

TUGAS AKHIR

PENGGUNAAN ASPAL BUTON TIPE B 50/30 SEBAGAI FILLER PADA CAMPURAN AC-WC TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1 pada
Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil.



Disusun Oleh :

ANNISA NUR MADANI

D01 18 901

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SULAWESI BARAT

MAJENE

2024

LEMBAR PENGESAHAN

TUGAS AKHIR

**PENGUNAAN ASPAL BUTON TIPE B 50/30 SEBAGAI FILLER
PADA CAMPURAN AC-WC TERHADAP KARAKTERISTIK
MARSHALL**

Diajukan untuk memenuhi syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) pada Program Strata Satu (S1) Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Barat

Oleh :

Annisa Nur Madani

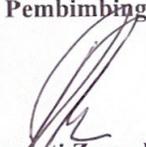
D0118901

Telah Diperiksa dan Disetujui Untuk Syarat Mendapatkan Gelar Sarjana (ST)
Tanggal, 22 Mei 2024

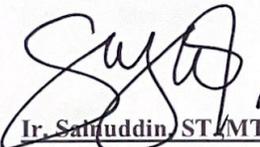
Menyetujui,

Tim Pembimbing

Pembimbing 1


Ir. Nurmaty Zamad, ST., MT
NIP. 19780428 202121 2 007

Pembimbing 2


Ir. Saifuddin, ST./MT.
NIP. 19910527 202203 1 008

Mengetahui,

Koordinator Program Studi


Amalia Nurdin, ST., MT
NIP. 19871212 201903 2 017

Dekan Fakultas Teknik


Dr. Ir. Hafsal Nirwana, ST., MT.
NIP. 19640405 199003 2 002

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanggung jawab di bawah ini:

Nama : Annisa Nur Madani
NIM : D01 18 901
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Judul Skripsi : **“Penggunaan Aspal Buton Tipe B 50/30 sebagai Filler
pada Campuran AC-WC terhadap Karakteristik
Marshall”**

Dengan ini saya menyatakan sesungguhnya bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat keseluruhan tulisan orang lain yang saya ambil dengan cara menyalin dalam bentuk rangkaian kalimat atau simbol yang menunjukkan pendapat dari penulis lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.



Majene, Mei 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Annisa Nur Madani".

Annisa Nur Madani

D01 18 901

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi dapat terselesaikan, dengan judul “**Penggunaan Aspal Buton Tipe B 50/30 sebagai Filler pada Campuran AC-WC terhadap Karakteristik Marshall**”. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang sudah dilakukan dan merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana teknik pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Barat.

Tentunya tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat dan dalam penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan-bantuan pihak lain dalam memberi bantuan dan bimbingan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan tugas akhir. Oleh karena itu dengan segala kerendahan hati, ucapan terima kasih, rasa hormat serta penghargaan yang setinggi-tingginya penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. **Ibu Hijrawati, Bapak Wahyuddin** yang selalu memberikan dukungan dan kepercayaan penuh atas segala hal yang penulis lakukan, saudara yang memotivasi penulis untuk terus berkembang serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. Ibu **Dr. Ir. Hafsah Nirwana, M.T** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Barat.
3. Ibu **Amalia Nurdin, ST, MT** selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Sulawesi Barat
4. Ibu **Ir. Nurmiati Zamad, ST.,MT** selaku Pembimbing I dalam penyusunan skripsi.
5. Bapak **Ir. Sainuddin, ST.,MT** selaku Pembimbing II dalam penyusunan skripsi.
6. Bapak **Ir. Apriansyah, ST.,MT**, bapak **Akbar Indrawan Saudi, ST.,MT** dan ibu **Nur Okviyani, S.Si.,MT** selaku dosen penguji.
7. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen Jurusan Teknik Sipil lainnya yang telah banyak memberikan masukan yang bermanfaat bagi kami.

8. Staf karyawan Fakultas Teknik Universitas Sulawesi Barat yang telah banyak membantu dan memberikan sumbangsih untuk keperluan administratif kami.
9. **Rahmadani, Aulia Ramadhani, Muh.Guzairin** selaku rekan seperjuangan yang senantiasa memberikan bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini.
10. Pihak **Laboratorium Universitas Sulawesi Barat dan PT. Bukit Bahari Indah** yang sudah membantu memfasilitasi kami selama penelitian.
11. Teman - teman mahasiswa jurusan Teknik Sipil yang banyak membantu dalam kelancaran skripsi ini dan yang telah memberikan bantuan dan motivasi dalam penyelesain skripsi ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa pada penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan, oleh sebab itu penulis mohon maaf dan mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak. Semoga penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun rekan-rekan mahasiswa lainnya di masa yang akan datang.

Majene, Mei 2024



Annisa Nur Madani

D0118901

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
SURAT PERNYATAAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR GAMBAR	x
ABSTRAK	xii
ABSTRACT	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Perkerasan Jalan	7
2.2 Lapisan Aspal Beton (<i>Laston</i>)	12
2.3 Aspal	14
2.4 Filler.....	19
2.5 Agregat.....	19
2.6 Aspal Buton.....	24
2.7 Perhitungan Kadar Aspal Rencana	28
2.8 Metode Pengujian Marshall.....	28
2.9 Penelitian Terdahulu.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	41
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	41
3.2 Metode Penelitian.....	42
3.3 Persiapan Alat dan Bahan.....	43
3.4 Sumber Data Penelitian	49

3.5	Teknik Pengumpulan Data	50
3.6	Prosedur Pelaksanaan	50
3.7	Flowchart	58
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		61
4.1	Hasil Pengujian Material	61
4.2	Hasil Pemeriksaan Aspal Pen 60/70	69
4.3	Hasil Pemeriksaan Aspal Buton B50/30	70
4.4	Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) Berdasarkan Campuran Normal ..	71
4.5	Hasil Campuran AC-WC Dengan Filler Aspal Buton B 50/30	85
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....		98
5.1	Kesimpulan	98
5.2	Saran	98
DAFTAR PUSTAKA		100
LAMPIRAN		102

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Syarat Campuran Laston.....	12
Tabel 2.2 Persyaratan Aspal Minyak 60/70	16
Tabel 2.3 Ketentuan Filler	19
Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Kasar	20
Tabel 2.5 Ketentuan Agregat Halus	21
Tabel 2.6 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal	23
Tabel 2.7 Perbandingan dengan Penelitian-Penelitian Terdahulu	34
Tabel 3.1 Waktu Penelitian	42
Tabel 3.2 Jumlah benda uji	51
Tabel 4.1 Hasil Berat Jenis Agregat Kasar (Split 1-2 cm).....	61
Tabel 4.2 Hasil Berat Jenis Agregat Kasar (Split 0,5-1 cm).....	62
Tabel 4.3 Hasil Berat Jenis Agregat Halus (Split 0-0,5 cm).....	62
Tabel 4.4 Analisa Saringan Agregat Kasar 1–2 cm	64
Tabel 4.5 Analisa Saringan Agregat Kasar 0,5-1 cm.....	65
Tabel 4.6 Analisa Saringan Agregat Halus 0-0,5 cm.....	66
Tabel 4.7 Gradasi Kombinasi Agregat.....	67
Tabel 4.8 Rekapitulasi Pemeriksaan Aspal Pen 60/70.....	69
Tabel 4.9 Pemeriksaan Hasil Ekstraksi Aspal Buton B50/30	70
Tabel 4.10 Pemeriksaan Kadar Air Aspal Buton B50/30	70
Tabel 4.11 Perkiraan Awal Kadar Aspal	71
Tabel 4.12 Komposisi Campuran Kadar Aspal 5,02%	72
Tabel 4.13 Komposisi Campuran Kadar Aspal 5,52%	72
Tabel 4.14 Komposisi Campuran Kadar Aspal 6,02%	72
Tabel 4.15 Komposisi Campuran Kadar Aspal 6,52%	73
Tabel 4.16 Komposisi Campuran Kadar Aspal 7,02%	73
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Nilai VIM.....	74
Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Nilai VMA	76
Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Nilai VFB.....	78
Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Nilai Stabilitas.....	80

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Nilai Flow	81
Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Nilai MQ Variasi Filler	83
Tabel 4.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall KAO	84
Tabel 4.24 Komposisi Campuran Filler ASB B 50/30 0%	85
Tabel 4.25 Komposisi Campuran Filler ASB B 50/30 5%	86
Tabel 4.26 Komposisi Campuran Filler ASB B 50/30 10%	86
Tabel 4.27 Komposisi Campuran Filler ASB B 50/30 20%	86
Tabel 4.28 Hasil Perhitungan Nilai VIM Variasi Filler	88
Tabel 4.29 Hasil Perhitungan Nilai VMA Variasi Filler	89
Tabel 4.30 Hasil Perhitungan Nilai VFB Variasi Filler	91
Tabel 4.31 Hasil Perhitungan Nilai Stabilitas Variasi Filler	92
Tabel 4.32 Hasil Perhitungan Nilai Flow Variasi Filler	94
Tabel 4.33 Hasil Perhitungan Nilai MQ Variasi Filler	95
Tabel 4.34 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Marshall Filler ASB B50/30	97

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Perkerasan Lentur	9
Gambar 2.2 Komposisi Aspal Minyak	18
Gambar 2.3 Aspal Buton Tipe B 50/30.....	24
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	41
Gambar 3.2 Site Plane	41
Gambar 3.3 Satu set analisa saringan	43
Gambar 3.4 Oven.....	43
Gambar 3.5 Timbangan	44
Gambar 3.6 Wadah	44
Gambar 3.7 Termometer	44
Gambar 3.8 Cetakan silinder	45
Gambar 3.9 Dongkrak Hidrolis	45
Gambar 3.10 Bak perendam (water bath).....	45
Gambar 3.11 Satu Set Alat Marshall	46
Gambar 3.12 Kompor	46
Gambar 3.13 Spatula	47
Gambar 3.14 Wajan	47
Gambar 3.15 Aspal pen 60/70	47
Gambar 3.16 Agregat Kasar	48
Gambar 3.17 Agregat Halus	48
Gambar 3.18 Aspal Buton B 50/30.....	49
Gambar 3.19 Semen	49
Gambar 3.20 Menimbang masing-masing proporsi agregat	52
Gambar 3.21 Memanaskan aspal dan agregat	52
Gambar 3.22 Pemanasan campuran dengan suhu 140-160°C.....	53
Gambar 3.23 Memasukkan campuran kedalam cetakan benda uji.....	53
Gambar 3.24 Pemadatan campuran dengan alat penumbuk.....	54
Gambar 3.25 Diamkan benda uji dalam suhu ruang	54
Gambar 3.26 Mengukur tinggi benda uji.....	55

Gambar 3.27	Rendam benda uji selama 24 jam di suhu ruang	55
Gambar 3.28	Timbang benda uji dalam air	56
Gambar 3.29	Timbang benda uji dalam keadaan SSD	56
Gambar 3.30	Rendam benda uji pada suhu 60°C selama 30 menit.....	56
Gambar 3.31	Pembacaan dan mencatat nilai stabilitas dan flow	57
Gambar 3.32	Flowchart	60
Gambar 4.1	Grafik Analisa Saringan Agregat 1-2 cm.....	64
Gambar 4.2	Grafik Analisa Saringan Agregat 0,5-1 cm.....	65
Gambar 4.3	Grafik Analisa Saringan Agregat 0-0,5 cm.....	66
Gambar 4.4	Grafik Kombinasi Agregat Gabungan	68
Gambar 4.5	Grafik Nilai VIM	75
Gambar 4.6	Grafik Nilai VMA.....	77
Gambar 4.7	Grafik Nilai VFB	78
Gambar 4.8	Grafik Nilai Stabilitas	80
Gambar 4.9	Grafik Nilai Stabilitas	82
Gambar 4.10	Grafik Nilai MQ Variasi Filler.....	83
Gambar 4.11	Grafik Nilai KAO	84
Gambar 4.12	Grafik Nilai VMA Variasi Filler	90
Gambar 4.13	Grafik Nilai VFB Variasi Filler.....	91
Gambar 4.14	Grafik Nilai Stabilitas Variasi Filler	93
Gambar 4.15	Grafik Nilai Flow Variasi Filler	94
Gambar 4.16	Grafik Nilai MQ Variasi Filler.....	96

ABSTRAK

Annisa Nur Madani, Ir. Nurmiati Zamad, ST.,MT, Ir. Sainuddin, ST.,MT
Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat
annisamadani96@gmail.com

Campuran aspal merupakan salah satu komponen utama dalam konstruksi jalan raya. Kualitas dan durabilitas jalan sangat bergantung pada karakteristik dan komposisi material yang digunakan dalam campuran aspal. Salah satu cara untuk meningkatkan kinerja campuran aspal adalah dengan memodifikasi perkerasan dengan material lain. Pada penelitian ini ditinjau suatu campuran yang kinerjanya dioptimalkan dengan penambahan aspal buton tipe B 50/30 sebagai *filler*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik campuran aspal AC-WC dengan penggunaan aspal buton B 50/30 sebagai *filler*. Variasi *filler* aspal buton B 50/30 yang digunakan adalah 0%, 5%, 10%, dan 20% dengan menggunakan metode *Marshall*. Uji *Marshall* menghasilkan nilai kuantitas VIM, VMA, VFB, Stabilitas dan *Flow* yang darinya diperoleh kadar aspal yang optimal. Dari hasil pengujian dengan menggunakan *filler* aspal buton B 50/30 yang divariasikan dengan semen, diperoleh nilai MQ hanya 0% yang memenuhi spesifikasi sedangkan pada persentase 5%, 10%, dan 20% tidak memenuhi spesifikasi tidak memenuhi spesifikasi bina Marga 2018 dan SNI No.03-1737-1989 dengan MQ yaitu ≥ 250 kg/mm. Jadi penggunaan *filler* aspal buton B 50/30 yang divariasikan dengan semen tidak dapat digunakan dalam campuran AC-WC.

Kata Kunci: Aspal Buton, AC-WC, *Lawele Granular Asphalt*

ABSTRACT

Annisa Nur Madani, Ir. Nurmiati Zamad, ST.,MT, Ir. Sainuddin, ST.,MT
Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of West Sulawesi
annisamadani96@gmail.com

Asphalt mixture is one of the main components in road construction. The quality and durability of the road depend on the characteristics and composition of the materials used in the asphalt mixture. One way to improve the performance of asphalt mixtures is to modify the pavement with other materials. In this research, a mixture whose performance is optimized by adding buton asphalt type B 50/30 as filler is reviewed. The purpose of this study was to determine the characteristics of AC-WC asphalt mixture with the use of buton asphalt B 50/30 as filler. The variations of buton asphalt B 50/30 filler used were 0%, 5%, 10%, and 20% using the Marshall method. Marshall tests produce quantity values of VIM, VMA, VFB, Stability and flow from which the optimal asphalt content is obtained. From the test results using buton asphalt filler B 50/30, which is varied with cement, the MQ value obtained is only 0%, which meets the specifications while the percentages of 5%, 10%, and 20% do not meet the specifications of Bina Marga 2018 and SNI No.03-1737-1989 with MQ which is ≥ 250 kg/mm. So the use of buton asphalt filler B 50/30 varied with cement cannot be used in AC-WC mixtures.

Keywords: Buton Asphalt, AC-WC, Lawele Granular Asphalt

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan adalah suatu prasarana yang sangat penting dalam perencanaan perkotaan dan transportasi. Jalan-jalan adalah infrastruktur yang memainkan peran vital dalam menghubungkan tempat-tempat, memfasilitasi mobilitas manusia dan barang, serta mendukung pertumbuhan ekonomi. Seiring dengan perkembangan masyarakat dan teknologi, jalan-jalan telah mengalami evolusi signifikan sepanjang sejarah. Pada awalnya, jalan-jalan dibangun secara sederhana dengan bahan-bahan alami seperti tanah, batu, atau kayu. Namun, dengan kemajuan zaman, teknik dan material konstruksi jalan telah berkembang pesat. Salah satu material yang saat ini sedang banyak dicari adalah aspal buton.

Aspal Buton, juga dikenal sebagai aspal Butonit atau aspal Buton *Island*, adalah jenis aspal alam yang ditemukan di pulau Buton, Indonesia. Penemuan aspal ini dapat ditelusuri kembali ke masa lampau, ketika Belanda mengenalinya pada awal abad ke-19 selama penjajahan di wilayah tersebut. Salah satu ciri khas aspal Buton adalah sifatnya yang lembut dan mudah diproses. Ini berbeda dengan jenis aspal alam lainnya yang biasanya memiliki konsistensi padat. Aspal Buton memiliki kemampuan untuk mengalir pada suhu yang relatif rendah, yang memudahkan pengolahan dan aplikasi dalam proyek konstruksi jalan. Sifat-sifat unik aspal Buton ini memberikan kelebihan dalam pembangunan jalan. Ketika dipanaskan dan dicampur dengan agregat atau batuan, aspal Buton membentuk campuran aspal yang memiliki kekuatan, kelastisan, dan ketahanan terhadap deformasi yang baik. Ini memungkinkan jalan yang menggunakan aspal Buton memiliki umur pakai yang lebih panjang, kekuatan struktural yang tinggi, dan kemampuan untuk menahan lalu lintas yang berat. Selain itu, aspal Buton juga memiliki daya tahan terhadap suhu tinggi dan cuaca ekstrem.

Penggunaan aspal Buton tidak terbatas pada pembangunan jalan. Aspal ini juga digunakan dalam proyek-proyek konstruksi lainnya, seperti landasan pacu bandara, pengerjaan permukaan parkir, pengaspalan jalan raya, dan penggunaan di sektor industri lainnya. Nilai ekonomis aspal Buton juga signifikan. Pasokan aspal alam ini tidak hanya memenuhi kebutuhan dalam negeri, tetapi juga diekspor ke berbagai negara di seluruh dunia. Pulau Buton menjadi salah satu produsen utama aspal alam di dunia, dengan cadangan yang melimpah.

Aspal Buton merupakan potensi besar yang dimiliki negara dan juga sumber daya alam yang berharga. Sifat-sifatnya yang unik dan kualitasnya yang superior dalam pembangunan infrastruktur telah menghasilkan penggunaan yang luas dan signifikan dalam industri konstruksi, serta memberikan manfaat ekonomi bagi wilayah Buton dan Indonesia secara keseluruhan. Aspal buton memiliki berbagai tipe dengan peruntukan yang berbeda-beda. Salah satu diantaranya aspal buton tipe B 50/30 yang merupakan aspal buton dari tambang Lawele yang diproses dan digranulisasi menjadi butiran dengan spesifikasi tertentu.

Asbuton B 50/30 adalah Asbuton dari tambang Lawele yang diproses dan digranulisasi menjadi butiran dengan spesifikasi tertentu. Asbuton jenis ini memiliki nilai penetrasi sekitar 50 dan kadar bitumen sekitar 30%, sehingga masih mengandung mineral lain. Asbuton B 50/30 digunakan sebagai substitusi Aspal Pen 60/70. Kemudian, Asbuton B 50/30 diproses di *Asphalt Mixing Plant* (AMP) dengan tambahan Aspal Pen 60/70 untuk menghasilkan Campuran Beraspal Panas (*Hot Mix*) yang setara dengan menggunakan Aspal Pen 60/70. Asbuton B 50/30 juga digunakan untuk berbagai tipe konstruksi lainnya, seperti Butur *Seal*, Lapis Penetrasi Macadam Asbuton (LPMA) atau Campuran Panas Hampar Dingin (CPHMA).

Selama ini Pertamina dikenal sebagai pemasok aspal buatan utama Indonesia. Akan tetapi Indonesia memiliki aspal alamnya sendiri, tapi masih sangat kurang penggunaannya, oleh karena itu pemerintah saat ini sedang

gencarnya dalam mempromosikan penggunaan Buton Asphalt dengan memanfaatkan sumber daya alam yang ada secara optimal. Pemanfaatan sumber daya alam tersebut diharapkan dapat memenuhi kebutuhan aspal untuk digunakan pada konstruksi jalan raya.

Lapisan AC-WC merupakan lapisan yang terletak dibagian atas berdasarkan susunan perkerasan aspal dimana lapisan permukaan ini harus mampu menerima seluruh jenis beban yang bekerja dan menyebarkannya kelapisan di bawahnya berupa muatan kendaraan, gaya rem dan pukulan roda kendaraan. Keadaan iklim yang tropis serta perkembangan jumlah beban kendaraan kerap menjadi penyebab utama terjadinya deformasi serta retak pada lapisan asphalt concrete-wearing course. Penggunaan asbuton yang juga sejalan dengan salah satu poin hasil rapat kerja Menteri Pekerjaan Umum dengan DPR RI tentang pemanfaatan Asbuton dan diperkuat dengan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 18/PRT/M/2018. Aspal Buton (Asbuton) adalah aspal alam yang terkandung dalam deposit batuan yang terdapat di pulau Buton dan sekitarnya. Dengan jumlah deposit aspal buton yang mencapai 650 juta ton, menjadikan Indonesia sebagai negara penghasil aspal alam terbesar di dunia. Aspal Buton tidak hanya dari satu tambang saja. Walau berbeda tambang tapi tetap berasal dari satu provinsi yaitu Sulawesi Tenggara.

Penelitian ini menitikberatkan pada penggunaan asbuton tipe B 50/30 sebagai *filler* pada campuran *asphalt concrete-wearing course*. Penggunaan aspal buton ini juga diharapkan dapat meningkatkan kualitas aspal dan memenuhi persyaratan teknik untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Pada penelitian ini yang ditinjau adalah pengaruh penambahan asbuton tipe B 50/30 sebagai *filler* pada campuran aspal terhadap karakteristik *Marshall* yang meliputi : *stability, flow, void in mineral aggregate (VMA), void in mix (VIM), void filled with bitumen (VFB)*, dan *Marshall Quotient (QM)*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, maka didapatkan rumusan masalah yaitu:

1. Bagaimana hasil analisis dari pengujian terhadap *Marshall* asbuton tipe B 50/30 sebagai *filler* pada campuran AC-WC sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Bina marga 2018?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan asbuton tipe B 50/30 sebagai *filler* pada campuran AC-WC dengan variasi kadar yang berbeda terhadap karakteristik *Marshall*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka dapat disimpulkan tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis hasil pengujian terhadap *Marshall* dari penggunaan asbuton tipe B 50/30 sebagai *filler* pada campuran AC-WC sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2018.
2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan asbuton tipe B 50/30 sebagai *filler* pada campuran AC-WC dengan variasi kadar yang berbeda terhadap karakteristik *Marshall*.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, untuk memudahkan dalam menyampaikan masalah sesuai dengan tujuan yang diharapkan dan agar permasalahan terkait tidak terlalu luas maka ruang lingkup pembahasannya dibatasi sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya meneliti sifat karakteristik *Marshall*, dengan membandingkan aspal normal dan aspal dengan tambahan asbuton tipe B 50/30
2. Variasi kadar *filler* yang digunakan adalah 0%, 5%, 10% dan 20%.
3. Penelitian ini menggunakan kadar aspal optimum data lab PT. Bukit Bahari.
4. Pengambilan agregat kasar, agregat halus dan aspal di ambil dari tempat pengujian PT. Bukit Bahari

5. Campuran yang di gunakan adalah campuran aspal panas AC-WC dengan menggunakan Asbuton tipe B 50/30 sebagai *filler*

1.5 Manfaat Penelitian

Penggunaan aspal Buton sebagai filler campuran AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) dapat memiliki beberapa manfaat. Berikut adalah beberapa manfaat terkait dengan penelitian tersebut:

1. Membantu dalam memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang karakteristik aspal Buton sebagai *filler* dalam campuran AC-WC. Ini dapat mencakup analisis sifat fisik aspal Buton. Pengetahuan ini dapat digunakan untuk memperbaiki formulasi campuran AC-WC di masa depan.
2. Melalui penelitian ini, dapat di evaluasi pengaruh penggunaan aspal Buton sebagai *filler* terhadap kinerja campuran AC-WC. Penelitian ini dapat menguji kekuatan dan stabilitas. Hasil penelitian ini dapat membantu dalam mengoptimalkan komposisi campuran AC-WC dengan menggunakan aspal Buton untuk mencapai performa yang lebih baik.
3. Memanfaatkan sumber daya lokal, mengurangi ketergantungan pada impor bahan *filler*, dan mempromosikan pembangunan ekonomi lokal. Aspal Buton biasanya ditemukan di daerah tertentu, seperti Pulau Buton di Indonesia.

1.6 Sistematika Penulisan

Secara umum tulisan ini terbagi dalam tiga bab yaitu : Pendahuluan, Tinjauan Pustaka, dan Metodologi Penelitian. Berikut rincian secara umum mengenai kandungan dari ketiga bab tersebut di atas:

1. BAB I Latar Belakang

Bab ini memuat latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

2. BAB II Tinjauan Pustaka

Bab ini menguraikan teori - teori. Spesifikasi dan rumus - rumus yang digunakan oleh penulis untuk menunjang penelitian yang diperoleh dari referensi berbagai sumber yang penulis dapatkan.

3. BAB III Metodologi Penelitian

Bab ini memuat bagan alir penelitian, tahap-tahap yang dilakukan selama penelitian meliputi tempat dan waktu penelitian, material penelitian, alat penelitian, prosedur kerja, metode percobaan, metode pengumpulan data, serta diagram alir penelitian.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini berisi hasil dari studi eksperimental yang telah dilakukan.

5. BAB V PENUTUP

Bab ini berisikan kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta memuat beberapa saran.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan raya adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman.

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.

Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan raya dibedakan atas 3 (tiga) jenis yaitu :

2.1.1 Perkerasan Lentur

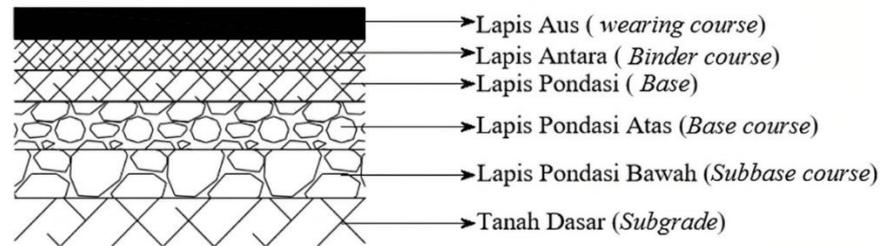
Konstruksi perkerasan jalan yang banyak digunakan di Indonesia adalah konstruksi perkerasan lentur yang terdiri dari lapisan-lapisan yang berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan bagian bawah, karena tekanan makin menyebar maka tekanan yang ditimbulkan pada perkerasan bagian atas lebih berat dari pada perkerasan bagian bawah.

Adapun susunan untuk perkerasan lentur pada jalan yang dibangun adalah sebagai berikut:

1. Lapisan permukaan (*surface course*), yang berfungsi sebagai:
 - a. Sebagai lapisan permukaan yang rata bagi kendaraan ketika melintas di atasnya
 - b. Sebagai bagian dari perkerasan yang dapat menahan gaya vertikal, horizontal, dan getaran dari roda, sehingga mampu menahan beban roda serta mempunyai stabilitas tinggi selama masa pelayanan.

- c. Lapisan kedap air untuk melindungi lapisan di bawahnya dari kerusakan akibat cuaca.
 - d. Sebagai lapisan aus *wearing course*.
2. Lapisan pondasi atas (*base course*), yang berfungsi sebagai:
- a. Sebagai lapis permukaan yang dapat menahan gaya geser dari beban roda, serta menyebarkannya ke lapisan bawahnya.
 - b. Menjadi bantalan terhadap lapisan permukaan, sehingga dapat memperkuat konstruksi perkerasan.
 - c. Menjadi lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah.
3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*), yang berfungsi sebagai:
- a. Bagian dari perkerasan yang dapat menyebarkan beban roda yang diperoleh ke tanah dasar.
 - b. Untuk menghemat biaya dengan mengurangi tebal lapis pondasi yang menggunakan material berkualitas tinggi sehingga relatif murah dan lebih efisien.
 - c. Menjadi lapisan resapan, agar air tanah tidak menggumpal pada pondasi.
 - d. Menahan partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapisan pondasi atas.
 - e. Menjadi lapisan pertama dalam pekerjaan sehingga dapat berjalan dengan lancar.

Perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapis yang makin ke bawah memiliki daya dukung yang semakin jelek. Seperti yang dapat kita lihat pada gambar 2.1 Struktur Perkerasan Lentur.



Gambar 2.1 Struktur Perkerasan Lentur
 Sumber : blog.unnes.ac.id/rahayunighasa

Elemen perkerasan lentur memiliki struktur perkerasan yang didesain secara berlapis-lapis seperti pada Gambar 2.1 jenis lapis perkerasan dan letaknya sebagai berikut:

1. Tanah dasar (*subgrade*)
2. Lapis pondasi bawah (*subbase course*)
3. Lapis pondasi atas (*base course*)
4. Lapisan permukaan (*surface course*)

Keuntungan menggunakan perkerasan lentur sebagai berikut:

1. Distribusi beban yang baik
2. Ketahanan terhadap perubahan suhu
3. Perkerasan lentur memiliki kemampuan yang baik dalam menyerap perubahan suhu dan mengakomodasi pergerakan termal. Mampu mengurangi risiko retak akibat perubahan suhu yang ekstrem.
4. Perbaikan yang lebih mudah
5. Kekuatan yang tinggi
6. Kemampuan penyerapan guncangan dan daya tahan yang baik terhadap deformasi
7. Pengurangan retak permukaan: Perkerasan lentur memiliki kemampuan yang baik dalam mengurangi retak pada permukaan, terutama retak-reflektif yang dapat terjadi akibat deformasi pada lapisan bawah perkerasan.

Kerugian menggunakan perkerasan lentur:

1. Biaya awal yang lebih tinggi serta perawatan dan perbaikan rutin
2. Proses produksi dan pembangunan perkerasan lentur dapat memiliki dampak lingkungan, termasuk konsumsi energi yang lebih tinggi, emisi CO₂, dan penggunaan sumber daya alam yang signifikan.
3. Pembangunan perkerasan lentur dapat memakan waktu yang lebih lama daripada perkerasan kaku
4. Keterbatasan pada beban aksial: Perkerasan lentur mampu menahan beban lalu lintas berat, namun mereka memiliki keterbatasan pada beban aksial yang diterapkan secara langsung, seperti pada area parkir atau dermaga.
5. Perkerasan lentur lebih rentan terhadap deformasi lapisan bawahnya.

2.1.2 Perkerasan kaku

Perkerasan kaku atau (*rigid pavemen*) merupakan perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya, pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Perkerasan beton semen terdiri atas empat jenis yaitu perkerasan beton bersambung tanpa tulang, perkerasan beton dengan tulangan, perkerasan beton semen menerus dengan tulangan dan perkerasan beton semen pra-tegang.

Pada perkerasan beton semen, daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton. Sifat daya dukung dan keseragaman tanah dasar sangat mempengaruhi keawetan dan kekakuan perkerasan beton semen. Faktor-faktor yang perlu diperhatikan adalah kadar air pemadatan, kepadatan dan permukaan kadar air selama masa pelayanan. Lapis pondasi bawah pada perkerasan beton semen berfungsi untuk:

1. Mengendalikan pengaruh kembang susut tanah dasar.
2. Mencegah instrusi dan pemompaan pada sambungan, retakan dan tepi-pelat.
3. Memberi dukungan yang lebih baik dan seragam pada pelat.
4. Sebagai perkerasan lantai kerja selama pelaksanaan.

2.1.3 Perkerasan Komposit

Perkerasan komposit mengacu pada jenis perkerasan jalan yang menggunakan kombinasi dari dua jenis perkerasan utama, yaitu perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Ini adalah pendekatan yang menggabungkan kelebihan dari kedua jenis perkerasan tersebut untuk memanfaatkan karakteristik yang paling optimal.

Perkerasan komposit biasanya terdiri dari lapisan perkerasan lentur di atas lapisan perkerasan kaku. Lapisan perkerasan kaku dapat terdiri dari beton atau aspal beton, sedangkan lapisan perkerasan lentur terdiri dari aspal. Kombinasi ini memungkinkan peningkatan stabilitas struktural dan ketahanan terhadap deformasi serta pengurangan retak-reflektif pada perkerasan.

Beberapa manfaat penggunaan perkerasan komposit meliputi:

1. Kombinasi perkerasan kaku dan lentur memungkinkan distribusi beban lalu lintas yang lebih merata dan mengurangi kemungkinan deformasi atau kerusakan pada perkerasan.
2. Perkerasan komposit dapat mengurangi retak-reflektif yang sering terjadi pada perkerasan kaku. Lapisan perkerasan lentur di atasnya dapat menyerap gerakan dan deformasi, sehingga mengurangi kemungkinan retak yang dapat merusak permukaan perkerasan.
3. Perkerasan komposit memiliki toleransi yang lebih baik terhadap perubahan suhu ekstrem dibandingkan dengan perkerasan kaku biasa. Hal ini membantu mengurangi risiko kerusakan akibat perubahan suhu yang signifikan.
4. Penggunaan perkerasan komposit memberikan fleksibilitas dalam desain jalan. Kombinasi perkerasan kaku dan lentur memungkinkan penyesuaian desain yang lebih baik untuk memenuhi kebutuhan khusus proyek, seperti kondisi tanah yang kompleks atau beban lalu lintas yang berat.

Meskipun perkerasan komposit memiliki beberapa keuntungan, perencanaan dan konstruksi yang cermat diperlukan untuk memastikan integrasi yang baik antara lapisan perkerasan kaku dan lentur. Ini melibatkan

pemilihan bahan yang sesuai, perencanaan struktur yang tepat, dan implementasi yang akurat sesuai dengan standar teknis yang berlaku.

2.2 Lapisan Aspal Beton (*Laston*)

Lapisan Aspal Beton (*Laston*) merupakan susunan pada bidang perkerasan, bagiannya berupa pencampuran *well graded* dan campuran aspal, dibentangkan dan dipadatkan pada keadaan panas temperatur tertentu. Agregat yang diperlukan ialah *filler*, agregat kasar serta agregat halus untuk bahan pengikatnya dari aspal keras pen 40/50, 60/70 atau 80/100 yang seragam, tidak terdapat kandungan air jika dilakukan pemanasan hingga temperatur 175° C dan juga tidak menghasilkan busa serta memenuhi syarat yang telah ditetapkan. Laston dibuat agar mendapatkan suatu lapis antara pada perkerasan jalan yang dapat menghasilkan daya dukung terukur selain itu juga dimanfaatkan sebagai lapis tahan yang mampu melindungi konstruksi dibawahnya (Bina Marga, 1987).

Tabel 2.1 Syarat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		WC	BC	Base
Jumlah tumbukan per bidang		75	75	112
Rasio Partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal afektif	Min	0.6		
	Max	1.2		
Rongga dalam campuran/VIM (%)	Min	3.0		
	Max	5.0		
Rongga dalam agregat/VMA (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal VFA (%)	Max	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800
	Max	-		-
Pelelehan (mm)	Min	3		3
	Max	4		6

Marshall Quotien (kg/mm)	Min	250	300
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman	Min	90	
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2	

Sumber : (Spesifikasi Bina Marga Devisi 6, 2018)

Laston (AC) terdiri dari tiga jenis campuran yaitu laston lapis aus (AC-WC), lapis antara (AC-BC) dan laston pondasi (AC-base) dimana:

2.2.1 Lapis Fondasi (Asphalt Concrete-Base, AC-Base)

Asphalt Concrete-Base merupakan lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan AC-BC dan di atas lapisan pondasi bawah (*subbase course*). Lapisan ini berfungsi untuk memberikan dukungan atau menerima beban kendaraan dari lapis AC-BC untuk selanjutnya di teruskan kembali kelapisan pondasi bawah.

2.2.2 Lapis aus (Asphalt Concrete-Wearing Course, AC-WC)

Lapis aspal beton sebagai hasil aus (AC-WC) merupakan lapisan yang berpapasan langsung dengan beban serta lingkungan, untuk itu sangat dibutuhkan precana dari Laston AC-WC yang memenuhi spesifikasi agar lapis ini mempunyai nilai stabilitas tinggi serta tahan terhadap air maupun cuaca.

2.2.3 Lapis Antara (Asphalt Concrete-Binder Course, AC-BC)

Lapis perkerasan jalan yang berada diantara lapisan aus (AC-WC) dan lapisan pondasi atas (*AC-Base*). Lapisan AC-WC ini berguna untuk menyalurkan dan meneruskan beban yang diterimanya menuju ke pondasi atau menuju kelapisan yang ada dibawahnya. Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekuatan yang mencakup untuk mengurangi keterangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan kelapis bawahnya yaitu *base* dan *sub grade*. Karakteristik yang terpenting pada campuran lapisan AC-BC ini adalah stabilitas.

2.3 Aspal

Aspal adalah salah satu bahan konstruksi yang umum digunakan dalam pembangunan infrastruktur, seperti jalan, landasan pacu bandara, dan area parkir. Bahan ini memiliki sifat yang ideal untuk melapisi permukaan jalan dan memberikan daya tahan terhadap beban lalu lintas, cuaca, dan kerusakan akibat penggunaan yang berkepanjangan.

Aspal didefinisikan sebagai material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan sampai suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman pada perkerasan macadam ataupun pelaburan. Jika temperatur mulai turun, aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis).

Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil, umumnya hanya 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume, tetapi merupakan komponen yang relatif mahal.

Dalam beberapa tahun terakhir, industri aspal terus melakukan inovasi untuk meningkatkan kualitas dan keberlanjutannya. Penggunaan teknologi canggih, seperti penggunaan aspal modifikasi, penggunaan bahan daur ulang, dan perbaikan metode konstruksi, telah membantu meningkatkan kinerja aspal dan mengurangi dampak lingkungan dari produksi dan penggunaannya.

Penggunaan aspal dalam pembangunan infrastruktur merupakan komponen penting dalam menciptakan jalan yang aman, nyaman, dan tahan lama. Dengan pemeliharaan yang baik dan inovasi terus-menerus dalam industri ini, diharapkan aspal akan terus menjadi pilihan utama dalam memenuhi kebutuhan infrastruktur yang terus berkembang di masa depan.

2.3.1 Pengertian Aspal

Aspal merupakan material semen hitam, padat atau setengah padat dalam konsistennya dimana unsur pokok yang menonjol adalah bitumen yang terjadi secara alam atau bitumen dihasilkan dengan penyulingan minyak (*Petroleum*). Pada temperatur ruang aspal berbentuk padat sampai agak padat. Jika dipanaskan pada suatu temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada penyemprotan/penyiraman (Yuliansyah, dkk.,2015).

Menurut Bina Marga (2007), Aspal beton merupakan campuran homogen antara agregat (agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi atau *filler*) dan aspal sebagai bahan pengikat yang mempunyai gradasi tertentu, dicampur, diamparkan dan dipadatkan pada suhu tertentu menerima beban lalu lintas yang tinggi. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Sedangkan aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 40/50, 60/70 dan 80/100 yang seragam, tidak mengandung air bila dipanaskan sampai suhu 175°C tidak berbusa dan memenuhi persyaratan sesuai dengan yang ditetapkan.

Berdasarkan cara diperolehnya, aspal terdiri dari:

1. Aspal alam seperti, aspal gunung (*Rock Asphalt*), contoh aspal dari pulau Buton dan aspal danau (*Lake Asphalt*), contoh aspal dari Bermudez, Trinidad.
2. Aspal buatan seperti, aspal minyak, adalah hasil penyulingan minyak bumi, dan Tar adalah hasil penyulingan batu bara.

Salah satu aspal minyak ialah aspal keras/*cement* (AC). Aspal semen pada temperatur ruang (25°C - 35°C) yang berbentuk padat. Aspal semen terdiri atas beberapa jenis tergantung dari minyak bumi asalnya serta proses pembuatannya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25° C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya.

Di Indonesia pada umumnya dipergunakan aspal semen menggunakan penetrasi 60/70 dan 80/100. Adapun persyaratan aspal minyak 60/70 ada pada Tabel 2.2 sebagai berikut

Tabel 2.2 Persyaratan Aspal Minyak 60/70

Jenis pengujian	Metode	Syarat
Penetrasi pada 25° C (0,1 mm)	SNI 2432-2011	60-70
Titik lembek ° C	SNI 2432-2011	≥48
Titik nyala ° C	SNI 2432-2011	≥232
Daktalitas pada 25° C (cm)	SNI 2432-2011	≥100
Berat jenis	SNI 2432-2011	≥1,0
Berat yang hilang (%)	SNI 06-2440-1991	≥0.8
Penetrasi pada 25° C setelah kehilangan berat (%)	SNI 06-2440-1991	≥54
Daktalitas 25° C setelah kehilangan berat (cm)	SNI 2432-2011	≥100

Sumber :Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, Devisi 6 Perkerasan Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal padat atau keras dengan penetrasi 60/70 dan mempunyai nilai karakteristik yang telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan Bina Marga berdasarkan petunjuk Lapis Aspal Beton (Laston). Aspal yang akan digunakan sebagai campuran perkerasan jalan harus memiliki syarat-syarat sebagai berikut:

1. Daya tahan (*Durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal untuk mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa umur pelayanan.

2. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal merupakan material yang bersifat termoplastis, sehingga akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan melunak atau mencair jika temperatur bertambah. Sifat ini diperlukan agar aspal memiliki ketahanan terhadap perubahan temperatur, misalnya

aspal tidak banyak berubah akibat perubahan cuaca, sehingga kondisi permukaan jalan dapat memenuhi kebutuhan lalu lintas serta tahan lama. Dengan diketahui kepekaan aspal terhadap temperatur maka dapat ditentukan pada temperatur berapa sebaiknya aspal dipadatkan sehingga menghasilkan hasil yang baik.

3. Kekerasan aspal

Sifat kekakuan dan kekerasan aspal sangat penting, karna aspal yang mengikat agregat akan menerima beban yang cukup besar dan berulang-ulang. Pada proses pencampuran aspal dengan agregat dan penyemprotan aspal ke permukaan agregat terjadi oksidasi menyebabkan aspal menjadi keras atau viskositas bertambah tinggi. Peristiwa perapuhan terus terjadi setelah masa pelaksanaan selesai. Selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasi dan polimerasi yang besarnya dipengaruhi oleh aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan aspal yang terjadi dan demikian juga sebaliknya.

4. Daya ikatan (Adhesi dan Kohesi)

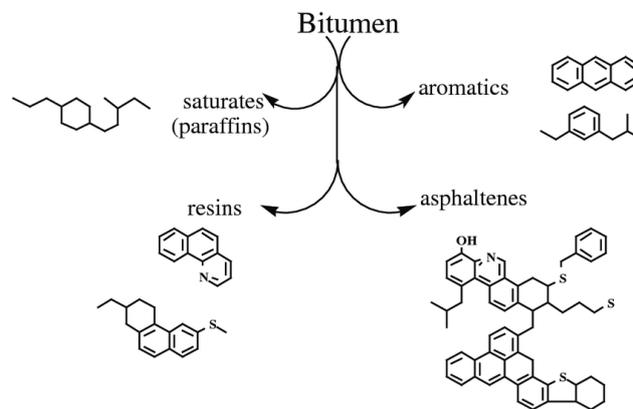
Adhesi merupakan kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal. Kohesi adalah ikatan didalam molekul aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap ditempatnya setelah terjadi pengikatan.

2.3.2 Kandungan Aspal

Senyawa hidrokarbon yang terkandung dalam bitumen yaitu aspal, tar dan *pitch* (Tahir Dalimunthe & Ardan, 2019). Aspal disebut juga sebagai material perekat, dengan unsur utama berupa bitumen. Tar merupakan material yang memiliki warna gelap yaitu hitam atau serta memiliki bentuk semi padat dan juga memiliki unsur utama berupa bitumen sebagai hasil hidrokarbon cair yang didapatkan dari sumur gas. *Pitch* di dapat dari endapan dari penyulingan tar. Tar ataupun *pitch* tidak dapat diperoleh dari alam terbuka, dua unsur in adalah produk kimiawi. Berdasarkan ketiga material yang telah disebutkan, aspal merupakan material paling sering

digunakan sebagai bahan pengikat, jadi tak heran jika bitumen sering disebut sebagai aspal.

Berdasarkan Sukirman (2010), setiap sumber dari minyak bumi membentuk komposisi molekul yang berbeda. Komposisi aspal terdiri dari *asphaltenes* dan *metanes*. *Asphaltenes* ialah material yang berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam *heptane*. *Maltenes* larut pada *heptane*, yang merupakan cairan kental yang terdiri dari *resin* serta *oils*. *Resin* merupakan cairan kental yang berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat perekat seperti aspal, komponen yang mudah hilang atau berkurang selama umur jalan. Kandungan aspal dapat dilihat pada Gambar 2.2 berikut.



Gambar 2.2 Komposisi Aspal Minyak
Sumber : www.researchgate.net

2.3.3 Campuran Aspal Panas (*Asphalt Hot Mix*)

Aspal campuran panas merupakan campuran agregat bergradasi padat dengan agregat kasar dan halus serta bahan pengisi sebagai komponen utama, kemudian ditambahkan aspal sebagai pengikat. Bahan-bahan ini kemudian dicampur dan dipadatkan dalam kondisi panas pada temperatur tertentu untuk membentuk campuran yang dapat digunakan sebagai bahan pelapis jalan. Jenis perkerasan yang menggunakan aspal panas merupakan tipe perkerasan fleksibel.

Kapasitas dukung beban campuran aspal ditentukan oleh gaya gesek dan kohesi material yang digunakan dalam campuran aspal. Gesekan pada

agregat diakibatkan oleh gesekan antara butiran dengan gradasi dan tanah dari agregat itu sendiri, ketika suatu agregat mempunyai sifat fisik yang kuat dan gradasi antar butir agregatnya sempit maka secara alami agregat tersebut mempunyai gaya gesek yang baik. Kohesi itu sendiri dihasilkan dari sifat-sifat aspal yang digunakan. Oleh karena itu kinerja campuran aspal sangat ditentukan oleh agregat yang digunakan dan aspal yang digunakan. (Bina Marga, 2002).

2.4 Filler

Filler merupakan bahan pengisi pada lapisan aspal. Selain itu, kadar serja jenis bahan pengisi bisa mempengaruhi sifat elastisitas campuran dan sensitivitas campuran (Rahaditya, 2012).

Peraturan untuk bahan pengisi dalam campuran aspal menurut Bina Marga 2018 adalah :

1. Bahan pengisi terdiri dari debu batu gamping, kapur terhidrasi, semen atau *fly ash* bersumber dari persetujuan direksi pekerjaan.
2. Bahan pengisi harus kering dan tidak menggumpal dan bila diuji menggunakan saringan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos saringan 200 (75 mikron) Paling sedikit 75% menurut beratnya.
3. Semua campuran aspal harus mengandung minimal 1% dan maksimum 2% bahan pengisi yang ditambahkan dari total berat agregat.

Tabel 2.3 Ketentuan Filler

Pengujian	Standar	Nilai
Material lolos saringan no. 200 (0,075 mm)	SNI ASTM C136-2012	Min. 75%
Berat jenis	SNI 03-4145-1991	3,0-3,2

Sumber : (Bina Marga, 2018)

2.5 Agregat

Agregat merupakan elemen utama yang mengambil beban langsung dari roda kendaraan dan berfungsi sebagai penopang stabilitas mekanik. Bentuk penambahan butiran ini mempengaruhi kualitas campuran. Bentuk sudut

butiran agregat dan jumlah area kubik memastikan gesekan internal yang baik dan hubungan antara butiran agregat, sehingga stabilitas pencampuran yang lebih tinggi. Butir agregat yang panjang dan pipih tidak memberikan gesekan internal yang baik antar butir agregat, sehingga stabilitas campuran yang dihasilkan tidak meningkat. Penggunaan butiran agregat kasar lebih disukai sebab semakin kasar permukaan agregat, semakin besar stabilitas dan daya tahan suatu campuran (Hikmayani, 2022). Secara umum agregat yang digunakan dalam campuran beraspal dibagi atas dua macam, yaitu:

2.5.1 Agregat Kasar

Agregat yang tertahan di saringan terdiri dari kerikil (batu pecah). Butir-butir tersebut dari ukuran kasar sampai halus. Agregat yang dimaksud adalah agregat kasar seperti butiran kerikil dengan ukuran 5-40 mm atau agregat yang tertahan pada ayakan No.4 (4,75 mm). Agregat kasar dalam campuran perkerasan aspal di manfaatkan sebagai penyuplai kestabilan dalam campuran. Ketahanan abrasi yang tinggi sangat di perlukan bagi agregat kasar terlebih pada penggunaan agregat lapis AC-WC atau permukaan, ketentuan agregat kasar dapat dilihat pada tabel 2.4 sebagai berikut:

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai (%)
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	Maks.12%
		Magnesium Sulfat	Maks.18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks.6%
		500 putaran	Maks.30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks.8%
		500 putaran	Maks.40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Maks.95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90*)
	Lainnya		95/90**)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	Maks.5%

	Lainnya	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks.10%
Material lolos ayakan No.200		SNI ASTM C117 2012	Maks.1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, Devisi 6 Perkerasan Aspal

Catatan:

- a. 100/90 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.
- b. 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2.5.2 Agregat Halus

Dalam (SNI 03-2847-2002, 2002) agregat halus merupakan agregat yang memiliki ukuran butir maksimal 5,0 mm atau agregat yang lolos ayakan (4,75 mm). Agregat halus dapat berupa pasir alam maupun olahan dari industri bahkan gabungan dari pasir alam dan buatan. Agregat halus digunakan sebagai stabilitas campuran dan dapat mengisi rongga dari agregat kasar. Ketentuan agregat halus terdapat pada Tabel 2.5 sebagai berikut:

Tabel 2.5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min 45%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat lolos ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Devisi 6 Perkerasan Jalan

Agregat merupakan komponen utama dari struktur utama perkerasan jalan yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase 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.

2.5.3 Jenis Agregat

Adapun jenis-jenis dari agregat itu adalah sebagai berikut:

a. Agregat siap pakai

Agregat siap pakai merupakan agregat yang dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh di lokasi asalnya, atau dengan sedikit proses pengolahan. Agregat ini berbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Agregat siap pakai disebut sebagai agregat alam. Agregatnya cenderung bulat-bulat, dengan tekstur permukaan licin. Proses degradasi agregat di bukit-bukit akan membentuk agregat bersudut dan kasar. Dua bentuk dan ukuran agregat alam yang sering dipergunakan sebagai material perkerasan jalan yaitu kerikil dan pasir.

b. Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai

Agregat yang diperoleh di bukit-bukit, di gunung-gunung, ataupun di sungai-sungai. Agregat di gunung dan di bukit umumnya ditemui dalam masif, sehingga perlu dilakukan pemecahan dahulu, agar dapat diangkat ketempat mesin pemecah batu (*Stone Crusher*). Sungai-sungai yang membawa agregat dimusim hujan, umumnya membawa agregat berukuran besar sehingga tidak memenuhi syarat ukuran yang ditentukan. Guna dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan, agregat ini harus diolah dulu secara manual, dengan mempergunakan tenaga manusia atau melalui proses mekanis di mesin pemecah batu. Agregat yang berasal dari gunung, bukit, dan sungai perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu di mesin pemecah batu, agar lebih baik sebagai material perkerasan jalan, mempunyai bidang pecahan berstruktur kasar dan ukuran agregat sesuai yang diinginkan.

Di samping itu terdapat pula agregat hasil olahan pabrik seperti semen dan kapur atau limbah industri seperti abu terbang. Berdasarkan ukuran butirannya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus dan pengisi (*filler*). Batasan masing-masing agregat ini sering kali berbeda sesuai institusi yang menentukannya.

2.5.4 Gradasi

Gradasi merupakan susunan butir agregat sesuai ukurangnya, ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari saringan berukuran 1½ inci, 1 inci, ¾ inci, ½ inci, 3/8 inci, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200. ukuran saringan dalam panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1 inci persegi. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase lolos atau persentase tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat. Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat halus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu.

Bentuk gradasi agregat biasanya digambarkan dalam suatu grafik hubungan antara ukuran saringan dinyatakan pada sumbu horizontal dan persentase agregat yang lolos saringan tertentu dinyatakan pada sumbu vertikal. Gradasi ditentukan pada Spesifikasi Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel di bawah ini:

Tabel 2.6 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat				
		Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	Base	WC	BC	Base
1 ½	37,5	-	-	-	-	100
1	25	-	-	-	100	90-100
¾	19	100	100	100	90-100	76-90
½	12,5	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8	9,5	75-85	65-90	75-90	66-82	52-71
No.4	4,75	-	-	53-69	46-64	35-54

No.8	2,36	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	-	-	21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	-	-	9-22	7-20	6-15
No.100	0,150	-	-	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, Devisi 6 Perkerasan Aspal

2.6 Aspal Buton

Aspal buton merupakan salah satu aspal alam yang terdapat di pulau Buton, Sulawesi Tenggara yang selanjutnya dikenal dengan istilah Asbuton. Asbuton pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul kepermukaan menyusup dari antara bebatuan porous. Asbuton diperoleh dari penambangan merupakan bongkahan-bongkahan, di gali dan di angkut ke suatu lokasi untuk diproses dengan mesin pemecah batu (stone crusher). Dalam bentuk curah (bulk) di perdagangkan dengan ukuran butir partikel) lolos saringan 1/2" (12,7 mm), partikel asbuton adalah merupakan material yang terdiri dari kombinasi mineral, bitumen (aspal) dan air, berwarna hitam kecokelat-cokelatan.



Gambar 2.3 Aspal Buton Tipe B 50/30

Sumber : binakonstruksi.pu.go.id

Kadar bitumen asbuton sangat bervariasi, sulit untuk diperkirakan. Hal tersebut dibuktikan dari penelitian lapangan atas beberapa tumpukan yang sama atau berlainan, di ambil contoh dengan mengikuti metode sampling dan di uji kadar bitumennya dan dihasilkan variasi kadar bitumen yang berbeda, (Pusat Litbang Jalan, 1985;C,P. Coorne,1989).

2.6.1 Deposit Aspal Buton (Asbuton)

Aspal alam yang tersedia di Pulau Buton mempunyai cadangan yang sangat besar, merupakan deposit aspal alam terbesar di dunia. Deposit Asbuton tersebar dari teluk Sampolawa sampai dengan teluk Lawele sepanjang 75 km dengan lebar 12 km (Gompul, 1991) ditambah wilayah Enreke yang termasuk wilayah kabupaten Muna. Pada 132 titik pengeboran diperoleh hasil bahwa ketebalan asbuton berkisar antara 9 meter sampai 45 meter atau ketebalan rata-rata 29,88 meter dengan tebal tanah penutup 0 – 17 meter atau rata-rata tebal tanah penutup 3,47 meter pada luas daerah pengaruh asbuton 1.527.343,5 m².

2.6.2 Sifat-sifat fisik dan kimia aspal Buton

Aspal Buton 50/30 adalah salah satu jenis aspal yang sering digunakan dalam industri pengaspalan. Angka "50/30" menunjukkan spesifikasi tertentu dari campuran aspal ini, yang mengacu pada rasio viskositas dan penetrasi aspal.

1. Sifat Fisik Aspal Buton 50/30:

a. Viskositas

Viskositas aspal buton mengukur seberapa kental atau cair aspal pada suhu yang ditentukan.

b. Penetrasi

Penetrasi aspal buton 50/30 adalah 50. Angka ini mengindikasikan seberapa lembut atau keras aspal pada suhu kamar.

c. Titik Lumer

Aspal buton 50/30 biasanya memiliki titik lumer sekitar 50-60°C, yang berarti aspal akan menjadi cair sepenuhnya pada suhu tersebut.

d. Warna

Seperti kebanyakan jenis aspal, aspal buton 50/30 cenderung berwarna gelap, biasanya berwarna hitam atau coklat tua.

2. Sifat Kimia Aspal Buton 50/30:

a. Komposisi

Aspal buton 50/30 terdiri dari campuran hidrokarbon alifatik dan aromatik, seperti halnya aspal pada umumnya.

b. Kestabilan Kimia

Aspal buton 50/30 memiliki kestabilan kimia yang baik, yang membantu menjaga integritas campuran aspal dalam menghadapi perubahan cuaca dan paparan sinar matahari.

c. Kelarutan

Aspal buton 50/30 umumnya larut dalam pelarut organik seperti bensin atau n-heksana dan kurang larut dalam air.

Aspal buton 50/30 digunakan dalam berbagai proyek pengaspalan jalan, baik untuk jalan raya, jalan kota, atau bandara. Spesifikasi ini menentukan karakteristik aspal yang penting untuk kekuatan dan daya tahan campuran aspal terhadap beban lalu lintas dan faktor lingkungan. Penggunaan aspal buton 50/30 dapat bervariasi tergantung pada kondisi iklim dan lalu lintas di daerah yang bersangkutan.

2.6.3 Pengaruh aspal Buton terhadap karakteristik Marshall campuran AC

Penggunaan aspal Buton dalam campuran aspal (*Asphalt Concrete/AC*) dapat mempengaruhi beberapa karakteristik *Marshall* dari campuran tersebut. Berikut adalah beberapa pengaruh utama aspal Buton terhadap karakteristik *Marshall* campuran AC:

1. Stabilitas

Aspal Buton memiliki karakteristik fisik yang khas dengan viskositas yang tinggi pada suhu kamar. Penggunaan aspal Buton dalam campuran AC dapat memberikan stabilitas yang baik pada campuran tersebut. Stabilitas yang tinggi diperlukan agar campuran aspal dapat menahan deformasi permanen akibat beban lalu lintas.

2. Flow

Aspal Buton yang memiliki titik lumer yang lebih rendah dapat membantu mengurangi energi pemanasan yang diperlukan selama proses pengolahan campuran aspal. Hal ini dapat menghasilkan aliran aspal yang lebih baik saat dicampur dengan agregat, sehingga memudahkan distribusi yang merata.

3. Kepadatan

Karakteristik aspal Buton dapat mempengaruhi kepadatan campuran aspal. Jika campuran aspal dikompaksi dengan baik, dapat menghasilkan kepadatan yang tinggi, yang penting untuk meningkatkan daya tahan campuran terhadap pergerakan dan deformasi akibat lalu lintas.

4. Voids in Mineral Aggregates (VMA)

Penggunaan aspal Buton dalam campuran AC dapat mempengaruhi VMA, yaitu bagian dari volume total campuran aspal yang tidak diisi oleh bahan agregat mineral. Kadar aspal dan viskositasnya akan mempengaruhi kemampuan campuran untuk menampung aspal dengan baik dan mempengaruhi kekuatan campuran.

5. Voids Filled with Asphalt (VFA)

Kadar aspal dalam aspal Buton dan viskositasnya akan mempengaruhi VFA, yaitu bagian dari VMA yang diisi dengan aspal. Kadar VFA yang tepat penting untuk memastikan adhesi yang baik antara aspal dan agregat, serta kekuatan campuran.

6. Kestabilan dan Daya Tahan

Karakteristik aspal Buton yang menawarkan kestabilan dan daya tahan yang baik terhadap perubahan cuaca dan oksidasi akan membantu meningkatkan umur pakai dan performa keseluruhan campuran AC.

Penting untuk diingat bahwa campuran aspal adalah sistem kompleks yang dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis aspal, proporsi agregat, komposisi bahan, dan metode konstruksi. Oleh karena itu, ketepatan desain campuran aspal dan pemilihan aspal Buton harus mempertimbangkan persyaratan spesifik proyek dan kondisi lingkungan yang dihadapi. Uji laboratorium yang cermat harus dilakukan untuk memastikan campuran AC memenuhi persyaratan teknis dan keamanan yang sesuai.

2.7 Perhitungan Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal optimum diperkirakan dengan menentukan kadar aspal rencana terlebih dahulu secara empiris dengan persamaan 2.1

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \dots\dots\dots (2.1)$$

Dengan:

- P_b = Perkiraan kadar aspal tengah (persentase berat terhadap campuran)
- CA = Agregat tertahan saringan No.8 (agregat lolos saringan $\frac{3}{4}$ - agregat lolos saringan No.8)
- FA = Agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200 (agregat lolos saringan No.8 – agregat lolos saringan No.200)
- FF = Bahan pengisi lolos saringan No.200 (agregat lolos saringan No.200)
- K = Kira-kira konstanta 0,5 – 1 untuk laston dan 2,0 – 3,0 untuk Lataston.

Untuk jenis campuran lain gunakan nilai 1,0 – 2,5.

Sumber : (Modul-03C pengambilan contoh dan pengujian campuran aspal dan agregat untuk campuran beraspal hal 3-30)

2.8 Metode Pengujian Marshall

Setelah semua benda uji dibuat maka tahapan selanjutnya adalah melakukan pengujian untuk memperoleh hasil yang diinginkan dengan alat yang bernama *Marshall Test*. Pemeriksaan dengan *Marshall Test* pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall dan dikembangkan oleh U.S Corps Of Engineer. Hasil pemeriksaannya, Marshall menggunakan prosedur PC-0201-76, AASHTO 245-74 atau ASTM D 1559-62T (Sukirman, 2010).

Marshall Test merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) yang berkapasitas 2.500 kg atau 5000 pon. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran, sedangkan arloji kelelahan (*flow meter*) berfungsi untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*).

Adapun dasar perhitungan yang menjadi acuan dalam menganalisis data yaitu mengacu pada SNI 06-2489-1991 dan *The Asphalt Institute* sebagai berikut:

1. Berat jenis aspal

Pemeriksaan berat jenis aspal di laboratorium (*Specific Gravity Tes*) adalah membandingkan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu (25°C atau 15,6°C) pengujian ini diperlukan pada saat pelaksanaan untuk konversi dari berat ke volume atau sebaliknya

$$\text{Berat jenis} = \frac{(C-A)}{(C-A)-(C-A)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

A : Massa piknometer dan penutup

B : Massa piknometer dan penutup berisi air

C : Massa piknometer dan penutup dan uji

D : Massa piknometer dan penutup dan benda uji dan air

2. Berat jenis dan penyerapan air agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*) yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering dan berat jenis semu. Penyerapan terhadap air dan berat jenis efektifnya juga berbeda

a. Agregat kasar

1) Berat jenis kering

$$S_d = \frac{A}{(B-A)} \dots\dots\dots(2.3)$$

2) Berat jenis semu

$$S_a = \frac{A}{(B-A)} \dots\dots\dots(2.4)$$

3) Penyerapan air

$$S_w = \frac{A}{(B-A)} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.5)$$

4) Berat jenis efektif

$$B.j \text{ Efektif} = (S_a + S_d) : 2 \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

S_d : Berat jenis kering

S_a : Berat jenis semu

Sw : Penyerapan air

A : Berat benda uji kering oven

B : Berat benda uji jenuh kering permukaan

C : Berat benda uji dalam air

b. Agregat halus

1) Berat jenis kering

$$S_d = \frac{B_k}{B+SSD+Bt} \dots\dots\dots(2.7)$$

2) Berat jenis semu

$$S_w = \frac{BK}{B+BK+Bt} \dots\dots\dots(2.8)$$

3) Penyerapan air

$$S_w = \frac{SSD-BK}{BK} \times 100 \% \dots\dots\dots(2.9)$$

4) Berat jenis Efektif

$$B.j \text{ Efektif} = \frac{S_a+S_d}{2} \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan :

Sd : Berat jenis kering

Sa : Berat jenis semu

Sw : Penyerapan air

Bk : Berat pasir kering

B : Berat piknometer + air

Bt : Berat piknometer + pasir + air

SSD : Berat pasir kering permukaan

3. Berat jenis maksimum campuran

Berikut adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari berat jenis.

$$\text{maks campuran} : \frac{pmm}{\frac{ps}{Gse} \cdot \frac{pb}{Gb}} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan :

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

Pmm : Persentase berat total campuran (=100)

Ps : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran

Pb : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)

Gs : Berat jenis afektif, (gr/cc)

Gb : Berat jenis aspal, (gr/cc)

4. Berat jenis *bulk* campuran padat

Dapat dihitung pada rumus berikut :

$$Gmb = Wa : Vbulk \dots\dots\dots(2.12)$$

Keterangan :

Gmb : Berat jenis campuran setelah dipadatkan, (gr/cc)

Vbulk : Volume campuran setelah pemadatan, (cc)

Wa : Berat di udara, (gr)

5. Kepadatan (*Density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan.

Nilai kepadatan dihitung dengan rumus berikut ini :

$$\text{Kepadatan} = Wm : (Wmsd - Wmpw)\dots\dots\dots(2.13)$$

Keterangan :

Wm : Berat benda uji setelah dipadatkan, (gr)

Wmsd : Berat benda uji ssd setelah dipadatkan, (gr)

Wmpw : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan, (gr)

6. VIM (*Void in the mix*)

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 - \frac{gmm - gmb}{gmn} \dots\dots\dots(2.14)$$

Keterangan :

VIM : Rongga udara pada campuran, (%)

Gmm : Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cc)

Gmb : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

7. VMA (*Void in mineral agregat*)

VMA adalah kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, termasuk rongga udara dan volume aspal (tidak termasuk

volume aspal yang diserap agregat). Nilai VMA yang disyaratkan adalah minimal 14% sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2018. VMA dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$VMA = \frac{100 - (Gsb - Gmb) + G}{Gsb} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, (%)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

Ps : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

8. VFB (*Void filled with bitumen*)

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

$$VFB = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

VFB : Persentase rongga udara yang terisi aspal, (%)

VMA : Persentase rongga udara pada mineral agregat, (%)

VIM : Persentase rongga udara pada campuran, (%)

9. Kelelehan (*Flow*)

Flow merupakan tingkat kelelehan campuran ketika diuji dalam keadaan suhu ekstrim yaitu 60°C. Dikarenakan tidak tersedianya alat *flowmeter* di laboratorium, maka nilai *flow* didapat dari hasil mengukur anggi rata-rata diameter awal benda uji sebelum pengujian dengan rata-rata diameter benda uji setelah pengujian.

10. Stabilitas

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

$$S = P \times q \dots\dots\dots(2.17)$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas (kg)

P : Pembacaan arloji stabilitas \times kalibrasi alat

Q : Angka koreksi tebal benda uji

11. Hasil bagi marshall (MQ)

Hasil bagi *Marshall / Marshall Quotient* (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kekelehan. Sifat *Marshall* tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = MS : MF \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

MQ : *Marshall Quotient*, (kg/mm)

MS : *Marshall Stability* (kg)

MF : *Flow Marshall*, (mm)

2.9 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.7 Perbandingan dengan Penelitian-Penelitian Terdahulu

No	Judul penelitian	Tujuan Penelitian	Hasil Penelitian dan kesimpulan	Persamaan	Perbedaan
1	PENGARUH PENGGUNAAN ASPAL BUTON SEBAGAI FILLER CAMPURAN SPLIT MASTIC ASPHALT TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL	Untuk menguji penggunaan asbuton sebagai <i>filler</i> dalam campuran SMA beserta pengaruhnya terhadap karakteristik <i>marshall</i> yang meliputi: VITM, VFWA, Stabilitas, <i>flow</i> dan MQ	<ol style="list-style-type: none"> 1. Nilai VITM akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar <i>filler</i> asbuton mikro, karena rongga antara campuran akan terisi oleh <i>filler</i> sehingga campuran semakin rapat. Nilai VITM paling optimum didapat pada kadar <i>filler</i> 5,5%. Akan tetapi jika dibandingkan dengan persyaratan bina marga yang menyebutkan bahwa kadar VITM berkisar antara 3-5% maka kadar VITM optimum dapat pada kadar <i>filler</i> 4%. 2. Penambahan <i>filler</i> asbuton kadar $4 \pm 5\%$ akan meningkatkan nilai VFWA, hal ini disebabkan <i>filler</i> asbuton 	Menggunakan Aspal Buton sebagai <i>filler</i>	Kadar <i>filler</i> yang digunakan dalam pembuatan benda uji

			<p>mikro mampu mengisi lebih banyak rongga dalam campuran.. Pada kadar <i>filler</i> 5,5% dan 6% terlihat penurunan nilai VFWA karena <i>filler</i> yang digunakan terlalu banyak sehingga persentase bitumen terhadap total aspal dalam campuran juga semakin besar.</p> <p>3. Penggunaan asbuton mikro <i>filler</i> pada campuran SMA memberi pengaruh menurunnya nilai stabilitas. Hal ini terjadi karena asbuton mikro terdiri dari batu kapur yang mengandung bitumen sehingga dengan penambahan <i>filler</i> asbuton mikro akan menyebabkan naiknya kadar bitumen dalam campuran.</p> <p>4. Penambahan <i>filler</i> asbuton mikro akan menaikkan nilai <i>flow</i>, hal ini terjadi karena dengan</p>		
--	--	--	--	--	--

			<p>penambahan asbuton mikro kandungan aspal pada campuran akan bertambah.</p> <p>5. Nilai MQ mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar <i>filler</i>.</p>		
2	<p>PENGGUNAAN ASPAL BUTON PADA CAMPURAN AC-WC (ASPHALT CONCRETE–WEARING COURSE)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Untuk mengetahui kadar aspal yang terkandung dalam asbuton. 2. Untuk mengetahui Kadar aspal optimum pada campuran AC-WC (<i>Asphalt Concrete Wearing Course</i>). 3. Untuk mengetahui nilai maksimum penggunaan asbuton pada 	<p>Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kadar aspal yang terkandung dalam asbuton hasil ekstraksi yaitu sebesar 20,68% yang dimana dalam peraturan KPUPR Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 masuk dalam kategori Asbuton Butir Tipe B 50/30 dimana kadar bitumen asbuton Min 20%</p>	<p>Menggunakan aspal buton pada campuran AC-WC</p>	<p>Menggunakan aspal buton sebagai bahan pengganti, bukan sebagai <i>filler</i></p>

		campuran AC-WC (<i>Asphalt Concrete Wearing Course</i>)			
3	KAJIAN CAMPURAN PANAS ASPAL AGGREGAT ASBUTON RETONA BLEND 55 (AC-WC) DAN ASPAL PEN 60/70 DENGAN PENGUJIAN MARSHALL	Mengetahui perbandingan antara aspal pen 60/70 dengan aspal buton <i>Retona Blend 55</i> pen 40/60	Dari analisa dan pembahasan yang dilakukan di laboratorium, didapat kadar aspal optimum jenis campuran aspal biasa pen 60/70 yaitu 5.8% dan jenis campuran aspal buton <i>retona blend 55</i> pen 40/60 yaitu 6.0%. Besarnya kadar aspal <i>Retona Blend 55</i> pen 40/60 dibandingkan aspal biasa pen 60/70 karena asbuton <i>Retona Blend 55</i> mempunyai kelebihan dibandingkan dengan aspal biasa yaitu: stabilitas yang tinggi untuk menjaga agar campuran beraspal tahan terhadap deformasi permanan dan deformasi plastis, <i>durability</i> (keawetan) mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim serta gesekan	Menggunakan aspal buton pada campuran AC-WC	Menggunakan aspal buton <i>Retona Blend 55</i>

			antara roda kendaraan dengan permukaan perkerasan jalan dan cukup kedap air karena <i>filler</i> yang terkandung dalam <i>Retona Blend 55</i> bersifat <i>hydrophobic</i> sehingga tidak ada rembesan air yang masuk ke lapis pondasi di bawahnya.		
4	PENGGUNAAN ASPAL BUTON PADA CAMPURAN ATB (ASPHALT TREATED BASE)	Untuk mengetahui tipe dan kadar aspal yang terkandung dalam asbuton, persentase nilai kadar aspal optimum pada ATB (<i>Asphalt Treated Base</i>), serta persentase nilai maksimum penggunaan asbuton pada lapisan ATB (<i>Asphalt Treated Base</i>)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka didapatkan kadar aspal yang terkandung dalam asbuton hasil ekstraksi yaitu sebesar 20,68% yang dimana dalam peraturan KPUPR Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018 masuk dalam kategori Asbuton Butir Tipe B 50/30 dimana kadar bitumen asbuton Min 20%. 2. Dari hasil pengujian marshall persentase Kadar Aspal Optimum pada campuran ATB (<i>Asphalt Treated Base</i>) yaitu sebesar 5,43% dengan 	Menggunakan aspal buton pada campurannya	Menggunakan campuran ATB (<i>ASPHALT TREATED BASE</i>)

			<p>hasil uji marshall : Stabilitas (1048,56 Kg), <i>Flow</i> (3,14 mm), VIM (4,05%), VMA (16,12%), VFA (74,88%), MQ (332,93 Kg/mm).</p> <p>3. Dari hasil pengujian marshall persentase nilai maksimum penggunaan asbuton pada campuran ATB (<i>Asphalt Treated Base</i>) terdapat pada kadar variasi asbuton 7,94% yang telah mencapai persyaratan nilai maksimum pada VIM. Dengan hasil uji <i>marshall</i> : Stabilitas (1922,92 Kg), <i>Flow</i> (3,99 mm), VIM (5,00%), VMA (16,88%), VFA (70,35%), MQ (483,70 Kg/mm).</p>		
5	Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks	Untuk mengetahui karakteristik campuran AC-WC pada kadar aspal optimum dengan penambahan variasi	Penambahan lateks ke dalam campuran AC-WC menunjukkan nilai stabilitas Marshall yang semakin baik, nilai <i>flow</i> semakin tinggi, <i>Marshall Quotient</i> semakin	Menggunakan campuran AC-WC	Menggunakan bahan tambah berupa lateks

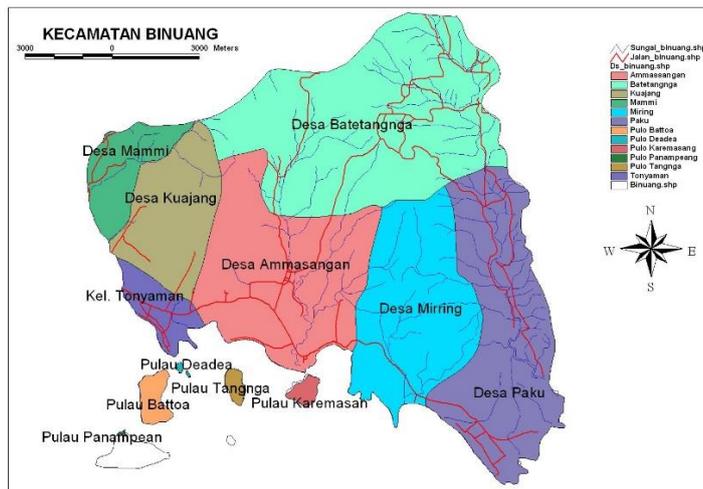
		lateks 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap total perekat	baik, nilai VIM yang semakin rendah, nilai VMA yang semakin rendah serta nilai VFB yang semakin tinggi. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada campuran dengan kadar lateks sampai 8% terhadap total perekat, adapun nilai stabilitas yang diperoleh sebesar 1658,00 kg		
--	--	---	---	--	--

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

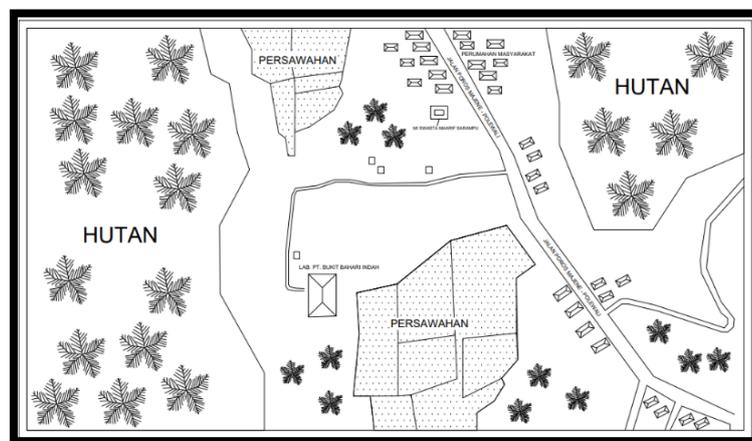
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

3.1.1 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium PT. Bukit Bahari Indah bertempat di Desa Mirring, Kec. Binnuang, Kabupaten Polewali Mandar dan Laboratorium Terpadu Universitas Sulawesi Barat.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian
Sumber : Google Earth, 2023



Gambar 3.2 Site Plane
Sumber : Rahmadani, 2023

3.1.2 Waktu Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilaksanakan pada bulan September 2023. Untuk lebih Jelasnya rincian waktu dan jenis kegiatan penelitian sebagai berikut.

Tabel 3.1 Waktu Penelitian

No	Tahap Kegiatan	Waktu Penyelesaian										
		Juli 2023	Agt 2023	Sept 2023	Okt 2023	Nov 2023	Des 2023	Jan 2024	Feb 2024	Mar 2024	Apr 2024	Mei 2024
1	Pra pelaksanaan 1. Studi Pustaka 2. Konsultasi Awal 3. Penyusunan Proposal											
2	Pelaksanaan 1. Pengenalan Lapangan 2. Pengambilan dan analisis data 3. Konsultasi dan Evaluasi											
3	Penyelesaian 1. Penyusunan dan Penyelesaian Laporan Kampus											

Sumber : Peneliti (2023)

3.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini ialah metode kuantitatif. Metode kuantitatif merupakan metode yang berbentuk penelitian atau riset yang dilakukan secara sistematis dan terperinci, dalam metode ini penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pembahasan serta teruji kebenarannya dijadikan acuan untuk mencari kebenaran selanjutnya. Data dari hasil

pengujian akan diolah untuk mendapatkan persentase optimum terhadap variasi campuran Lapisan Aspal beton AC-WC dan mendapatkan nilai *Marshall* pada tiap variasi campuran. Pengujian dilakukan dengan cara basah melalui variasi penambahan campuran aspal beton AC-WC dengan bahan asbuton tipe B 50/30 sebesar 0%, 3%, 5% dan 9%.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

3.3.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Alat pemeriksaan agregat, terdiri dari:
 - a. Satu set alat uji saringan standar ASTM



Gambar 3.3 Satu set analisa saringan
Sumber : Penulis 2023

- b. Satu set alat pengujian berat jenis dan penyerapannya Satu set alat pengujian berat jenis dan penyerapannya berupa oven, timbangan, kotak aluminium, alat uji SSD (*saturated surface dry*)



Gambar 3.4 Oven
Sumber : Penulis 2023



Gambar 3.5 Timbangan
Sumber : Penulis 2023



Gambar 3.6 Wadah
Sumber : Penulis 2023

2. Termometer



Gambar 3.7 Termometer
Sumber : Penulis 2023

3. Alat pembuat *briket* campuran aspal hangat terdiri dari:
- Satu set cetakan (*mold*) berbentuk silinder dengan diameter 101,60 mm, tinggi 80 mm dan alat penumbuk (*compactor*) yang mempunyai permukaan tumbuk rata terbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg (10 lbs), tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18)



Gambar 3.8 Cetakan silinder
Sumber : Penulis 2023

- Satu set alat pengangkat *briket* (dongkrak hidrolis).



Gambar 3.9 Dongkrak Hidrolis
Sumber : Penulis 2023

4. Bak perendam (*water bath*)



Gambar 3.10 Bak perendam (*water bath*)
Sumber : Penulis 2023

5. Satu set *Marshall*, terdiri dari :
- Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung.
 - Cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 2500 kg dan kg dilengkapi dengan arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025.
 - Arloji pengukur air (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm beserta perlengkapannya.



Gambar 3.11 Satu Set Alat Marshall
Sumber : Penulis 2023

6. Alat penunjang
- Kompor
 - Sendok, spatula
 - Sarung tangan
 - Kunci pas
 - Obeng
 - Roll kabel
 - Wajan



Gambar 3.12 Kompor
Sumber : Penulis 2023



Gambar 3.13 Spatula
Sumber : Penulis 2023



Gambar 3.14 Wajan
Sumber : Penulis 2023

3.3.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Aspal

Aspal penetrasi 60/70 yang digunakan ialah aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari laboratorium.



Gambar 3.15 Aspal pen 60/70
Sumber : Penulis 2023

2. Agregat kasar

Agregat kasar yang digunakan berasal dari hasil pemecahan batu (Stone Crusher). Ukuran agregat yang digunakan adalah ukuran yang lolos saringan #1/2, #3/8, dan #4 yaitu rentang antara 10 – 20 mm dan 5 – 10 mm untuk agregat sedang. Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini yakni agregat dari PT. Bukit Bahari Indah.



Gambar 3.16 Agregat Kasar

Sumber : Penulis 2023

3. Agregat halus

Agregat halus yang digunakan berasal dari hasil pemecahan batu (Stone Crusher). Ukuran agregat yang digunakan adalah ukuran yang lolos saringan #1/2, #3/8, #4, #8, # 16, #30, #50, #100, dan #200 yaitu rentang antara 0 – 5 mm. Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini yakni agregat halus dari PT Bukit Bahari Indah.



Gambar 3.17 Agregat Halus

Sumber : Penulis 2023

4. Filler

Filler adalah suatu mineral agregat dari fraksi halus yang sebagian besar (75%) lolos saringan nomor 200 (0,075 mm). *Filler* yang akan digunakan adalah semen divariasikan dengan aspal buton tipe B 50/30.



Gambar 3.18 Aspal Buton B 50/30
Sumber : Penulis 2023



Gambar 3.19 Semen
Sumber : Penulis 2023

3.4 Sumber Data Penelitian

3.4.1 Data Primer

Data primer adalah data pertama kali yang dikumpulkan oleh peneliti melalui upaya pengambilan data di lapangan langsung. Data primer di dapatkan dari hasil pengujian fisik agregat kemudian dilakukan pengujian mekanik yaitu dengan tes *Marshall* untuk menentukan stabilitas dan Kelelehan, dengan mencari parameter

Marshall seperti berat jenis, VMA, VIM, VFA, Stabilitas, Kelelahan, dan *Marshall Quotient*.

3.4.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah sumber data penelitian yang diperoleh penelitian secara tidak langsung melalui media perantara. Data sekunder didapatkan dari Bina Marga 2018, SNI 2439:2011 metode pengujian pencampuran aspal dengan alat *marshall* dan jurnal penelitian.

3.5 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen terhadap beberapa benda uji atau sampel, meliputi pengujian material, pembuatan sampel dan mengujian *marshall* dengan panduan standar pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Devisi 6 perkerasan aspal.

Sebelum penelitian dilakukan ada beberapa tahapan-tahapan yang harus dilalui, mulai dari persiapan, pemeriksaan, mulai bahan/material (agregat, aspal, *filler*), perencanaan campuran sampai dengan tahap pelaksanaan pengujian menggunakan metode *marshall*. Berdasarkan persyaratan dan spesifikasi yang telah ditentukan dan dilakukan terhadap pengujian, sehingga diperoleh nilai-nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFB, dan MQ. Alat yang digunakan dalam pengujian penelitian ini yaitu *marshall* sebagai alat uji tekan aspal. Pengambilan data pada alat *marshall* dilakukan dengan mencatat besar gaya yang didapat dari Pengujian benda uji tersebut.

3.6 Prosedur Pelaksanaan

Penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan yang akan dilakukan mulai dari tahap awal sampai tahap akhir dengan sistematika yang terarah sebagai berikut:

3.6.1 Persiapan

Tahap persiapan adalah tahap awal yang akan dilakukan dalam penelitian ini meliputi persiapan alat dan bahan yang digunakan. Sebelum melakukan penelitian, alat dan bahan harus diperiksa terlebih dahulu kelengkapannya agar penelitian dapat berjalan dengan lancar.

3.6.2 Pengujian Bahan

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap bahan yang digunakan seperti agregat, dan aspal yang digunakan. Pengujian ini dilakukan agar bahan yang akan digunakan dapat memenuhi spesifikasi yang ada.

3.6.3 Perencanaan Campuran

Rencana campuran adalah analisa perhitungan komposisi campuran aspal untuk mendapatkan proporsi campuran sesuai dengan yang diharapkan.

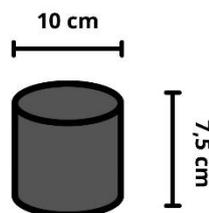
Berikut akan dipaparkan jumlah benda uji yang akan digunakan dalam penelitian, dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3.2 Jumlah benda uji

Kadar aspal (%)	Kadar Filler (%)	Jumlah benda uji	Total benda uji
KAO	0	3	3
	5	3	3
	10	3	3
	20	3	3
Jumlah benda uji			12

Sumber: Hasil analisa 2023

Pembuatan benda uji pada tahap ini dilakukan pembuatan benda uji dengan menggunakan cetakan silinder dengan diameter sebagai berikut :



Gambar 3.3 Desain Benda Uji

Sumber : Penulis, 2023

3.6.4 Prosedur Pengujian

Pada bab ini di uraikan kerja pengujian yaitu berupa uraian kegiatan untuk masing masing masing pengujian. Prosedur kerja pada pengujian ini di gambarkan pada bagan alir penelitian. Adapun uraian dari prosedur kerja pada pengujian di laboratorium.

1. Pembuatan benda uji

Berikut langkah-langkah pembuatan benda uji:

- a. Menimbang agregat sesuai dengan presentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak dua buah pada masing-masing variasi kadar aspal. Total benda uji yang dibuat sebanyak 12 buah



Gambar 3.20 Menimbang masing-masing proporsi agregat
Sumber : Penulis 2023

- b. Memanaskan aspal untuk pencampuran, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata.



Gambar 3.21 Memanaskan aspal dan agregat
Sumber : Penulis 2023

- c. Waktu dipanaskan suhu campuran harus mencapai 140°C , campuran tersebut dimasukkan ke dalam cetakan (*mold*) yang telah dibersihkan dan dipanaskan sampai suhu antara (93.3°C – 148.9°C) dan telah diolesi vaselin / oli / pelumas terlebih dahulu.



Gambar 3.22 Pemanasan campuran dengan suhu $140\text{-}160^{\circ}\text{C}$
Sumber : Penulis 2023



Gambar 3.23 Memasukkan campuran kedalam cetakan benda uji
Sumber : Penulis 2023

- d. Kemudian dilakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali di bagian sisi atas dan 75 kali tumbukan di bagian sisi bawah *mold* dengan tinggi jatuh sebesar 45 cm.



Gambar 3.24 Pemadatan campuran dengan alat penumbuk
Sumber : Penulis 2023

- e. Setelah proses pemadatan selesai, keluarkan benda uji dengan alat ejector dan beri kode atau label benda uji. Letakkan benda uji di atas permukaan rata dan halus dan biarkan selama kurang lebih 24 jam pada suhu ruang.



Gambar 3.25 Diamkan benda uji dalam suhu ruang
Sumber : Penulis 2023

2. Pengujian benda uji

Berikut langkah-langkah pengujian benda uji:

- a. Bersihkan dari kotoran yang menempel, lalu ukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm dengan menggunakan jangka sorong dan timbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.



Gambar 3.26 Mengukur tinggi benda uji

Sumber : Penulis 2023

- b. Benda uji direndam dalam air pada suhu ruang selama ± 24 jam supaya jenuh.



Gambar 3.27 Rendam benda uji selama 24 jam di suhu ruang

Sumber : Penulis 2023

- c. Ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air. Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan sehingga kering permukaan dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD) kemudian ditimbang.



Gambar 3.28 Timbang benda uji dalam air
Sumber : Penulis 2023



Gambar 3.29 Timbang benda uji dalam keadaan SSD
Sumber : Penulis 2023

- d. Pengujian benda uji dengan alat *Marshall Test* yaitu :
- 1) Benda uji direndam dalam bak perendam dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ selama ± 30 menit.



Gambar 3.30 Rendam benda uji pada suhu 60°C selama 30 menit
Sumber : Penulis 2023

- 2) Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian
- 3) Pasang cetakan stabilitas beserta dial *flow* pada mesin tekan, letakkan benda uji yang telah direndam pada cetakan stabilitas, atur *dial* agar menunjukkan angka nol.
- 4) Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm permenit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan tercapai atau pembebanan menurun seperti yang di tunjukkan oleh arloji tekan dan catat pembebanan maksimum *stability* yang di capai untuk beda uji yang tebalnya tidak sebesar 63,5 mm
- 5) Catat nilai alir *flow* yang di tunjuk oleh jarum arloji pengukur air pada saat pembebanan maksimum tercapai.



Gambar 3.31 Pembacaan dan mencatat nilai stabilitas dan *flow*
Sumber : Penulis 2023

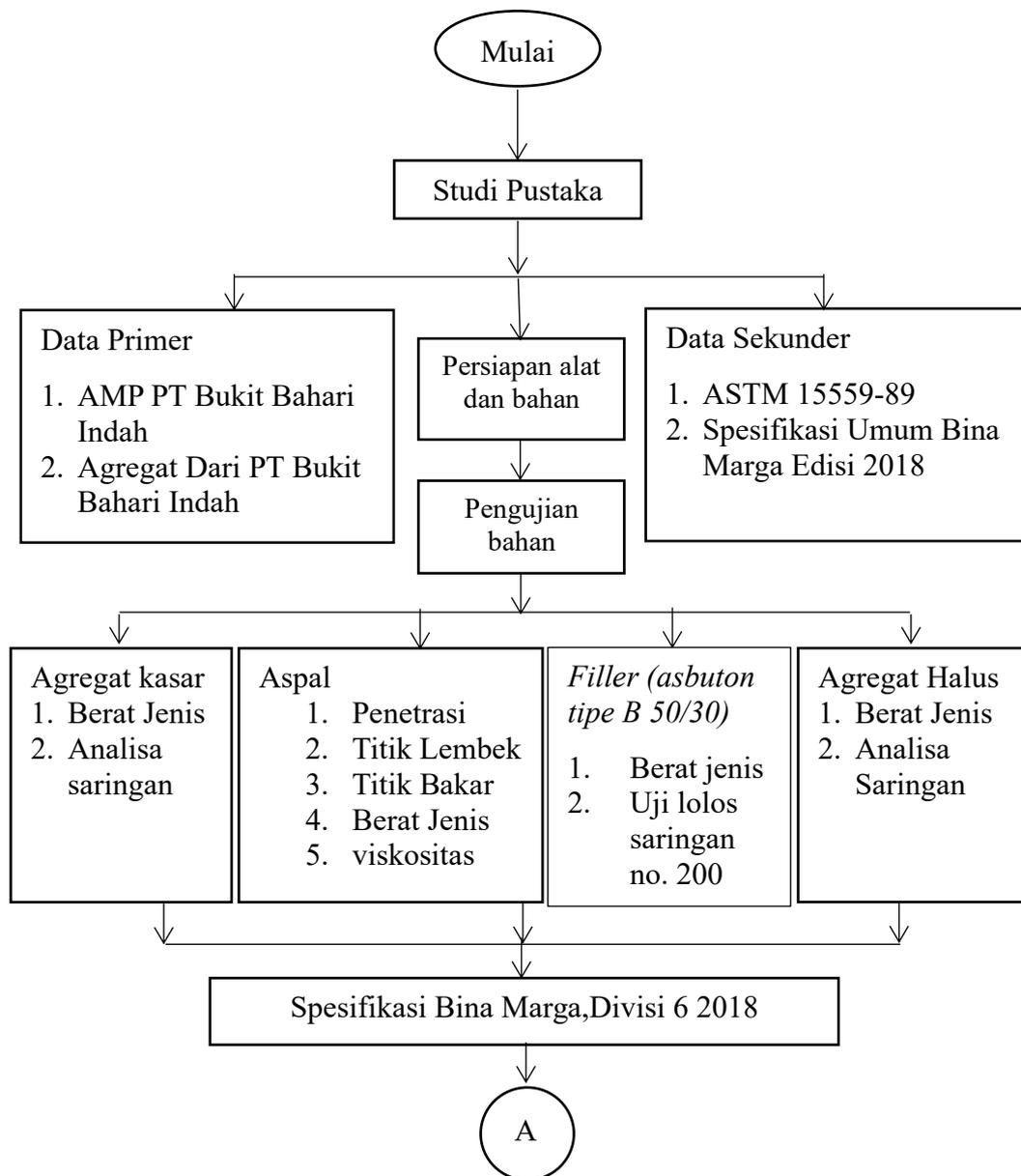
3.6.5 Analisa dan Pembahasan Hasil

Pengujian dilakukan untuk mendapatkan campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah di tetapkan di dalam kriteria perencanaan. Dimana pengujian ini meliputi pengukuran stabilitas dan air (*flow*) dari suatu campuran aspal. Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menahan beban sampai terjadi alir *flow* yang di nyatakan dalam kilogram. Dan alir *flow* adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban dinyatakan dalam penelitian ini akan fokus pada pembahasan mengenai pengaruh

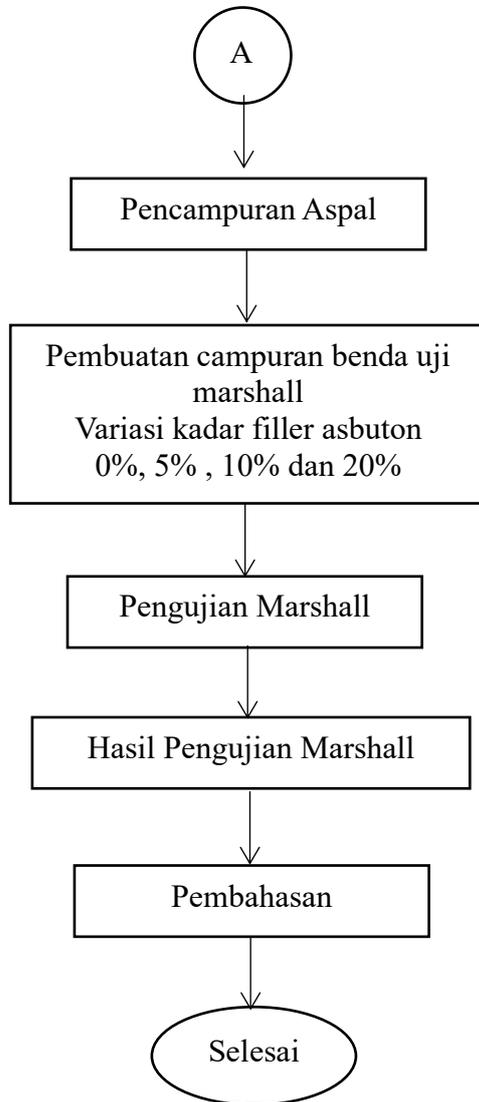
kualitas dari campuran aspal beton terhadap karakteristik *marshall* yang meliputi: kepadatan (*density*), VIM, VMA, VFA, pelelehan (*flow*), stabilitas dan MQ (*Marshall Quotient*). Dari hasil analisa data pengujian, nantinya akan muncul grafik kepadatan VIM, VMA, VFA, pelelehan (*flow*), stabilitas dan MQ (*Marshall Quotient*).

3.7 Flowchart

Penelitian dibagi menjadi beberapa tahap yaitu tahap persiapan, pemeriksaan terhadap spesifikasi, penentuan rencana campuran (*mix design*) pembuatan benda uji dan pengujian *Marshall*. Bagan *Flowchart* Penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.14



Pengujian *Marshall*



Gambar 3.32 Flowchart
Sumber : Peneliti (2023)

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Dalam pengujian material ada beberapa jenis pengujian yaitu pengujian berat jenis, berat isi, dan analisa saringan untuk mendapatkan kombinasi agregat sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6

4.1.1. Pengujian Berat Jenis Agregat

Pada pengujian agregat kasar dan Agregat Halus di laboratorium bertujuan untuk mengidentifikasi berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh SSD (*saturater surface dry*), berat jenis semu (*apparent*) penyerapan agregat kasar dan agregat halus. Hasil berat jenis ditunjukkan sebagai berikut :

Tabel 4.1 Hasil Berat Jenis Agregat Kasar (*Split* 1-2 cm)

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air (Bin III)				
SNI 1969:2008				
Nomor Contoh		I	II	Satuan
Berat Contoh Kering Oven	A	2956	2957	Gram
Berat Contoh Kering Permukaan (SSD)	B	2984	2972,5	Gram
Berat Contoh Dalam Air	C	1818,7	1817,5	Gram
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering oven)	$\frac{A}{B - C}$	2,537	2,560	Spesifikasi
		2,548		
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering permukaan jenuh)	$\frac{B}{B - C}$	2,561	2,574	Min 2,5%
		2,567		
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{A - C}$	2,599	2,595	
		2,597		
Penyerapan Air	$\frac{(B - A)}{A} \times 100\%$	0,947	0,524	Maks 3%
		0,736		

Sumber: Hasil analisa 2023

Tabel 4.2 Hasil Berat Jenis Agregat Kasar (*Split* 0,5-1 cm)

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air (Bin II)				
SNI 1969:2008				
Nomor Contoh		I	II	Satuan
Berat Contoh Kering Oven	A	1470	1464	Gram
Berat Contoh Kering Permukaan (SSD)	B	1484	1488,5	Gram
Berat Contoh Dalam Air	C	916,1	917,6	Gram
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering oven)	$\frac{A}{B - C}$	2,588	2,564	Spesifikasi
		2,576		
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering permukaan jenuh)	$\frac{B}{B - C}$	2,613	2,607	Min 2,5%
		2,610		
Berat Jenis Semu	$\frac{A}{A - C}$	2,654	2,679	
		2,667		
Penyerapan Air	$\frac{(B - A)}{A} \times 100\%$	0,952	1,673	Maks 3%
		1,313		

Sumber: Hasil analisa 2023

Tabel 4.3 Hasil Berat Jenis Agregat Halus (*Split* 0-0,5 cm)

Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air (Bin I)				
SNI 1970:2008				
Nomor Contoh		I	II	Satuan
Berat Contoh Kering Permukaan (SSD)	A	500	500	Gram
Berat Contoh Kering Oven	B	497,4	492,2	Gram
Berat Picnometer + Air (25 °C) Kalibrasi	C	674,4	674,5	Gram
Berat Picnometer + Air (25 °C) + Contoh (SSD)	D	972,5	983,3	Gram
Berat Jenis Bulk (atas dasar kering oven)	$\frac{B}{C + A - D}$	2,464	2,574	Spesifikasi
		2,519		
		2,476	2,615	Min 2,5%

Berat Jenis Bulk (atas dasar kering permukaan jenuh)	$\frac{A}{C + A - D}$	2,546		
Berat Jenis Semu	$\frac{B}{C + B - D}$	2,496	2,684	
		2,590		
Penyerapan Air	$\frac{(A-B)}{B} \times 100\%$	0,523	1,585	Maks 3%
		1,054		

Sumber: Hasil analisa 2023

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis agregat untuk agregat 1-2 cm diperoleh nilai rata-rata berat jenis *bulk*, berat kering permukaan (SSD), berat jenis semu dan absorpsi, 2,548 gram, 2,567 gram, 2,597 gram dan 0,736 %, untuk agregat 0,5-1cm diperoleh nilai rata-rata berat jenis *bulk*, berat kering permukaan (SSD), berat jenis semu dan absorpsi, yaitu 2,576 gram, 2,610 gram, 2,667 gram, dan 1,313%, untuk agregat 0-0,5cm diperoleh nilai rata-rata berat jenis *bulk*, berat kering permukaan (SSD), berat jenis semu dan absorpsi, yaitu 2,519 gram, 2,546 gram, 2,690 gram, dan 1,054 %, dari hasil pengujian diatas memenuhi spesifikasi sesuai dengan standar yang digunakan yaitu SNI 1970: 2008 (berat jenis dan penyerapan air agregat halus) yang ditetapkan minimal 2,5% hasil pemeriksaan penyerapan air juga memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 3%.

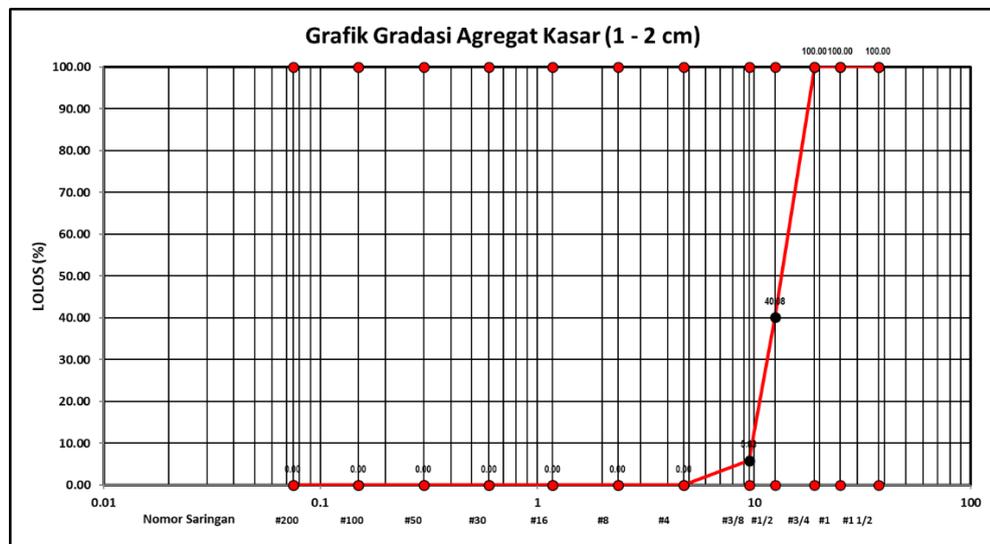
4.1.2. Pengujian Analisa Saringan

Pengujian Analisa saringan dilakukan pada setiap fraksi agregat yang digunakan yaitu agregat kasar (1-2cm), medium agregat (0,5-1cm) dan agregat halus (0-0,5cm) yang mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 2 dan SNI 03-1968-1990. Berikut hasil analisa saringan dapat dilihat pada tabel:

Tabel 4.4 Analisa Saringan Agregat Kasar 1–2 cm

No,Saringan		Sampel I			Sampel II			Rata-rata Lolos			
		Jumlah Massa Tertahan	Kumulatif Tertahan		Lolos	Jumlah Massa Tertahan	Kumulatif Tertahan				
SIZE	(mm)		Gram	%			%	Gram	%	%	
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	
1'	25	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00	
1/2"	12,5	2482,90	2482,90	57,74	42,26	2856,60	2856,60	62,10	37,90	40,08	
3/8"	9,5	1593,00	4075,90	94,78	5,22	1447,10	4303,70	93,55	6,45	5,83	
# 4	4,75	224,30	4300,20	100,00	0,00	296,60	4600,30	100,00	0,00	0,00	
		Total Berat Sampel (Gram)			4300	Total Berat Sampel (Gram)			4600		

Sumber: Hasil analisa 2023



Gambar 4.1 Grafik Analisa Saringan Agregat 1-2 cm

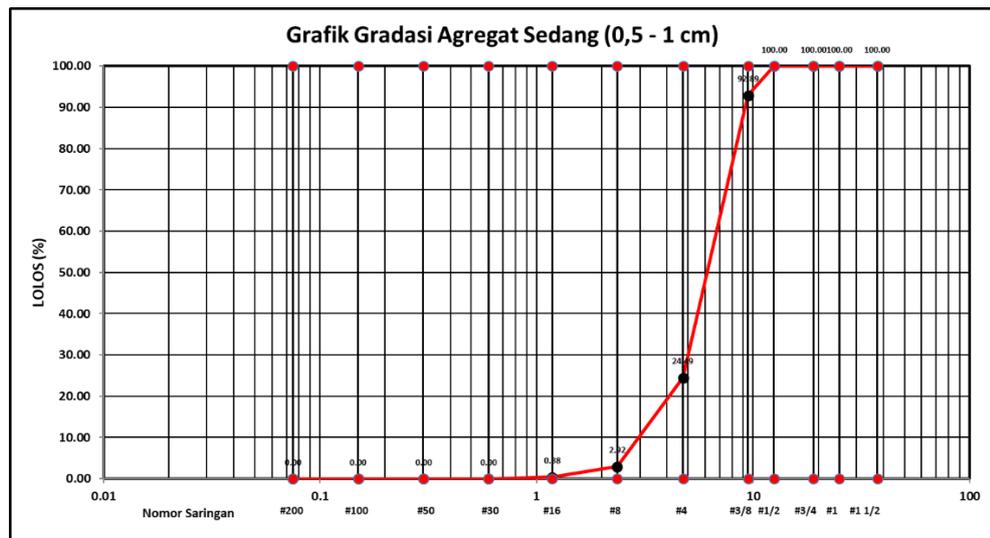
(Sumber: Hasil analisa 2023)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada fraksi agregat kasar (1-2 cm) dengan berat total 2 sampel masing masing 4300 gram dan 4600 gram didapatkan nilai rata rata persen lolos pada saringan #3/4, #1/2, #3/8, #4 sebanyak 100,00%, 40,08%,5,83%,0,00%.

Tabel 4.5 Analisa Saringan Agregat Kasar 0,5-1 cm

No,Saringan		Sampel I				Sampel II				Rata-rata Lolos
		Jumlah Massa Tertahan	Kumulatif Tertahan		Lolos	Jumlah Massa Tertahan	Kumulatif Tertahan		Lolos	
SIZE	(mm)		Gram	%	%		Gram	%	%	
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1'	25	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
3/8"	9,5	128,60	128,60	3,49	96,51	395,30	395,30	10,72	89,28	92,89
# 4	4,75	2501,00	2629,60	71,33	28,67	2542,30	2937,60	79,69	20,31	24,49
# 8	2,36	928,50	3558,10	96,52	3,48	662,00	3599,60	97,64	2,36	2,92
# 16	1,18	112,20	3670,30	99,57	0,43	74,60	3674,20	99,67	0,33	0,38
# 30	0,600	16,00	3686,30	100,00	0,00	12,30	3686,50	100,00	0,00	0,00
# 50	0,30	0,00	3686,30	100,00	0,00	0,00	3686,50	100,00	0,00	0,00
# 100	0,150	0,00	3686,30	100,00	0,00	0,00	3686,50	100,00	0,00	0,00
# 200	0,075	0,00	3686,30	100,00	0,00	0,00	3686,50	100,00	0,00	0,00
		Total Berat Sampel (Gram)			3686	Total Berat Sampel (Gram)			3687	

Sumber: Hasil analisa 2023



Gambar 4.2 Grafik Analisa Saringan Agregat 0,5-1 cm
(Sumber: Hasil analisa 2023)

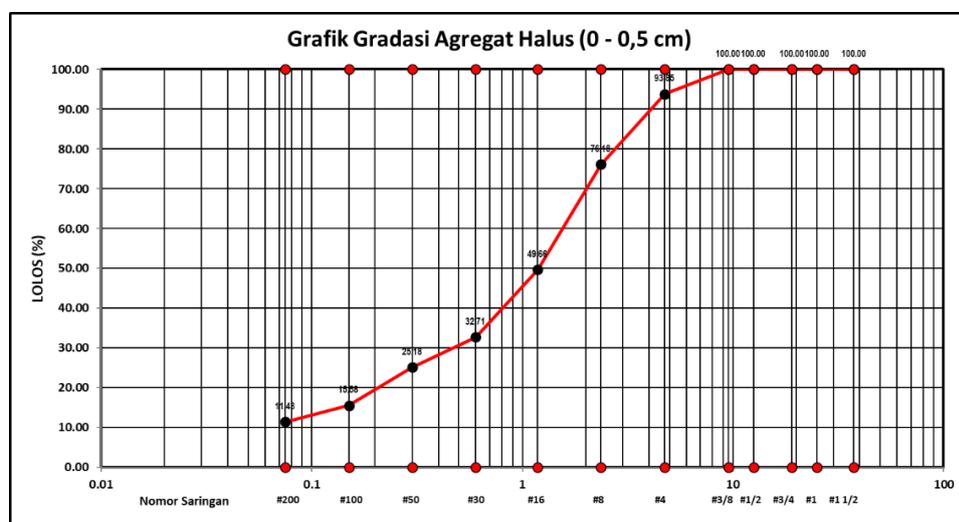
Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada gambar 4.2 fraksi agregat kasar (0,5- 1 cm) dengan berat total 2 sampel masing masing 3686 gram dan 3687 gram didapatkan nilai rata rata persen lolos pada saringan

#1/2, #3/8, #4, #8, #16, #30 sebanyak 100,00%, 92,89%, 24,49%, 2,92%, 0,38%, 0,00%

Tabel 4.6 Analisa Saringan Agregat Halus 0-0,5 cm

No.Saringan		Sampel I				Sampel II				Rata-rata Lolos
		Jumlah Massa Tertahan	Kumulatif Tertahan		Lolos	Jumlah Massa Tertahan	Kumulatif Tertahan		Lolos	
SIZE	(mm)		Gram	%	%		Gram	%	%	
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1'	25	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
3/4"	19	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	100,00	100,00
# 4	4,75	125,70	125,70	6,39	93,61	117,30	117,30	5,91	94,09	93,85
# 8	2,36	334,90	460,60	23,43	76,57	363,00	480,30	24,20	75,80	76,18
# 16	1,18	504,30	964,90	49,09	50,91	543,60	1023,90	51,58	48,42	49,66
# 30	0,600	326,70	1291,60	65,71	34,29	343,00	1366,90	68,86	31,14	32,71
# 50	0,30	147,20	1438,80	73,20	26,80	150,20	1517,10	76,43	23,57	25,18
# 100	0,150	196,30	1635,10	83,19	16,81	183,20	1700,30	85,66	14,34	15,58
# 200	0,075	84,10	1719,20	87,46	12,54	79,80	1780,10	89,68	10,32	11,43
PAN		246,40	1965,60	100,00	0,00	204,80	1984,90	100,00	0,00	0,00
		Total Berat Sampel (Gram)			1966	Total Berat Sampel (Gram)			1985	

Sumber: Hasil analisa 2023



Gambar 4.3 Grafik Analisa Saringan Agregat 0-0,5 cm
(Sumber: Hasil analisa 2023)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada fraksi agregat kasar (0-0,5 cm) dengan berat total 2 sampel masing masing 1966 gram dan 1985 gram didapatkan nilai rata rata persen lolos pada saringan #3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 sebanyak 100,00%, 93,85%, 76,18%, 49,66%, 32,71%, 25,18%, 15,58%, 11,43%, 0,00%.

4.1.3. Menentukan Kombinasi Agregat Gabungan

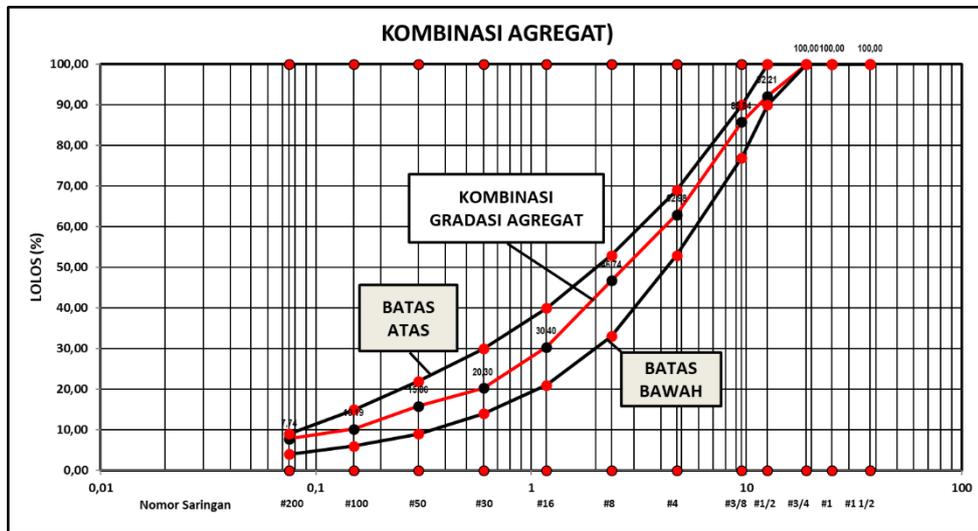
Untuk membuat campuran aspal perlu diketahui juga proporsi agregat gabungan. Proporsi agregat gabungan merupakan penggabungan agregat atau campuran agregat kasar, medium dan agregat halus (abu batu) sehingga menjadi homogen dan mempunyai susunan butiran sesuai dengan spesifikasi. Penggabungan agregat pada penelitian ini dilakukan dengan metode trial and error. Metode *trial and error* dilakukan dengan cara memasukkan nilai presentase setiap agregat dengan melihat spesifikasi batas atas dan batas bawah dari gradasi gabungan campuran pada *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Hasil penentuan gradasi gabungan dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.7 Gradasi Kombinasi Agregat

No. Saringan		Gradasi Agregat				0-0,5 cm	0,5-1 cm	1-2 mm	Filler	Kombinasi agregat	% lolos spesifikasi	
SIZE	(mm)	0-0,5 cm	0,5-1 cm	1-2 mm	Filler	59,00	27,00	13,00	1,00		Min	Max
1 1/2"	37,5	100,00	100,00	100,00	100,00	59,00	27,00	13,00	1,00	100,00	100,00	100,00
1'	25	100,00	100,00	100,00	100,00	59,00	27,00	13,00	1,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	19	100,00	100,00	100,00	100,00	59,00	27,00	13,00	1,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	12,5	100,00	100,00	40,08	100,00	59,00	27,00	5,21	1,00	92,21	90,00	100,00
3/8"	9,5	100,00	92,89	5,83	100,00	59,00	25,08	0,76	1,00	85,84	77,00	90,00
# 4	4,75	93,85	24,49	0,00	100,00	55,37	6,61	0,00	1,00	62,98	53,00	69,00
# 8	2,36	76,18	2,92	0,00	100,00	44,95	0,79	0,00	1,00	46,74	33,00	53,00
# 16	1,18	49,66	0,38	0,00	100,00	29,30	0,10	0,00	1,00	30,40	21,00	40,00
# 30	0,600	32,71	0,00	0,00	100,00	19,30	0,00	0,00	1,00	20,30	14,00	30,00
# 50	0,30	25,18	0,00	0,00	100,00	14,86	0,00	0,00	1,00	15,86	9,00	22,00
# 100	0,150	15,58	0,00	0,00	100,00	9,19	0,00	0,00	1,00	10,19	6,00	15,00
# 200	0,075	11,43	0,00	0,00	100,00	6,74	0,00	0,00	1,00	7,74	4,00	9,00

Sumber: Hasil analisa 2023

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan pada kombinasi agregat gabungan dengan didapatkan nilai rata rata persen lolos pada saringan #3/4, #1/2, #3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200 sebanyak 100,00%, 92,21%, 85,84%, 62,98%, 46,74%, 30,40%, 20,30%, 15,86%, 10,19% dan 7,74%.



Gambar 4.4 Grafik Kombinasi Agregat Gabungan
(Sumber: Hasil analisa 2023)

Gambar grafik kombinasi diatas menunjukkan bahwa kurva warna hitam adalah batas atas dan batas bawah sesuai dengan standar spesifikasi Bina marga 2018. Dari hasil gradasi kombinasi pada kurva yang berwarna merah menunjukkan bahwa semua memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2018 divisi 6 tentang campuran beraspal panas yang ditentukan dan diperoleh pada campuran normal kombinasi agregat komposisi Bin I sebanyak 59,00%, Bin II sebanyak 27,00%, Bin III sebanyak 13,00%, serta *filler* sebanyak 1,00%. Persentase yang didapat pada masing-masing agregat diperoleh dari hasil percobaan *trial and error*, untuk garis kurva warna merah pada Gambar 4.4 menunjukkan hasil gradasi mulai dari saringan 1 1/2" hingga saringan no.200 memenuhi dari hasil perhitungan pada spesifikasi kombinasi gradasi agregat.

4.2 Hasil Pemeriksaan Aspal Pen 60/70

Pada pengujian aspal ini dilakukan di laboratorium bertujuan untuk mengidentifikasi aspal pen 60/70 apakah sesuai dengan aspal yang akan digunakan. Sebagian data pengujian hasil analisa dan sebagian data pengujian dari PT.Bukit Bahari Indah, Adapun yang dilakukan yaitu mencakup pengujian Penetrasi aspal, Titik Lembek, Titik Nyala, Berat jenis, dan data dari PT.Bukit Bahari Indah yaitu pengujian Viskositas, dan Daktilitas. Berikut hasil pengujian aspal di laboratorium.

Tabel 4.8 Rekapitulasi Pemeriksaan Aspal Pen 60/70

No	Pengujian	Metode	Satuan	Hasil	Spesifikasi
1	Penetrasi Pada 25 °C	SNI 2456-2011	mm	68,3	60-70
2	Viskositas Kinematis 135°C	SNI 06-6441-2000	cSt	345	≥ 300
3	Titik Lembek	SNI 2434-2011	°C	52	≥ 48
4	Daktilitas 25°C	SNI 2432-2011	Cm	118	≥ 100
5	Titik Nyala dan Titik Bakar	SNI 2433-2011	°C	249	≥ 232
6	Berat Jenis	SNI 2441-2011	-	1,001	≥ 1.0

Sumber: Hasil analisa 2023 dan PT. Bukit Bahari Indah

Dari tabel hasil pengujian karakteristik aspal penetrasi 60/70 di atas dapat diketahui hasil pengujian penetrasi mengacu pada SNI 2456-2011 diperoleh hasil uji sebesar 68,3 mm, pengujian viskositas kinematis mengacu pada SNI 06-6411-2000 diperoleh hasil uji sebesar 345 cSt, pengujian titik lembek mengacu pada SNI 2434-2011 diperoleh hasil uji sebesar 52°C, pengujian daktilitas mengacu pada SNI 2432- 2011 diperoleh hasil uji sebesar 118 cm, pengujian titik nyala mengacu pada SNI 2433- 2011 diperoleh hasil uji sebesar 249°C ,dan pengujian berat jenis aspal minyak mengacu pada SNI 2441-2011 diperoleh hasil uji sebesar 1,001 gr/cc, untuk semua hasil uji aspal pen 60/70 memenuhi syarat Bina Marga 2018.

4.3 Hasil Pemeriksaan Aspal Buton B50/30

Pada pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui persen kadar bitumen yang telah di ekstraksi dan persen kadar air pada asbuton B50/30 yaitu dengan cara pemeriksaan bahan beraspal dengan cara ekstraksi menggunakan alat soklet.

Tabel 4.9 Pemeriksaan Hasil Ekstraksi Aspal Buton B50/30

	Test No	Satuan		Sampel		Kadar Aspal Rata-rata (%)	Spesifikasi
				I	II		
A	Berat contoh awal	gr		300	300	21,08	Min 20%
B	Berat contoh setelah	gr		231,8	236,7		
C	Berat filter awal	gr		2,3	2,3		
D	Berat filter setelah	gr		5,2	4,4		
E	Berat abu	gr	D - C	2,9	2,1		
F	Berat total contoh	gr	B + E	234,7	238,8		
G	Berat aspal	gr	A - F	65,3	61,2		
H	Kadar aspal	%	$(G/A) \times 100$	21,77	20,40		

Sumber: Alfiansyah, 2023

Tabel 4.10 Pemeriksaan Kadar Air Aspal Buton B50/30

Kadar Air		Sampel		Spesifikasi
		I	II	
A	Tinbox			Maks. 4%
B	Berat TinBox	312,7	337,6	
C	Berat TinBox + asb basah	943,8	998,8	
D	Berat TinBox + asb kering	919,8	976,9	
E	Berat asb kering	607,1	639,3	
F	Berat Air	24,0	21,9	
G	Kadar Air	3,95	3,43	
Rata-rata		3,69%		

Sumber: PT. Bukit Bahari Indah 2023

Dari tabel hasil pengujian karakteristik Asbuton B50/30 di atas dapat diketahui hasil, pengujian kadar bitumen asbuton (SNI 03-3640-1994) hasil yang didapatkan sebesar 21,08% dengan nilai yang ditetapkan yaitu minimal 20%, pengujian kadar air asbuton (SNI 2490-2008) hasil yang didapatkan sebesar 3,69% dengan nilai yang ditetapkan yaitu Maksimal 4%, untuk semua hasil uji asbuton B50/30 memenuhi syarat Bina Marga 2018.

4.4 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) Berdasarkan Campuran Normal

Untuk menentukan Kadar Aspal Optimum di perlukan beberapa tahap seperti menentukan kadar aspal rencana kemudian membuat benda uji berdasarkan kadar aspal rencana dan yang terakhir ialah uji *Marshall*.

4.4.1. Menentukan Kadar Aspal Rencana

Pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mendapatkan nilai kadar aspal rencana (PB) untuk menghasilkan campuran aspal panas yang memenuhi persyaratan.

Penentuan kadar aspal rencana(Pb) dapat dihitung dengan rumus :

$$Pb = 0,0035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18(\%FF)+K.....(4.1)$$

Dimana :

Pb : Perkiraan kadar aspal terhadap campuran

CA : Agregat kasar tertahan saringan No. 8

FA : Agregat halus lolos saringan No. 8

Filler : Bahan pengisi lolos saringan No. 200

K : Konstanta (1)

% CA : $100\% - 46,74\% = 53,26\%$

% FA : $46,74\% - 7,74\% = 39,00\%$

% FF : $= 7,74\%$

Pb : $0,035 (53,26\%) + 0,045 (39,00\%) + 0,18 (7,74\%) + 1 = 6,02\%$

Tabel 4.11 Perkiraan Awal Kadar Aspal

Pb-1	Pb-0,5	Pb	Pb+0,5	Pb+1
5,02	5,52	6,02	6,52	7,02

Sumber: Hasil analisa 2023

Tabel 4.12 Komposisi Campuran Kadar Aspal 5,02%

Material	Kadar Aspal (%)	Persentase terhadap agregat (%)	Persentase terhadap campuran (%)	1200 Gram	
				Berat Individu	Berat Kumulatif
				Gram	Gram
Hot Bin 1 (Abu Batu)		59,00	56,04	672,46	672,46
Hot Bin 2 (Bt. 0.5-1)		27,00	25,64	307,74	980,19
Hot Bin 3 (Bt. 1-2)		13,00	12,35	148,17	1128,36
Filler (semen)		1,00	0,95	11,40	1139,76
Aspal Minyak	5,02		5,02	60,24	1200
Total	5,02	100	100	1200	1200

Sumber: Hasil analisa 2023

Tabel 4.13 Komposisi Campuran Kadar Aspal 5,52%

Material	Kadar Aspal (%)	Persentase terhadap agregat (%)	Persentase terhadap campuran (%)	1200 Gram	
				Berat Individu	Berat Kumulatif
				Gram	Gram
Hot Bin 1 (Abu Batu)		59,00	55,45	668,72	668,72
Hot Bin 2 (Bt. 0.5-1)		27,00	25,37	306,03	974,75
Hot Bin 3 (Bt. 1-2)		13,00	12,22	147,35	1122,09
Filler (semen)		1,00	0,94	11,33	1133,43
Aspal Minyak	5,52		5,520	66,57	1200
Total	5,52	100	100	1200	1200

Sumber: Hasil analisa 2023

Tabel 4.14 Komposisi Campuran Kadar Aspal 6,02%

Material	Kadar Aspal (%)	Persentase terhadap agregat (%)	Persentase terhadap campuran (%)	1200 Gram	
				Berat Individu	Berat Kumulatif
				Gram	Gram
Hot Bin 1 (Abu Batu)		59,00	55,45	665,38	665,38
Hot Bin 2 (Bt. 0.5-1)		27,00	25,37	304,50	969,87
Hot Bin 3 (Bt. 1-2)		13,00	12,22	146,61	1116,48
Filler (semen)		1,00	0,94	11,28	1127,76
Aspal Minyak	6,02		6,02	72,24	1200
Total	6,02	100	100	1200	1200

Sumber: Hasil analisa 2023

Tabel 4.15 Komposisi Campuran Kadar Aspal 6,52%

Material	Kadar Aspal (%)	Persentase terhadap agregat	Persentase terhadap campuran	1200 Gram	
				Berat Individu	Berat Kumulatif
		(%)	(%)	Gram	Gram
Hot Bin 1 (Abu Batu)		59,00	55,15	661,84	661,84
Hot Bin 2 (Bt. 0.5-1)		27,00	25,24	302,88	964,71
Hot Bin 3 (Bt. 1-2)		13,00	12,15	145,83	1110,54
Filler (semen)		1,00	0,935	11,22	1121,76
Aspal Minyak	6,52		6,52	78,24	1200
Total	6,52	100	1200	1200	1200

Sumber: Hasil analisa 2023

Tabel 4.16 Komposisi Campuran Kadar Aspal 7,02%

Material	Kadar Aspal (%)	Persentase terhadap agregat	Persentase terhadap campuran	1200 Gram	
				Berat Individu	Berat Kumulatif
		(%)	(%)	Gram	Gram
Hot Bin 1 (Abu Batu)		59,00	54,86	658,30	658,30
Hot Bin 2 (Bt. 0.5-1)		27,00	25,10	301,26	959,55
Hot Bin 3 (Bt. 1-2)		13,00	12,09	145,05	1104,60
Filler (semen)		1,00	0,93	11,16	1115,76
Aspal Minyak	7,02		7,02	84,24	1200
Total	7,02	100	100	1200	1200

Sumber: Hasil analisa 2023

4.4.2. Menentukan Hasil Kadar Aspal Optimum Campuran Normal

Berdasarkan nilai kadar aspal rencana yang telah diperoleh maka langkah selanjutnya menghitung kebutuhan masing-masing agregat dari berat total 1200 gram kemudian dilakukan pembuatan sampel dan pengujian *Marshall*. Untuk hasil dari pengujian *Marshall* pada campuran normal dapat dilihat pada tabel berikut :

1. VIM(*Voids In Mix*)

VIM ialah nilai persentase rongga dalam campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap daya layan aspal, semakin tinggi nilai VIM maka semakin tinggi kemampuan aspal untuk tidak kedap air di udara,

sehingga dapat mempercepat penuaan aspal dan mudah retak sedangkan nilai VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan campuran perkerasan mudah mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat, Nilai VIM terpenuhi apabila nilai berada pada rentang 3% sampai 5%. Cara mendapatkan nilai VIM adalah dengan menggunakan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned} \text{VIM} &= 100 - \left(100 \times \frac{Gmb}{Gmm}\right) \\ \text{VIM}_1 \text{ (5,02\% kadar aspal)} &= 100 - \left(100 \times \frac{2,305}{2,413}\right) = 4,46\% \\ \text{VIM}_2 &= 5,79\% \\ \text{VIM}_3 &= 5,67\% \\ \text{Rata-rata nilai VIM} &= \left(\frac{\text{VIM}_1 + \text{VIM}_2 + \text{VIM}_3}{3}\right) \\ &= \left(\frac{4,46 + 5,79 + 5,67}{3}\right) \\ &= 5,31\% \end{aligned}$$

Keterangan :

VIM : Rongga dalam campuran (%)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran padat

Gmm : Berat jenis maksimum campuran beraspal teoritis

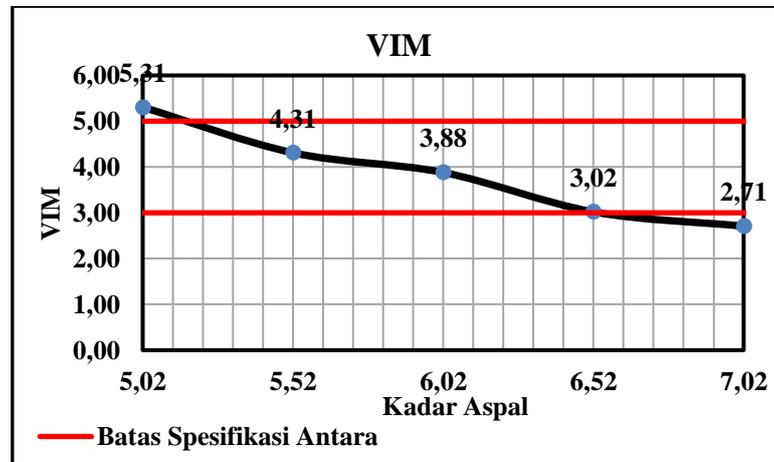
Tabel 4.17 Hasil Perhitungan Nilai VIM

No.	Kadar Aspal (%)	VIM (%)	Spesifikasi	Ket.
1	5,02	5,31	3 – 5	Tidak Memenuhi
2	5,52	4,31		Memenuhi
3	6,02	3,88		Memenuhi
4	6,52	3,02		Memenuhi
5	7,02	2,71		Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Analisa 2023

Berdasarkan tabel 4.17 diatas Nilai VIM yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 devisi 6 dengan nilai berada di antara 3 – 5 yakni pada kadar aspal 5,52%, 6,02% dan 6,52% dengan masing-masing nilai

4,31%, 3,88% dan 3,02%. Sedangkan kadar aspal 5,02% dan 7,02% tidak memenuhi syarat dengan nilai masing masing 5,31% dan 2,71%.



Gambar 4.5 Grafik Nilai VIM
(Sumber: Hasil analisa 2023)

Berdasarkan gambar grafik 4.5 menunjukkan bahwa semakin bertambahnya nilai kadar Aspal yang digunakan maka disertai penurunan nilai VIM. Untuk hasil pengujian VIM kadar aspal 5,02% dan 7,02% tidak memenuhi syarat, sehingga berpengaruh terhadap daya layan aspal, semakin tinggi kemampuan untuk tidak kedap air di udara, sehingga dapat mempercepat penuaan aspal dan mudah retak. Namun pada variasi kadar aspal 5,52% sampai 6,52% memenuhi syarat Bina Marga, Nilai VIM Tertinggi terdapat pada kadar aspal 5,02% sebesar 5,31% dan nilai VIM terendah terdapat pada kadar aspal 7,02% sebesar 2,71%. Sedangkan nilai VIM terlalu kecil hal ini akan mengakibatkan campuran perkerasan mudah mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat.

2. VMA (*Voids In Mineral Agregate*)

VMA (*Void In Mineral Aggregates*) ialah rongga udara yang ada diantara mineral agregat didalam campuran beraspal panas yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal. VMA (*Void In Mineral Aggregate*) dinyatakan dalam prosentase dari campuran beraspal panas. VMA (*Void In Mineral Aggregate*) digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan volume rongga udara yang diperlukan dalam

campuran beraspal panas, besarnya nilai VMA (*Void In Mineral Aggregate*) dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperature pemadatan. Nilai VMA dikatakan terpenuhi apabila nilai yang didapat diatas 15%. Cara untuk mendapatkan nilai VMA adalah dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{VMA} &= 100 - \left(\frac{Gmb(100-Pb)}{Gsb} \right) \\ \text{VMA}_1 (5,02\% \text{ kadar aspal}) &= 100 - \left(\frac{2,305(100-5,02)}{2,543} \right) = 13,91\% \\ \text{VMA}_2 &= 15,11\% \\ \text{VMA}_3 &= 15,00\% \\ \text{Rata-rata nilai VMA} &= \left(\frac{\text{VMA}_1 + \text{VMA}_2 + \text{VMA}_3}{3} \right) \\ &= \left(\frac{13,91 + 15,11 + 15,00}{3} \right) \\ &= 14,67\% \end{aligned}$$

Keterangan :

VMA : Rongga diantara mineral (%)

Gsb : Berat jenis bulk untuk agregat total yang ada

Pb : Kadar aspal (%)

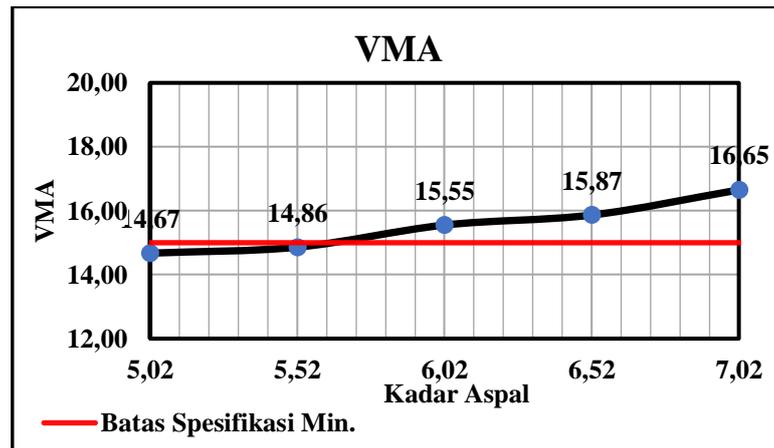
Gmb : Berat jenis curah campuran padat

Tabel 4.18 Hasil Perhitungan Nilai VMA

No.	Kadar Aspal (%)	VMA (%)	Spesifikasi	Ket.
1	5,02	14,67	≥15	Tidak Memenuhi
2	5,52	14,86		Tidak Memenuhi
3	6,02	15,55		Memenuhi
4	6,52	15,87		Memenuhi
5	7,02	16,65		Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa, 2023

Berdasarkan tabel 4.18 diatas nilai VMA yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 devisa 6 dengan nilai min 15% yakni pada kadar aspal 6,02%, 6,52% dan 7,02% dengan masing-masing nilai 15,55%, 15,87%, dan 16,65%. Sedangkan kadar aspal 5,02% dan 5,52% tidak memenuhi syarat dengan nilai masing masing 14,67% dan 14,86%.



Gambar 4.6 Grafik Nilai VMA
(Sumber: Hasil analisa 2023)

Pada grafik 4.6 menunjukkan nilai VMA kadar aspal mulai dari 5,02% sampai 7,02% mengalami peningkatan. Ini menunjukkan bahwa semakin bertambahnya kadar aspal yang digunakan maka disertai peningkatan nilai VMA. Besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 syarat nilai VMA ialah sebesar $\geq 15\%$. Pada kadar aspal 6,02% hingga 7,02% memenuhi persyaratan nilai VMA, sedangkan untuk kadar 5,02% dan 5,52% tidak memenuhi persyaratan nilai VMA. Nilai VMA tertinggi terdapat pada kadar aspal 7,02% sebesar 16,65% dan nilai VIM terendah terdapat pada kadar aspal 5,02% sebesar 14,67%.

3. VFB (*Void Filled with Bitumen*)

VFB atau *Void Filled with Bitumen* adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat VMA (*Void In Mineral Aggregate*), oleh karena itu antara nilai VMA dan VFB (*Void Filled with Bitumen*) mempunyai kaitan yang sangat erat. Cara untuk mendapatkan nilai VFB adalah dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{VFB} &= 100 \times \left(\frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \right) \\ \text{VFB}_1 (5,02\% \text{ kadar aspal}) &= 100 \times \left(\frac{13,91 - 4,46}{13,91} \right) = 67,96\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{VFB}_2 &= 61,66\% \\
 \text{VFB}_3 &= 62,18\% \\
 \text{Rata-rata nilai VFB} &= \left(\frac{\text{VFB}_1 + \text{VFB}_2 + \text{VFB}_3}{3} \right) \\
 &= \left(\frac{67,96 + 61,66 + 62,18}{3} \right) \\
 &= 63,93\%
 \end{aligned}$$

Keterangan :

VIM : Rongga dalam campuran (%)

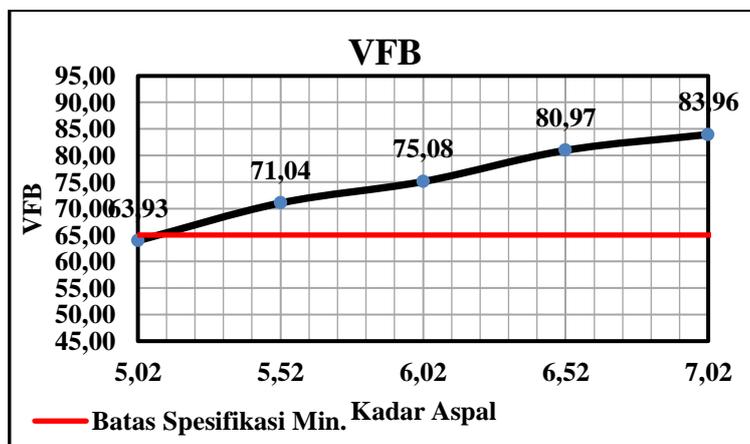
VMA : Rongga diantara mineral agregat (%)

Tabel 4.19 Hasil Perhitungan Nilai VFB

No.	Kadar Aspal (%)	VFB (%)	Spesifikasi	Ket.
1	5,02	63,93	≥65	Tidak Memenuhi
2	5,52	71,04		Memenuhi
3	6,02	75,08		Memenuhi
4	6,52	80,97		Memenuhi
5	7,02	83,96		Memenuhi

(Sumber : Hasil analisa 2023)

Berdasarkan tabel 4.19 diatas Nilai VFB yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 devisi 6 dengan Nilai Min 65% yakni pada kadar aspal 5,52%, 6,02%, 6,52% dan 7,02% dengan masing-masing nilai 71,04%, 75,08%, 80,97% dan 83,96%. Sedangkan pada kadar aspal 5,02% tidak memenuhi syarat dengan nilai 63,93%.



Gambar 4.7 Grafik Nilai VFB

(Sumber : Hasil analisa 2023)

Berdasarkan gambar 4.7 diatas terlihat bahwa seiring bertambahnya kadar aspal yang digunakan maka disertai peningkatan nilai VFB yang didapatkan. Nilai VFB yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 devisi 6 dengan nilai min 65% yakni pada kadar aspal 5,52%, 6,02%, 6,52% dan 7,02% Sedangkan pada kadar aspal 5,02% tidak memenuhi spesifikasi.

4. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh gesekan antar butiran agregat (*internal friction*), penguncian antar butir agregat (*interlocking*) dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal (koreksi), disamping itu proses pemadatan, mutu agregat, dan kar aspal juga berpengaruh. Spesifikasi nilai stabilitas yang diperoleh Minimal 800 kg. Berikut cara perhitungan untuk mendapatkan nilai stabilitas. Nilai stabilitas (S) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}
 S &= P \times Q \\
 S_1 (5,02\% \text{ kadar aspal}) &= 979 \times 1,04 = 1018 \text{ kg} \\
 S_2 &= 1103 \text{ kg} \\
 S_3 &= 1485 \text{ kg} \\
 \text{Rata-rata nilai stabilitas} &= \left(\frac{S_1 + S_2 + S_3}{3} \right) \\
 &= \left(\frac{1018 + 1103 + 1485}{3} \right) \\
 &= 1202 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas (kg)

P : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

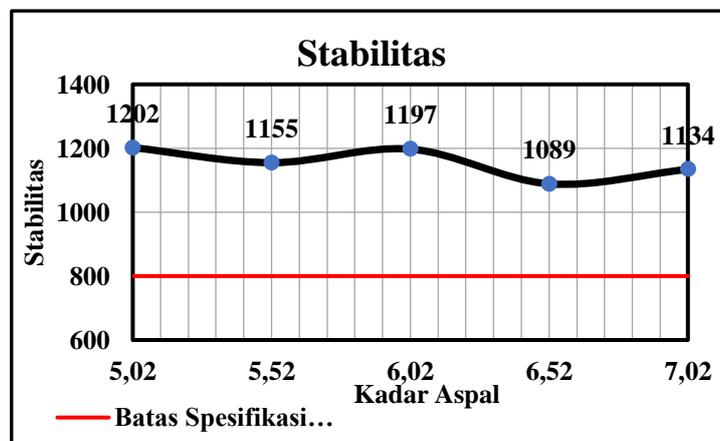
Q : angka koreksi tebal benda uji

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan Nilai Stabilitas

No.	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Spesifikasi	Ket.
1	5,02	1202	≥800	Memenuhi
2	5,52	1155		Memenuhi
3	6,02	1197		Memenuhi
4	6,52	1089		Memenuhi
5	7,02	1134		Memenuhi

(Sumber : Hasil analisa 2023)

Berdasarkan tabel 4.20 diatas nilai stabilitas yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 devisa 6 dengan nilai min 800 yakni pada kadar aspal 5,02%, 5,52, 6,02%, 6,52% dan 7,02% dengan masing-masing nilai 1202 kg, 1155 kg, 1197 kg, 1089 kg dan 1134 kg.



Gambar 4.8 Grafik Nilai Stabilitas

(Sumber : Hasil analisa 2023)

Berdasarkan gambar 4.8 hasil dari pengujian terdapat ketidakstabilan pada nilai stabilitas dengan kadar aspal dari 5,02% hingga 7,02%. Jika dibandingkan dengan standar yang ditentukan dengan nilai Stabilitas minimum 800 kg , maka nilai yang dihasilkan dari semua pengujian kadar aspal 5,02%, 5,52%, 6,02%, 6,52%, dan 7,02% masuk dalam standar Bina Marga 2018. Dikarenakan nilai stabilitas dipengaruhi oleh gesekan antar butiran agregat, penguncian antar butir

agregat dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal (koreksi), disamping itu proses pemadatan, mutu agregat, dan kadar aspal juga berpengaruh.

5. *Flow* (Kelelehan)

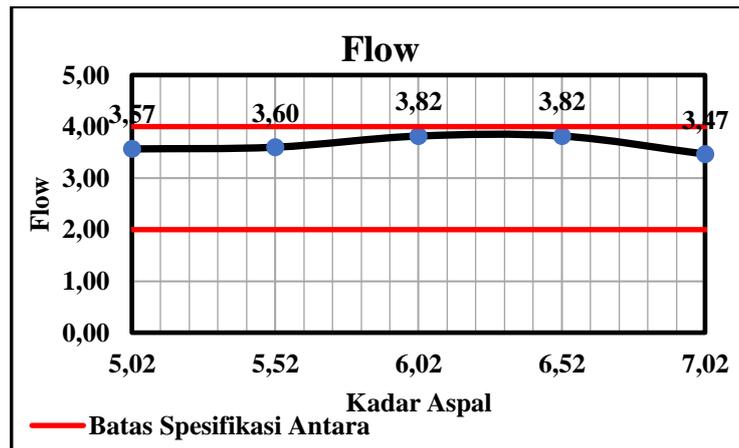
Flow merupakan nilai penurunan yang terjadi pada benda uji akibat menahan beban sampai batas runtuh, *flow* dinyatakan dalam satuan mm. Penurunan yang terjadi sangat berkaitan dengan nilai VIM, VFA dan stabilitas. Nilai *flow* dipengaruhi antara lain oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat dan proses pemadatan. Lapis aspal beton dengan nilai *flow* yang rendah cenderung kaku dan getas sedangkan nilai *flow* yang terlalu tinggi cenderung bersifat plastis serta mengakibatkan aspal mudah mengalami perubahan bentuk akibat beban lalu lintas yang tinggi. Nilai *flow* memenuhi spesifikasi apabila nilai yang diperoleh berada pada rentang 3 mm sampai 4 mm dan dapat dibaca langsung pada alat. Nilai *Flow* diperoleh dari pembacaan langsung pada alat uji dengan pembacaan jarum alat uji *Marshall*.

Tabel 4.21 Hasil Perhitungan Nilai *Flow*

No.	Kadar Aspal (%)	Flow (mm)	Spesifikasi	Ket.
1	5,02	3,57	2 - 4	Memenuhi
2	5,52	3,60		Memenuhi
3	6,02	3,82		Memenuhi
4	6,52	3,82		Memenuhi
5	7,02	3,47		Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa 2023

Berdasarkan tabel 4.21 diatas diperoleh nilai flow yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 devisi 6 dengan nilai Min 2 - 4 yakni pada semua kadar aspal dengan masing-masing nilai 3,57 mm , 3,60 mm, 3,82 mm, 3,82 mm dan 3,47 mm.



Gambar 4.9 Grafik Nilai Stabilitas
(Sumber : Hasil analisa 2023)

Hasil dari pengujian *Marshall* kadar aspal diperoleh nilai kelelahan (*flow*) dari setiap variasi kadar aspal memiliki rentang yang tidak terlalu jauh dan memenuhi spesifikasi standar Minimum sebesar 3-4 mm, maka semua kadar aspal memenuhi Spesifikasi Bina Marga. Hal ini dikarenakan volume kadar aspal campuran yang digunakan sama sehingga memiliki sifat plastis hampir sama pula pada suatu campuran. Nilai *flow* tertinggi pada kadar aspal 6,02% dan 6,52% senilai 3,82 mm dan nilai *flow* terendah berada pada kadar aspal 7,02% senilai 3,47mm.

6. MQ (*Marshall Quotient*)

MQ (*Marshall Quotient*) merupakan hasil bagi antara Stabilitas dengan *flow*, MQ menjelaskan tinggi rendah nya kekuatan serta fleksibilitas campuran. Jika nilai MQ terlalu tinggi campuran laston akan menjadi kaku dan mudah retak, dan jika terlalu rendah akan membuat aspal menjadi plastis sehingga tidak memiliki daya layan yang tinggi. Sifat marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut

$$\begin{aligned}
 \text{MQ} &= \frac{S}{F} \\
 \text{MQ}_1 (5,02\% \text{ kadar aspal}) &= \frac{1018,19}{3,40} = 299,47 \text{ kg/mm} \\
 \text{MQ}_2 &= 315,15 \text{ kg/mm}
 \end{aligned}$$

$$MQ_3 = 390,75 \text{ kg/mm}$$

$$\text{Rata-rata nilai MQ} = \left(\frac{MQ_1 + MQ_2 + MQ_3}{3} \right)$$

$$= \left(\frac{299,47 + 315,15 + 390,75}{3} \right)$$

$$= 335,12 \text{ kg/mm}$$

Keterangan :

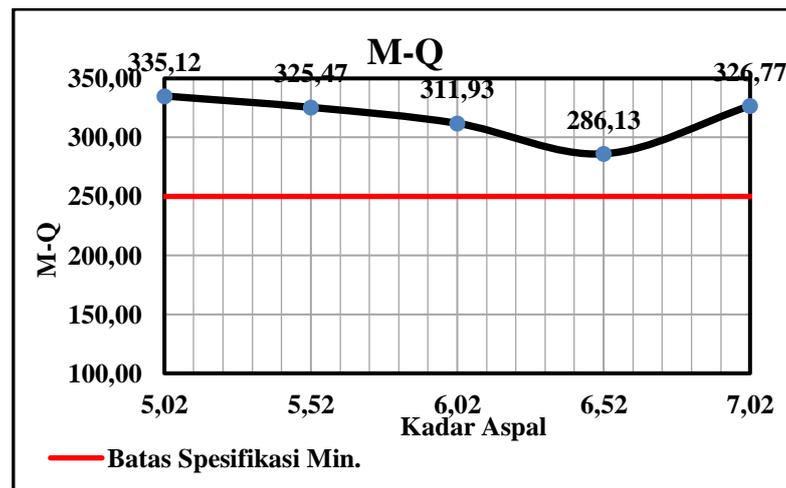
S : Nilai stabilitas toleransi (kg)

F : Nilai *flow* (mm)

Tabel 4.22 Hasil Perhitungan Nilai MQ Variasi Filler

No.	Kadar Aspal (%)	MQ (kg/mm)	Spesifikasi	Ket.
1	5,02	335,12	≥250	Memenuhi
2	5,52	325,47		Memenuhi
3	6,02	311,93		Memenuhi
4	6,52	286,13		Memenuhi
5	7,02	326,77		Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa 2023



Gambar 4.10 Grafik Nilai MQ Variasi Filler

(Sumber : Hasil analisa 2023)

Berdasarkan gambar 4.10 menunjukkan nilai *Marshall quotient* pada penggunaan kadar aspal dengan variasi 5,02%, 5,52%, 6,02% dan 6,52% sebesar 335,12 kg/mm, 325,47 kg/mm, 311,93 kg/mm, 286,13 kg/mm

dan 326,77 kg/mm memenuhi spesifikasi, hal ini menunjukkan bahwa kekakuan pada campuran lapis perkerasan tanpa asbuton lebih baik. Nilai tertinggi terdapat pada kadar 5,02% dengan nilai 335,12 kg/mm dan nilai terendah terdapat pada kadar 6,52% dengan nilai 286,14 kg/mm.

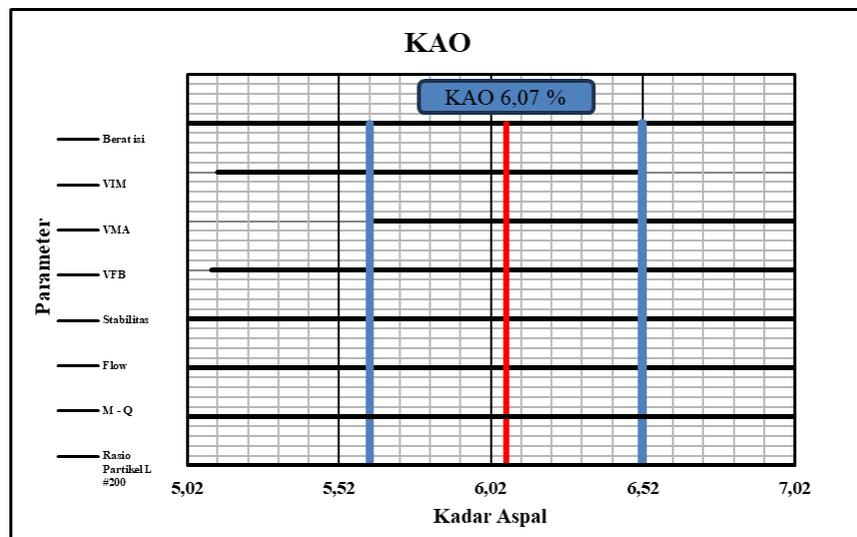
7. Rekapitulasi Hasil pengujian *Marshall*

Tabel 4.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* KAO

No.	Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	MQ (kg/mm)
1	5,02	1202	3,57	14,67	5,31	63,93	335
2	5,52	1155	3,60	14,86	4,31	71,04	325
3	6,02	1197	3,82	15,55	3,88	75,08	312
4	6,52	1089	3,82	15,87	3,02	80,97	286
5	7,02	1134	3,47	16,65	2,71	83,96	327
Spesifikasi		≥800	2 - 4	≥15	3 - 5	≥65	≥250

(Sumber : Hasil analisa 2023)

Hasil Pengujian *Marshall* didapatkan nilai KAO berdasarkan metode *Barchart* dari grafik hubungan antar VIM, VMA, VFB, stabilitas, dan *flow* diperoleh nilai tengah sebesar 6,07% Kadar Aspal Optimum. Untuk lebih jelasnya dapat di gambarkan dalam grafik berikut:



Gambar 4.11 Grafik Nilai KAO
(Sumber : Hasil analisa 2023)

Berdasarkan gambar untuk menentukan nilai KAO pembacaan dilakukan dengan melihat garis kiri terdalam (untuk nilai minimum) yakni 5,62% dan garis kanan terdalam (untuk nilai maksimum) yakni 6,52%. Maka diperoleh nilai kadar aspal optimum untuk campuran aspal rencana sebesar

$$\begin{aligned} \text{KAO} &= \frac{5,62+6,52}{2} \\ &= 6,07\% \end{aligned}$$

4.5 Hasil Campuran AC-WC Dengan Filler Aspal Buton B 50/30

4.5.1 Data Hasil Perencanaan Campuran AC-WC Dengan Filler Aspal

Buton B 50/30

Kadar Aspal yang digunakan dalam campuran adalah 6,07 % dengan aspal buton B 50/30 sebagai *filler* dengan variasi 0%, 5%, 10%, dan 20% pada tabel berikut ini:

Tabel 4.24 Komposisi Campuran *Filler* ASB B 50/30 0%

Material	Kadar Aspal (%)	Filler (%)	Persentase terhadap agregat (%)	Persentase terhadap campuran (%)	1200 Gram	
					Berat Individu	Berat Kumulatif
					Gram	Gram
Hot Bin 1 (Abu Batu)			59,00	55,42	665,02	665,02
Hot Bin 2 (Bt. 0.5-1)			27,00	25,36	304,33	969,36
Hot Bin 3 (Bt. 1-2)			13,00	12,21	146,53	1115,89
Filler	Semen	100	1,00	0,94	11,27	1127,16
	ASB	0	0,00	0,00	0,00	1127,16
Aspal Minyak	6,07			6,07	72,84	1200
Total	6,07		100	100	1200	1200

Sumber : Hasil Peneliti, 2023

Tabel 4.25 Komposisi Campuran *Filler* ASB B 50/30 5%

Material	Kadar Aspal (%)	Filler (%)	Persentase terhadap agregat	Persentase terhadap campuran	1200 Gram	
			(%)	(%)	Berat Individu	Berat Kumulatif
					Gram	Gram
Hot Bin 1 (Abu Batu)			59,00	55,42	665,02	665,02
Hot Bin 2 (Bt. 0.5-1)			27,00	25,36	304,33	969,36
Hot Bin 3 (Bt. 1-2)			13,00	12,21	146,53	1115,89
Filler	Semen	95	0,95	0,89	10,71	1126,60
	ASB	5	0,05	0,05	0,56	1127,16
Aspal Minyak	6,07			6,07	72,84	1200
Total	6,07		100	100	1200	1200

Sumber : Hasil Peneliti, 2023

Tabel 4.26 Komposisi Campuran *Filler* ASB B 50/30 10%

Material	Kadar Aspal (%)	Filler (%)	Persentase terhadap agregat	Persentase terhadap campuran	1200 Gram	
			(%)	(%)	Berat Individu	Berat Kumulatif
					Gram	Gram
Hot Bin 1 (Abu Batu)			59,00	55,42	665,02	665,02
Hot Bin 2 (Bt. 0.5-1)			27,00	25,36	304,33	969,36
Hot Bin 3 (Bt. 1-2)			13,00	12,21	146,53	1115,89
Filler	Semen	90	0,90	0,85	10,14	1126,03
	ASB	10	0,10	0,09	1,13	1127,16
Aspal Minyak	6,07			6,07	72,84	1200
Total	6,07		100	100	1200	1200

Sumber : Hasil Peneliti, 2023

Tabel 4.27 Komposisi Campuran *Filler* ASB B 50/30 20%

Material	Kadar Aspal (%)	Filler (%)	Persentase terhadap agregat	Persentase terhadap campuran	1200 Gram	
			(%)	(%)	Berat Individu	Berat Kumulatif
					Gram	Gram
Hot Bin 1 (Abu Batu)			59,00	55,42	665,02	665,02
Hot Bin 2 (Bt. 0.5-1)			27,00	25,36	304,33	969,36

Hot Bin 3 (Bt. 1-2)			13,00	12,21	146,53	1115,89
Filler	Semen	80	0,80	0,75	9,02	1124,91
	ASB	20	0,20	0,19	2,25	1127,16
Aspal Minyak	6,07			6,07	72,84	1200
Total	6,07		100	100	1200	1200

Sumber : Hasil Peneliti, 2023

Pada pengujian ini menggunakan aspal buton B50/30 sebagai *filler* pada campuran aspal, menggunakan alat uji *Marshall* dengan jumlah tumbukan sebanyak 2x75. Beberapa parameter seperti stabilitas, kelenturan atau kelelahan (*flow*), kepadatan, volume dalam (VIM), Volume rongga dalam mineral agregat (VMA) dan rongga terisi aspal (VFB) diperoleh dari hasil analisis terhadap pengujian *Marshall*.

4.5.2 Hasil Uji Marshall

Dari data Hasil Pengujian *Marshall* dilakukan di Laboratorium PT. Bukit Bahari Indah. Adapun parameter pengujian *Marshall* pada campuran aspal dengan filler Aspal buton B50/30 adalah sebagai berikut:

1. VIM(*Voids In Mix*)

Nilai VIM terpenuhi apabila nilai berada pada rentang 3% sampai 5%. Cara mendapatkan nilai VIM adalah dengan menggunakan perhitungan berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{VIM} &= 100 - \left(100 \times \frac{G_{mb}}{G_{mm}} \right) \\
 \text{VIM}_1 \text{ (Filler ASB 5\%)} &= 100 - \left(100 \times \frac{2,245}{2,377} \right) = 5,57\% \\
 \text{VIM}_2 &= 5,47\% \\
 \text{VIM}_3 &= 5,24\% \\
 \text{Rata-rata nilai VIM} &= \left(\frac{\text{VIM}_1 + \text{VIM}_2 + \text{VIM}_3}{3} \right) \\
 &= \left(\frac{4,57 + 5,47 + 5,24}{3} \right) \\
 &= 5,43\%
 \end{aligned}$$

Keterangan :

VIM : Rongga dalam campuran (%)

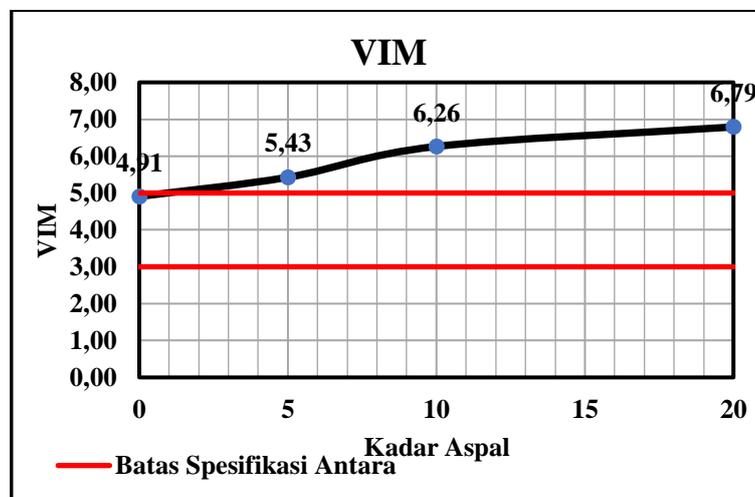
Gmb : Berat jenis *bulk* campuran padat

Gmm : Berat jenis maksimum campuran beraspal teoritis

Tabel 4.28 Hasil Perhitungan Nilai VIM Variasi *Filler*

No.	Variasi Filler ASB (%)	VIM (%)	Spesifikasi	Ket.
1	0	4,91	3 – 5	Memenuhi
2	5	5,43		Tidak Memenuhi
3	10	6,26		Tidak Memenuhi
4	20	6,79		Tidak Memenuhi

Sumber: Hasil Analisa 2023



Gambar 4.11 Grafik Nilai VIM Variasi *Filler*

(Sumber: Hasil analisa 2023)

Berdasarkan gambar 4.11 dapat dilihat hasil dari pengujian marshal menunjukkan bahwa nilai VIM campuran Aspal menggunakan filler aspal buton yang memenuhi syarat yaitu variasi 0% dan yang tidak memenuhi syarat yaitu variasi 5%, 10%, dan 20%. Nilai VIM tertinggi terdapat pada variasi 20% sebesar 6,79% dan nilai VIM terendah terdapat pada variasi 0% sebesar 4,91% dengan kadar aspal 6,07%. Dapat disimpulkan bahwa semakin banyak *filler* aspal buton yang digunakan, nilai VIM yang didapatkan semakin tinggi. Meningkatnya nilai VIM berpengaruh pada

semakin tingginya kemampuan aspal untuk tidak kedap air dan udara, sehingga dapat mempercepat penuaan aspal dan mudah retak sedangkan nilai VIM yang terlalu kecil akan mengakibatkan campuran perkerasan mudah mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat. Namun, perlu diperhatikan nilai VIM yang didapat harus sesuai dengan spesifikasi bina marga yang berlaku.

2. VMA (*Voids In Mineral Agregate*)

Cara untuk mendapatkan nilai VMA adalah dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$\begin{aligned} \text{VMA} &= 100 - \left(\frac{Gmb(100-Pb)}{Gsb} \right) \\ \text{VMA}_1 \text{ (filler 5\%)} &= 100 - \left(\frac{2,245(100-6,07)}{2,543} \right) = 17,08\% \\ \text{VMA}_2 &= 17,00\% \\ \text{VMA}_3 &= 16,79\% \\ \text{Rata-rata nilai VMA} &= \left(\frac{\text{VMA}_1 + \text{VMA}_2 + \text{VMA}_3}{3} \right) \\ &= \left(\frac{17,08 + 17,00 + 16,79}{3} \right) \\ &= 16,96\% \end{aligned}$$

Keterangan :

VMA : Rongga diantara mineral (%)

Gsb : Berat jenis *bulk* untuk agregat total yang ada

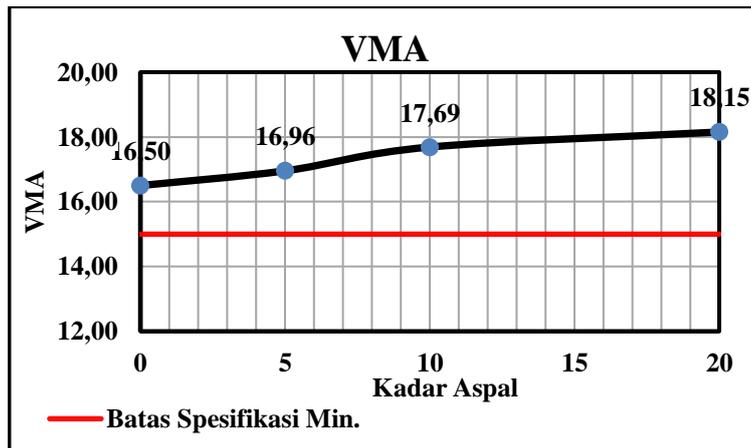
Pb : Kadar aspal (%)

Gmb : Berat jenis curah campuran padat

Tabel 4.29 Hasil Perhitungan Nilai VMA Variasi *Filler*

No.	Variasi Filler (%)	VMA (%)	Spesifikasi	Ket.
1	0	16,50	≥15	Memenuhi
2	5	16,96		Memenuhi
3	10	17,69		Memenuhi
4	20	18,15		Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa, 2023



Gambar 4.12 Grafik Nilai VMA Variasi Filler
(Sumber: Hasil analisa 2023)

Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018, syarat nilai VMA yaitu sebesar minimal 15. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh kadar filler memenuhi spesifikasi nilai VMA. Nilai VMA tertinggi terdapat pada kadar 20% sebesar 18,15 dan nilai VMA terendah terdapat pada kadar 0% sebesar 16,50. Semakin tinggi nilai VMA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, namun nilai VMA yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan potensi terjadinya bleeding pada perkerasan lebih tinggi pada saat menerima beban pada temperatur tinggi. Nilai VMA yang terlalu rendah menunjukkan kecilnya jumlah aspal yang mengisi rongga, sehingga akan menyebabkan lapisan kurang dapat mengikat agregat yang berakibat perkerasan mudah terjadi stripping. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar filler asbuton yang ditambahkan pada campuran aspal maka nilai VMA yang diperoleh juga semakin tinggi. Namun, perlu diperhatikan nilai VMA yang didapat harus sesuai dengan spesifikasi bina marga yang berlaku.

3. VFB (*Void Filled with Bitumen*)

Cara untuk mendapatkan nilai VFB adalah dengan menggunakan perhitungan berikut:

$$\text{VFB} = 100 \times \left(\frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \right)$$

$$\text{VFB}_1 \text{ (5\% filler)} = 100 \times \left(\frac{17,08 - 5,57}{17,08} \right) = 67,40\%$$

$$\text{VFB}_2 = 67,79\%$$

$$\text{VFB}_3 = 68,81\%$$

$$\text{Rata-rata nilai VFB} = \left(\frac{\text{VFB}_1 + \text{VFB}_2 + \text{VFB}_3}{3} \right)$$

$$= \left(\frac{67,40 + 67,79 + 68,81}{3} \right)$$

$$= 68,00\%$$

Keterangan :

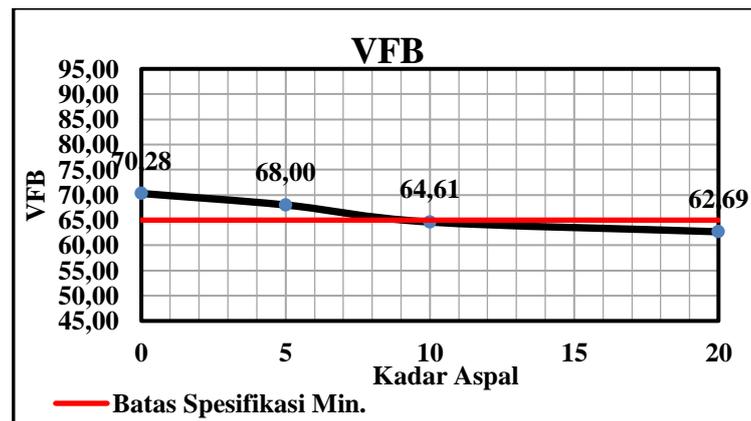
VIM : Rongga dalam campuran (%)

VMA : Rongga diantara mineral agregat (%)

Tabel 4.30 Hasil Perhitungan Nilai VFB Variasi *Filler*

No.	Kadar Filler (%)	VFB (%)	Spesifikasi	Ket.
1	0	70,28	≥65	Memenuhi
2	5	68,00		Memenuhi
3	10	64,61		Tidak Memenuhi
4	20	62,69		Tidak Memenuhi

(Sumber : Hasil analisa 2023)



Gambar 4.13 Grafik Nilai VFB Variasi *Filler*

(Sumber : Hasil analisa 2023)

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa nilai VFB mengalami penurunan dimana kadar 0% sebesar 70,28% dan kadar 5% sebesar 68,00% yang memenuhi syarat spesifikasi minimal 65%. Sedangkan kadar *filler* 10% sebesar 64,61% dan 20% sebesar 62,69% tidak memenuhi spesifikasi. Nilai VFB yang terlalu besar akan mengakibatkan

terjadinya *bleeding* pada saat temperatur tinggi, yang disebabkan VIM yang terlalu kecil, sehingga apabila perkerasan menerima beban, maka aspal akan naik ke permukaan. Sebaliknya, nilai VFB yang terlalu kecil akan menyebabkan kedekatan campuran perkerasan semakin kecil dan aspal dalam campuran akan teroksidasi dengan udara dan keawetan campuran akan berkurang. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar *filler* asbuton yang ditambahkan pada campuran aspal maka nilai VFB yang diperoleh semakin rendah.

4. Stabilitas

Nilai stabilitas (S) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}
 S &= P \times Q \\
 S_1 \text{ (5\% kadar filler)} &= 1155,8 \times 0,96 = 1109,56 \text{ kg} \\
 S_2 &= 979,02 \text{ kg} \\
 S_3 &= 951,83 \text{ kg} \\
 \text{Rata-rata nilai stabilitas} &= \left(\frac{S_1 + S_2 + S_3}{3} \right) \\
 &= \left(\frac{1109,56 + 979,02 + 951,83}{3} \right) \\
 &= 1013,47 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas (kg)

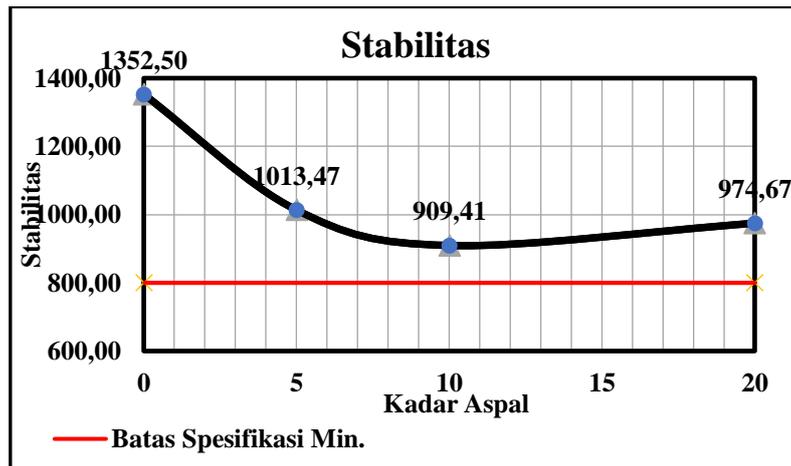
P : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

Q : angka koreksi tebal benda uji

Tabel 4.31 Hasil Perhitungan Nilai Stabilitas Variasi *Filler*

No.	Kadar Filler (%)	Stabilitas (kg)	Spesifikasi	Ket.
1	0	1352,50	≥800	Memenuhi
2	5	1013,47		Memenuhi
3	10	909,41		Memenuhi
4	20	974,67		Memenuhi

(Sumber : Hasil analisa 2023)



Gambar 4.14 Grafik Nilai Stabilitas Variasi *Filler*
(Sumber : Hasil analisa 2023)

Hasil dari pengujian kadar filler asbuton diperoleh nilai stabilitas tertinggi pada kadar 0% sebesar 1352,50 kg dan stabilitas terendah pada kadar 10% sebesar 909,41. Jika dibandingkan dengan standar yang ditentukan dengan nilai stabilitas minimum 800 kg, maka nilai yang dihasilkan dari semua pengujian kadar *filler* 0%, 5%, 10% dan 20% masuk dalam standar Bina Marga 2018. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menyebabkan campuran terlalu kaku sehingga akan mudah terjadi retak-retak pada waktu menerima beban. Sebaliknya dengan stabilitas yang rendah maka perkerasan akan mudah mengalami *rutting* oleh beban lalu lintas atau oleh perubahan bentuk *subgrade*. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar *filler* asbuton yang ditambahkan pada campuran aspal maka nilai stabilitas yang diperoleh semakin rendah.

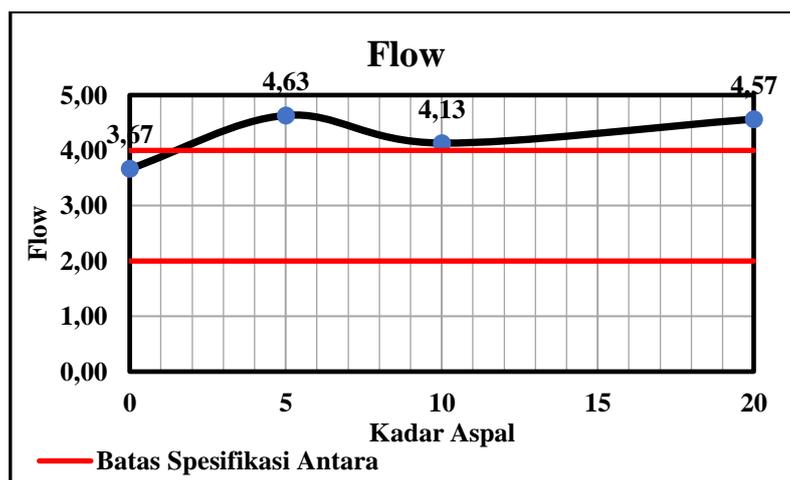
5. *Flow* (Kelelehan)

Nilai *flow* diperoleh dari pembacaan langsung pada alat uji dengan pembacaan jarum alat uji *Marshall*.

Tabel 4.32 Hasil Perhitungan Nilai *Flow* Variasi *Filler*

No.	Kadar Filler (%)	Flow (mm)	Spesifikasi	Ket.
1	0	3,67	2 - 4	Memenuhi
2	5	4,63		Tidak Memenuhi
3	10	4,13		Tidak Memenuhi
4	20	4,57		Tidak Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa 2023



Gambar 4.15 Grafik Nilai *Flow* Variasi *Filler*
(Sumber : Hasil analisa 2023)

Hasil dari pengujian *Marshall* kadar *filler* diperoleh nilai kelelahan (*flow*) dari setiap variasi memiliki rentang yang tidak terlalu jauh dengan spesifikasi standar minimum sebesar 3-4 mm. Hal ini dikarenakan volume kadar aspal campuran yang digunakan sama sehingga memiliki sifat plastis hampir sama pula pada suatu campuran. Nilai *flow* tertinggi pada variasi *filler* 5% senilai 4,63 mm dan nilai *flow* terendah berada pada kadar aspal 0% senilai 3,67mm. Campuran yang memiliki nilai kelelahan tinggi dengan nilai stabilitas rendah cenderung bersifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk apabila mengalami pembebanan lalu lintas. sedangkan campuran dengan kelelahan rendah dan stabilitas yang tinggi cenderung bersifat getas. Dari hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa semakin banyak kadar *filler* asbuton yang ditambahkan pada campuran aspal maka nilai *flow* yang diperoleh juga

semakin tinggi. Namun, perlu diperhatikan nilai *flow* yang didapat harus sesuai dengan spesifikasi bina marga yang berlaku.

6. MQ (*Marshall Quotient*)

MQ (*Marshall Quotient*) merupakan hasil bagi antara Stabilitas dengan *flow*, MQ menjelaskan tinggi rendah nya kekuatan serta fleksibilitas campuran, Jika nilai MQ terlalu tinggi campuran laston akan menjadi kaku dan mudah retak, dan jika terlalu rendah akan membuat aspal menjadi plastis sehingga tidak memiliki daya layan yang tinggi. Sifat *marshall* tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut

$$\begin{aligned}
 \text{MQ} &= \frac{S}{F} \\
 \text{MQ}_1 \text{ (Filler ASB 5\%)} &= \frac{1109,56}{4,40} = 252,17 \text{ kg/mm} \\
 \text{MQ}_2 &= 212,83 \text{ kg/mm} \\
 \text{MQ}_3 &= 194,25 \text{ kg/mm} \\
 \text{Rata-rata nilai MQ} &= \left(\frac{\text{MQ}_1 + \text{MQ}_2 + \text{MQ}_3}{3} \right) \\
 &= \left(\frac{252,17 + 212,83 + 194,25}{3} \right) \\
 &= 219,75 \text{ kg/mm}
 \end{aligned}$$

Keterangan :

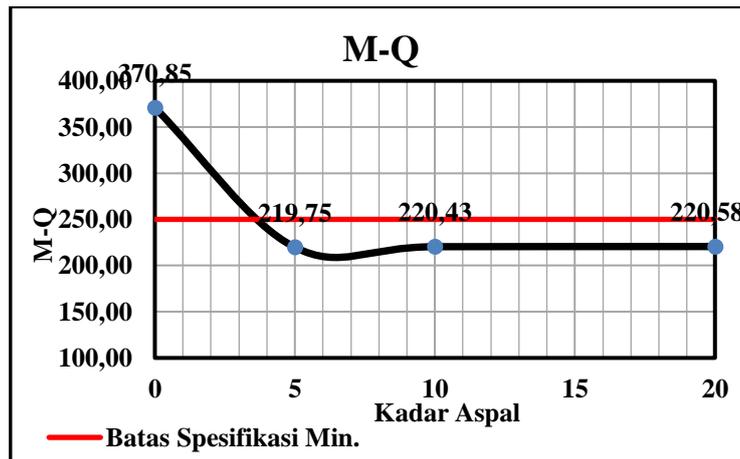
S : Nilai stabilitas toleransi (kg)

F : Nilai *flow* (mm)

Tabel 4.33 Hasil Perhitungan Nilai MQ Variasi *Filler*

No.	Kadar Filler (%)	MQ (kg/mm)	Spesifikasi	Ket.
1	0	370,85	≥250	Memenuhi
2	5	219,75		Tidak Memenuhi
3	10	220,43		Tidak Memenuhi
4	20	220,58		Tidak Memenuhi

Sumber : Hasil Analisa 2023



Gambar 4.16 Grafik Nilai MQ Variasi *Filler*
(Sumber : Hasil analisa 2023)

Berdasarkan gambar 4.16 menunjukkan nilai *Marshall quotient* pada penggunaan *filler* asbuton B50/30 dengan variasi 0% sebesar 370,85 kg/mm memenuhi spesifikasi, hal ini menunjukkan bahwa kekakuan pada campuran lapis perkerasan tanpa asbuton lebih baik. Sedangkan pada variasi 5%, 10% dan 20% dengan masing-masing nilai sebesar 219,75 kg/mm, 220,43 kg/mm, dan 220,58 kg/mm. Nilai tertinggi terdapat pada kadar 0% dengan nilai 370,85 kg/mm dan nilai terendah terdapat pada kadar 5% dengan nilai 219,75 kg/mm. Campuran yang memiliki nilai *marshall quotient* terlalu tinggi berarti campuran kaku dan fleksibilitasnya rendah sehingga campuran akan lebih mudah mengalami retak-retak, sebaliknya campuran yang memiliki nilai *marshall quotient* yang terlalu rendah menyebabkan campuran akan bersifat fleksibel, lentur dan cenderung menjadi plastis sehingga mudah mengalami deformasi pada saat menerima beban lalu lintas. Besarnya nilai *Marshall Quotient* tergantung dari besarnya nilai stabilitas yang dipengaruhi *frictional resistance* dan *interlocking* yang terjadi antara partikel agregat dan kohesi campurannya serta nilai *flow* yang dipengaruhi oleh kadar viskositas aspal, gradasi agregat dan jumlah dari temperatur pemadatan.

7. Rekapitulasi Hasil pengujian *Marshall* Menggunakan *Filler* Asbuton B50/30

Data rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* pada campuran aspal dengan menggunakan asbuton B50/30 disajikan dalam tabel berikut :

Tabel 4.34 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Marshall Filler* ASB B50/30

No.	Karakteristik Marshall	Variasi				Spesifikasi
		0%	5%	10%	20%	
1	VIM (%)	4,91	5,43	6,26	6,79	2 – 5
2	VMA (%)	16,50	16,96	17,69	18,15	Min. 15
3	VFB (%)	70,28	68	64,61	62,69	Min. 65
4	Stabilitas (kg)	1352,50	1013,47	909,41	974,67	Min. 800
5	Flow (mm)	3,67	4,63	4,13	4,57	2 – 4
6	MQ (kg/mm)	370,85	219,75	220,43	220,58	Min. 250
Keterangan		Memenuhi	Tidak Memenuhi	Tidak Memenuhi	Tidak Memenuhi	

Sumber : Hasil analisa 2023

Keterangan : Nilai berwarna merah tidak masuk dalam Spesifikasi Bina Marga 2018

Berdasarkan tabel 4.34 menunjukkan hasil pengujian penggunaan asbuton B50/30 sebagai filler pada campuran AC-WC dengan spesifikasi Bina Marga 2018, adapun variasi yang memenuhi syarat yakni variasi tanpa penggunaan *filler* asbuton 0%. Dan yang tidak memenuhi beberapa karakteristik *marshall* yaitu pada penggunaan asbuton B50/30 5%, 10% dan 20% karena tidak memenuhi syarat spesifikasi VIM pada penggunaan 5%, 10% dan 20% dengan nilai 5,43%, 6,26% dan 6,79%, tidak memenuhi syarat spesifikasi VFB *filler* asbuton B50/30 pada penggunaan variasi 10% dan 20% dengan nilai 64,61% dan 62,69%, tidak memenuhi syarat spesifikasi *flow* pada penggunaan *filler* asbuton B50/30 5%, 10% 20% dengan nilai 4,63 mm, 4,13 mm, dan 4,57 mm. Dan nilai MQ pada penggunaan *filler* asbuton 5%, 10% dan 20% dengan nilai 219,75 kg/mm, 220,43 kg/mm dan 220,58 kg/mm.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian, pengolahan, dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Penggunaan aspal buton tipe B 50/30 sebagai *filler* mempengaruhi nilai-nilai karakteristik dari campuran AC-WC. Semakin besar variasi *filler* yang digunakan maka VIM, VMA dan *flow* semakin meningkat, sedangkan untuk nilai VFB, Stabilitas dan MQ mengalami penurunan. Pada variasi *filler* 0% keseluruhan karakteristik *Marshall* memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, untuk variasi *filler* 5%, 10% dan 20% nilai VIM dan *Flow* yang didapatkan melebihi batas antara spesifikasi Bina Marga 2018, nilai VFB dan MQ terlalu rendah sehingga tidak melampaui batas minimum spesifikasi Bina Marga 2018. Sehingga penggunaan aspal buton tipe B 50/30 sebagai *filler* tidak dapat digunakan dalam campuran AC-WC karena terdapat nilai parameter *Marshall Test* tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018.
2. Penggunaan aspal buton tipe B 50/30 sebagai *filler* mempengaruhi nilai-nilai karakteristik dari campuran AC-WC. Semakin besar variasi *filler* yang digunakan maka VIM, VMA dan *flow* semakin meningkat, sedangkan untuk nilai VFB, Stabilitas dan MQ mengalami penurunan.

5.2 Saran

Guna meningkatkan kualitas dari penelitian tentang campuran aspal AC-WC dengan *filler* aspal buton B 50/30 untuk penelitian selanjutnya, maka penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Nilai yang diperoleh dari penelitian ini tidaklah merupakan nilai yang mutlak, untuk itu diharapkan perlu dilakukan pengujian langsung dilapangan dengan campuran yang sama dan dibandingkan hasilnya dengan pengujian di laboratorium.

2. Pada penelitian yang dilakukan diperlukan ketelitian yang cermat dan fokus pada saat penimbangan agregat, mengontrol suhu aspal dan agregat yang sedang masa pemanasan, serta pencampuran dan pemadatan benda uji tersebut, sehingga memperoleh hasil yang lebih optimal dan akurat pada saat pengolahan data.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahar, S. B., Saputra, A., & Angka, C. T. (2018). Pemanfaatan Buton Granular Aspal (BGA) sebagai bahan pengganti filler pada campuran AC-WC. *SCEJ (Shell Civil Engineering Journal)*, 3(2), 55-64.
- Farid, I. (2022, Januari 10). Pengenalan Jenis Dan Penggunaan Aspal Buton Untuk Perkerasan Jalan. Direktorat Jenderal Bina Marga, Kementerian PUPR. <https://binamarga.pu.go.id/index.php/article/pengenalan-jenis-dan-penggunaan-aspal-buton-untuk-perkerasan-jalan>
- Fatoni, A. (2021). Pengaruh Penggunaan Aspal Buton B5/20 dengan Agregat Lokal Madura Pada Campuran Aspal Panas AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 11-14.
- Kafabihi, A., & Wedyantadji, B. (2020). Penggunaan aspal buton pada campuran AC-WC (asphalt concrete-wearing course). *Student Journal Gelagar*, 2(2), 36-44.
- Marga, B. (2010). Spesifikasi umum 2018. *Direktorat Jendral Bina Marga, 2010*, 1-6.
- Nofrianto, H. (2014). Kajian Campuran Panas Aspal Agregat Asbuton Retona Blend 55 (AC-WC) dan Aspal Pen 60/70 dengan Pengujian Marshall. *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Padang*, 1(1), 47-56.
- NURAHMANDA, A. (2020). *PENGGUNAAN ASPAL BUTON PADA CAMPURAN ATB (ASPHALT TREATED BASE)* (Doctoral dissertation, Institut teknologi nasional malang).
- Raharjo, N. E. (2008). Pengaruh Penggunaan Aspal Buton sebagai Filler Campuran Split Mastic Asphalt terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 17(1), 39-60.
- SNI 06-2489-1991 Metode Pengujian Campuran Beraspal Dengan Alat Marshall.

SNI 1969:2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar.

SNI 1970:2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus.

SNI 2432-2011 Pengujian Penetrasi Aspal.

SNI 2434-2011 Pengujian Titik Lembek Aspal.

SNI 2433-2011 Pengujian Titik Nyala Aspal.

SNI 2441-2011 Pengujian Berat Jenis Aspal Keras.

Sukirman, Silvia, 1999. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung, Nova.

Thanaya, I. N. A., Puranto, I. G. R., & Nugraha, I. N. S. (2016). Studi karakteristik campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan penambahan lateks. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 22(2), 77-86.

LAMPIRAN

Lampiran 1 : Dokumentasi Penelitian Pemeriksaan Aspal pen 60/70



Gambar 1 Pengujian Titik Lembek Aspal Pen 60/70



Gambar 2 Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70



Gambar 3 Pengujian Berat Jenis Aspal Pen 60/70



Gambar 4 Pengujian Pentrasi Aspal Pen 60/70

Lampiran 2 : Dokumentasi Penelitian Pemeriksaan Agregat



Gambar 1 Pengujian berat jenis agregat halus



Gambar 3 Pengujian analisa saringan agregat halus



Gambar 2 Pengujian berat jenis agregat kasar



Gambar 4 Pengujian analisa saringan agregat kasar