil pengujian penyerapan agregat kasar berdasarkan metode pengujian SNI 1969-2008 masing-masing untuk split dan screening yaitu. Dari hasil yang di dapat sudah memenuhi dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu 2,630%. Dari hasil yang di dapat sudah memenuhi dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu maksimal 3%. Penyerapan agregat tidak boleh melebihi dari 3% karena semakin tinggi besar nilai penyerapan maka agregat tersebut memiliki sifat porositas serta untuk mengurangi pelemahan antar ikatan aspal dengan agregat.

Gambar 5.2 Pengujian Penyerapan Agregat Kasar



Sumber: Analisis Penulis, 2024

c. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Ketahanan agregat terhadap pemecahan (degradasi) diperiksa melalui pengujian keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* berdasarkan metode pengujian SNI 2417-2008 yang dilakukan sebanyak 2 kali. Dari hasil rata-rata pengujian keausan agregat kasar diperoleh hasil pengujian sebesar 19,24% sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil dari pengujian agregat kasar yang akan digunakan memiliki daya tahan yang baik terhadap gesekan, sehingga mampu menahan beban dan dapat bertahan dari gesekan dari roda kendaraan di jalan. Oleh karena itu agregat tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk ketentuan agregat kasar pada persentase keausan yaitu maksimal 40%.

Gambar 5.3 Pengujian Keausan Agregat Kasar



Sumber: Analisis Penulis, 2024

d. Pengujian Kadar lumpur Agregat kasar

Pengujian terhadap kadar lumpur agregat kasar dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat kasar mendapatkan hasil 0,4375% berdasarkan SNI ASTM C117-2017. Dari Tabel 5.1 hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar dapat dilihat bahwa agregat kasar telah memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 1% karena semakin banyak agregat yang mengandung banyak lumpur maka akan berkurang daya lekat aspal terhadap agregat dan dapat mempengaruhi kekuatan aspal menjadi kurang maksimal.

Gambar 5.4 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Kasar



Sumber: Analisis Penulis, 2024

Agregat halus yang digunakan pada penilitan ini menggunakan Abu Batu yang berasal dari daerah Cilego, Banten. Pengujian agregat halus terdiri dari pemeriksaan gradasi dengan analisis saringan, pengujian berat dan penyerapan. Ringkasan hasil pengujian agregat halus terdapat pada **Tabel 5.2**.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian		Abu Batu	Spesifikasi	Metode Pengujian
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	BJ Bulk	2.548	Min. 2,5	SNI-1969-2016
	BJ SSD	2.615		
	BJ Apparent	2.730		
	Absorption	2.617	Max.3%	
Kadar Lumpur Agregat		2,4	Max. 5%	SNI ASTM C117-2012

Sumber: Hasil Pengujian, 2024

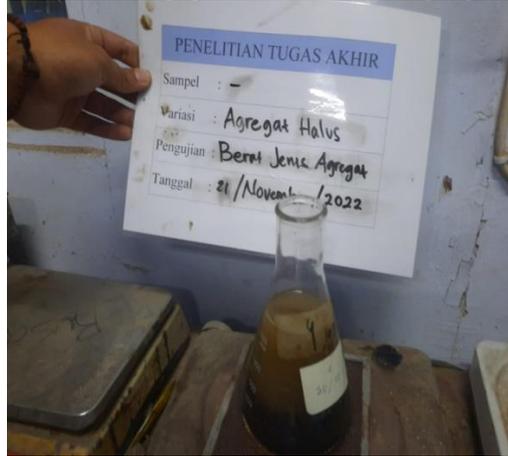
a. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian terhadap berat jenis dan penyerapan agregat halus berdasarkan SNI 1969-2008 yang dilakukan sebanyak 2 kali (2 benda uji). Dari hasil rata-rata pengujian didapat berat jenis dengan hasil untuk berat jenis bulk $2,548 \text{ gr/cm}^3$, berat jenis ssd $2,615 \text{ gr/cm}^3$ dan berat jenis *apparent* $2,730 \text{ gr/cm}^3$.

Dapat dilihat pada Tabel 5.2 hasil pengujian berat jenis agregat halus telah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimal $2,5 \text{ gr/cm}^3$. Agregat dengan

berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar maka dari itu dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak.

Gambar 5.5 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus



Sumber: Analisis Penulis, 2024

b. Pengujian Penyerapan Agregat Halus

Pada Tabel 5.2 menunjukkan hasil pengujian penyerapan agregat halus berdasarkan metode pengujian SNI 1969-2008 yaitu 2,617% telah sesuai dengan standar penyerapan untuk agregat halus yaitu maksimal 3% karena semakin tinggi besar nilai penyerapan maka agregat tersebut memiliki sifat porositas serta untuk mengurangi pelemahan antar ikatan aspal dengan agregat.

Gambar 5.6 Pengujian Penyerapan Agregat Halus



Sumber: Analisis Penulis, 2024

c. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian terhadap kadar lumpur agregat halus dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat halus, dari pengujian tersebut

mendapatkan hasil sebesar 2,4%. Berdasarkan SNI ASTM C117-2012 pada Tabel 5.2 hasil pengujian kadar lumpur agregat halus dapat dilihat bahwa agregat halus tela memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 5% karena semakin banyak agregat yang mengandung banyak lumpur maka akan berkurang daya lekat aspal terhadap agregat dan dapat mempengaruhi kekuatan aspal menjadi kurang maksimal.

Gambar 5.7 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus



Sumber: Analisis Penulis, 2024

Berdasarkan Tabel 5.1 dan 5.2 diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian agregat yang meliputi berat jenis agregat, penyerapan agregat, keausan agregat dan kadar lumpur agregat telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

5.1.2 Hasil pengujian Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal adalah material yang pada temperature ruang berbentuk padat sampai agak padat dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan pada suhu tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan.

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal dengan penetrasi 60/70. Pengujian material aspal meliputi berat jenis aspal, titik lembek, penetrasi, kehilangan berat minyak aspal, viskositas dan pengujian titik nyala dan titik bakar. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi

ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan didalam kriteria perencanaan, pada suatu sampel atau kadar aspal yang akan kita uji perlu adanya hasil dari material.

Dari hasil pemeriksaan Laboratorium Teknik Sipil FT UNTIRTA, diperoleh hasil pengujian sebagai berikut:

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi Umum Bina Marga 2018		Metode Pengujian
			Minimal	Maksimal	
Aspal Penetrasi 60/70					
1	Berat Jenis	1,034	1	-	SNI 2441:2011
2	Titik Lembek 25°C (cm)	50	48	-	SNI 2432:2011
3	Penetrasi, 25°C; 100 gr	65,2	60	70	SNI 2456-2011
4	Kehilangan Berat (%)	0,21	-	0,8	SNI 06-2441-1991
5	Daktilitas	109	100	-	SNI-2432:2011
6	Viskositas	145-156	-	-	SNI 06-2433-1991
7	Titik Nyala dan Titik Bakar	325	232	-	SNI-2433-2011

sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, 2024

Hasil pengujian aspal dinyatakan memenuhi spesifikasi yang diatur dalam Spesifikasi Umum Divisi 6 Departemen Pekerjaan Umum tahun 2018.

- a. Dari hasil penelitian didapat berat jenis aspal 1,034 dengan batas minimum 1, hal ini dapat disimpulkan bahwa aspal yang akan digunakan masih berkualitas baik karena memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018. Dapat disimpulkan bahwa jika kandungan minyak dan partikel yang berada di dalam aspal semakin sedikit maka akan membuat kualitas aspal semakin baik.

Gambar 5.8 Pengujian Berat Jenis Aspal



Sumber: Analisis Penulis, 2024

- b. Dari hasil penelitian titik lembek aspal didapatkan hasil 50°C , maka dari itu aspal baik untuk digunakan pada campuran aspal karena ketika aspal $< 50^{\circ}\text{C}$ maka aspal akan mencapai derajat kelembekan (mulai meleleh). Nilai titik lembek aspal telah memenuhi persyaratan dengan hasil minimal 48°C . Pengujian titik lembek bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap temperatur.

Gambar 5.9 Pengujian Titik Lembek Aspal



Sumber: Analisis Penulis, 2024

- c. Dari hasil penelitian penetrasi didapat nilai penetrasi sebesar 65,2 dengan batas 60/70 maka dari itu ketika semakin meningkat nya besar angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin rendah, sebaliknya semakin kecil angka penetrasi aspal maka tingkat kekerasan aspal semakin tinggi. Dari nilai diatas dapat disimpulkan bahwa hasil pengujian menunjukkan tingkat kekerasan aspal sesuai dengan aspal yang akan digunakan yaitu aspal penetrasi 60/70.

Gambar 5.10 Pengujian Penetrasi Aspal



Sumber: Analisis Penulis, 2024

- d. Dari hasil penelitian kehilangan berat aspal didapat 0,21% dari batas maksimum 0,8% dapat disimpulkan bahwa aspal yang akan digunakan memiliki durabilitas yang baik karena dapat mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca atau perubahan 40 temperatur selama masa pelayanan jalan.

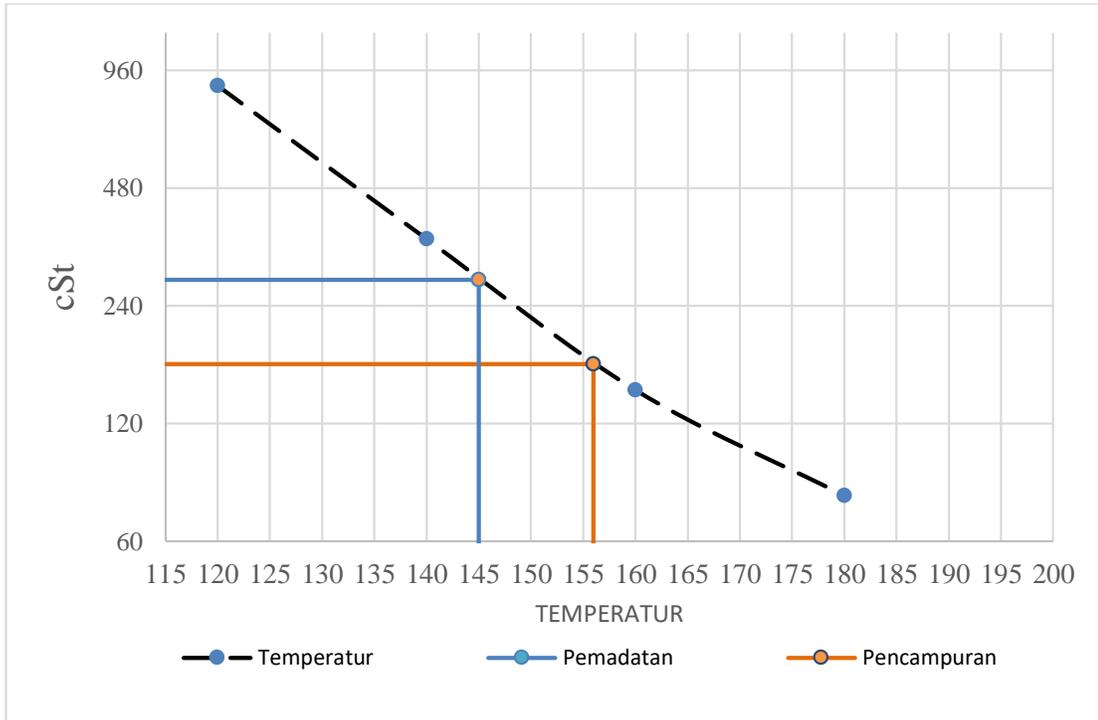
Gambar 5.11 Pengujian Kehilangan Berat Aspal



Sumber: Analisis Penulis, 2024

- e. Dari hasil penelitian viskositas didapat hasil 145-156°C, pengujian ini berpengaruh pada suhu pencampuran dan pemadatan terhadap kekentalan zat cair.

Gambar 5.12 Grafik Pengujian Viskositas



Sumber: Analisis Penulis, 2024

Gambar 5.13 Pengujian viskositas Aspal



Sumber: Analisis Penulis, 2024

Dari hasil Grafik 5.12 mendapatkan hasil 280cSt pada suhu 145°C untuk pemadatan dan 170cSt untuk suhu 156°C untuk pencampuran yang dimana nilai tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

- f. Dari hasil penelitian titik nyala dan titik bakar yaitu di dapatkan hasil 325°C dapat disimpulkan bahwa aspal memiliki ketahanan yang baik terhadap resiko kebakaran dan bahan panas lainnya karena telah memenuhi persyaratan yaitu

minimal 232°C. Semakin tinggi suhu titik bakar aspal maka semakin baik karena tidak mudah terbakar.

Gambar 5.14 Pengujian Titik Nyala dan Bakar Aspal



Sumber: Analisis Penulis, 2024

5.1.3 Hasil Pengujian RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)

RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) yang digunakan dalam penelitian ini ini diperoleh dari salah satu ruas jalan Nasional di Indonesia yaitu di jalan Nasional Karawang. Pengujian material ini meliputi ekstrasi RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*). Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui kadar bitumen RAP dan gradasi agregat RAP yang digunakan dalam campuran aspal beton. Ringkasan hasil pengujian ekstrasi terdapat pada Tabel 5.4

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Ekstrasi RAP

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	Metode Pengujian
Gradasi agregat RAP	1137	SKBI-24.26.1987
Kadar aspal RAP	5.308	

Sumber: Modul Praktikum Teknik Sipil Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Pengujian terhadap ekstrasi di lakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing ekstrasi berdasarkan SKBI-24.26.1987. Berdasarkan Tabel 5.4 di ketahui hasil gradasi agregat RAP yaitu sebesar 1137 gram/cm³, untuk kadar aspal RAP 5,308% gram/cm³. Dari hasil pengujian ekstrasi yang telah dilakukan dapat dilihat bahwa nilai kadar aspal yaitu 4%-7% sehingga kadar aspal RAP yang terdapat dari RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) untuk campuran aspal dapat digunakan.

mengesktrasi aspal daur ulang RAP (*reclaimed asphalt pavement*) dimkasudkan untuk pemisahan aspal RAP dan agregat bekas RAP, yang nanti nya akan menjadi campuran untuk benda uji, yang tentu nya dilakukan pengujian terhadap aspal dan agregat bekas tersebut.adapun langkah langkah pelaksanaan untuk ekstrasi aspal daur ulang , sebagai berikut:

- a) Menimbang sampel dan saringan ekstrasi sebelum melakukan ekstrasi aspal.
- b) Meletakkan mesin *Centrifuge Extractor* pada lantai dasar yang keras.
- c) Melepaskan pengunci *Centrifuge Extractor* lalu memasukan sampel dan bahan pelarut kemudian memasang saringan ekstrasi dan memasang penutup alat tersebut. Serta menguncinya.
- d) Menyalakan mesin *Centrifuge Extractor* dan mengulanginya 3-4 kali hingga bersih atau jenuh.
- e) Pada proses ke 4, Pelarut yang terakhir keluarkan yang sudah bersih atau jenuh ditadah di gelas ukur untuk digunakan pada sampel berikutnya.
- f) Setelah selesai lalu, mengeluarkan sampe hingga pelarutnya habis.
- g) Setelah itu diamkan sampai dingin, lalu ditimbang beserta wadahnya.

Mengulangi prosedur tersebut untuk sampel atau RAP (*reclaimed asphalt pavement*) berikutnya.

Gambar 5.15 Pengujian Ekstrasi Aspal



Sumber: Analisis Penulis, 2024

Setelah pengujian ekstrasi RAP(*Reclaimed Asphalt Pavement*) dapat di lihat dari Tabel 5.4 menghasilkan kadar aspal dan gradasi agregat, setelah itu gradasi agregat dilakukan pengujian agregat, yaitu meliputi berat jenis dan penyerapan agregat dan kadar lumpur yang mana dapat di lihat pada Tabel 5.5 berikut;

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Agregat Kasar RAP

Jenis Pengujian		Hasil Split	Spesifikasi	Metode Pengujian
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	BJ Bulk	2.614	Min. 2,5	SNI-1969-2016
	BJ SSD	2.680		
	BJ Apparent	2.799		
	Absorption	2.521	Max.3%	
Pengujian Keausan Agregat Kasar		19.100	Max.40%	SNI-2417-2008
Kadar Lumpur Agregat		0.437	Max. 1%	SNI ASTM C117-2012

Sumber: Analisis Penulis, 2024

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar

Pengujian terhadap berat jenis dan penyerapan agregat kasar berdasarkan SNI 1969-2016 yang di lakukan sebanyak 2 kali pada masing-masing agregat kasar Split dan *Screening*. Dari hasil rata-rata pengujian berat jenis yang ditabulasi pada Tabel 5.5. terlihat hasil dari pengujian berat jenis mendapatkan hasil untuk berat jenis bulk $2,614 \text{ gr/cm}^3$, berat jenis ssd $2,680 \text{ cm}^3$, dan berat jenis apparent $2,799 \text{ gr/cm}^3$. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan agregat telah sesuai dengan spesifikasi yang diisyaratkan yaitu minimal $2,5 \text{ gr/cm}^3$. Agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar maka dari itu dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak.

Gambar 5.16 Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar RAP



Sumber: Analisis Penulis, 2024

b. Pengujian Penyerapan Agregat Kasar

Pada Tabel 5.5 didapatkan hasil pengujian penyerapan agregat kasar berdasarkan metode pengujian SNI 1969-2008 masing-masing untuk split dan screening yaitu. Dari hasil yang di dapat sudah memenuhi dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu 2,521%. Dari hasil yang di dapat sudah memenuhi dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu maksimal 3%. Penyerapan agregat tidak boleh melebihi dari 3% karena semakin tinggi besar nilai penyerapan maka agregat tersebut memiliki sifat porositas serta untuk mengurangi pelemahan antar ikatan aspal dengan agregat.

c. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Ketahanan agregat terhadap pemecahan (degradasi) diperiksa melalui pengujian keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* berdasarkan metode pengujian SNI 2417-2008 yang dilakukan sebanyak 2 kali. Dari hasil rata-rata pengujian keausan agregat kasar diperoleh hasil pengujian sebesar 19,24% sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat kasar yang akan digunakan memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk ketentuan agregat kasar pada persentase keausan yaitu maksimal 40%. Pengujian keausan tersebut menunjukkan bahwa agregat yang akan digunakan dalam campuran merupakan komponen yang mendukung beban sehingga dapat tahan terhadap gesekan dari roda kendaraan di jalan.

Gambar 5.17 Pengujian Keausan Agregat Kasar RAP



Sumber: Analisis Penulis, 2024

d. Pengujian Kadar lumpur Agregat kasar

Pengujian terhadap kadar lumpur agregat kasar dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat kasar mendapatkan hasil 0,4375% berdasarkan SNI ASTM C117-2017. Dari Tabel 5.5 hasil pengujian kadar lumpur agregat kasar dapat dilihat bahwa agregat kasar telah memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 1% karena semakin banyak agregat yang mengandung banyak lumpur maka akan berkurang daya lekat aspal terhadap agregat dan dapat mempengaruhi kekuatan aspal menjadi kurang maksimal.

Selanjutnya dilakukan pengujian agregat halus dimana meliputi pemeriksaan gradasi dengan analisis saringan, pengujian berat dan penyerapan. Ringkasan hasil pengujian agregat halus terdapat pada **Tabel 5.6**.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Agregat Halus RAP

Jenis Pengujian		Hasil Split	Spesifikasi	Metode Pengujian
Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	BJ Bulk	2.646	Min. 2,5	SNI-1969-2016
	BJ SSD	2.718		
	BJ Apparent	2.852		
	Absorption	2.722	Max.3%	
kadar Lumpur Agregat		2.4	Max.5%	SNI ASTM C117-2012

Sumber: Analisis Penulis, 2024

a. Pengujian Berat Jenis Agregat Halus

Pengujian terhadap berat jenis dan penyerapan agregat halus berdasarkan SNI 1969-2008 yang dilakukan sebanyak 2 kali (2 benda uji). Dari hasil rata-rata pengujian didapat berat jenis dengan hasil untuk berat jenis bulk $2,646 \text{ gr/cm}^3$, berat jenis ssd $2,718 \text{ gr/cm}^3$ dan berat jenis *apparent* $2,852 \text{ gr/cm}^3$.

Dapat dilihat pada Tabel 5.6 hasil pengujian berat jenis agregat halus telah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan yaitu minimal $2,5 \text{ gr/cm}^3$. Agregat dengan berat jenis yang kecil mempunyai volume yang besar maka dari itu dengan berat yang sama membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak.

Gambar 5.18 Pengujian Berat Jenis Agregat Halus RAP



Sumber: Analisis Penulis, 2024

b. Pengujian Penyerapan Agregat Halus

Pada Tabel 5.6 menunjukkan hasil pengujian penyerapan agregat halus berdasarkan metode pengujian SNI 1969-2008 yaitu 2,722% telah sesuai dengan standar penyerapan untuk agregat halus yaitu maksimal 3% karena semakin tinggi besar nilai penyerapan maka agregat tersebut memiliki sifat porositas serta untuk mengurangi pelemahan antar ikatan aspal dengan agregat.

Gambar 5.19 Pengujian Penyerapan Agregat Halus RAP



Sumber: Analisis Penulis, 2024

c. Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus

Pengujian terhadap kadar lumpur agregat halus dilakukan sebanyak 2 kali pengujian pada masing-masing agregat halus, dari pengujian tersebut mendapatkan hasil sebesar 2,4%. Berdasarkan SNI ASTM C117-2012 pada Tabel 5.6 hasil pengujian kadar lumpur agregat halus dapat dilihat bahwa agregat halus tela memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 5% karena semakin banyak agregat yang mengandung banyak lumpur maka akan berkurang daya lekat aspal terhadap agregat dan dapat mempengaruhi kekuatan aspal menjadi kurang maksimal.

Berdasarkan Tabel 5.5 dan 5.6 diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian agregat yang meliputi berat jenis agregat, penyerapan agregat, keausan agregat dan kadar lumpur agregat telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian ekstrasi RAP

Jenis alat Centrifuge Extractor	Sampel 1		Sampel 2	
berat bowl extraction (a)	=	2903	=	2903
berat sampel kering +bowl sebelum di ekstraksi (b)	=	4103	=	4103
berat sampel kering + bowl setelah di ekstraksi (c)	=	4041.6	=	4035
berat sampel kering sebelum di ekstraksi (d)	=	1200	=	1200
berat sampel kering setelah di ekstraksi(e)	=	1138.6	=	1132
berat filter sebelum dipakai (f)	=	15.5	=	15.5
berat filter setelah di pakai (g)	=	16.5	=	16.5
selisih berat filter (h)	=	1	=	1
berat total agregat (i)	=	1139.6	=	1133
berat bitumen dalam campuran (j)	=	60.4	=	67
persentase bitumen dalam campuran (k)	=	5.033333	=	5.583333

Sumber: Analisis Penulis, 2024

Tabel 5.8 Hasil pengujian saringan ekstrasi RAP

SAMPel 1												
Analisis Saringan Hasil Extrasi											total	
No.saring	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	pan	
berat tertahan		45	173.5	288	206	128	76.5	36	88.5	29.6	67.5	1138.6
% tertahan		3.95	15.24	25.29	18.09	11.24	6.72	3.16	7.77	2.60	5.93	100
% lolos		96.05	80.81	55.52	37.42	26.18	19.46	16.30	8.53	5.93	0.00	

Sampel 2												
Analisis Saringan Hasil Extrasi											total	
no.saring	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	pan	
berat tertahan			168.5	323	175.5	154	84	54	95.5	33.5	44	1132
% tertahan			14.89	28.53	15.50	13.60	7.42	4.77	8.44	2.96	3.89	100
% lolos			85.11	56.58	41.08	27.47	20.05	15.28	6.85	3.89	0.00	

Sumber: Analisis Penulis, 2024

Perhitungan hasil pengujian ekstrasi RAP(*Reclaimed Asphalt Pavement*) adalah sebagai berikut:

a. Menentukan berat sampel kering+ bowl sebelum di ekstrasi (b)

$$\begin{aligned}
 b &= a + \text{berat sampel (d)} & (5.1) \\
 &= 2903 + 1200 \text{ gr} & = 4103 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

b. Menghitung berat sampel kering + bowl setelah di ekstraksi (c)

$$\begin{aligned}
 c &= a + \text{berat sampel setelah ekstraksi (e)} & (5.2) \\
 &= 2903 - 1138,6 & = 4041,6 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

c. Berat total agregat (i)

$$\begin{aligned}
 h &= \text{berat e} + h & (5.3) \\
 &= 1138,6 + 1 & = 1139,6 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

d. Berat bitumen dalam campura (j)

$$\begin{aligned}
 j &= d - i & (5.4) \\
 &= 1200 + 1139,6 & = 60,4 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

e. Persentase bitumen dalam campuran (k)

$$k = \frac{100 \times j}{d} \quad (5.5)$$

$$= \frac{100 \times 60,4}{1200} = 5,033 \%$$

f. Berat total agregat

$$\text{Berat agregat (e) sampel 1} + \text{berat agregat (e) sampel 2} / 2 \quad (5.6)$$

$$= \frac{1139,6 + 1133}{2} = 1136,3 \text{ gr}$$

g. Berat total bitumen

$$\text{Berat bitumen (j) sampel 1} + \text{berat bitumen sampel 2} / 2 \quad (5.7)$$

$$= \frac{60,4 + 67}{2} = 63,7 \text{ gr}$$

h. Berat total persentase bitumen

$$\text{Berat bitumen (k) sampel 1} + \text{berat bitumen (k) sampel 2} / 2 \quad (5.8)$$

$$= \frac{5,033 + 5,583}{2}$$

$$= 5,31\%$$

5.2 Rancangan Campuran Aspal

Rancangan campuran dilakukan sebelum pembuatan benda uji untuk menentukan proporsi dari agregat dan aspal yang akan digunakan di dalam campuran aspal. Proporsi agregat dalam campuran yang digunakan harus memenuhi spesifikasi yang disyaratkan didalam peraturan Departemen Pekerjaan Umum Divisi 6 Tahun 2018 Revisi 2.

5.2.1 Proporsi Agregat Campuran

Proporsi agregat campuran dapat diketahui setelah menguji analisa saringan. Uji analisa saringan dilakukan untuk mendapatkan persentase lolos dari setiap agregat yang digunakan dalam campuran. Hasil rancangan campuran ditampilkan dalam

bentuk grafik yang terdapat pada batasan spesifikasi jenis campuran AC-BC dari variasi ukuran butir berdasarkan nilai titik tengah dari spesifikasi yang digunakan dalam nilai persen, dimana campuran menggunakan gradasi ini diharapkan akan menghasilkan hasil yang disyaratkan. Hasil gradasi agregat gabungan dapat dilihat pada **Tabel 5.9** berikut:

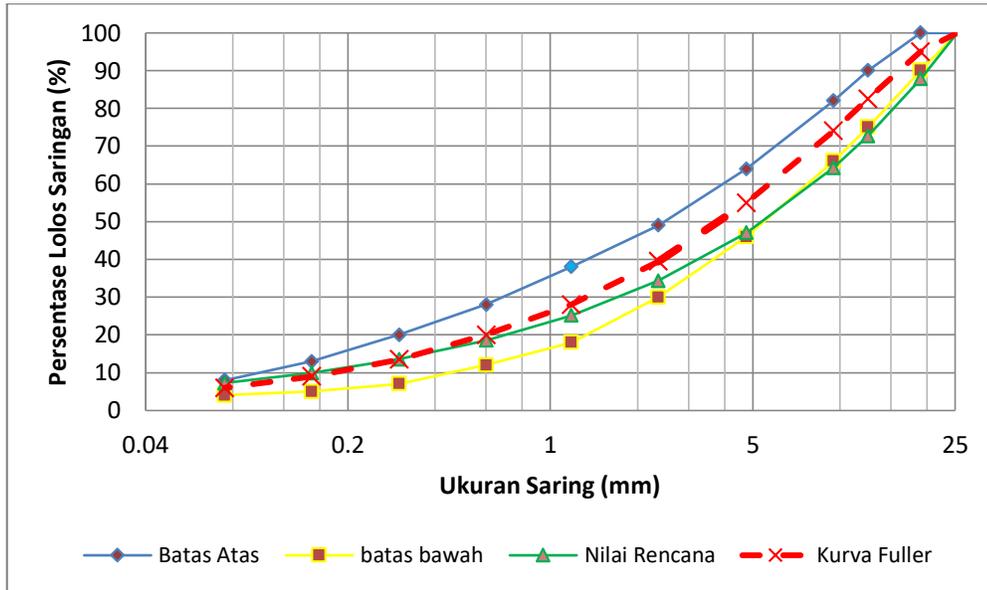
Tabel 5.9 Presentase Lolos Gradasi Campuran

Ukuran Ayakan		Batas Bawah	Batas Atas	Persentase Digunakan
1"	25.4	100	100	0
3/4"	19	90	100	5
1/2"	12.5	75	90	12.5
3/8"	9.5	66	82	8.5
No. 4	4.75	46	64	19
No. 8	2.36	30	49	15.5
No. 16	1.18	18	38	11.5
No. 30	0.6	12	28	8
No. 50	0.3	7	20	6.5
No. 100	0.15	5	13	4.5
No. 200	0.075	4	8	3
Pan				6

sumber: Hasil Pengujian dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, 2024

Dari hasil pengujian analisis saringan menunjukkan perhitungan dari setiap komposisi pada saringan bahwa masing-masing agregat memenuhi kelayakan untuk menentukan asil proporsi campuran yang baik berguna untuk proporsi pada setiap sampel nya yang sesuai untuk jenis lapisan Laston.

Gambar 5.20 Grafik Gradasi Campuran Aspal Lapis AC-BC



Sumber: Analisis Penulis, 2023

5.2.2 Perkiraan Awal Kadar Aspal

Tabel 5.10 Pembagian Butir Agregat Kasar dan Agregat Halus

Ukuran Ayakan		Batas Bawah	Batas Atas	Persentase Digunakan	PB
1"	25.4	100	100	0	CA=60.5
3/4"	19	90	100	5	
1/2"	12.5	75	90	12.5	
3/8"	9.5	66	82	8.5	
No. 4	4.75	46	64	19	
No. 8	2.36	30	49	15.5	
No. 16	1.18	18	38	11.5	FA=33.5%
No. 30	0.6	12	28	8	
No. 50	0.3	7	20	6.5	
No. 100	0.15	5	13	4.5	
No. 200	0.075	4	8	3	FF=6%
Pan				6	

Sumber: Analisis Penulis, 2024

Kadar aspal ditentukan dengan cara menghitung nilai Pb

$$Pb = 0,035 (CA) + 0,045 (FA) + 0,18 (FF) + \text{Konstanta} \quad (5.9)$$

Keterangan:

Pb = Kadar Aspal Perkiraan

CA = Agregat kasar tertahan saringan no.8

FA = Agregat lolos saringan no.8 tertahan saringan no.200

FF = Agregat halus lolos saringan no.200

Dalam penelitian ini digunakan nilai konstanta 1.

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K$$

$$Pb = 0,035 (60,5) + 0,045 (33,5) + 0,18 (6) + 0,5$$

$$Pb = 5,205\% = 5\%$$

Tabel 5.11 Perkiraan Nilai Kadar Aspal

Pb-1	Pb-0,5	Pb	Pb+0,5	Pb+1
4%	4,5%	5%	5,5%	6%

Sumber: Analisis Penulis, 2024

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka untuk mendapatkan kadar aspal optimum, kadar aspal divariasikan menjadi 5 variasi kadar aspal sebagai berikut:

Tabel 5.12 Perkiraan Nilai Kadar Aspal

Ukuran Ayakan		Batas Bawah	Batas Atas	Persentase Digunakan	PB
1"	25.4	100	100	0	CA= 60.5
3/4"	19	90	100	5	
1/2"	12.5	75	90	12.5	
3/8"	9.5	66	82	8.5	
No. 4	4.75	46	64	19	
No. 8	2.36	30	49	15.5	FA= 33.5%
No. 16	1.18	18	38	11.5	
No. 30	0.6	12	28	8	
No. 50	0.3	7	20	6.5	
No. 100	0.15	5	13	4.5	
No. 200	0.075	4	8	3	FF=6%
Pan				6	

Sumber: Data Penulis, 2024

5.2.3 Kebutuhan Berat Agregat

Contoh perhitungan untuk kadar aspal 5% dengan

$$\begin{aligned} \text{Berat Total} &= 1200 \text{ gr} \\ \text{Berat Aspal} &= \text{Kadar Aspal} \times \text{Berat total} \end{aligned} \quad (5.10)$$

$$\begin{aligned} &= 5 \% \times 1200 \\ &= 60 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Total Agregat} &= \text{Berat total} - \text{Berat aspal} \\ &= 1200 - 60 \end{aligned} \quad (5.11)$$

$$= 1140 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Split 1-2} &= \text{Berat agregat} \times \% \text{ berat} \\ &= 1140 \times 60,5 \% \end{aligned} \quad (5.12)$$

$$= 689,7 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Screening} &= \text{Berat agregat} \times \% \text{ berat} \\ &= 1140 \times 33,5 \% \end{aligned} \quad (5.13)$$

$$= 381,9 \text{ gr}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Abu batu} &= \text{Berat Agregat} \times \% \text{ berat} \\ &= 1140 \times 6 \% \end{aligned} \quad (5.14)$$

$$= 68 \text{ gr}$$

Tabel 5.13 Perhitungan Agregat Untuk Campuran kebutuhan benda uji .

Nomor/ Ukuran Saringan		Spesifikasi Gradasi Laston (AC-BC)		Kurva Fuller	Nilai Tengah Gradasi (Gradasi Rencana)	Persentase Tertahan Gabungan	Persentase Tertahan		BJ Apparent		BJ Bulk	
inch	mm	(%)		(%)	(%)	(%)	75%	25%	BJ RAP	BJ Agregat	BJ RAP	BJ Agregat
1"	25.4	100	-	100	100.0	0.0	0.0	0.0				
3/4"	19	90	-	100	87.8	5.0	3.8	1.3	2.799	2.679	2.614	2.503
1/2"	12.5	75	-	90	72.7	12.5	9.4	3.1	2.799	2.679	2.614	2.503
3/8"	9.52	66	-	82	64.3	8.5	6.4	2.1	2.799	2.679	2.614	2.503
No. 4	4.76	46	-	64	47.1	55.0	19.0	4.8	2.799	2.679	2.614	2.503
No. 8	2.36	30	-	49	34.3	39.5	15.5	11.6	2.852	2.730	2.646	2.548
No. 16	1.18	18	-	38	25.1	28.0	11.5	8.6	2.852	2.730	2.646	2.548
No. 30	0.6	12	-	28	18.5	20.0	8.0	6.0	2.852	2.730	2.646	2.548
No. 50	0.3	7	-	20	13.6	13.5	6.5	4.9	2.852	2.730	2.646	2.548
No. 100	0.15	5	-	13	9.9	9.0	4.5	3.4	2.852	2.730	2.646	2.548
No. 200	0.075	4	-	8	7.3	6.0	3.0	2.3	2.852	2.730	2.646	2.548
PAN						6.0	4.5	1.5	2.852	2.730	2.646	2.548
Total Berat Agregat (gr)						100.0	75.0	25.0				
Berat Aspal Total (gr)												
Persen Berat Aspal Terhadap Agregat (%)												
Berat Sampel (gr)												

Agregat RAP	Bitumen	RAP	Bitumen Baru	Agregat Baru	Total
4.0%					
14.400	0.795	15.195		43.2	90.50
36.000	1.988	37.988		108.0	145.99
24.480	1.352	25.832		73.4	99.27
54.720	3.021	57.741		164.2	221.90
44.640	2.465	47.105		133.9	181.02
33.120	1.829	34.949		99.4	134.31
23.040	1.272	24.312		69.1	93.43
18.720	1.034	19.754		56.2	75.91
12.960	0.716	13.676		38.9	52.56
8.640	0.477	9.117		25.9	35.04
17.280	0.954	18.234		51.8	70.07
288.0	15.9	303.90	32.10	864.00	1200.00
48.00					
4.00					
1200					

Material	Persentase		Berat	
Aspal	Aspal	2.68%	32.1	BP 23%
	Aspal RAP 5.3%	1.33%	15.9	
Agregat	Agregat RAP 25%	24%	288	
	Agregat Baru 75%	72%	864	
total = 1200		100.00%	1200	3.657

Sumber: Analisis Penulis, 2024

5.2.4 Pembuatan Benda Uji Marshall

Setelah mengetahui komposisi dan kadar aspal rencana, selanjutnya pembuatan benda uji laston AC-BC untuk menentukan kada aspal optimum campuran. Pada penelitian ini benda uji yang dibuat sebanyak 45 sampel untuk setiap kadar variasi. Dan 9 sampel untuk setiap kadar variasi setelah didapat kadar aspal optimum (KAO) dari setiap kadar variasi yaitu 0%, 25%, dan 50%.

Pembuatan benda uji mengikuti standar SNI 06-2489-1991 (Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat *Marshall*). Pemadatan dilakukan penumbukan sebanyak 2 x 75 kali untuk tipe lalu lintas tinggi, dengan menggunakan alat *Marshall Compaction Hammer* untuk lalu lintas sesuai yang disyaratkan Bina Marga Untuk Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC).

Metode pencampuran yang digunakan adalah metode pada umumnya yaitu metode kering yakni mencampurkan aspal panas dan bahan-bahan lain seperti agregat kasar/split screen, RAP (*reclaimed asphalt pavement*) dan *filler*.

a. Pembuatan Benda Uji Campuran Beraspal

- 1) Menghitung perkiraan awal kadar aspal (Pb) sebagai berikut :

Pb = Menghitung perkiraan awal kadar aspal (Pb) sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta} \quad (5.15)$$

Keterangan :

Pb : Kadar aspal tengah (ideal), persen terhadap berat campuran

CA : Persen agregat tertahan saringan No.8

FA : Persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200

FF : Persen agregat minimal 75% lolos No.200

K : Konstanta Nilai konstanta kira-kira 0,5 sampai 1,0 untuk laston dan 2,0 sampai 3,0 untuk laston. Untuk jenis campuran lain gunakan nilai 1,0 sampai 2,5.

- 2) Setelah didapat nilai kadar aspal, selanjutnya berat jenis maksimum dihitung dengan mengambil data dari percobaan berat jenis agregat halus dan agregat kasar.
- 3) Kemudian melanjutkan mengesktrasi aspal daur ulang RAP (*reclaimed asphalt pavement*) dimaksudkan untuk pemisahan aspal dan agregat bekas, yang nantinya akan menjadi campuran untuk benda uji, yang tentunya dilakukan pengujian terhadap aspal dan agregat bekas tersebut. adapun langkah langkah pelaksanaan untuk ekstrasi aspal daur ulang , sebagai berikut:
 - h) Menimbang sampel dan saringan ekstrasi sebelum melakukan ekstrasi aspal.

- i) Meletakkan mesin *Centrifuge Extractor* pada lantai dasar yang keras.
 - j) Melepaskan pengunci *Centrifuge Extractor* lalu memasukan sampel dan bahan pelarut kemudian memasang saringan ekstrasi dan memasang penutup alat tersebut. Serta menguncinya.
 - k) Menyalakan mesin *Centrifuge Extractor* dan mengulanginya 3-4 kali hingga bersih atau jenuh.
 - l) Pada proses ke 4, Pelarut yang terakhir keluarkan yang sudah bersih atau jenuh ditadah di gelas ukur untuk digunakan pada sampel berikutnya.
 - m) Setelah selesai lalu, mengeluarkan sampe hingga pelarutnya habis.
 - n) Setelah itu diamkan sampai dingin, lalu ditimbang beserta wadahnya.
 - o) Mengulangi prosesdur tersebut untuk sampel atau RAP (*reclaimed asphalt pavement*) berikutnya.
- 4) Jika semua data telah didapatkan, yang dilakukan berikutnya adalah megnhitung berat sampel, berat aspal dan berat agregat berdasarkan persentase tertahan.
 - 5) Mencampurkan agregat dengan aspal pada suhu dibawah 150 C
 - 6) Melakukan pemadatan terhadap sampel sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah) dengan alat penumbuk.
 - 7) Mendingamkan benda uji terlebih dahulu agar mengeras sebelum mengeluarkannya dari cetakan, dan kemudian mendingkannya kurang lebih 24 jam.
 - 8) Mengukur ketebalan, menimbang, dan kemudian merendam benda uji dalam air biasa pada suhu normal selama 24 jam/
 - 9) Menimbang kembali benda uji untuk mendapatkan berat jenuh (SSD)
 - 10) Sebelum menguij benda uji dengan alat *Marshall*, merendam benda uji terlebih dahulu dalam waterbath selama 30 menit.
- b. Proses Pencampuran Benda Uji
- 1) Menyiapkan bahan untuk setiap benda uji diperlukan yaitu campuran beraspal sebanyak ± 1200 gr.

- 2) Memanaskan panci pencampur beserta agregat kasar/split, screening, RAP (*reclaimed asphalt pavement*), dan *filler* diaduk sampai suhu 165 ° C. Sementara itu aspal juga dipanaskan secara terpisah pada suhu 150 ° C dalam panci aspal,
- 3) Dalam memanaskan aspal hal yang perlu diperhatikan adalah adukan yang konsisten, hal ini dimaksudkan untuk menghindari pengumpulan dengan kana lain campuran tidak menjadi homogen.
- 4) Setelah pemanasan campuran mencapai suhu 165 ° C lalu meletakkannya pada timbangan dalam keadaan panas, setelah itu tuangkan aspal yang telah dipanasi pada suhu 150° C sebanyak kadar aspal yang dibutuhkan.
- 5) Kemudian campuran tersebut diaduk dengan cepat sampai seluruh permukaan agregat terselimuti aspal secara merata. Suhu selama pengadukan, campuran diusahakan tetap dipertahankan 155° C, dimana hal ini dikontrol dengan termometer.
- 6) Melakukan pemadatan terhadap sampel sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah) dengan menggunakan alat penumbuk.
- 7) Mendinginkan benda uji terlebih dahulu agar mengeras sebelum mengeluarkannya dari cetakan, dan kemudian mendinginkannya kurang lebih 24 jam.
- 8) Mengukur ketebalan, menimbang, dan kemudian merendam benda uji dalam air biasa pada suhu normal selama 24 jam,
- 9) Menimbang kembali benda uji untuk mendapatkan berat jenuh (SSD).

Sebelum menguji benda uji dengan alat *Marshall*, merendam benda uji terlebih dahulu dalam waterbath selama 30 menit.

Gambar 5.21 Pembuatan Benda uji



Sumber: Analisis Penulis, 2024

5.2.5 Perhitungan Sifat Volumetrik Aspal

Contoh untuk kadar aspal 6% dan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% yang di rendam dengan air tawar selama 24 jam. Berikut merupakan hasil rekapitulasi berat aspal betn dapat dilihat pada **Tabel 5.14**

Tabel 5.14 Data Berat Aspal Beton padat

No	Jenis Agregat	Berat jenis		Komposisi Campuran, % Terhadap Berat Total Benda Uji, P
		Bulk	Apparent	
1	Agregat Kasar	2.503	2.679	45
2	Agregat Halus	2.548	2.730	55
3	Agregat Gabungan	2.528	2.707	94
4	Kadar Aspal	1.034		6

Sumber: Data Penulis, 2024

Analisa perhitungan marshall dengan benda uji aspal lapis antara dengan kadar aspal 6%.

Diketahui :

Kadar Aspal = 6 %

Persentase Agregat Kasar = 45 %

Persentase Agregat Halus	= 55 %
Bj Bulk Agregat Kasar	= 2,503 gr/ml
Bj Bulk Agregat Halus	= 2,548 gr/m
Bj Apparent Agregat Kasar	= 2.679 gr/ml
Bj Apparent Agregat Halus	= 2.730 gr/ml
Bj Bulk Gabungan	= 2,528 gr/ml
Bj Apparent Gabungan	= 2,707 gr/ml
Bj Bulk Aspal	= 1,052 gr/ml
Berat Benda Uji Kering	= 1173 gram
Berat Benda Uji SSD	= 1179 gram
Berat Benda Uji Dalam Air	= 667 gram

i. Menentukan Berat jenis Efektif Agregat (Gse)

$$Gse = \frac{Gsb + Gsa}{2} \quad (5.16)$$

$$Gse = \frac{2,528 + 2,707}{2} = 2,617 \text{ gr/ml}$$

j. Menghitung Isi Benda Uji

$$\begin{aligned} \text{Isi Benda Uji} &= \text{Berat Benda Uji SSD} - \text{Berat Benda Uji Dalam Air} \quad (5.17) \\ &= 1179 - 667 = 512 \text{ t/m}^3 \end{aligned}$$

k. Berat jenis Campuran Maksimum

$$\begin{aligned} Gmm &= \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{Gse} + \frac{\% \text{ aspal}}{Gb}} \quad (5.18) \\ &= \frac{100}{\frac{94}{2,617} + \frac{6}{1,034}} = 2,40 \text{ gr/ml} \end{aligned}$$

l. Persentase pori antar butir campuran agregat

$$\text{VMA} = 100 - \left(\frac{G_{mb} \times P_b}{G_{sb}} \right) \quad (5.19)$$

$$= 100 - \left(\frac{2,29 \times 6}{2,528} \right) = 14,81 \%$$

m. Persentase pori benda uji

$$\text{VIM} = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \quad (5.20)$$

$$= 100 \times \frac{2,40 - 2,29}{2,40}$$

$$= 4,43 \%$$

n. Stabilitas

$$\text{Stabilitas} = \text{Pembacaan Dial} \times \text{Angka Korelasi} \times \text{Kalibrasi Alat} \quad (5.21)$$

$$= 104 \times 1 \times 10,46$$

$$= 1087,84 \text{ kg}$$

o. Marshall Quotient

$$\text{MQ} = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} = \frac{1087,84}{2,39} \quad (5.22)$$

$$= 455,16 \text{ kg/mm}$$

Dari hasil perhitungan diatas bias disimpulkan setiap nilai pada pengujian memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga tentang batas-batas minimal dalam pengujian aspal.

5.3 Pengujian Campuran Aspal Beton

5.3.1 Hasil Pengujian *Marshall*

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall (kadar normal 0%) untuk mencari kadar aspal optimum yang akan digunakan dapat dilihat pada **Tabel 5.15**

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall*

Karakteristik Marshall	Kadar Aspal	RAP			Spesifikasi
		0	25	50	
VIM	4	9.61	9.48	9.42	3 % - 5 %
	4.5	8.34	8.24	8.16	
	5	7.13	7.04	6.43	
	5.5	4.96	4.94	4.66	
	6	5.10	3.85	3.78	
VMA	4	15.33	15.26	15.25	Min 14 %
	4.5	15.21	15.17	15.16	
	5	15.14	15.13	14.64	
	5.5	14.22	14.29	14.11	
	6	15.40	14.37	14.41	
VFA	4	37.35	37.88	38.26	Min 65 %
	4.5	45.14	45.70	46.16	
	5	52.92	53.48	56.11	
	5.5	65.16	65.40	66.99	
	6	66.90	73.26	73.75	
Stabilitas	4	1108.76	1059.95	1094.81	Min 800 kg
	4.5	1089.58	1047.74	1065.18	
	5	1073.89	1039.03	1040.77	
	5.5	1052.97	991.96	1011.13	
	6	1047.74	983.24	990.21	
Flow	4	2.20	2.22	2.25	2 mm - 4 mm
	4.5	2.24	2.26	2.30	
	5	2.25	2.31	2.34	
	5.5	2.28	2.33	2.39	
	6	2.32	2.37	2.42	
MQ	4	504.56	476.93	487.29	Min 250 kg/mm
	4.5	488.04	464.25	462.50	
	5	477.87	449.22	444.84	
	5.5	461.38	425.74	422.53	
	6	451.57	414.50	408.79	

Sumber: Data Penulis, 2024

Berdasarkan **Tabel 5.15** hasil rekapitulasi pengujian *Marshall* diatas campuran aspal dan variasi RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) di dapatkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 4% sebesar 1108,6. Nilai Stabilitas mengalami kenaikan dan penurunan dengan adanya penambahan kadar aspal dan campuran RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) mengalami penurunan, hal ini dikarenakan pada kadar aspal 5.5% sudah mencapai nilai optimum. Pada nilai stabilitas secara keseluruhan memenuhi spesifikasi untuk campuran yaitu minimal 800kg. Untuk nilai *flow* disetiap variasi kadar aspal mengalami kenaikan dan untuk nilai tertinggi pada kadar aspal 6%. Pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sendiri mengalami kenaikan dari variasi 0%, 25% dan 50% semakin tinggi kadar variasi RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) semakin tinggi pula nilai *flow*nya, namun nilai *flow* seluruhnya memenuhi spesifikasi umum. Untuk nilai VIM menunjukkan bahwa penambahan kadar aspal pada campuran akan menurunkan nilai VIM. Pada setiap variasi RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) yang memenuhi spesifikasi yaitu kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% dengan kadar aspal 5,5% , kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 25% dan 50% dengan kadar aspal 5,5% dan 6%. Untuk VMA menunjukkan bahwa nilai VMA mengalami penurunan sampai variasi 5,5 kadar aspal dan mengalami kenaikan di variasi kadar aspal 6%, secara keseluruhan hasil yang didapat menunjukkan bahwa VMA memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu minimal 14%.

Gambar 5.22 Pengujian Marshall Test



Sumber: Analisis Penulis, 2024

5.3.2 Karakteristik Campuran Aspal Beton

a. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap VMA (*Void in Mineral Agregates*)
 volume rongga udara dalam agregat campuran (VMA) merupakan banyaknya rongga diantara butir-butir agregat di dalam campuran aspal yang dinyatakan dalam persentase terhadap volume campuran aspal.

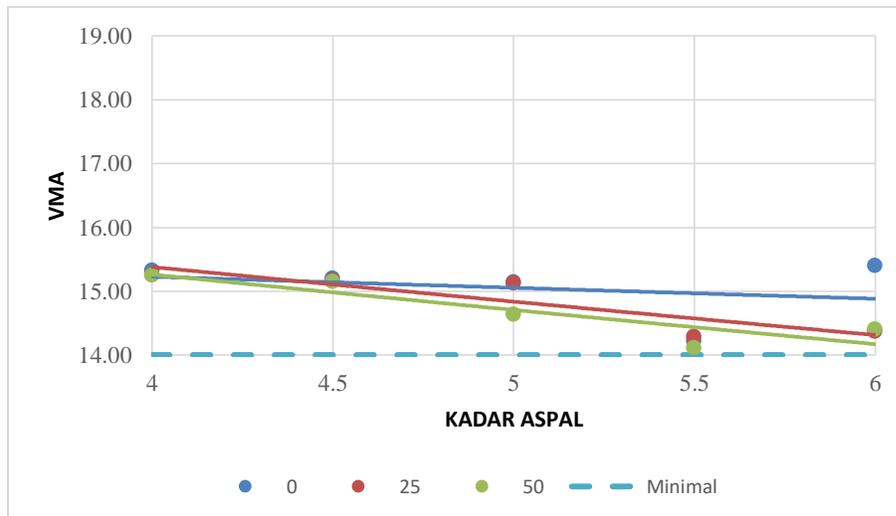
Besarnya rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran dapat mengalami masalah durabilitas, sedangkan jika VMA terlalu besar maka campuran dapat mengalami masalah stabilitas. Nilai VMA berpengaruh pada sifat kedap air terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran.

Tabel 5.16 Data Hasil Pengujian VMA

Kadar Aspal	RAP			Spesifikasi
	0	25	50	
4	15.33	15.26	15.25	Min 14 %
4.5	15.21	15.17	15.16	
5	15.14	15.13	14.64	
5.5	14.22	14.29	14.11	
6	15.40	14.37	14.41	

Sumber: Data Penulis, 2024

Gambar 5.23 Grafik Hubungan Nilai VMA dan Kadar Aspal



Sumber: Data Penulis, 2024

Pada gambar diatas pengaruh penambahan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) terhadap nilai VMA pada variasi kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) diatas bahwa dengan adanya penambahan kadar aspal kedalam campuran cenderung akan menurunkan nilai VMA namun penurunan nilai VMA masih dalam batas yang telah di syaratkan. Tinggi nya nilai VMA berada di variasi 0% di karenakan variasi tersebut lebih kaku dan tidak menutupi semua rongga agregat, dan untuk nilai VMA terendah berada di variasi 50%, hal ini dimungkinkan karena pada campuran dengan bahan RAP, aspal lebih lunak dan mampu mengisi pori-pori agregat dengan baik, seiring bertambah nya kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) maka semakin banyak bahan peremaja atau bahan pengikat untuk mengisi pori-pori pada agregat. Secara keseluruhan hasil yang didapat menunjukan bahwa VMA memenuhi persyaratan yang disyaratkan yaitu minimal 14% dalam persyaratan Spesifikasi Umum Divisi 6 Bina Marga tahun 2018 Revisi 2.

b. Analisis pengaruh kadar aspal terhadap VIM (*Void In Mixture*)

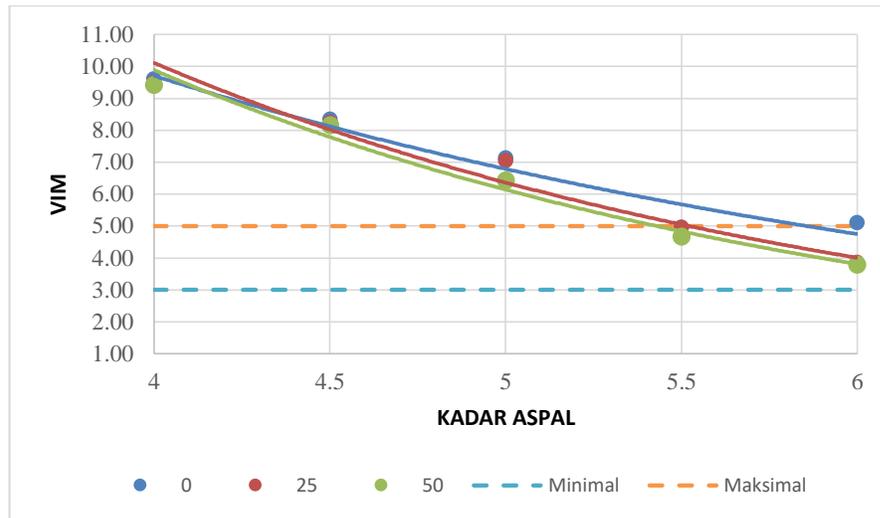
VIM adalah rongga udara dalam campuran (VIM) dalam campuran perkerasan aspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang menyelimuti aspal. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butiran-butiran agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperature. VIM yang terlalu besar bisa mengakibatkan aspal cepat penuaan dan menurunkan sifat durabilitas aspal.

Tabel 5.17 Data Hasil Pengujian VIM

Kadar Aspal	RAP			Spesifikasi
	0	25	50	
4	9.61	9.48	9.42	3 % - 5 %
4.5	8.34	8.24	8.16	
5	7.13	7.04	6.43	
5.5	4.96	4.94	4.66	
6	5.10	3.85	3.78	

Sumber: Data Penulis, 2024

Gambar 5.24 Grafik Hubungan Nilai VIM dan Kadar Aspal



Sumber: Data Penulis, 2024

Pada grafik memperlihatkan bahwa pengaruh penambahan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) terhadap nilai VIM Pada setiap kadar aspal menunjukkan bahwa dengan adanya penambahan kadar aspal kedalam campuran cenderung menurunkan nilai VIM. Semakin besar kadar aspal yang digunakan maka nilai VIM cenderung akan mengalami penurunan. Dari Tabel 5.17 dapat dilihat bahwa variasi kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% menunjukkan nilai yang lebih tinggi, dikarenakan campuran aspal yang lebih kaku dan menyebabkan aspal tidak dapat mengisi penuh rongga dalam campuran. Sedangkan pada semua variasi campuran aspal memiliki elastisitas yang cukup baik. Sehingga semakin besar kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) maka akan semakin baik untuk elastisitas nya.

c. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap VFA

Void Filler with Asphalt (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Semakin tinggi nilai VFA maka semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding*. Nilai

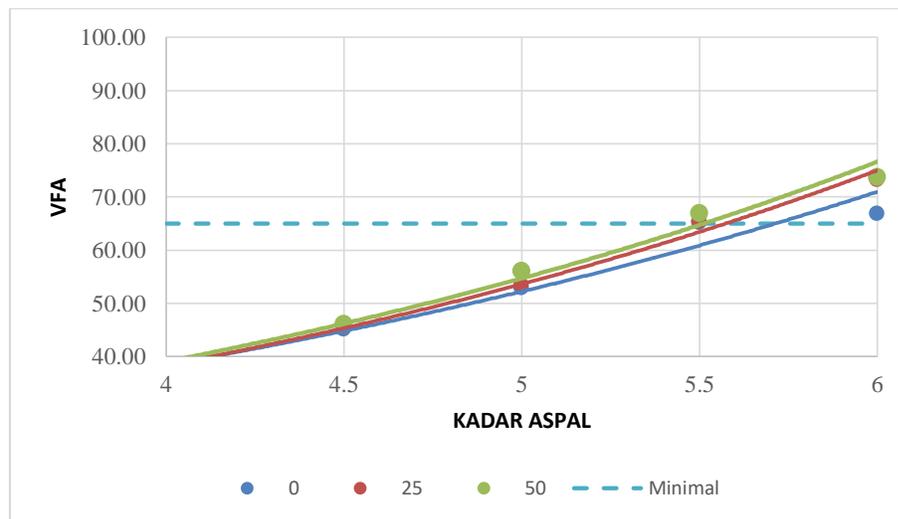
VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan *film* aspal akan menjadi tipis dan mudah retak apabila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya dapat menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 telah disyaratkan bahwa nilai dari VFA minimal yaitu 65%.

Tabel 5.18 Data Hasil Pengujian VFA

Kadar Aspal	RAP			Spesifikasi
	0	25	50	
4	37.35	37.88	38.26	Min 65 %
4.5	45.14	45.70	46.16	
5	52.92	53.48	56.11	
5.5	65.16	65.40	66.99	
6	72.87	73.26	73.75	

Sumber: Analisis Penulis, 2024

Gambar 5.25 Grafik Hubungan Nilai VFA dan Kadar Aspal



Sumber: Analisis Penulis, 2024

Pada Gambar 5.25 menunjukkan bahwa secara keseluruhan nilai VFA pada setiap variasi kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal, hal ini disebabkan karena besarnya kadar aspal yang digunakan dapat mengisi rongga yang terdapat pada campuran. Semakin besar nilai VFA maka campuran akan semakin baik, karena semakin banyak

rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi.

Nilai VFA tertinggi terdapat pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 50% dengan kadar aspal 6% yaitu sebesar 73,75. Dari hasil pengujian campuran dengan menggunakan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) secara umum nilai VFA lebih tinggi, dimana kadar aspal lebih tinggi yang mengindikasikan bahwa campuran yang menggunakan bahan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) menyebabkan aspal lebih mampu mengisi rongga agregat dan memiliki selimut aspal yang lebih tebal.

Dari Tabel 5.18 dapat dilihat bahwa semua variasi kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) telah memenuhi persyaratan kecuali pada kadar aspal 4%, 4,5% dan 5,0%.

d. Pengaruh kadar aspal terhadap Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan yang menerima beban sampai terjadi *flow* yang dinyatakan dalam satuan kilogram. Stabilitas tergantung dari gesekan antar agregat dan kohesi. Gesekan agregat tergantung dari testur permukaan agregat, bentuk partikel, kepadatan campuran dan tebal lapisan aspal itu sendiri (Surkiman,1999).

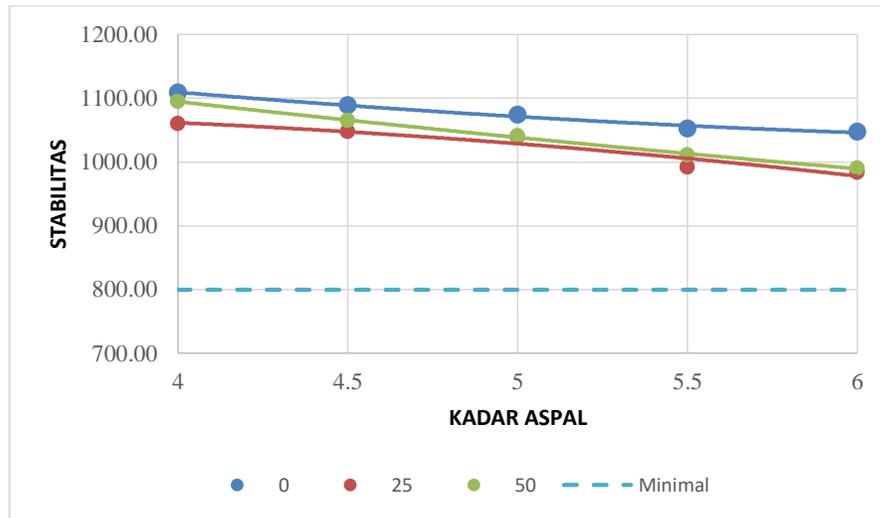
Pengujian stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban tanpa mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) secara berlebihan. Dalam penentuan nilai stabilitas dapat ditentukan dengan angka kalibrasi pada alat Stability Marshall Tester dikali angka korelasi dan pembacaan dial.

Tabel 5.19 Data Hasil Pengujian Stabilitas

Kadar Aspal	RAP			Spesifikasi
	0	25	50	
4	1108.76	1059.95	1094.81	Min 800 kg
4.5	1089.58	1047.74	1065.18	
5	1073.89	1039.03	1040.77	
5.5	1052.97	991.96	1011.13	
6	1047.74	983.24	990.21	

Sumber: Data Penulis, 2024

Gambar 5.26 Hubungan Nilai Stabilitas dan Kadar Aspal



Sumber: Data Penulis, 2024

Pada **gambar 5.26** menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai terhadap stabilitas mengalami naik turun. Hal ini disebabkan karena campuran mengalami kegemukan atau bleeding, dimana tebal selimut aspal menjadi berlebihan yang dapat mengurangi sifat saling mengunci atau *interlocking* antar agregat. Nilai stabilitas tertinggi terdapat pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% dengan kadar aspal 4% yaitu sebesar 1108,76 kg. Pada variasi kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) jika dibandingkan dengan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 25% dan 50% mengalami penurunan lalu ada kenaikan seiring bertambahnya variasi kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*). Penambahan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) terhadap nilai stabilitas cenderung mengalami kenaikan setiap penambahan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), hal ini terjadi karena semakin ditambah kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) maka akan semakin tinggi kadar bahan peremaja yang digunakan, memungkinkan aspal dalam campuran AC-BC menjadi lebih lunak sehingga kekuatan campuran untuk memikul beban menjadi berkurang.

e. Pengaruh kadar aspal terhadap *Flow*

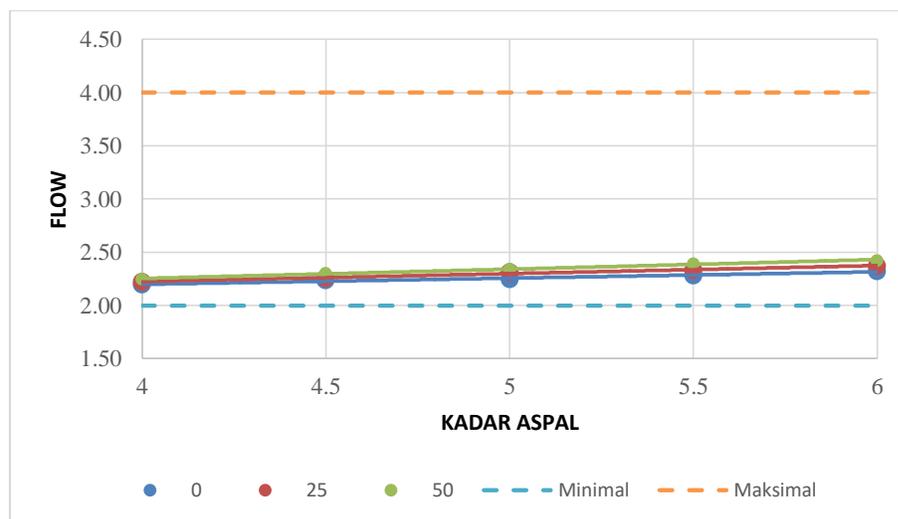
Kelelahan (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban dinyatakan dalam satuan mm. parameter *flow* digunakan untuk mengetahui deformasi (perubahan bentuk) vertikal campuran pada saat dibebani hingga hancur (pada stabilitas maksimum). Nilai *flow* akan meningkat seiring meningkatnya kadar aspal.

Tabel 5.20 Data Hasil Pengujian *Flow*

Kadar Aspal	RAP			Spesifikasi
	0	25	50	
4	2.20	2.22	2.25	2 mm - 4 mm
4.5	2.24	2.26	2.30	
5	2.25	2.31	2.34	
5.5	2.28	2.33	2.39	
6	2.32	2.37	2.42	

Sumber: Data Penulis, 2024

Gambar 5.27 Hubungan Nilai *Flow* dan Kadar Aspal



Sumber: Data Penulis, 2024

Pada **gambar 5.27** menunjukkan bahwa nilai *flow* pada setiap variasi kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) mengalami kenaikan dimana untuk campuran kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% memiliki nilai *flow* paling rendah karena kekakuan aspal yang lebih tinggi, sedangkan untuk campuran yang mengandung RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), campuran aspal dan bahan

peremaja menjadi lunak, sehingga nilai flow lebih tinggi. Hal ini memungkinkan campuran RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% menerima beban yang lebih besar dibandingkan campuran yang mengandung bahan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebelum mengalami deformasi. Seiring dengan penambahan kadar aspal, hal ini menjelaskan bahwa campuran lebih tahan terhadap perubahan bentuk atau deformasi akibat menerima beban dari lalu lintas. Dimana untuk campuran kadar. Dapat dilihat bahwa persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu nilai *flow* harus dalam rentang 2 mm – 4 mm.

f. Pengaruh kadar aspal terhadap MQ (*Marshall Quotient*)

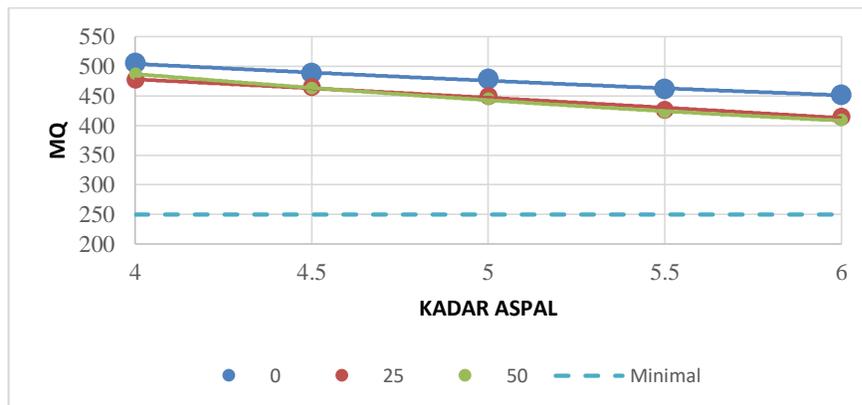
Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelahan yang digunakan untuk pendekatan terhadap kekakuan atau kelenturan campuran. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan nilai kekakuan lapisan perkerasan yang tinggi.

Tabel 5.21 Data Hasil Pengujian MQ

Kadar Aspal	RAP			Spesifikasi
	0	25	50	
4	504.56	476.93	487.29	Min 250 kg/mm
4.5	488.04	464.25	462.50	
5	477.87	449.22	444.84	
5.5	461.38	425.74	422.53	
6	451.57	414.50	408.79	

Sumber: Data Penulis, 2024

Gambar 5.28 Hubungan Nilai MQ dan Kadar Aspal



Sumber: Data Penulis, 2024

Pada gambar 5.28 dapat dilihat nilai MQ campuran RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% menghasilkan nilai MQ yang lebih tinggi, sesuai dengan hasil uji stabilitas dan flow, sedangkan pada variasi campuran dengan bahan RAP, nilai MQ yang dihasilkan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal, dimana seiring dengan bertambahnya kadar aspal, nilai stabilitas yang dihasilkan mengalami penurunan, dan nilai flow mengalami peningkatan. Penambahan kadar aspal variasi kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0%, 25%, dan 50% semuanya telah memenuhi persyaratan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu nilai MQ minimal 250 kg/mm.

g. Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum bertujuan untuk menentukan kadar aspal efektif pada campuran berdasarkan kadar aspal yang memenuhi nilai karakteristik *marhall*.

Gambar 5.29 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum

RAP 0%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4.00	4.5	5	5.5	6	
VIM						3% - 5%
VMA						Min 14%
VFA						Min 65%
Stabilitas						Min 800 kg
Flow						2mm - 4mm

Sumber : Data Penulis, 2024

Gambar 5.30 Grafik penentuan kadar Aspal Optimum

RAP 25%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4.00	4.5	5	5.5	6	
VIM						3% - 5%
VMA						Min 14%
VFA						Min 65%
Stabilitas						Min 800 kg
Flow						2mm - 4mm

Sumber: Data Penulis, 2024

Gambar 5.31 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum

RAP 50%	Kadar Aspal (%)					Spesifikasi
	4.00	4.5	5	5.5	6	
VIM						3% - 5%
VMA						Min 14%
VFA						Min 65%
Stabilitas						Min 800 kg
Flow						2mm - 4mm

Sumber: Data Penulis, 2024

Dari ketiga gambar diatas dapat dilihat pada grafik barchart menunjukkan bahwa nilai yang didapat dari hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar aspal optimum (KAO) yang didapat pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% yaitu pada kadar 5,5%, dan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 25% dan 50% yaitu pada kadar 5,75%

Pemakaian RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai pengganti agregat dan kadar aspal menunjukkan bahwa penambahan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) menyebabkan terjadinya kenaikan nilai KAO. Kadar aspal optimum menjadi persyaratan mutlak dalam setiap campuran lapis perkerasan beraspal. Besaran kadar aspal optimum berbeda-beda, tergantung dari propertis aspal, agregat, gradasi agregat dan jenis campuran itu sendiri.

5.4 Pengujian Campuran Aspal Beton Tahap Kedua

5.4.1 Hasil Pengujian Marshall

Rekapitulasi hasil pengujian Marshall dengan bahan tambah RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dengan kadar 0%, 25% dan 50% menggunakan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel di bawah ini:

Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall dengan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik Marshall	Kadar RAP	Kadar Aspal	Hasil	Spesifikasi
VIM	0	5.5	4.96	3 % - 5 %
	25	5.75	4.40	
	50	5.75	4.22	
VMA	0	5.5	14.22	Min 14 %
	25	5.75	14.33	
	50	5.75	14.26	
VFA	0	5.5	65.16	Min 65 %
	25	5.75	69.32	
	50	5.75	70.40	
Stabilitas	0	5.5	1052.97	Min 800 kg
	25	5.75	986.73	
	50	5.75	1002.42	
Flow	0	5.5	2.28	2 mm - 4 mm
	25	5.75	2.35	
	50	5.75	2.41	
MQ	0	5.5	461.38	Min 250 kg/mm
	25	5.75	419.61	
	50	5.75	416.26	

Sumber: Data Penulis, 2024

Berdasarkan rekapitulasi hasil pengujian *marshall* pada Tabel 5.22 di atas. Nilai VMA tertinggi yaitu 14,33 pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 25% dengan kadar aspal optimum 5,75 dan cenderung mengalami naik turun dari setiap penambahan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), hal ini terjadi karena penggunaan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai bahan pengganti agregat dan aspal.

Nilai VIM tertinggi yaitu 4,96 pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% dengan kadar aspal optimum 5,5 dan menunjukkan bahwa penambahan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) cenderung menurunkan nilai VIM, hal ini terjadi karena kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) mempengaruhi daya serap terhadap aspal yang baik , maka dari itu menjadi factor dari menurunnya nilai VIM pada penelitian RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai bahan tambah *filler*.

Nilai Stabilitas optimum yaitu 1052,97kg pada RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% dengan kadar aspal optimum 5,5%, hal ini karena Pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% lebih kaku, dan setiap penambahan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) akan mengakibatkan penambahan bahan peremaja semakin meningkat, memungkinkan aspal dalam campuran dalam AC-BC menjadi lebih lunak sehingga kekuatan campuran untuk memikul beban menjadi kurang.

Nilai Flow optimum yaitu 2,41 mm pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 50% dengan kadar aspal optimum 5,75%. Dengan penambahan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dan tentu nya bahan peremaja juga lebih banyak, sehingga nilai flow juga lebih tinggi.

Nilai MQ yang didapat mengalami peningkatan hingga nilai optimumnya, setelah itu nilai *Marshall Quotient* (MQ) akan mengalami penurunan, namun seluruhnya memenuhi spesifikasi umum bina marga 2018 Revisi 2.

Tabel 5.23 Kelebihan dan kekurangan pengaruh dari kadar RAP terhadap nilai Kadar Aspal Optimum

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Semakin besar kadar RAP yang di gunakan akan semakin baik terhadap nilai VFA, Stabilitas, dan di karenakan bertambah nya bahan peremaja yang di butuhkan untuk mengisi kekosongan-kekosongan atau pori-pori dengan baik	Semakin besar kadar RAP yang di gunakan akan memungkinkan nilai MQ tersendiri melewati ambang batas, dan akan mempengaruhi nilai fleksibilitas dan durabilitas sesuai dengan kebutuhan beban lalu lintas.
2	Untuk nilai VIM sendiri semakin besar kadar RAP akan semakin baik di karenakan menurunkan nilai VIM itu sendiri. VIM yang terlalu besar bisa mengakibatkan aspal cepat penuaan dan menurunkan sifat durabilitas nya.	Semakin besar kadar RAP yang digunakan akan menurunkan nilai VMA, ketika nilai VMA semakin kecil akan mengakibatkan kepada sifat durabilitas nya

Sumber: Data Penulis, 2024

5.4.2 Hasil Pengujian Stabilitas Marshall Sisa

Rekapitulasi hasil pengujian stabilitas Marshall dengan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai pengganti agregat dan aspal dengan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0%, 25% dan 50% menggunakan kadar aspal optimum dapat dilihat Pada Tabel Dibawah ini :

Tabel 5.24 Rekapitulasi Hasil Pengujian Stabilitas *Marshall* Sisa

Jenis Pengujian	Kadar RAP	Kadar Aspal Optimum	Hasil Pengujian	Minimal 90%
Stabilitas Marshall Sisa (kg)	0	.5.5	1000.32	947.676
	25	5.75	937.39	888.054
	50	5.75	952.30	902.175

Sumber: Data Penulis, 2024

Berdasarkan hasil rekapitulasi stabilitas marshall sisa dapat dilihat pada Tabel 5.23. Stabilitas marshall sisa pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0%, 25% dan 50% memenuhi spesifikasi umum divisi 6 bina marga tahun 2018. Sehingga hal ini dapat disimpulkan bahwa campuran aspal tersebut dapat bertahan terhadap pengaruh cuaca, air, temperatur atau keausan akibat gesekan kendaraan.

5.5 Penentuan Proporsi Ideal yang Memenuhi Semua Karakteri

Penentuan proporsi ideal yang memenuhi semua karakteristik marshall campuran beton aspal untuk penambahan kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) sebagai bahan pengganti agregat dan aspal dimaksudkan untuk menentukan proporsi ideal pencampuran arang efektif dalam campuran. Rekapitulasi hasil analisis penentuan proporsi ideal penambahan serat rami ditunjukkan pada Tabel 5.24.

Tabel 5.25 Hasil Analisis Proporsi Ideal Penambahan Kadar RAP dengan Kadar Aspal Optimum

Kadar RAP	Kadar Aspal Optimum	VIM	VMA	Stabilitas	Flow	MQ	Stabilitas Marshall Sisa
		3% - 5%	Min. 14%	Min. 800 kg	2 mm - 4 mm	Min. 250	
0	5.5	4.96	14.22	1052.97	2.28	461.384	1000.32
25	5.75	4.40	14.33	986.73	2.35	419.61	937.39
50	5.75	4.22	14.26	1002.42	2.41	416.263	952.30

Sumber: Data Penulis, 2024

Tabel 5.26 Hasil Analisis Proporsi Ideal Pengganti kadar RAP dengan Kadar Aspal Optimum Terhadap Nilai Stabilitas

Jenis Pengujian	Kadar RAP (%)	Kadar Aspal Optimum (%)	Hasil Pengujian
Stabilitas (kg)	0	5.5	1052.97
	25	5.75	986.73
	50	5.75	1002.42

Sumber: Data Penulis, 2024

Pada Tabel 5.25 diatas dapat ditentukan proporsi ideal pengganti RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) pada campuran aspal berdasarkan nilai stabilitas tertinggi pada setiap proporsi campuran yang memenuhi semua karakteristik marshall campuran sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6. Nilai stabilitas tertinggi yaitu pada kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) 0% dengan kadar aspal 5.5 dengan nilai stabilitas 1052.97 kg.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada campuran aspal beton lapis antara (AC-BC) dengan bahan pengganti agregat dan aspal RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Berdasarkan hasil penelitian semakin banyak penggunaan bahan pengganti RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) maka akan menurunkan nilai VIM dan VMA, tetapi pada nilai VFA mengalami kenaikan. Bahan pengganti RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dapat meningkatkan nilai stabilitas seiring meningkatnya kadar RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*), tetapi untuk nilai kadar tertinggi berada pada yang tidak menggunakan kadar pengganti RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*).
- b. Campuran dengan bahan pengganti RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) cenderung lebih kecil di dibandingkan tanpa RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) dikarenakan campuran tanpa RAP lebih kaku, sedangkan campuran yang memakai RAP semakin tinggi campuran RAP nya maka hasil yang didapatkan akan semakin meningkat di karenakan kebutuhan untuk bahan peremaja akan semakin besar yang mana memungkinkan aspal dalam campuran AC-BC akan semakin lunak sehingga kekuatan untuk memikul beban akan berkurang.
- c. Dengan hasil penelitian di atas dapat di simpulkan untuk persentase optimum aspal daur ulang pada campuran Asphalt Concrete Base Course (AC-BC) yaitu pada kadar RAP 0%.

6.2 Saran

Setelah melakukan penelitian pembuatan campuran aspal beton lapis antara dengan bahan pengganti RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) maka ada beberapa saran yang didapatkan, yaitu sebagai berikut:

- a. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*).

- b. Pada saat pengujian ekstraksi RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) harus lebih teliti ketika pelaksanaannya karena aspal yang didapat untuk melakukan pembuatan benda uji.
- c. Untuk pembuatan benda uji perlu pengawasan lebih teliti, ketika pada suhu pencampuran dan suhu pemadatan karena dapat mempengaruhi hasil pengujian.
- d. Memberikan pelatihan dan sosialisasi kepada pelaksana proyek jalan tentang teknologi dan manfaat penggunaan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) agar penerapannya dapat maksimal

DAFTAR PUSTAKA

- 2010, A. . (2018). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Ac-Bc. *Siklus, Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 51–58.
- Abdul-Mawjoud, A. A., & Ismaeel, N. A. (2015). Effects of Level of Reclamation on the Properties of Hot Mix Asphalt Concrete. *International Journal of Scientific Research in Knowledge*, 3(6), 162–171. <https://doi.org/10.12983/ijsrk-2015-p0162-0171>
- Ambia, I. Al, Syarwan, S., & AR, S. (2022). Pengaruh Penambahan Styrofoam Terhadap Material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Campuran Asphalt Concrete-Binder Course (AC–BC). *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 5(1), 80.
- Andhika Putra, T., Subagio, B. S., & Hariyadi, E. S. (2021). Performance Analysis of Resilient Modulus and Fatigue Resistance of AC-BC Mixture with Full Extracted Asbuton and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Jurnal Teknik Sipil*, 28(3), 349–358. <https://doi.org/10.5614/jts.2021.28.3.12>
- Diretorate General of Highways. (2020). Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). *Ministry of Public Works and Housing, Oktober*, 1036.
- Edi Yusuf Adiman, Benny Hamdi Rhoma Putra, & Muhammad Rilly Aka Yogi. (2023). Potensi Penggunaan Agregat RAP (Reclaimed Asphalt Pavement) Terhadap Campuran SMA (Stone Matrix Asphalt). *Siklus : Jurnal Teknik Sipil*, 9(1), 43–56. <https://doi.org/10.31849/siklus.v9i1.11810>
- Fitri, S., Saleh, S. M., & Isya, M. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston Ac – Bc. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 737–748. <https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.10034>
- Hariz Akrom, F., Putra, S., & Herianto, D. (2020). *Stabilitas Campuran Aspal Berbahan Dasar Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)*. 8(3), 599–608.
- Jauhari, B., & Doda, N. (2019). Pengaruh gradasi agregat terhadap nilai karakteristik aspal beton (ac-bc). *Gorontalo Journal of Infrastructure and Science Engineering*, 2(1), 27. <https://doi.org/10.32662/gojise.v2i1.524>
- Juharni, R. (2015). ANALISA PENGGUNAAN RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) SEBAGAI BAHAN CAMPURAN ASPAL DINGIN JENIS OGEMs DENGAN MENGGUNAKAN ASPAL EMULSI MODIFIKASI (Studi Kasus Material RAP Jalan Kolonel H . ANALYSIS THE USE OF RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) AS A COLD. *Tesis Rc - 142501*.
- Kusmarini, E. P. (2012). *ANALISIS PENGGUNAAN RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) SEBAGAI BAHAN CAMPURAN BERASPAL PANAS (ASPHALTIC CONCRETE) DENGAN MENGGUNAKAN ASPAL PEN 60 – 70(Studi Kasus Jalan Nasional Gemekan – Jombang dan Jalan Nasional Pandaan – Malang)*. 5–10.

- Machsus, M., Mawardi, A. F., Khoiri, M., Basuki, R., & Akbar, F. H. (2020). Analisa Pengaruh Variasi Temperatur Pemadatan Campuran Laston Lapis Antara (AC-BC) dengan Menggunakan Aspal Modifikasi. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 18(1), 107. <https://doi.org/10.12962/j2579-891x.v18i1.6215>
- Maha, I., Sugeng, B., Affendi, F., & Rahman, H. (2015). Kinerja Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Pengikat (AC-BC) dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Jurnal Teknik Sipil*, 22(1), 57–66.
- Mambela, A., Rachman, R., & Alpius. (2022). Durabilitas Campuran AC-BC Yang Menggunakan Agregat Limbah Beton. *Paulus Civil Engineering Journal*, 4(2), 321–327. <https://doi.org/10.52722/pcej.v4i2.462>
- Masri, Y., C. Siahaya, V. T., & Istia, P. T. (2023). Pengaruh Penambahan Aspal Terhadap Stabilitas Marshall Pada Material Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Di Ruas Jalan Jenderal Sudirman–Rijali Kota Ambon. *Jurnal Indonesia Sosial Teknologi*, 4(5), 543–555. <https://doi.org/10.59141/jist.v4i5.614>
- Muhammad, M., Purwandito, M., & Basrin, D. (2022). Rencana Campuran Aspal AC-BC (Aspal Concrete-Binder Course) Dengan Menggunakan Abu Batu Kapur Sebagai Tambahan Filler. *Jurnal Engineering Development*, 2(1), 8–15.
- Nono. (2015). Pemanfaatan Material Daur Ulang (RAP) Perkerasan Beraspal Untuk Campuran Beraspal Dingin Bergradasi Menerus Dengan Aspal Cair (Utilization of Reclaimed Asphalt Pavement Materials (Rap) for Continuous Graded Cold Mix Using Cut-Back Asphalt). *Pusat Litbang Jalan Dan Jembatan*, 171–183.
- Nono. (2016). *Daur Ulang Perkerasan Beraspal (the Influence of Rejuvenator on Continuous Graded Hot Mixed Asphalt Performance Using Reclaimed Asphalt Pavement)*. 27–42.
- Permadi, M. R., Prastyaningrum, R. H., Setiadji, B. H., & Supriyono. (2015). Pengaruh Penggunaan Material Reclaimed Asphalt Pavement (Rap) Sebagai Material Penyusun Terhadap Karakteristik Campuran Beraspal Baru Ac-Bc (Asphalt Concrete-Binder Course). *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 394–405. <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jkts>
- Seno, A., Sukirman, S., & Zurni, R. (2016). *Studi Pemanfaatan RAP Dan Aspal Elvaloy Pada Campuran Laston AC-BC*. 2(1), 1–12.
- SNI 03-6894. (2002). Metode Pengujian Kadar Aspal dan Campuran Beraspal dengan Cara Sentrifus. *Sentrifus*, 1(Sentrifus), 1.
- Subagyo, G. W. (2020). Kinerja Modulus Resilien Campuran Beraspal Panas Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Yang Mengandung Recycled Concrete Aggregate. *Widyakala: Journal of Pembangunan Jaya University*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.36262/widyakala.v7i1.224>
- Suherman. (2012). Kinerja Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Dari Campuran Lapis Antara (AC-BC) Yang Menggunakan Material Hasil Daur Ulang (RAP) AC Lapis Antara (AC-Binder Course, AC- BC) Dan AC Lapis

Pondasi (AC-Base) Perencanaan Campuran Beton Aspal Lapis. *Sains Teknologi Dan Industri*, 10(1), 51–58.

- Sujiarsono, A., Asih, R., & Soemitro, A. (2013). *OPTIMALISASI PENGGUNAAN RECLAIMED ASPHALT PAVEMENT (RAP) SEBAGAI BAHAN CAMPURAN BERASPAL PANAS (ASPHALTIC CONCRETE) TIPE AC-BASE COURSE (AC- BASE) DENGAN MENGGUNAKAN ASPAL MODIFIKASI ASBUTON (BNA)* (*Studi Kasus Jalan Nasional Pilang – Probolinggo*. November, 1–8. <https://mmt.its.ac.id/publikasi/optimalisasi-penggunaan-reclaimed-asphalt-pavement-rap-sebagai-bahan-campuran-beraspal-panas-asphaltic-concrete-tipe-ac-base-course-ac-base-dengan-menggunakan-aspal-modifikasi-asbuton-bna-stu/>
- Suwarto, F., Setiadji, B. H., & Supriyono, S. (2018). Pengaruh Penambahan Dan Perlakuan Penyiapan Reclaimed Asphalt Pavement (Rap) Terhadap Karakteristik. *Jurnal Proyek Teknik Sipil*, 1(1), 8–14. <https://doi.org/10.14710/potensi.2018.3489>
- Twidi Bethary, R., & Sugeng Subagio, B. (2020). Rheological Characteristics of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Evaluation using Reclamite Rejuvenating Material. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 739(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/739/1/012006>
- Twidi, R., Mahasiswa, B., Doktor, P., Sugeng, B., Staf Pengajar, S., Rahman, H., & Pengajar, S. (2017). *Analisa Campuran Beraspal Lapis Pengikat (Ac-Bc) Dengan Reclaimed Asphalt Pavement (Rap) Dan Agregat Steel Slag*. November, 4–5.
- Valdés, G., Pérez-Jiménez, F., Miró, R., Martínez, A., & Botella, R. (2011). Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Construction and Building Materials*, 25(3), 1289–1297. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.09.016>
- Widayanti, A., Aryani Soemitro, R. A., Eka Putri, J. J., & Suprayitno, H. (2017). Karakteristik Material Pembentuk Reclaimed Asphalt dari Jalan Nasional di Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 1(1), 11–22. <https://doi.org/10.12962/j26151847.v1i1.3759>
- Yandes, A. M., Rismanto, R., Julianto, J., & Jusi, U. (2021). Oli Sisa Sebagai Bahan Peremajaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Pada Lapisan Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Jalan. *Sainstek (e-Journal)*, 9(2), 132–136. <https://doi.org/10.35583/js.v9i2.167>

LAMPIRAN 1

Data Hasil Pengujian Laboratorium

Nis

Jenis Material : Agregat Kasar Alam

Jenis Pengujian : Abrasi (Los Angeles Abration)

Gradasi pemeriksaan			
Saringan		Hasil Pengujian	
Lewat	Tertahan	Berat Sebelum	Berat Sesudah
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	2500	-
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	2500	-
Jumlah Berat		5000	4038

$$\text{Pengujian Abrasi} = \frac{A-B}{A} \times 100\% = \frac{5000-4038}{5000} = 19,24\%$$

Jenis Material : Agregat Kasar RAP

Jenis Material : Abrasi (Los Angeles Abration)

Gradasi pemeriksaan			
Saringan		Hasil Pengujian	
Lewat	Tertahan	Berat Sebelum	Berat Sesudah
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	2500	-
12,5 mm (1/2")	9,5mm (3/8")	2500	-
Jumlah Berat		5000	4045

$$\text{Pengujian Abrasi} \frac{A-B}{A} \times 100\% = \frac{5000-4045}{5000} = 19,1 \%$$

Jenis Material : Agregat Halus Alam

Jenis Pengujian : Berat Jenis Agregat Halus

KETERANGAN	Nilai	Satuan
Berat Benda Uji Permukaan Jenuh (SSD)	500	gram
Berat Benda Uji Oven (Bk)	487,25	gram
Berat Picnometer Diisi Air (25 ⁰ C).(B)	777	gram
Berat Picnometer + Benda Uji (SSD) + Air (25 ⁰ C) (Bt)	1085,7 5	gram
Berat Jenis Bulk $\frac{Bk}{B+SSD-Bt}$	2,55	gram/ml
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $\frac{SSD}{B+SSD-Bt}$	2,61	gram/ml
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>) $\frac{Bk}{B+Bk-Bt}$	2,73	gram/ml
Penyerapan (<i>Absorpsi</i>) $\frac{SSD-Bk}{Bk} \times 100 \%$	2,62	%

Jenis Material : Agregat Halus RAP

Jenis Pengujian : Berat Jenis Agregat Halus

KETERANGAN	Nilai	Satuan
Berat Benda Uji Permukaan Jenuh (SSD)	500	gram
Berat Benda Uji Oven (Bk)	486,75	gram
Berat Picnometer Diisi Air (25 ⁰ C).(B)	778,5	gram
Berat Picnometer + Benda Uji (SSD) + Air (25 ⁰ C) (Bt)	1094,5	gram
Berat Jenis Bulk $\frac{Bk}{B+SSD-Bt}$	2,65	gram/ml
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $\frac{SSD}{B+SSD-Bt}$	2,72	gram/ml
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>) $\frac{Bk}{B+Bk-Bt}$	2,85	gram/ml
Penyerapan (<i>Absorpsi</i>) $\frac{SSD-Bk}{Bk} \times 100 \%$	2,72	%

Jenis Material : Agregat Kasar Alam

Jenis Pengujian : Berat Jenis Agregat Kasar

KETERANGAN	Nilai	Satuan
Berat Benda Uji Permukaan Jenuh (SSD)	4403,5	gram
Berat Benda Uji Oven (Bk)	4519,5	gram
Berat Benda Uji dalam Air (Ba)	2759,5	gram
Berat Jenis Bulk $\frac{BK}{SSD - Ba}$	2,503	gram/ml
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $\frac{SSD}{SSD - Ba}$	2,57	gram/ml
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>) $\frac{Bk}{Bk - Ba}$	2,68	gram/ml
Penyerapan (<i>Absorpsi</i>) $\frac{SSD - Bk}{Bk} \times 100 \%$	2,63	%

Jenis Material : Agregat Kasar RAP

Jenis Pengujian : Berat Jenis Agregat Kasar

KETERANGAN	Nilai	Satuan
Berat Benda Uji Permukaan Jenuh (SSD)	4508,75	gram
Berat Benda Uji Oven (Bk)	4622,5	gram
Berat Benda Uji dalam Air (Ba)	2898	gram
Berat Jenis Bulk $\frac{BK}{SSD-Ba}$	2,61	gram/ml
Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh $\frac{SSD}{SSD-Ba}$	2,68	gram/ml
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>) $\frac{Bk}{Bk-Ba}$	2,8	gram/ml
Penyerapan (<i>Absorpsi</i>) $\frac{SSD-Bk}{Bk} \times 100 \%$	2,5	%

Jenis Material : Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian : Berat Jenis Aspal

	Benda Uji 1		Benda Uji 2	
Massa piknometer + aspal (C)	58.866	gram	55.437	gram
Massa piknometer kosong (A)	38.275	gram	36.224	gram
Massa aspal (C-A)	20.591	gram	19.213	gram
Massa piknometer + air (B)	65.789	gram	61.038	gram
Massa piknometer kosong (A)	38.275	gram	36.224	gram
Massa air (B-A)	27.514	gram	24.814	gram
Massa piknometer + aspal + air (D)	66.466	gram	61.652	gram
Massa piknometer + aspal (C)	58.866	gram	55.437	gram
Massa air (D-C)	7.600	gram	6.215	gram
Massa air (B-A) - (D-C)	19.914	gram	18.599	gram
$\frac{(C-A)}{(B-A) - (D-C)}$	1.034		1.033	
Berat jenis rata-rata	1.034		(25°C)	
Berat isi = berat jenis x WT	1030.404		kg/m ³	

Jenis Material : Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian : Kehilangan Berat Aspal

<p>Benda Uji 1 Kehilangan berat = $\frac{A-B}{A} \times 100$</p> <p>Dengan : A = Berat Sebelum (gr) = 88 gr B = Berat Sesudah (gr) = 87,75 gr</p>	0,28 %
<p>Benda Uji 2 Kehilangan berat = $\frac{A-B}{A} \times 100$</p> <p>Dengan : A = Berat Sebelum (gr) = 88 gr B = Berat Sesudah (gr) = 87,78 gr</p>	0,25 %
<p>Benda Uji 3 Kehilangan berat = $\frac{A-B}{A} \times 100$</p> <p>Dengan : A = Berat Sebelum (gr) = 88 gr B = Berat Sesudah (gr) = 87,92 gr</p>	0,09 %

Jenis Material : Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian : Daktilitas

No	Nama Kegiatan	Uraian	
1	Pembukaan Contoh	Contoh Dipanaskan Mulai Jam = 08.20 Selesai Jam = 08.50	
2	Mendinginkan Contoh	Didiamkan di Suhu Ruang Mulai Jam = 09.50 Selesai Jam = 10,05	
3	Mencapai Suhu Pemeriksaan	Direndam Pada Suhu 25°C Mulai Jam = 10,05 Selesai Jam = 10,20	Pembacaan Suhu Waterbath = 25°C
Daktilitas Pada 25°C, 5cm/Menit		Pembacaan Pengukuran	
Pengamatan I		120 cm	
Pengamatan II		95 cm	
Pengamatan III		112 cm	
Rata-rata		109 cm	

Jenis Material : Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian : Titik Lembek

No	Nama Kegiatan	Uraian
1	Pembukaan Contoh	Contoh Dipanaskan Mulai Jam = 08.00 Selesai Jam = 08.15
2	Mendinginkan Contoh	Didiamkan di Suhu Ruang Mulai Jam = 08.15 Selesai Jam = 08.45
3	Mencapai Suhu Pemeriksaan	Direndam Pada Suhu 25°C Mulai Jam = 08.45 Selesai Jam = 09.00
4	Pemeriksaan Titik Lembek	Dimulai Pada Suhu 25°C Mulai Jam = 09.00 Selesai Jam = 9.45

No	Suhu yang Diamati (°C)	Waktu (detik)	
1	5	-	-
2	10	165	172
3	15	400	366
4	20	630	605
5	25	943	837
6	30	1249	1091
7	35	1543	1322
8	40	1583	1612
9	45	1780	1657
10	50	-	1716

Jenis Material : Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian : Titik Nyala dan Bakar

No	Nama Kegiatan	Uraian
1	Pembukaan Contoh	Contoh Dipanaskan Mulai Jam = 09.00 Selesai Jam = 09.05
2	Pemanasan dari : 56°C dibawah titik nyala	Mulai Jam = 09.05 Selesai Jam = 09.15
3	Dari 56°C sampai 28°C dibawah titik nyala perkiraan	Mulai Jam = 09.15 Selesai Jam = 09.20
4	Dari 28°C sampai titik nyala	Mulai Jam = 09.20 Selesai Jam = 09.47

<u>Pembacaan Temperatur (°C)</u>	
170	315
185	325
200	
215	
230	
245	
265	
270	
275	
280	
285	
290	
300	
305	
307	
309	
311	
313	
<u>Titik Nyala</u>	325°C
<u>Titik Bakar</u>	340°C

Jenis Material : Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian : Viskositas

Pemeriksaan Viskositas		Suhu (°C)	Waktu (detik)
I	Mulai Jam = 08.20 Selesai Jam = 08.30	120	402
II	Mulai Jam = 08.30 Selesai Jam = 08.40	140	163
III	Mulai Jam = 08.40 Selesai Jam = 08.50	160	67
IV	Mulai Jam = 08.50 Selesai Jam = 09.00	180	36

Jenis Material : Aspal Pen 60/70

Jenis Pengujian : Penetrasi Aspal

Penetrasi Pada Suhu 25 °C			
Beban 100 gr selama 5 detik	I	II	III
Pengamatan 1	65	63	63
Pengamatan 2	63	67	70
Pengamatan 3	61	61	68
Pengamatan 4	64	64	66
Pengamatan 5	70	69	61
Pengamatan 6	68	66	64
Rata - Rata	65,2	65	65,3

Jenis Material : RAP

Jenis Pengujian : Ekstrasi Aspal

SAMPEL 1												
Analisis Saringan Hasil Extrasi												total
No.saringan	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	pan	
berat tertahan		45	173.5	288	206	128	76.5	36	88.5	29.6	67.5	1138.6
% tertahan		3.95	15.24	25.29	18.09	11.24	6.72	3.16	7.77	2.60	5.93	100
% lolos		96.05	80.81	55.52	37.42	26.18	19.46	16.30	8.53	5.93	0.00	

Sampel 2												
Analisis Saringan Hasil Extrasi												total
no.saringan	3/4	1/2	3/8	4	8	16	30	50	100	200	pan	
berat tertahan			168.5	323	175.5	154	84	54	95.5	33.5	44	1132
% tertahan			14.89	28.53	15.50	13.60	7.42	4.77	8.44	2.96	3.89	100
% lolos			85.11	56.58	41.08	27.47	20.05	15.28	6.85	3.89	0.00	

TOTAL AGREGAT	1136.3		
TOTAL ASPAL	63.7	g	5.308333 %

LAMPIRAN 2

Hasil Analisis Perhitungan

Jenis Material : Kadar RAP 0%

Jenis Pengujian : Pengujian Marshall

No Sampel	Kadar Aspal (%)	GMM	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	GMB	VIM	VMA	VFA	Stabilitas		Flow	MQ
			Kering	SSD	Dalam Air						Bacaan	Hasil		
1	4	2.47	1162.00	1187.00	664.00	523	2.22	9.92	15.62	36.52	111.00	1161.06	2.25	516.03
2			1163.00	1185.00	664.00	521	2.23	9.49	15.23	37.65	106.00	1108.76	2.20	503.98
3			1167.50	1185.50	663.00	522.5	2.23	9.40	15.14	37.89	101.00	1056.46	2.14	493.67
Rata-Rata			1164.2	1185.8	663.7	522.1666667	2.23	9.61	15.33	37.35	106.00	1108.76	2.20	504.56
1	4.5	2.45	1167.00	1189.50	670.00	519.5	2.25	8.26	15.13	45.40	107.00	1119.22	2.20	508.74
2			1162.00	1186.00	668.00	518	2.24	8.39	15.25	44.98	105.00	1098.30	2.17	506.13
3			1169.00	1185.00	664.00	521	2.24	8.37	15.23	45.05	100.50	1051.23	2.34	449.24
Rata-Rata			1166.0	1186.8	667.3	519.5	2.24	8.34	15.21	45.14	104.17	1089.58	2.24	488.04
1	5	2.43	1169.50	1181.00	663.00	518	2.26	7.14	15.15	52.88	106.00	1108.76	2.28	486.30
2			1170.50	1187.00	669.00	518	2.26	7.06	15.08	53.18	104.00	1087.84	2.25	483.48
3			1161.00	1182.50	668.00	514.5	2.26	7.19	15.20	52.70	98.00	1025.08	2.21	463.84
Rata-Rata			1167.0	1183.5	666.7	516.8333333	2.26	7.13	15.14	52.92	102.67	1073.89	2.25	477.87
1	5.5	2.41	1165.50	1180.00	672.00	508	2.29	4.96	14.23	65.11	105.00	1098.30	2.24	490.31
2			1169.50	1180.50	671.00	509.5	2.30	4.92	14.19	65.33	101.00	1056.46	2.34	451.48
3			1171.00	1178.50	668.00	510.5	2.29	4.98	14.25	65.02	96.00	1004.16	2.27	442.36
Rata-Rata			1168.7	1179.7	670.3	509.3333333	2.29	4.96	14.22	65.16	100.67	1052.97	2.28	461.38
1	6	2.40	1186.00	1179.00	657.00	522	2.27	5.22	15.51	66.34	104.00	1087.84	2.39	455.16
2			1184.00	1179.00	659.00	520	2.28	5.02	15.33	67.27	99.00	1035.54	2.31	448.29
3			1179.00	1184.50	666.50	518	2.28	5.05	15.36	67.10	97.50	1019.85	2.26	451.26
Rata-Rata			1183.0	1180.8	660.8	520	2.28	5.10	15.40	66.90	100.17	1047.74	2.32	451.57

Jenis Material : Kadar RAP 25%

Jenis Pengujian : Pegujian Marshall

No Sampel	Kadar Aspal (%)	GMM	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	GMB	VIM	VMA	VFA	Stabilitas		Flow	MQ
			Kering	SSD	Dalam Air						Bacaan	Hasil		
1	4	2.49	1171.0	1181.0	661.0	520	2.252	9.54	15.32	37.71	101.00	1056.46	2.17	486.85
2			1169.0	1178.0	660.0	518	2.257	9.35	15.14	38.25	106.00	1108.76	2.24	494.98
3			1172.0	1183.0	662.5	520.5	2.252	9.55	15.33	37.68	97.00	1014.62	2.26	448.95
Rata-Rata			1170.7	1180.7	661.2	519.5	2.253	9.48	15.26	37.88	101.33	1059.95	2.22	476.93
1	4.5	2.47	1182.5	1188.0	667.0	521	2.270	8.16	15.10	45.94	95.00	993.70	2.25	441.64
2			1181.0	1187.5	666.0	521.5	2.265	8.37	15.29	45.27	101.50	1061.69	2.24	473.97
3			1180.0	1181.0	661.0	520	2.269	8.18	15.11	45.88	104.00	1087.84	2.28	477.12
Rata-Rata			1181.2	1185.5	664.7	520.8	2.268	8.24	15.17	45.70	100.17	1047.74	2.26	464.25
1	5	2.45	1175.50	1179.50	664.00	515.5	2.280	7.06	15.15	53.39	99.50	1040.77	2.34	444.77
2			1171.50	1177.00	663.00	514	2.279	7.11	15.19	53.22	96.00	1004.16	2.31	434.70
3			1177.00	1180.50	665.00	515.5	2.283	6.94	15.04	53.84	102.50	1072.15	2.29	468.19
Rata-Rata			1174.7	1179.0	664.0	515	2.281	7.04	15.13	53.48	99.33	1039.03	2.31	449.22
1	5.5	2.44	1179.00	1176.00	667.00	509	2.316	4.91	14.26	65.56	96.00	1004.16	2.37	423.70
2			1183.00	1182.00	671.00	511	2.315	4.96	14.31	65.32	95.50	998.93	2.33	428.73
3			1183.00	1180.00	669.00	511	2.315	4.96	14.31	65.32	93.00	972.78	2.29	424.79
Rata-Rata			1181.7	1179.3	669.0	510	2.315	4.94	14.29	65.40	94.83	991.96	2.33	425.74
1	6	2.42	1166.0	1142.5	640.0	502.5	2.320	4.06	14.56	72.13	97.00	1014.62	2.35	431.75
2			1159.0	1139.5	641.0	498.5	2.325	3.87	14.40	73.11	94.00	983.24	2.46	399.69
3			1161.0	1141.0	643.0	498	2.331	3.61	14.16	74.52	91.00	951.86	2.31	412.06
Rata-Rata			1162.0	1141.0	641.3	500	2.326	3.85	14.37	73.26	94.00	983.24	2.37	414.50

Jenis Material : Kadar RAP 50%

Jenis Pengujian : Pengujian Marshall

No Sampel	Kadar Aspal (%)	GMM	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	GMB	VIM	VMA	VFA	Stabilitas		Flow	MQ
			Kering	SSD	Dalam Air						Bacaan	Hasil		
1	4	2.51	1178.5	1181.0	663.0	518	2.28	9.47	15.30	38.12	105.00	1098.30	2.25	488.13
2			1182.5	1179.0	659.0	520	2.27	9.51	15.34	38.00	102.50	1072.15	2.21	485.14
3			1181.0	1184.0	666.0	518	2.28	9.28	15.12	38.65	106.50	1113.99	2.28	488.59
Rata-Rata			1180.7	1181.3	662.7	518.6666667	2.28	9.42	15.25	38.26	104.67	1094.81	2.25	487.29
1	4.5	2.49	1175.0	1162.0	650.0	512	2.29	8.00	15.01	46.70	102.50	1072.15	2.34	458.18
2			1177.0	1165.0	651.0	514	2.29	8.20	15.19	46.02	99.00	1035.54	2.29	452.20
3			1176.0	1162.0	648.0	514	2.29	8.28	15.27	45.77	104.00	1087.84	2.28	477.12
Rata-Rata			1176.0	1163.0	649.7	513.3333333	2.29	8.16	15.16	46.16	101.83	1065.18	2.30	462.50
1	5	2.48	1181.0	1174.0	664.0	510	2.32	6.48	14.69	55.88	98.00	1025.08	2.38	430.71
2			1185.0	1176.0	666.0	510	2.32	6.16	14.40	57.19	103.00	1077.38	2.35	458.46
3			1186.0	1178.0	665.0	513	2.31	6.63	14.83	55.26	97.50	1019.85	2.29	445.35
Rata-Rata			1184.0	1176.0	665.0	511	2.32	6.43	14.64	56.11	99.50	1040.77	2.34	444.84
1	5.5	2.46	1180.5	1168.0	664.0	504	2.34	4.71	14.16	66.72	98.50	1030.31	2.41	427.51
2			1185.0	1172.0	666.0	506	2.34	4.73	14.18	66.65	96.00	1004.16	2.35	427.30
3			1178.0	1163.0	661.0	502	2.35	4.54	14.00	67.61	95.50	998.93	2.42	412.78
Rata-Rata			1181.2	1167.7	663.7	504	2.34	4.66	14.11	66.99	96.67	1011.13	2.39	422.53
1	6	2.44	1182.5	1174.0	669.0	505	2.34	4.05	14.64	72.36	97.00	1014.62	2.38	426.31
2			1184.0	1171.0	668.0	503	2.35	3.54	14.19	75.04	93.00	972.78	2.46	395.44
3			1186.0	1174.0	669.0	505	2.35	3.76	14.39	73.85	94.00	983.24	2.43	404.63
Rata-Rata			1184.2	1173.0	668.7	504.3333333	2.35	3.78	14.41	73.75	94.67	990.21	2.42	408.79

Jenis Material : Kadar Aspal Optimum

Jenis Pengujian : Pengujian Marshall Kondisi KAO

Kadar RAP	Kadar Aspal (%)	GMM	Berat Benda Uji			Isi Benda Uji	GMB	VIM	VMA	VFA	Stabilitas		Flow	MQ
			Kering	SSD	Dalam Air						Bacaan	Hasil		
0	5.5	2.41	1165.5	1180.0	672.0	508	2.29	4.96	14.23	65.11	105.00	1098.30	2.24	490.31
			1169.5	1180.5	671.0	509.5	2.30	4.92	14.19	65.33	101.00	1056.46	2.34	451.48
			1171.0	1178.5	668.0	510.5	2.29	4.98	14.25	65.02	96.00	1004.16	2.27	442.36
Rata-Rata			1168.7	1179.7	670.3	509.3333333	2.29	4.96	14.22	65.16	100.67	1052.97	2.28	461.38
25	5.75	2.43	1172.5	1159.0	653.5	505.5	2.32	4.44	14.37	69.11	96.50	1009.39	2.36	427.71
			1171.0	1161.0	656.0	505	2.32	4.47	14.40	68.97	94.50	988.47	2.40	412.72
			1172.0	1160.5	656.0	504.5	2.32	4.29	14.24	69.87	92.00	962.32	2.30	418.40
Rata-Rata			1171.8	1160.2	655.2	505	2.32	4.40	14.33	69.32	94.33	986.73	2.35	419.61
50	5.75	2.45	1181.5	1171.0	666.5	504.5	2.34	4.38	14.40	69.59	98.00	1025.08	2.40	428.01
			1184.5	1171.5	667.0	504.5	2.35	4.14	14.18	70.84	94.50	988.47	2.41	411.01
			1182.0	1168.5	665.0	503.5	2.35	4.15	14.20	70.77	95.00	993.70	2.43	409.77
Rata-Rata			1182.7	1170.3	666.2	504.1666667	2.35	4.22	14.26	70.40	95.83	1002.42	2.41	416.26

Jenis Material : Kadar Aspal Optimum

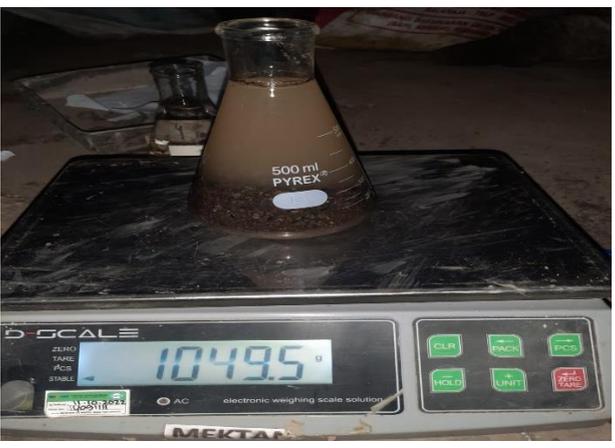
Jenis Pengujian : Marhsall Sisa

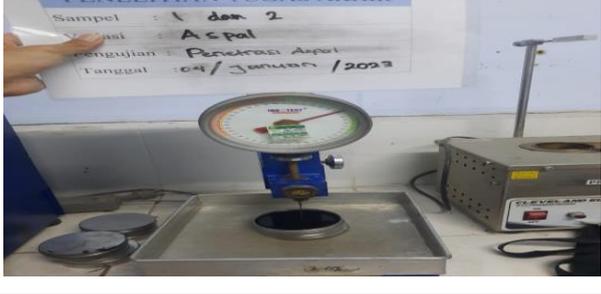
Jenis Pengujian	Kadar RAP	Kadar Aspal Optimum	Hasil Pengujian	Minimal 90%
Stabilitas Marshall Sisa (kg)	0	5.5	1010.85	947.676
	25	5.75	937.39	888.054
	50	5.75	947.28	902.175

LAMPIRAN 3

Dokumentasi

DOKUMENTASI

No	Dokumentasi	Keterangan
1		Agregat AC-BC.
2		Pengujian karakteristik agregat.
3		Pengujian abrasi dengan LAA.
4		Pengujian karakteristik agregat.

5		<p>Penimbangan pada pengujian berat jenis aspal.</p>
6		<p>Pengujian Viskositas Aspal</p>
7		<p>Pengujian penetrasi.</p>
8		<p>Pengujian titik lembek aspal.</p>

9		Pengujian titik bakar dan nyala
10		Pengujian Kehilangan Berat Aspal.
11		Pengujian Ekstraksi Aspal

12		Alat pembuatan benda uji.
13		Proses Masak Campura Aspal
14		Penumbukan Benda Uji
15		Pengujian Marshall.