

TUGAS AKHIR

PENGARUH PENAMBAHAN *STYROFOAM* PADA CAMPURAN AC-BC (*ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE*) PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

*Diajukan Untuk Memenuhi Tugas-Tugas Dan Syarat-Syarat
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Pada Fakultas Teknik Program Studi
Teknik Sipil Universitas Sangga Buana (USB YPKP)*

Disusun oleh :

MOCHAMAD RIFANSYAH

2112181041



PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SANGGA BUANA YPKP BANDUNG

2023

LEMBAR PENGESAHAN

PENGARUH PENAMBAHAN *STYROFOAM* PADA CAMPURAN AC-BC (*ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE*) PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL

Disusun oleh :

MOCHAMAD RIFANSYAH 2112181041

Naskah Tugas Akhir ini diperiksa dan disetujui sebagai kelengkapan persyaratan kelulusan, guna memperoleh gelar sarjana teknik sipil pada program studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

Menyetujui & Mengesahkan

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Ir. H. Chandra Afriade Siregar, ST., MT

Muhammad Syukri, ST., MT

NIK. 432 200 167

NIK. 432 200 175

Mengetahui

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Muhammad Syukri, ST., MT

NIK. 432 200 175

PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Nama : Mochamad Rifansyah
NIM : 2112181041
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Fakultas : Fakultas Teknik
Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Styrofoam Pada Campuran AC-BC
(*Asphalt Concrete – Binder Course*) Penetrasi 60/70
Terhadap Karakteristik Marshall

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam Skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar Sarjana baik di Universitas Sangga Buana YPKP Bandung maupun di suatu Perguruan Tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka. Pernyataan ini dibuat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab serta bersedia memikul segala resiko jika pernyataan ini tidak benar.

Bandung, Februari 2023

Mochamad Rifansyah

NIM.2112181041

**PENGARUH PENAMBAHAN *STYROFOAM* PADA CAMPURAN AC-BC
(*ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE*) PENETRASI 60/70
TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL**

Oleh :

MOCHAMAD RIFANSYAH

2112181041

Sebuah skripsi diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik

© Mochamad Rifansyah 2023

Universitas Sangga Buana YPKP Bandung

2023

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Skripsi ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat ALLAH SWT, yang mana atas rahmat-Nya, maka penulis dapat menyelesaikan penulisan laporan tugas akhir pada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

Judul laporan tugas akhir ini adalah **“PENGARUH PENAMBAHAN *STYROFOAM* PADA CAMPURAN AC-BC (*ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE*) PENETRASI 60/70 TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL”**.

Dalam laporan tugas akhir ini penulis berharap semoga laporan ini bisa bermanfaat, walaupun masih sangat jauh dari kesempurnaan mengingat keterbatasan, kemampuan yang saya miliki, untuk itu saya mohon maaf yang sebesar-besarnya dan saya berharap pembaca dapat memberikan kritik dan saran untuk kesempurnaan laporan ini.

Laporan tugas akhir ini tidak akan berhasil tanpa ada bantuan dari pihak lain. Untuk itu penulis ingin menyampaikan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Dr. Didin Saepudin, SE., M.Si selaku Rektor Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
2. Bapak Dr. Teguh Nurhadi Surharsono, ST.,MT selaku Wakil Rektor I Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
3. Bapak Bambang Susanto, SE., M.Si selaku Wakil Rektor II Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
4. Ibu Nurhaeni Sikki, S.A.P., M.A.P selaku Wakil Rektor III Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
5. Bapak Slamet Risnanto, ST., M.Kom selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
6. Bapak Ir. H. Chandra Alfriade Siregar, ST.,MT selaku dosen pembimbing I Transportasi Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.

7. Bapak Muhammad Syukri, ST.,MT selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil dan sebagai dosen pembimbing II Transportasi Universitas Sangga Buana YPKP Bandung.
8. Kedua orang tua saya yang telah memberi dukungan materil dan spiritual dalam penyelesaian kegiatan perkuliahan.
9. Teman-teman sejawat di lingkungan Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sangga Buana (USB) YPKP.
10. Semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan laporan tugas akhir ini.

Terimakasih atas bantuan, kebersamaannya, waktu serta dan dukungannya selama ini kepada penulis. Semoga Allah SWT berkenan memberikan balasan yang setimpal atas segala kebaikan dan jasa-jasanya dengan pahala yang berlipat. Amiin.

Bandung, Februari 2023

Penulis

Mochamad Rifansyah

NIM.2112181041

ABSTRAK

Konstruksi jalan di Indonesia umumnya memakai jenis beton aspal campuran panas, salah satunya ialah *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*. Dengan upaya pemanfaatan *styrofoam* dalam campuran aspal dimaksudkan untuk mengetahui kinerja AC-BC dengan penambahan *styrofoam*. Pengujian ini menggunakan metode marshall untuk mengetahui karakteristik dari campuran. Variasi kadar *styrofoam* yang digunakan pada campuran adalah *styrofoam* 3%, 3,5%, dan 4% terhadap berat campuran. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh kadar aspal optimum sebesar 5,2%. Nilai Density mengalami penurunan pada masing-masing variasi dengan nilai 2,253gr/cc, 2,247gr/cc, dan 2,243gr/cc. Nilai stabilitas mengalami peningkatan pada masing-masing variasi dengan nilai 843Kg, 871,1Kg, dan 913,25Kg. Nilai Air Voids juga mengalami peningkatan pada masing masing variasi dengan nilai 4,52%, 4,77%, dan 4,94%. Nilai VFB mengalami penurunan pada masing-masing variasi dengan nilai 72,96%, 72,48%, dan 72,45%. Nilai VMA mengalami peningkatan pada masing masing variasi dengan nilai 16,67%, 17,32%, dan 17,89%. Nilai *flow* juga mengalami peningkatan pada masing masing variasi dengan nilai 3,74mm, 4,18mm, dan 4,47mm. Berdasarkan data tersebut campuran AC-BC dengan penambahan *styrofoam*, Kadar variasi *styrofoam* terbaik ialah 3% karena memenuhi nilai spesifikasi dari pengujian yang telah dilakukan.

Kata Kunci: *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC), Styrofoam, Marshall Test*

ABSTRACT

Road construction in Indonesia generally uses a type of hot mix asphalt concrete, one of which is *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*. With the abundant styrofoam in asphalt mixtures is intended to know the performance of AC-BC with the addition of styrofoam. This test uses the marshall method to determine the characteristics of the mixture. Variations in styrofoam content used in campuran are *styrofoam* 3%, 3,5%, and 4% against the mixed weight. Based on the test results obtained optimum asphalt content of 5,2%. Density values decreased in each variation with values of 2,253gr/cc, 2,247gr/cc, and 2,243gr/cc. Stability values increased in each variation with values of 843Kg, 871,1Kg, and 913,25Kg. Air Voids values increased in each variation with values of 4,52%, 4,77%, and 4,94%. VFB values decreased in each variation with values of 72,96%, 72,48%, and 72,45%. VMA values increased in each variation with values of 16,67%, 17,32%, and 17,89%. Nilai *flow* values increased in each variation with values of 3,74mm, 4,18mm, and 4,47mm. Based on these data the AC-BC mixture with the addition of styrofoam, the best styrofoam variation content is 3% because it according to the specification value of the test that has been carried out.

Keywords: *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC), Styrofoam, Marshall Test*

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



INFORMASI PRIBADI

Nama : Mochamad Rifansyah
NIM : 2112181041
Tempat/Tgl. Lahir : Bandung, 22 Januari 2000
Jenis Kelamin : Laki-laki
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Alamat Rumah : Jl. Sukahaji Bawah No.75-B, Rt/Rw : 006/003, Kel.
Sukasara, Kec. Sukasari, Kota Bandung, Jawa Barat, 40152
No. Telepon/HP : 081313220651
Email : rifansykes@gmail.com

PENDIDIKAN

Jenjang	Nama dan Tempat	Tahun Lulus
SD	SDN Sukawarna 3 Bandung	2012
SMP	SMP Kartika XIX-2 Bandung	2015
SMK	SMK Angkasa Lanud Husein Sastra Negara Bandung	2018

DAFTAR ISI

JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI.....	iii
HALAMAN HAK CIPTA	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup Masalah	2
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Umum.....	4
2.2 Jenis Campuran Beraspal	5
2.3 Agregat	6
2.3.1 Agregat Kasar.....	10
2.3.2 Agregat Halus.....	11
2.3.3 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	12
2.3.4 Gradasi Agregat Gabungan.....	13
2.3.5 Berat Jenis Dan Penyerapan.....	14

2.4	Aspal (<i>Asphalt</i>).....	19
2.4.1	Aspal Hasil Destilasi.....	20
2.4.2	Aspal Alam	23
2.3.1	Sifat Fisik Aspal.....	24
2.3.2	Pemeriksaan Provertise Aspal.....	26
2.4	Campuran Beton Aspal Sebagai Lapis Perkerasan	28
2.5	<i>Styrofoam</i>	32
2.6	Metode Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI 03-1968-...)	33
2.6.1	Peralatan.....	33
2.6.2	Benda Uji	34
2.6.3	Cara Pengujian	34
2.7	Pengujian Marshall.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		42
3.1	Bagan Alir Metode Penelitian	42
3.2	Tempat dan Waktu Penelitian	43
3.3	Tahap Awal	43
3.4	Tahap Persiapan	43
3.5	Tahap Pelaksanaan	43
3.5.1	Pemeriksaan Material.....	43
3.5.2	Pembuatan benda uji untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	49
3.5.3	Pembuatan Benda Uji Dengan Penambahan Styrofoam.....	55
3.5.4	Metode Pengumpulan Data.....	56
3.5.5	Metode Analisis Data.....	56
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		57
4.1	Hasil Penelitian.....	57
4.1.1	Pengujian Aspal	57

4.1.2	Pengujian Agregat.....	58
4.2	Pembahasan	62
4.2.1	Perancangan Gradasi Agregat Campuran	62
4.2.2	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	63
4.2.3	Pencampuran Bahan Uji dengan KAO	72
4.2.4	Hasil Pengujian Marshall	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		79
5.1	Kesimpulan.....	79
5.2	Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA		82
LAMPIRAN.....		82

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1: Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).	5
Tabel 2. 2: Ketentuan Agregat Kasar Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).	11
Tabel 2. 3: Ketentuan Agregat Halus Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).	12
Tabel 2. 4: Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).	14
Tabel 2. 5: Ketentuan Untuk Aspal Keras (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).	21
Tabel 2. 6: Ketentuan Untuk Aspal Keras (Spesifikasi Bina Marga 2018).	29
Tabel 2. 7: Ketentuan Sifat Campuran Laston (Spesifikasi Bina Marga 2018)...	31
Tabel 2. 8: Ketentuan Sifat Campuran Laston Modifikasi (Spesifikasi Bina Marga 2018).	31
Tabel 2. 9: Karakteristik Styrofoam.....	33
Tabel 2. 10: Angka Korelasi Beban (Stabilitas).....	40
Tabel 4. 1: Hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70.	57
Tabel 4. 2: Analisa Gradasi Split (19-22).	58
Tabel 4. 3: Hasil Pengujian Split (19-22).....	59
Tabel 4. 4: Analisa Gradasi Split (12-19).	59
Tabel 4. 5: Hasil Pengujian Split (12-19).....	60
Tabel 4. 6: Analisa Gradasi Screening (6-12).	60
Tabel 4. 7: Hasil Pengujian Screening (19-22).	60
Tabel 4. 8: Analisa Gradasi Abu Batu.	61
Tabel 4. 9: Hasil Pengujian Abu Batu.....	61
Tabel 4. 10: Hasil gabungan gradasi agregat.	62
Tabel 4. 11: Hasil pengujian Bulk Density campuran normal.	64

Tabel 4. 12: Hasil pengujian Stability campuran normal.....	65
Tabel 4. 13: Hasil pengujian Air Voids (VIM) campuran normal.....	66
Tabel 4. 14: Hasil pengujian Air Voids (VIM) PRD campuran normal.	66
Tabel 4. 15: Hasil pengujian Voids Filled with Bitumen (VFB) campuran normal.	67
Tabel 4. 16: Hasil pengujian Void in Mineral Aggregate (VMA) campuran normal.	68
Tabel 4. 17: Hasil pengujian Kelelahan (<i>flow</i>) campuran normal.	69
Tabel 4. 18: Hasil pengujian <i>Marshall Quotient</i> (MQ) campuran normal.	70
Tabel 4. 19: Rekapitulasi hasil uji Marshall campuran Normal.....	71
Tabel 4. 20: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji penggunaan styrofoam 3%, 3,5%, 4%, pada KAO 5,2%.....	72
Tabel 4. 21: Hasil pengujian Kepadatan (<i>Bulk Density</i>) variasi <i>styrofoam</i>	74
Tabel 4. 22: Hasil pengujian Kepadatan Stabilitas (<i>Stability</i>) variasi <i>styrofoam</i> ..	74
Tabel 4. 23: Hasil pengujian Air Voids (VIM) variasi <i>styrofoam</i>	75
Tabel 4. 24: Hasil pengujian Voids Filled with Bitumen (VFB) terhadap <i>styrofoam</i>	76
Tabel 4. 25: Hasil pengujian Void in Mineral Aggregate (VMA) variasi <i>styrofoam</i>	77
Tabel 4. 26: Hasil pengujian Kelelahan (<i>flow</i>) variasi <i>styrofoam</i>	77
Tabel 4. 27: Rekapitulasi hasil uji Marshall variasi Styrofoam 3%, 3,5%, 4% pada KAO.	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1: Berat Jenis Agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).....	16
Gambar 2. 2: Grafik Angka Korelasi Beban (Stabilitas)	41
Gambar 3. 1: Bagan alir penelitian yang dilaksanakan.....	42
Gambar 3. 2: Penempatan mold sebagai wadah campuran aspal.....	50
Gambar 3. 3: Mengeluarkan benda uji menggunakan alat dongkrak.....	51
Gambar 3. 4: Timbang berat benda uji kondisi kering.....	51
Gambar 3. 5: Benda uji direndam selama ± 24 jam.	52
Gambar 3. 6: Menimbang benda uji dalam air.....	52
Gambar 3. 7: Timbang benda uji dalam keadaan jenuh.....	53
Gambar 3. 8: Merendam benda uji di waterbath.....	53
Gambar 3. 9: Pemasangan benda uji pada alat uji marshall.....	54
Gambar 3. 10: Pengujian Marshall.	54
Gambar 3. 11: Penimbang Agregat dan Bahan tambah.	55
Gambar 4. 1: Proses pengujian aspal.	57
Gambar 4. 2: Proses pengujian agregat.....	58
Gambar 4. 3: Grafik hasil gabungan agregat.	63
Gambar 4. 4: Grafik nilai Bulk Density terhadap kadar aspal.	64
Gambar 4. 5: Grafik nilai Stability terhadap kadar aspal.....	65
Gambar 4. 6: Grafik nilai Air Voids (VIM) terhadap kadar aspal.	66
Gambar 4. 7: Grafik nilai Voids Filled with Bitumen (VFB) terhadap kadar aspal.	67
Gambar 4. 8: Grafik nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) terhadap kadar aspal.	68
Gambar 4. 9: Grafik nilai Kelelehan (<i>flow</i>) terhadap kadar aspal.	69
Gambar 4. 10: Grafik nilai <i>Marshall Quotient</i> (MQ) terhadap kadar aspal.....	70
Gambar 4. 11: Grafik Penentuan KAO.....	71
Gambar 4. 12: Proses penimbangan komposisi campuran.....	72
Gambar 4. 13: Proses merendam benda uji dalam bak perendam (<i>water bath</i>). ..	73

Gambar 4. 14: Proses pengujian benda uji menggunakan alat marshall.....	73
Gambar 4. 15: Grafik nilai Bulk Density terhadap variasi styrofoam.	74
Gambar 4. 16: Grafik nilai Stabilitas (<i>Stability</i>) terhadap variasi <i>styrofoam</i>	75
Gambar 4. 17: Grafik nilai Air Voids (VIM) terhadap variasi <i>styrofoam</i>	75
Gambar 4. 18: Grafik nilai Voids Filled with Bitumen (VFB) terhadap variasi <i>Styrofoam</i>	76
Gambar 4. 19: Grafik nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) terhadap variasi <i>styrofoam</i>	77
Gambar 4. 20: Grafik nilai Kelelehan (<i>flow</i>) variasi <i>styrofoam</i>	78

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pengembangan infrastruktur di Indonesia di era saat ini cukup baik mengingat mobilitas ekonomi yang berkembang. Khususnya pada infrastruktur jalan, beban transportasi di jalan meningkat. Dalam kategori jalan lalu lintas yang berat, tidak dapat lagi menggunakan jalan dengan perkerasan aspal beton biasa. Karena beban lalu lintas yang berat tersebut, sering terjadinya kerusakan pada jalan. Kerusakan jalan yang umumnya terjadi seperti retakan dan jalan bergelombang. Jalan retak dapat memberikan efek negatif, yaitu masuknya air ke dalam struktur jalan beraspal dan menjadi berlubang. Dan juga dengan adanya titik leleh bitumen yang sangat rendah yang mengakibatkan aspal menjadi leleh apabila terkena paparan sinar matahari sehingga membuat jalan menjadi bergelombang. Di Indonesia umumnya perkerasan yang digunakan ialah perkerasan lentur. Menurut Sukirman (1999:4) Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasan bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.

Penggunaan limbah *styrofoam* sebagai bahan alternatif untuk perkuatan perkerasan aspal merupakan suatu ide cemerlang, karena bisa mengurangi jumlah limbah yang harus dibuang ke lingkungan, mengingat jumlah limbah *styrofoam* selalu meningkat dari tahun ke tahun (Adly, 2016). *Styrofoam* memiliki sifat yang sangat ringan, kaku, tembus cahaya, dan murah. Hal ini membuat *styrofoam* memiliki potensi menjadi material pencampur yang digunakan untuk membuat aspal modifikasi. *Styrofoam* digunakan didasarkan pada cukup banyaknya penggunaan dalam kehidupan sehari-hari tetapi sedikit dimanfaatkan. Penggunaan aspal modifikasi menggunakan bahan campuran *styrofoam* masih harus melewati beberapa tahapan pengujian dan evaluasi. Pengujian dan evaluasi bertujuan untuk mengetahui kekuatan dari aspal modifikasi apabila diterapkan sebagai material pembuatan jalan raya.

Pada penelitian ini kombinasi yang digunakan adalah *styrofoam* yang berasal dari limbah. Penelitian ini dilakukan agar penulis mengetahui kekuatan terhadap pengaruh penggunaan *styrofoam* sebagai bahan penambah campuran AC-BC. Diharapkan dari penelitian ini mendapatkan kinerja campuran AC-BC yang lebih baik dengan pengujian marshall. Dengan hal ini penelitian mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini, antara lain :

1. Apakah penambahan *styrofoam* dapat digunakan pada aspal penetrasi 60/70?
2. Apakah ada perbandingan karakteristik Marshall yang menggunakan penambahan *styrofoam* dengan yang tidak menggunakan *styrofoam*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan *styrofoam* pada campuran AC-BC penetrasi 60/70 terhadap karakteristik Marshall.
2. Untuk mengetahui nilai perbandingan karakteristik Marshall yang menggunakan penambahan *styrofoam* dengan karakteristik Marshall yang tidak menggunakan *styrofoam* pada campuran aspal AC-BC.

1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan pada perkerasan lentur AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Course*) yang ditambahkan dengan *Styrofoam*.

1.5 Ruang Lingkup Masalah

Adapun ruang lingkup masalah dalam penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium AMP PT. Trisakti Manunggal Perkasa Internasional.
2. Ketentuan bahan penelitian antara lain:
 - a. Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60/70.

- b. Agregat Kasar (Batu pecah), Medium Agregat (Screening) dan Agregat Halus (Abu Batu).
- c. Styrofoam berasal dari limbah barang bekas.
- d. Persentase campuran *styrofoam* yang digunakan adalah 3%, 3,5%, dan 4% dari total berat Kadar Aspal Optimum.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Menguraikan tentang pendahuluan yang meliputi latar belakang masalah, permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penelitan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan tentang kajian dari berbagai literatur serta hasil studi yang relevan dengan pembahasan ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Menguraikan tentang metode yang dipakai dalam penelitian ini, termasuk pengambilan data, langkah penelitian, analisis data, dan pengolahan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menguraikan tentang pembahasan mengenai data-data yang didapat dari pengujian, kemudian dianalisis, sehingga dapat diperoleh hasil perhitungan, dan kesimpulan hasil mendasar.

BAB V PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini. Selain itu bab ini berisi tentang saran-saran yang dapat digunakan sebagai acuan untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Campuran beraspal panas mencakup pengadaan lapisan padat yang awet berupa lapis perata, lapis pondasi, lapis antara atau lapis aus campuran beraspal panas yang terdiri dari agregat, bahan aspal, bahan anti pengelupasan dan *styrofoam*, yang dicampur secara panas di pusat instalasi pencampuran, serta menghampar dan memadatkan campuran tersebut diatas pondasi atau permukaan jalan yang telah disiapkan sesuai dengan Spesifikasi ini dan memenuhi garis. Campuran beraspal adalah suatu kombinasi campuran antara agregat dan aspal. Dalam campuran beraspal, aspal berperan sebagai pengikat atau lem antar partikel agregat, dan agregat berperan sebagai tulangan. Sifat-sifat mekanis aspal dalam campuran beraspal diperoleh dari friksi dan kohesi dari bahan-bahan pembentuknya. Friksi agregat diperoleh dari ikatan antar butir agregat (*interlocking*), dan kekuatannya tergantung pada gradasi, tekstur permukaan, bentuk butiran dan ukuran agregat maksimum yang digunakan. Sedangkan sifat kohesinya diperoleh dari sifat-sifat aspal yang digunakan. Oleh sebab itu kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat dan aspal serta sifat-sifat campuran padat yang sudah terbentuk dari kedua bahan tersebut. Perkerasan beraspal dengan kinerja yang sesuai dengan persyaratan tidak akan dapat diperoleh jika bahan yang digunakan tidak memenuhi syarat, meskipun peralatan dan metoda kerja yang digunakan telah sesuai.

AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) merupakan lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus (*wearing course*). Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekuatan yang cukup untuk mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan dibawahnya yaitu *base* dan *sub grade* (tanah dasar). Karakteristik yang penting pada campuran ini adalah stabilitas.

Adapun tebal total campuran beraspal tidak boleh kurang dari jumlah tebal rancangan dari masing-masing campuran, pada suatu sub-segmen yang tidak memenuhi syarat akan di ulang atau dalam lapangan di bongkar yang disyaratkan dalam Tabel 2.1

Tabel 2. 1: Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

Jenis Campuran		Simbol	Tebal Nominal Minimum (cm)
Split Mastic Asphalt - Tipis		<i>SMA</i> - Tipis	3,0
Split Mastic Asphalt – Halus		<i>SMA</i> – Halus	4,0
Split Mastic Asphalt - Kasar		<i>SMA</i> – Kasar	5,0
Lastaton	Lapis Aus	HRS – WC	3,0
	Lapis Fondasi	HRS – Base	3,5
Laston	Lapis Aus	AC – WC	4,0
	Lapis Antara	AC – BC	6,0
	Lapis Antara	AC – Base	7,5

2.2 Jenis Campuran Beraspal

Jenis campuran beraspal dibedakan berdasarkan ketebalan pada setiap lapisan, antara lain:

1. *Split Mastic Asphalt (SMA)*.

Split Mastic Asphalt disebut *SMA*, terdiri dari tiga jenis yaitu *SMA* Tipis, *SMA* Halus, *SMA* Kasar, dengan ukuran partikel maksimum agregat masing-masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm, 25 mm. Setiap campuran *SMA* yang menggunakan bahan aspal polymer disebut masing-masing sebagai *SMA* Tipis Modifikasi, *SMA* Halus Modifikasi, *SMA* Kasar Modifikasi.

2. Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet*, HRS).

Lapis Tipis Aspal Beton (Lastaton) yang disebut juga HRS, terdiri dari dua jenis campuran yaitu HRS Fondasi, (HRS-Base) dan HRS Lapis Aus (HRS-*Wearing Course*, HRS-WC) dan ukuran maksimum agregat masing-masing

campuran adalah 19 mm. HRS-Base mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada HRS-WC.

3. Lapis Aspal Beton (Asphalt Concrete, AC)

Lapis Aspal Beton (Laston) yang disebut juga AC, terdiri dari tiga jenis yaitu AC Lapis Aus (*AC-Wearing Course*), AC Lapis Antara (*AC-Binder Course*) dan AC Lapis Fondasi (*AC-Base*), dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm, setiap jenis campuran AC yang menggunakan Aspal Polymer disebut masing-masing sebagai AC-WC Modifikasi, AC-BC Modifikasi, dan AC-Base Modifikasi.

Ciri lain aspal adalah memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu aspal beton memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku. Sesuai fungsinya Laston (AC) mempunyai 3 macam campuran yaitu:

- a. Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 4 cm.
- b. Laston sebagai lapisan antara, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm.
- c. Laston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama AC- Base (*Asphalt Concrete-Base*), dengan tebal nominal minimum adalah 7,5 cm.

Sebagai lapis permukaan perkerasan jalan, Laston (AC) mempunyai nilai struktur, kedap air, dan mempunyai stabilitas tinggi (Supriadi.T, Syafaruddin AS, 2010).

2.3 Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM (1974) mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan 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. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi,

kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya pelekatan dengan aspal (Sukirman, 2003).

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

Sebagai bahan lapis perkerasan, agregat berperan dalam mendukung dan menyebarkan beban roda kendaraan berlapis tanah. Secara umum agregat diklasifikasikan antara lain:

1. Ditinjau dari asal bahan
2. Berdasarkan proses pengolahan
3. Berdasarkan besar partikel-partikel agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuan dalam memikul beban lalu lintas. Semua lapis perkerasan jalan lentur memerlukan agregat yang terdistribusi dari besar sampai kecil. Penggunaan partikel agregat dengan ukuran besar lebih menguntungkan apabila:

1. Usaha pemecahan partikel lebih sedikit
2. Luas permukaan yang diselimuti aspal lebih sedikit sehingga kebutuhan akan aspal berkurang.

Disamping keuntungan diatas pemakaian agregat dengan ukuran besarmempunyai kekurangan antara lain:

1. Kemudahan pelaksanaan pekerjaan berkurang
2. Segregasi bertambah besar
3. Kemungkinan terjadi gelombang melintang.

Sifat agregat yang menentukan kualitas sebagai bahan konstruksiperkerasan jalan dikelompokkan menjadi sebagai berikut ini:

1. Kekuatan dan keawetan (*strenght and durability*) lapisan perkerasan, yang dipengaruhi sebagai berikut ini:
 - a. Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas lapis keras. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dengan analisa saringan dengan menggunakan satu set saringan.
 - b. Ukuran maksimum yaitu semakin besar ukuran maksimum partikel agregat yang dipakai semakin banyak variasi.
 - c. Ukuran agregat dari kecil sampai besar yang dibutuhkan. Batasan ukuran agregat maksimum yang dipakai dibatasi oleh tebal lapisan yang direncanakan.
 - d. Kadar lempung yaitu lempung mempengaruhi mutu campuran agregat dengan aspal karena membungkus partikel-partikel agregat sehingga ikatan antara agregat dan aspal berkurang, adanya lempung yang mengakibatkan luas daerah yang harus diselimuti aspal bertambah dan lempung cenderung menyerap air yang berakibat hancurnya lapisan aspal. Bentuk dan tekstur agregat mempengaruhi stabilitas dari lapisan lapis keras yang dibentuk oleh agregat tersebut.
 - e. Kekerasan dan ketahanan : yaitu ketahanan agregat untuk tidak hancur atau pecah oleh pengaruh mekanis atau kimia.
2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, dipengaruhi oleh:
 - a. Kemungkinan basah.
 - b. Porositas.
 - c. Jenis agregat.
4. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh:
 - a. Tahanan geser (*skid resistance*)
 - b. Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminuous mix workability*).

Berdasarkan proses pengolahannya agregat yang dipergunakan pada perkerasan dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu agregat alam (*natural aggregate*), agregat dengan proses pengolahan (*manufacture aggregate*) dan agregat buatan yang diperoleh dari hasil samping pabrik semen dan mesin pemecah batu:

1. Agregat alam (*natural aggregates*).

Agregat alam adalah agregat yang digunakan dalam bentuk alamiahnya dengan sedikit atau tanpa pemrosesan sama sekali. Agregat ini terbentuk dari proses erosi alamiah atau proses pemisahan akibat angin, air, pergeseran es, dan reaksi kimia. Aliran gletser dapat menghasilkan agregat dalam bentuk bongkahan bulat dan batu kerikil, sedangkan aliran air menghasilkan batuan yang bulat licin.

Dua jenis utama dari agregat alam yang digunakan untuk konstruksi jalan adalah pasir dan kerikil. Kerikil biasanya didefinisikan sebagai agregat yang berukuran lebih besar 6,35 mm. Pasir didefinisikan sebagai partikel yang lebih kecil dari 6,35 mm tetapi lebih besar dari 0,075 mm. Sedangkan partikel yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut sebagai mineral pengisi (*filler*). Pasir dan kerikil selanjutnya diklasifikasikan menurut sumbernya. Material yang diambil dari tambang terbuka (*open pit*) dan digunakan tanpa proses lebih lanjut disebut material dari tambang terbuka (*pit run materials*) dan bila diambil dari sungai (*stream bank*) disebut material sungai (*stream bank materials*). Deposit batu koral memiliki komposisi yang bervariasi tetapi biasanya mengandung pasir dan lempung. Pasir pantai terdiri atas partikel yang agak seragam, sementara pasir sungai sering mengandung koral, lempung dan lanau dalam jumlah yang lebih banyak.

2. Agregat yang diproses (*manufacture aggregate*).

Agregat yang diproses adalah batuan yang telah dipecah dan disaring sebelum digunakan. Pemecahan agregat dilakukan karena tiga alasan : untuk merubah tekstur permukaan partikel dari licin ke kasar, untuk merubah bentuk partikel dari bulat ke angular, dan untuk mengurangi serta meningkatkan distribusi dan rentang ukuran partikel. Untuk batuan krakal yang besar, tujuan pemecahan batuan krakal ini adalah untuk mendapatkan ukuran batu yang dapat dipakai, selain itu juga untuk merubah bentuk dan teksturnya.

Penyaringan yang dilakukan pada agregat yang telah dipecahkan akan menghasilkan partikel agregat dengan rentang gradasi tertentu. Mempertahankan gradasi agregat yang dihasilkan adalah suatu faktor yang penting untuk menjamin homogenitas dan kualitas campuran beraspal yang dihasilkan. Untuk alasan ekonomi, pemakaian agregat pecah yang diambil langsung dari pemecah batu (tanpa penyaringan atau dengan sedikit penyaringan) dapat dibenarkan. Kontrol yang baik dari operasional pemecahan menentukan apakah gradasi agregat yang dihasilkan memenuhi spesifikasi pekerjaan atau tidak. Batu pecah (baik yang disaring atau tidak) disebut agregat pecah dan memberikan kualitas yang baik bila digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan.

3. Agregat buatan.

Agregat ini didapatkan dari proses kimia atau fisika dari beberapa material sehingga menghasilkan suatu material baru yang sifatnya menyerupai agregat. Beberapa jenis dari agregat ini merupakan hasil sampingan dari proses industri dan dari proses material yang sengaja diproses agar dapat digunakan sebagai agregat atau sebagai mineral pengisi filler.

Slag adalah contoh agregat yang didapat sebagai hasil sampingan produksi. Batuan ini adalah substansi nonmetalik yang timbul ke permukaan dari pencairan atau peleburan biji besi selama proses peleburan. Pada saat menarik besi dari cetakan, slag ini akan pecah menjadi partikel yang lebih kecil baik melalui perendaman ataupun memecahkannya setelah dingin. Pembuatan agregat buatan secara langsung adalah suatu yang relatif baru. Agregat ini dibuat dengan membakar tanah liat dan material lainnya. Produk akhir yang dihasilkan biasanya agak ringan dan tidak memiliki daya tahan terhadap keausan yang tinggi. Agregat buatan dapat digunakan untuk dek jembatan atau untuk perkerasan jalan dengan mutu sebaik lapisan permukaan yang mensyaratkan ketahanan gesek maksimum.

2.3.1 Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm) dan haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan. Fraksi agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal. Agregat kasar

harus mempunyai angularitas yaitu persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 2,36 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih. Ukuran maksimum (maximum size) agregat adalah satu saringan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (nominal maximum size). Ukuran nominal maksimum adalah satu saringan yang lebih kecil dari saringan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%, yang terdapat dalam Tabel 2.2.

Tabel 2. 2: Ketentuan Agregat Kasar Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

Pengujian		Pengujian	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	Min 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	100/90 *)
		Lainnya	95/90 **)
Partikel Pipih dan lonjong		SMA	100/90 *)
		Lainnya	95/90 **)
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117: 2	Maks 1%

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu. Agar dapat memenuhi ketentuan mutu, batu pecah halus harus diproduksi dari batu yang bersih. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm).

Untuk memperoleh agregat halus yang memenuhi ketentuan adalah sebagai berikut:

1. Bahan baku untuk agregat halus harus dicuci terlebih dahulu secara mekanis sebelum dimasukkan ke dalam mesin pemecah batu.
2. Digunakan scalping screen, dari hasil pemecah batu tahap pertama tidak boleh langsung digunakan.
3. Diperoleh dari hasil tahap pertama harus di pisahkan dengan vibro scalping screen antara mesin pemecah tahap pertama dengan mesin pemecah tahap kedua.
4. Material tertahan oleh vibro scalping screen akan dipecah oleh mesin pemecah tahap kedua, hasil pengayakan dapat digunakan sebagai agregat halus.
5. Material lolos vibro scaling screen hanya boleh digunakan sebagai komponen material Lapis Fondasi Agregat.

Fraksi agregat kasar, agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditumpuk terpisah, dan harus memenuhi ketentuan yang terdapat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2. 3: Ketentuan Agregat Halus Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

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

2.3.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) adalah bahan berbutir halus yang berfungsi sebagai butir pengisi pada pembuatan campuran aspal. Didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan no. 200 (0.074) dan yang ditambahkan dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*) atau debu kapur padam, debu kapur magnesium, dolomite, semen dan abu terbang tipe C dan F yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2014). Debu batu (*stone dust*) dan bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan, bila diuji dengan penyaringan harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75%

dari yang lolos saringan No.30 (0,600 mm) dan mempunyai sifat non plastis. Bahan pengisi yang ditambahkan semen dan bahan pengisi lainnya harus rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat, khusus untuk SMA tidak dibatasi kadarnya.

Penggunaan bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal akan mempengaruhi karakteristik campuran aspal dan dapat menyebabkan dampak, sebagai berikut :

1. Dampak penggunaan filler terhadap karakteristik campuran aspal akan mempengaruhi campuran, penggelaran dan pemadatan. Di samping itu jenis filler akan mempengaruhi terhadap sifat elastik campuran dan sensitivitasnya terhadap air.
2. Dampak penggunaan filler terhadap karakteristik campuran aspal dalam hal ini masih digolongkan lagi menjadi :
 - a. Dampak penggunaan filler terhadap viskositas campuran yang menyebabkan semakin besarnya permukaan filler akan menaikkan viskositas campuran.
 - b. Dampak suhu dan pemanasan setiap filler memberikan pengaruh yang saling berbeda pada berbagai temperatur.

2.3.4 Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi harus memenuhi batas-batas. Rancangan dan perbandingan campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.4. Untuk memperoleh gradasi HRS – WC atau HRS – Base yang senjang, maka paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus lolos ayakan No.30 (0,600 mm).

Gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran butir agregat. Gradasi agregat berpengaruh pada besarnya rongga dalam campuran dan menentukan workabilitas serta stabilitas campuran. Gradasi agregat ditentukan dengan cara analisa saringan dimana sampel agregat harus melalui satu set saringan. Bilamana

gradasi yang diperoleh tidak memenuhi kesenjangan yang disyaratkan dalam Tabel 2.4

Tabel 2. 4: Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Aspal (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5								100
1"	25			100				100	90-100
¾"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
⅜"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	10-15					9-22	7-20	6-15
No.100	0,150						6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

2.3.5 Berat Jenis Dan Penyerapan

Berat jenis adalah nilai perbandingan antara massa dan volume dari bahan yang kita uji. Sedangkan penyerapan berarti tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air. Jumlah rongga atau pori yang didapat pada agregat disebut porositas. Pengukuran berat jenis agregat diperlukan untuk perencanaan campuran aspal dengan agregat, campuran ini berdasarkan perbandingan berat karena lebih teliti dibandingkan dengan perbandingan volume dan juga untuk menentukan banyaknya pori agregat. Berat jenis yang kecil akan mempunyai volume yang besar sehingga dengan berat sama akan dibutuhkan aspal yang banyak dan sebaliknya.

Agregat dengan kadar pori besar akan membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak karena banyak aspal yang terserap akan mengakibatkan aspal menjadi lebih tipis. Penentuan banyak pori ditentukan berdasarkan air yang dapat terarbsorbsi oleh agregat. Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering.

1. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*)

Adalah berat jenis yang diperhitungkan terhadap seluruh volume yang ada. (Volume pori yang dapat diresapi aspal atau dapat dikatakan seluruh volume pori yang dapat dilewati air dan volume partikel).

2. Berat jenis kering permukaan jenis (*SSD specific gravity*)

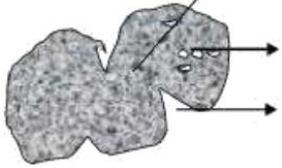
Adalah berat jenis yang memperhitungkan volume pori yang hanya dapat diresapi aspal ditambah dengan volume partikel.

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Adalah berat jenis yang memperhitungkan volume partikel saja tanpa memperhitungkan volume pori yang dapat dilewati air. Atau merupakan bagian relative Density dari bahan padat yang terbentuk dari campuran partikel kecuali pori atau pori udara yang dapat menyerap air.

4. Berat jenis efektif (*effective specific gravity*)

Merupakan nilai tengah dari berat jenis curah dan semu, terbentuk dari campuran partikel kecuali pori-pori atau rongga udara yang dapat menyerap air yang selanjutnya akan terus diperhitungkan dalam perencanaan campuran agregat dengan aspal.

 <p>Volume Agregat Impermeabel Voids Permeabel Voids</p>	<p>Berat Jenis Bulk</p> <p>= Berat kering oven / (Vol Agregat + Vol Impermeable dan Permeabel Voids)</p> <p>ASTM C127 dan 128</p>
 <p>Volume Agregat Impermeabel Voids Permeabel Voids</p>	<p>Berat Jenis Semu (Apparent)</p> <p>= Berat kering oven / (Vol Agregat + Vol Impermeable)</p> <p>ASTM C127 dan 128</p>

Gambar 2. 1: Berat Jenis Agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Berat Jenis bulk, dipandang volume menyeluruh agregat, termasuk volume pori yang dapat terisi oleh air setelah direndam selama 24 jam. Berat Jenis Semu, volume dipandang sebagai volume menyeluruh dari agregat, tidak termasuk volume pori yang dapat terisi air setelah perendaman selama 24 jam. Berat Jenis Efektif, volume dipandang volume menyeluruh dari agregat tidak termasuk volume pori yang dapat menghisap aspal. Dapat dinyatakan dengan Pers. 2.1 – Pers. 2.3.

Berat Jenis Semu:

$$Gsa = \frac{Ws}{Vs \cdot \gamma} \quad (2.1)$$

Berat Jenis Curah:

$$Gsb = \frac{Ws}{(Vs + Vpp) \cdot \gamma_w} \quad (2.2)$$

Berat Jenis Efektif:

$$Gse = \frac{Ws}{(Vs + Vpp - Vap) \cdot \gamma_w} \quad (2.3)$$

Dengan keterangan:

- Ws = Berat agregat kering
- γ_w = Berat Isi air = 1 g/cm³
- Vs = Volume bagian padat agregat
- Vpp = Volume pori meresap aspal
- Vpp-Vap = Volume pori meresap air yang tidak meresap aspal

Bila digunakan Berat Jenis Bulk, maka aspal dianggap tidak dapat dihisap oleh pori-pori yang dapat menyerap air. Konsep mengenai Berat Jenis Efektif dianggap paling mendekati nilai sebenarnya untuk menentukan besarnya rongga udara dalam campuran beraspal. Bila digunakan berbagai kombinasi agregat maka perlu mengadakan penyesuaian mengenai Berat Jenis, karena Berat Jenis masing masing bahan berbeda.

a. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat kasar serta kemampuannya menyerap air. Besarnya berat jenis yang diperiksa adalah untuk agregat dalam keadaan kering, berat kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*), berat jenis semu (*apparent*). Yang sesuai SNI 1969 : 2008 dengan perhitungan Pers. 2.4 – Pers. 2.7.

1. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*):

$$S_d = \frac{B_k}{B_j \cdot B_a} \tag{2.4}$$

2. Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*):

$$S_s = \frac{B_j}{B_j \cdot B_a} \tag{2.5}$$

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*):

$$S_w = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \tag{2.5}$$

Dengan keterangan:

- Bk = Berat benda uji kering oven, dalam gram

- B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram
 B_a = Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air, dalam gram

Berat jenis dengan ketelitian 0,01 yang terdekat dan penyerapan dengan ketelitian 0,1 persen. Terdapat pendekatan matematis serta tiga jenis berat jenis dan penyerapan di dalam lampiran yang dapat digunakan, dan mungkin berguna dalam memeriksa tingkat konsistensi data atau menghitung nilai-nilai yang tidak dilaporkan dengan menggunakan data laporan yang lain. Jika agregat kasar diuji pada kondisi kelembaban alaminya, tidak dengan dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven dan direndam selama (24+4) jam di dalam air, laporkan sumber benda uji dan prosedur yang dipakai untuk mencegah kekeringan sebelum diuji.

b. Berat Jenis Dan Penyerapan Agregat Halus

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis agregat halus serta kemampuannya menyerap air. Besarnya berat jenis yang diperiksa adalah untuk agregat dalam keadaan kering, berat kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*), berat jenis semu (*apparent*). Yang sesuai SNI 1970 : 2008 dengan perhitungan Pers. 2.8 – Pers. 2.11.

1. Berat jenis curah (*bulk specific gravity*):

$$Sd = \frac{Bk}{(B+S-C)} \quad (2.8)$$

2. Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*):

$$Sd = \frac{S}{(B+S-C)} \quad (2.9)$$

3. Berat jenis semu (*apparent specific grafit*):

$$Sa = \frac{Bk}{(B+Bk-C)} \quad (2.10)$$

4. Penyerapan air (*absortion*):

$$Sw = \left(\frac{S-Bk}{Bk} \right) \times 100\% \quad (2.11)$$

Dengan keterangan:

- B_k = Berat benda uji kering oven, dalam gram
 B = Berat piknometer yang berisi air, dalam gram
 C = Berat piknometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan, dalam gram
 S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan, dalam gram

Berat piknometer pada saat terisi air saja sampai batas pembacaan yang ditentukan pada (23±2)°C. Cara alternatif menentukan berat dapat dilakukan dengan menghitung jumlah air yang dibutuhkan untuk mengisi piknometer pada temperatur yang ditentukan secara volumetrik dengan menggunakan buret yang ketelitiannya 0,15 ml. Adapun rumus untuk menghitung berat piknometer dengan Pers. 2.12 – Pers. 2.13.

1. Berat total piknometer, benda uji dan air:

$$C = 0,9975 \cdot V_a + S + W \quad (2.12)$$

2. Berat piknometer dan air:

$$B = 0,9975 \cdot V_a + W \quad (2.13)$$

Dengan keterangan:

- C = Berat piknometer, benda uji dan air pada batas pembacaan, dalam gram
 V_a = Volume air yang dimasukkan ke dalam piknometer, dalam mililiter
 B = Berat piknometer dengan air pada batas pembacaan, dalam gram
 S = Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan, dalam gram
 W = Berat piknometer kosong, dalam gram

Jika agregat halus diuji pada kondisi kelembaban alaminya, tidak dengan dikeringkan terlebih dahulu di dalam oven dan direndam selama (24±4) jam di dalam air, laporkan sumber benda uji dan prosedur yang dipakai untuk mencegah kekeringan sebelum diuji.

2.4 **Aspal (*Asphalt*)**

Aspal merupakan suatu produk berbasis minyak yang merupakan turunan dari proses penyulingan minyak bumi, dan dikenal dengan nama aspal keras. Selain

itu, aspal juga terdapat di alam secara alamiah, aspal ini disebut aspal alam. Aspal modifikasi saat ini juga telah dikenal luas. Aspal ini dibuat dengan menambahkan bahan tambah ke dalam aspal yang bertujuan untuk memperbaiki atau memodifikasi sifat rheologinya sehingga menghasilkan jenis aspal baru yang disebut aspal modifikasi.

Aspal atau bitumen adalah material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya.

2.4.1 Aspal Hasil Destilasi

Minyak mentah disuling dengan cara destilasi, yaitu suatu proses dimana berbagai fraksi dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Proses destilasi ini disertai oleh kenaikan temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Pada setiap temperatur tertentu dari proses destilasi akan dihasilkan produk-produk berbasis minyak, yang terdiri dari beberapa aspal yaitu:

1. Aspal keras

Aspal keras adalah proses destilasi fraksi ringan yang terkandung dalam minyak bumi dipisahkan dengan destilasi sederhana hingga menyisakan suatu residu. Untuk menghasilkan aspal keras dengan sifat-sifat yang diinginkan, proses penyulingan harus ditangani sedemikian rupa sehingga dapat mengontrol sifatsifat aspal keras yang dihasilkan.

Hal ini sering dilakukan dengan mencampur berbagai variasi minyak mentah bersama-sama sebelum proses destilasi dilakukan. Pencampuran ini nantinya agar dihasilkan aspal keras dengan sifat-sifat yang bervariasi, sesuai dengan sifat-sifat yang diinginkan. Cara lainnya yang sering juga dilakukan untuk mendapatkan aspal keras dengan viskositas menengah adalah dengan mencampur beberapa jenis 22 aspal keras dengan proporsi tertentu dimana aspal keras yang sangat encer dicampur dengan aspal lainnya yang kurang encer sehingga menghasilkan aspal dengan viskositas menengah.

Selain melalui proses destilasi hampa dimana aspal dihasilkan dari minyak mentah dengan pemanasan dan penghampaan, aspal keras juga dapat dihasilkan melalui proses ekstraksi zat pelarut. Dalam proses ini fraksi minyak (bensin, solar dan minyak tanah) yang terkandung dalam minyak mentah (crude oil) dikeluarkan sehingga meninggalkan aspal sebagai residu. Dengan ketentuan Tabel 2.5.

Tabel 2. 5: Ketentuan Untuk Aspal Keras (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen.60-70	Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG70	PG76
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan	
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 red/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-64422000	-	70	76
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan	
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASTHO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-	
9.	Stabilitas penyimpanan perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10.	Kadar paraffin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002)					
11.	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	
12.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 red/detik 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-64422000	-	70	76
13.	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456-2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa					
15.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

2. Aspal cair (*cutback asphalt*)

Aspal cair dihasilkan dengan melarutkan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak. Aspal ini dapat juga dihasilkan secara langsung dari proses destilasi, dimana dalam proses ini fraksi minyak ringan yang terkandung dalam minyak mentah tidak seluruhnya dikeluarkan. Kecepatan menguap dari minyak yang digunakan sebagai pelarut atau minyak yang sengaja ditinggalkan dalam residu pada proses destilasi akan menentukan jenis aspal cair yang dihasilkan. Berdasarkan hal ini, aspal cair dapat dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu :

- a. Aspal cair cepat mantap (RC = rapid curing), yaitu aspal cair yang bahan pelarutnya cepat menguap. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini biasanya bensin.
- b. Aspal cair mantap sedang (MC = medium curing), yaitu aspal cair yang bahan pelarutnya tidak begitu cepat menguap. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini biasanya minyak tanah.
- c. Aspal cair lambat mantap (SC = slow curing), yaitu aspal cair yang bahan pelarutnya lambat menguap. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini biasanya solar.
- d. Tingkat kekentalan aspal cair sangat ditentukan oleh proporsi atau rasio bahan pelarut yang digunakan terhadap aspal keras atau yang terkandung pada aspal cair tersebut. Aspal cair jenis MC-800 memiliki nilai kekentalan yang lebih tinggi dari MC-200. Aspal cair dapat digunakan baik sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal maupun sebagai lapis resap pengikat (*prime coat*) atau lapis perekat (*tack coat*). Dalam penggunaannya, pemanasan mungkin diperlukan untuk menurunkan tingkat kekentalan aspal ini.

3. Aspal emulsi

Aspal emulsi dihasilkan melalui proses pengemulsian aspal keras. Pada proses ini, partikel-partikel aspal keras dipisahkan dan didispersikan dalam air yang mengandung emulsifier (emulgator). Partikel aspal yang terdispersi ini berukuran sangat kecil bahkan sebagian besar berukuran koloid.

Jenis emulsifier yang digunakan sangat mempengaruhi jenis dan kecepatan pengikatan aspal emulsi yang dihasilkan. Berdasarkan muatan listrik zat pengemulsi yang digunakan, aspal emulsi yang dihasilkan dapat dibedakan menjadi :

- a. Aspal emulsi anionik, yaitu aspal emulsi yang berion negatif.
- b. Aspal emulsi kationik, yaitu aspal emulsi yang berion positif.
- c. Aspal emulsi non-ionik, yaitu aspal emulsi yang tidak berion (netral)

2.4.2 Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang secara alamiah terjadi di alam. Berdasarkan depositnya aspal alam ini dikelompokkan ke dalam 2 kelompok, yaitu:

1. Aspal Danau (Lake Asphalt)

Aspal ini secara alamiah terdapat di danau Trinidad, Venezuela dan Lawele. Aspal ini terdiri dari bitumen, mineral dan bahan organik lainnya. Angka penetrasi dari aspal ini sangat rendah dan titik lelehnya sangat tinggi. Karena aspal ini sangat keras, dalam pemakaiannya aspal ini dicampur dengan aspal keras yang mempunyai angka penetrasi yang tinggi dengan perbandingan tertentu sehingga dihasilkan aspal dengan angka penetrasi yang diinginkan.

2. Aspal Batu (Rock Asphalt)

Aspal batu Kentucky dan Buton adalah aspal yang secara alamiah terdeposit di daerah Kentucky, USA dan di pulau Buton, Indonesia. Aspal dari deposit ini terbentuk dalam celah-celah batuan kapur dan batuan pasir. Aspal yang terkandung dalam batuan ini berkisar antara 12 – 35 % dari masa batu tersebut dan memiliki tingkat penetrasi antara 0 – 40. Untuk pemakaiannya, deposit ini harus ditambang terlebih dahulu, lalu aspalnya diekstraksi dan dicampur dengan minyak pelunak atau aspal keras dengan angka penetrasi yang lebih tinggi agar didapat suatu campuran aspal yang memiliki angka penetrasi sesuai dengan yang diinginkan. Pada saat ini aspal batu telah dikembangkan lebih lanjut, sehingga menghasilkan aspal batu dalam bentuk butiran partikel yang berukuran lebih kecil dari 1 mm dan dalam bentuk mastik.

2.3.1 Sifat Fisik Aspal

Sifat fisik aspal yang sangat mempengaruhi perencanaan, produksi dan kinerja campuran beraspal antara lain adalah durabilitas, adhesi dan kohesi, kepekaan terhadap temperatur, pengerasan dan penuaan.

1. Durabilitas

Kinerja aspal sangat dipengaruhi oleh sifat aspal tersebut setelah digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal dan dihampar di lapangan. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat aspal akan berubah secara signifikan akibat oksidasi dan pengelupasan yang terjadi baik pada saat pencampuran, pengangkutan dan penghamparan campuran beraspal di lapangan. Perubahan sifat ini akan menyebabkan aspal menjadi berdaya tahan rendah atau dengan kata lain aspal telah mengalami penuaan. Kemampuan aspal untuk menghambat laju penuaan ini disebut durabilitas aspal.

Pengujian durabilitas aspal bertujuan untuk mengetahui seberapa baik aspal untuk mempertahankan sifat-sifat awalnya akibat proses penuaan. Walaupun banyak faktor lainnya yang menentukan, aspal dengan durabilitas yang baik akan menghasilkan campuran dengan kinerja baik pula. Pengujian kuantitatif yang biasanya dilakukan untuk mengetahui durabilitas aspal adalah pengujian penetrasi, titik leleh, kehilangan berat dan daya tahan. Pengujian ini dilakukan pada benda uji yang telah mengalami Pressure Aging Vessel (PAV), Thin Film Oven Test (TFOT) dan Rolling Thin Film Oven Test (RTFOT). Dua proses penuaan terakhir merupakan proses penuaan yang banyak digunakan untuk mengetahui durabilitas aspal.

Sifat aspal terutama viskositas dan penetrasi akan berubah bila aspal tersebut mengalami pemanasan ataupun penuaan. Aspal dengan durabilitas yang baik hanya sedikit mengalami perubahan, mengilustrasikan perubahan viskositas aspal yang mempunyai durabilitas baik dan kurang baik.

2. Adhesi Dan Kohesi

Adhesi adalah kemampuan partikel aspal untuk melekat satu sama lainnya, dan kohesi adalah kemampuan aspal untuk melekat dan mengikat agregat. Sifat

adesi dan kohesi aspal sangat penting diketahui dalam pembuatan campuran beraspal karena sifat ini sangat mempengaruhi kinerja dan durabilitas campuran.

Uji daktilitas aspal adalah suatu uji kualitatif yang secara tidak langsung dapat digunakan untuk mengetahui tingkat adesifnes atau daktilitas aspal keras. Aspal keras dengan nilai daktilitas yang rendah adalah aspal yang memiliki daya adesi yang kurang baik dibandingkan dengan aspal yang memiliki nilai daktilitas yang tinggi.

Uji penyelimutan aspal terhadap batuan merupakan uji kuantitatif lainnya yang digunakan untuk mengetahui daya lekat (kohesi) aspal terhadap batuan. Pada pengujian ini, agregat yang telah diselimuti oleh film aspal direndam dalam air dan dibiarkan selama 24 jam dengan atau tanpa pengadukan. Akibat air atau kombinasi air dengan gaya mekanik yang diberikan, aspal yang menyelimuti permukaan agregat akan terkelupas kembali. Aspal dengan daya kohesi yang kuat akan melekat erat pada permukaan agregat oleh sebab itu pengelupasan yang terjadi sebagai akibat dari pengaruh air atau kombinasi air dengan gaya mekanik sangat kecil atau bahkan tidak terjadi sama sekali.

3. Kepekaan Terhadap Temperatur

Seluruh aspal bersifat termoplastik yaitu menjadi lebih keras bila temperatur menurun dan melunak bila temperatur meningkat. Kepekaan aspal untuk berubah sifat akibat perubahan temperatur ini dikenal sebagai kepekaan aspal terhadap temperatur. Kepekaan aspal terhadap temperatur bervariasi untuk masing-masing jenis aspal dan berbeda bila aspal tersebut berasal dari minyak bumi dengan sumber yang berbeda walaupun aspal tersebut masuk dalam klasifikasi yang sama.

4. Pengerasan Dan Penuaan

Penuaan aspal adalah suatu parameter yang baik untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal. Penuaan aspal ini disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (penuaan jangka pendek, short-term aging), dan oksidasi yang progresif (penuaan jangka panjang, long-term aging).

Akibat panas yang tinggi, pengerasan aspal akibat penuaan lebih cepat terjadi di daerah yang beriklim tropis dari pada di daerah subtropis . Pengerasan ini

terutama terjadi pada permukaan beraspal yang terekspos langsung. Oleh sebab itu kerusakan jenis retak pada lapis permukaan beraspal di daerah beriklim tropis lebih cepat terjadi dibandingkan dengan daerah lainnya yang beriklim subtropis.

2.3.2 Pemeriksaan Provertise Aspal

Aspal merupakan bahan pengikat agregat yang mutu dan jumlahnya sangat menentukan keberhasilan suatu campuran beraspal yang merupakan bahan dari suatu jalan. Pemeriksaan sifat (asphalt properties) dari campuran dilakukan melalui beberapa uji meliputi:

1. Uji Penetrasi

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan apakah aspal keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, beban, waktu tertentu ke dalam aspal pada suhu tertentu. Pengujian ini dilakukan dengan membebani permukaan aspal seberat 100 gram pada tumpuan jarum berdiameter 1 mm selama 5 detik pada temperatur 250°C. Besarnya penetrasi di ukur dan dinyatakan dalam angka yang dikalikan dengan 0,1 mm. Semakin tinggi nilai penetrasi menunjukkan bahwa aspal semakin elastis dan membuat perkerasan jalan menjadi lebih tahan terhadap kelelahan/fatigue. Hasil pengujian ini selanjutnya dapat digunakan dalam hal pengendalian mutu aspal atau ter untuk keperluan pembangunan, peningkatan atau pemeliharaan jalan. Pengujian penetrasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor berat beban total, ukuran sudut dan kehalusan permukaan jarum, temperatur dan waktu.

2. Titik Lembek

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal yang berkisar antara 30°C sampai 200°C. Temperatur pada saat dimana aspal mulai menjadi lunak tidaklah sama pada setiap hasil produksi aspal walaupun mempunyai nilai penetrasi yang sama. Titik lembek adalah temperatur pada saat bola baja dengan berat tertentu mendesak turun suatu lapisan aspal yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh plat dasar yang terletak di bawah cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh plat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu. Hasil titik lembek digunakan untuk menentukan temperatur

kelelahan dari aspal. Aspal dengan titik leleh yang tinggi kurang peka terhadap perubahan temperatur tetapi lebih untuk bahan pengikat perkerasan.

3. Daktalitas

Tujuan untuk percobaan ini adalah untuk mengetahui sifat kohesi dari aspal, Dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat di tarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Kohesi adalah kemampuan partikel aspal untuk melekat satu sama lain, sifat kohesi sangat penting diketahui dalam pembuatan campuran beraspal karena sifat ini sangat mempengaruhi kinerja dan durabilitas campuran. Aspal dengan nilai daktalitas yang rendah adalah aspal yang mempunyai kohesi yang kurang baik dibandingkan dengan aspal yang memiliki daktalitas yang tinggi. Daktalitas yang semakin tinggi menunjukkan aspal tersebut baik dalam mengikat butir-butir agregat untuk perkerasan jalan.

4. Berat Jenis

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis aspal keras dengan alat piknometer. Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat zat cair suling dengan volume yang sama pada suhu 25°C. Berat jenis diperlukan untuk perhitungan analisis campuran pada Pers. 2.14.

$$\text{Berat jenis} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (2.14)$$

Dimana:

- A = Berat piknometer, dalam gram
- B = Berat piknometer berisi air, dalam gram
- C = Berat piknometer berisi aspal, dalam gram
- D = Berat piknometer berisi air dan aspal, dalam gram

Data temperatur dan berat jenis aspal diperlukan dalam penentuan faktor koreksi volume berdasarkan SNI 2441:2011 pada Pers. 2.15.

$$V = V_t \times Fk \quad (2.15)$$

Dimana:

- V = Volume aspal pada temperatur 150°C
V_t = Volume aspal pada temperatur tertentu
F_k = Faktor Koreksi

1. Kehilangan Berat Aspal

Pengujian kehilangan berat ini, umumnya tidak terpisah dengan evaluasi karakteristik aspal setelah kehilangan berat. Dalam evaluasi ini dilakukan perbandingan karakteristik sebelum dan sesudah kehilangan berat. Karakteristik yang dilihat adalah nilai penetrasi, titik lembek dan daktilitas. Untuk itu sangat dianjurkan dalam penyiapan sampel dilakukan dibuat dua jenis sampel, yaitu kehilangan berat dan satu kelompok lainnya yang diuji TFOT sebagai yang telah kehilangan berat.

2.4 Campuran Beton Aspal Sebagai Lapis Perkerasan

Laston adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural yang pertama kali dikembangkan di Amerika oleh The Asphalt Institute dengan nama *Asphalt Concrete (AC)*. Menurut Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum, campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Salah satu produk campuran aspal yang kini banyak digunakan oleh Departemen Pekerjaan umum adalah AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*) / Lapis Antara Aspal Beton. AC-BC adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-WC, AC-BC dan AC-Base. Ketiga jenis Laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh Bina Marga bersama-sama dengan Pusat Litbang Jalan (Agustian & Ridha, 2018).

Analisa volumetrik marshall terhadap suatu campuran perkerasan adalah untuk melihat sifat-sifat fisik dan mekanik campuran perkerasan dan menghubungkannya dengan sifat-sifat fisik dari agregat yang membentuk campuran tersebut. Sifat fisik agregat yang akan ditinjau dalam analisa ini terutama adalah gradasi, berat jenis dan penyerapan agregat terhadap aspal, index kepipihan dan kebersihan agregat (Waani, 2013).

Tabel 2. 6: Ketentuan Untuk Aspal Keras (Spesifikasi Bina Marga 2018).

NO	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60/70	Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintesis	
				PG70	PG76
1.	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan	
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 red/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442- 2000	-	70	76
3.	Viskositas Kinematis 135°C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D2170- 10	≥ 300	≤ 3000	
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan	
5.	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASTHO T44- 14	≥ 99	≥ 99	
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-	
9.	Stabilitas penyimpanan perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10.	Kadar paraffin lilin (%)	SNI 03-3639- 200	2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002)					
11.	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	
12.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 red/detik 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
13.	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456-2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100°C dan tekanan 2,1 MPa					
15.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada		-	31	34

	osilasi 10 rad/detik \leq 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442- 2000			
--	---	----------------------	--	--	--

Sebagai salah satu jenis konstruksi lapis perkerasan, campuran beton aspal (AC-BC) yang merupakan campuran antara agregat, aspal dan abu batu sebagai material pengisi yang dicampur pada suhu yang panas, haruslah memiliki karakteristik sebagai berikut:

a. Stabilitas

Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin \delta$) pada osilasi 10 rad/detik \leq 5000 kPa, (°C) SNI 06-6442- 2000 – 31 34 14 Stabilitas lapis perkerasan haruslah seimbang dengan besarnya beban lalu lintas yang menggunakan jalan tersebut.

b. Durabilitas

Lapis perkerasan jalan harus tahan terhadap keausan yang diakibatkan oleh pengaruh cuaca, adanya air, perubahan suhu ataupun keausan karena adanya gesekan antara permukaan lapis perkerasan dengan roda kendaraan.

c. Fleksibilitas

Lapis perkerasan jalan harus bersifat lentur dalam menerima beban, dalam arti perkerasan dapat menerima beban dan mengikuti deformasi akibat adanya pembebanan tanpa berakibat retak atau perubahan volume.

d. Kekesatan

Lapis perkerasan jalan harus memiliki permukaan yang tidak licin, sehingga kendaraan tidak mudah selip terutama diwaktu basah.

e. Ketahanan leleh

Campuran lapis perkerasan jalan diharapkan memiliki ketahanan terhadap pembebanan berulang-ulang tanpa mengalami alur atau retak.

f. Kemudahan dalam pelaksanaan

Suatu campuran lapis perkerasan haruslah mudah untuk dicampur, dihampar dan dipadatkan, sehingga kualitas campuran dapat dipertahankan mulai saat dicampur hingga dihamparkan di lapangan (Waani, 2013).

Tabel 2. 7: Ketentuan Sifat Campuran Laston (Spesifikasi Bina Marga 2018).

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		

Tabel 2. 8: Ketentuan Sifat Campuran Laston Modifikasi (Spesifikasi Bina Marga 2018).

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min	90		

Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2
Stabilitas dinamis, lintasan/mm ⁷	Min	2500

2.5 Styrofoam

Styrofoam yang memiliki nama lain *polystyrene* banyak digunakan oleh manusia dalam kehidupannya sehari – hari. Begitu styrofoam diciptakan pun langsung marak digunakan di Indonesia. Banyak keunggulan pada styrofoam yang yang akansangat menguntungkan bagi para penjual makanan seperti tidak mudah bocor, praktis dan ringan sudah pasti lebih disukai sebagai pembungkus makanan mereka. Bahkan kita tidak dapat dalam satu hari saja tidak menggunakan bahan polimer sintetik.

Polystyrene adalah sebuah dengan monomer, sebuah hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi. Pada suhu ruangan, polistirena biasanya bersifat padat, dapat mencair pada suhu yang lebih tinggi. Stirena tergolong senyawa aromatik. Polistirena pertama kali dibuat pada 1839 oleh Eduard Simon, seorang apoteker Jerman. Ketika mengisolasi zat tersebut dari resin alami, dia tidak menyadari apa yang dia telah temukan. Seorang kimia anorganik Jerman lainnya, Hermann Staudinger, menyadari bahwa penemuan Simon terdiri dari rantai panjang molekul stirena, yang adalah sebuah polimer plastik. Polistirena padat murni adalah sebuah plastik tak berwarna, keras dengan fleksibilitas yang terbatas yang dapat dibentuk menjadi berbagai macam produk dengan detil yang bagus. Penambahan karet padasaat polimerisasi dapat meningkatkan fleksibilitas dan ketahanan kejut. Polistirena jenis ini dikenal dengan nama *High Impact Polystyrene* (HIPS). Polistirena murni yang transparan bisa dibuat menjadi beraneka warna melalui proses. Polistirena banyak dipakai dalam produk – produk elektronik sebagai casing, kabinet, dan komponen – komponen lainnya. Peralatan rumah tangga yang terbuat dari polistirena seperti sapu, sisir, baskom, gantungan baju, dan ember. Karakteristik dari styrofoam diberikan pada Tabel 2.9.

Tabel 2. 9: Karakteristik *Styrofoam*.

Sifat Fisis	Ukuran
Densitas	25 – 200 kg/m ³
Konduktivitas Thermal	0,033 W/mK
Modulus Young (E)	3000 – 3600 MPa
Kekuatan Tarik	40 – 60 MPa

2.6 Metode Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar (SNI 03-1968-1990)

Analisis saringan agregat ialah penentuan persentase berat butiran agregat yang lolos dari satu set saringan kemudian angka-angka persentase digambarkan pada grafik pembagian butir. Metode pengujian jenis tanah ini mencakup jumlah dan jenis-jenis tanah baik agregat halus maupun agregat kasar. Hasil pengujian analisis saringan agregat halus dan kasar dapat digunakan antara lain:

- Penyelidikan quarry agregat;

2.6.1 Peralatan

Peralatan yang dipergunakan adalah sebagai berikut :

- a. Timbangan dan neraca dengan ketelitian 0,2% dari berat benda uji.
- b. Satu set saringan; 37,5 mm (3"); 63,5 mm (2½"); 50,8 mm (2"); 19,1 mm (¾"); 12,5 mm (½"); 9,5 mm (⅜"); No.4 (4.75 mm); No.8 (2,36 mm); No.16 (1,18 mm); No.30 (0,600 mm); No.50 (0,300 mm); No.100 (0,150 mm); No.200 (0,075 mm).
- c. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (110 + 5)°C.
- d. Alat pemisah contoh.
- e. Mesin pengguncang saringan.
- f. Pan.
- g. Kuas, sikat kuningan, sendok, dan alat-alat lainnya.

2.6.2 Benda Uji

Benda uji diperoleh dari alat pemisah contoh atau cara perempat banyak benda uji disiapkan berdasarkan standar yang berlaku dan terkait kecuali apabila butiran yang melalui saringan No. 200 tidak perlu diketahui jumlahnya dan bila syarat-syarat ketelitian tidak menghendaki pencucian.

1. Agregat halus terdiri dari :
 - a. Ukuran maksimum 4,76 mm; berat minimum 500 gram.
 - b. Ukuran maksimum 2,38 mm; berat minimum 100 gram.
2. Agregat kasar terdiri dari :
 - a. Ukuran maks. 3,5"; berat minimum 35,0 kg
 - b. Ukuran maks. 3"; berat minimum 30,0 kg
 - c. Ukuran maks. 2,5"; berat minimum 25,0 kg
 - d. Ukuran maks. 2"; berat minimum 20,0 kg
 - e. Ukuran maks. 1,5"; berat minimum 15,0 kg
 - f. Ukuran maks. 1"; berat minimum 10,0 kg
 - g. Ukuran maks. 3/4" berat minimum 5,0 kg
 - h. Ukuran maks. 1/2"; berat minimum 2,5 kg
 - i. Ukuran maks. 3/8"; berat minimum 1,0 kg
3. Bila agregat berupa campuran dari agregat halus dan agregat kasar, agregat tersebut dipisahkan menjadi 2 bagian dengan saringan No. 4. Selanjutnya agregat halus dan agregat kasar disediakan sebanyak jumlah seperti tercantum diatas.

2.6.3 Cara Pengujian

Urutan proses dalam pengujian ini adalah sebagai berikut :

1. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, sampai berat tetap.
2. Saring benda uji lewat susunan saringan dengan ukuran saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan tangan atau mesin pengguncang selama 15 menit.

2.7 Pengujian Marshall

Pengujian Marshall bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran beraspal dan kadar aspal optimum. Konsep ini dikembangkan oleh seorang insinyur bahan aspal bernama Bruce Marshall bersama dengan *The Mississippi State Highway Departement*. Penelitian ini kemudian dilanjutkan oleh *U.S. Army Corps of Engineers*. Pengujian ini mengacu pada AASHTO T 245-97 (2004). Pengujian ini bertujuan untuk menentukan stabilitas (*stability*) dan keelehan (*Flow*) dari campuran aspal dengan mengukur ketahanan campuran dan menentukan perubahan bentuk yang terjadi akibat beban lalu lintas (Maulana, 2019).

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi III Tahun 2010, nilai stabilitas minimal pada campuran beraspal adalah sebesar 800 kg dan besar nilai keelehan sebesar 2-4 mm.

Menurut (Maulana, 2019), sifat-sifat campuran aspal beton dapat dilihat dari parameter-parameter Marshall berikut ini:

1. Stabilitas Marshall

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi keelehan plastis atau dengan arti lain yaitu kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Stabilitas merupakan parameter yang menunjukkan batas maksimum beban yang dapat diterima oleh suatu campuran beraspal saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam kilogram. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang (Maulana, 2019).

2. *Flow* (Kelelahan)

Flow adalah besarnya penurunan atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat Marshall yang lain seperti stabilitas, VIM dan VFA. Nilai VIM yang besar menyebabkan

berkurangnya interlocking resistance campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *Flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja jarum dial *Flow* biasanya dalam satuan mm (millimeter). Nilai *Flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan (Maulana, 2019).

3. *Density* (Kepadatan)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Semakin tinggi nilai *Density* suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Campuran dengan nilai *Density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding dengan campuran yang dimiliki nilai *Density* yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kotak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antara butiran agregat menjadi besar. Nilai kepadatan/*Density* dihitung dengan digunakan kedalam Pers.2.1 dan Pers.2.2.

$$g = c / f \quad (2.1)$$

$$f = d - e \quad (2.2)$$

Dimana:

g = Nilai kepadatan (gr/cc)

c = Berat kering/sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cc)

4. Rongga Udara (VIM)

VIM adalah rongga yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal meleleh menjadi lunak akibat naiknya suhu udara. VIM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah

memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. 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 digunakan kedalam Pers.2.3.

$$VIM = \left(100x \frac{G_{mm}-G_{mb}}{G_{mm}}\right) \% \quad (2.3)$$

Dimana:

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran

G_{mb} = Berat jenis curah campuran padat

5. Hasil Bagi Marshall (*Marshall Quotient*)

Hasil Bagi Marshall merupakan hasil bagi stabilitas dengan kelelehan. Semakin tinggi nilai MQ, maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan sedangkan nilai MQ yang terlalu rendah dapat berakibat alur dan bleeding. Semakin besar nilai MQ berarti campuran aspal semakin kaku dan kurang lentur sehingga mudah retak sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur dan plastis sehingga mudah mengalami perubahan bentuk saat menerima beban lalu lintas yang tinggi digunakan kedalam Pers.2.4.

$$MarshallQuotient = \frac{Stabilitas}{Flow} \quad (2.4)$$

6. Rongga antar agregat (VMA)

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk

diproduksi. Jika komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat dari campuran total, maka VMA dihitung dengan digunakan kedalam Pers.2.5.

$$VMA = \left(100 - \frac{Gmb - Ps}{Gsb}\right) \% \quad (2.5)$$

Dimana:

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Gsb = Berat jenis curah agregat

Ps = Agregat, persen berat total campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

7. *Void Filled With Asphalt* (VFB)

Void Filled With Asphalt (VFB) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFB dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFB berpengaruh pada sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFB menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFB berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi, tetapi nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan bleeding. Nilai VFB yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Nilai VMA dihitung dengan digunakan kedalam Pers.2.6.

$$VFB = \frac{100 - (VMA - VIM)}{VMA} \quad (2.6)$$

Dimana:

VFA = Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

8. Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Indeks kekuatan sisa dianalisis dari data-data hasil pengujian terhadap sifat-sifat mekanik benda uji (stabilitas dan flow) dibagi dalam dua kelompok. Kelompok pertama diuji stabilitas Marshallnya dengan perendaman dalam air pada suhu 60°C selama waktu T1 dan kelompok kedua diuji setelah perendamannya pada suhu 60°C selama waktu T2.

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (2.7)$$

Dimana:

S1 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T1 menit

S2 = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman selama T2 menit

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

9. Berat jenis maksimum aspal beton yang belum didapatkan (Gmm)

Berat jenis maksimum dari campuran aspal beton yang belum didapatkan (Gmm) adalah berat jenis campuran aspal beton tanpa pori/udara, yang diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium dengan digunakan kedalam Pers.2.8.

$$Gmm = \frac{100}{\frac{P_s}{Gse} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (2.8)$$

Dimana:

Ps = Kadar agregat, % terhadap berat aspal beton padat

Pa = kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %

Gse = berat jenis efektif dari agregat pembentuk aspal beton padat

Ga = berat jenis aspal

10. Berat jenis bulk aspal beton padat (Gmb)

Berat jenis bulk dari aspal beton padat (Gmb) dapat diukur dengan digunakan kedalam Pers.2.9

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \quad (2.9)$$

Dimana:

Gmb = Berat jenis bulk dari aspal beton padat

Bk = Berat kering aspal beton

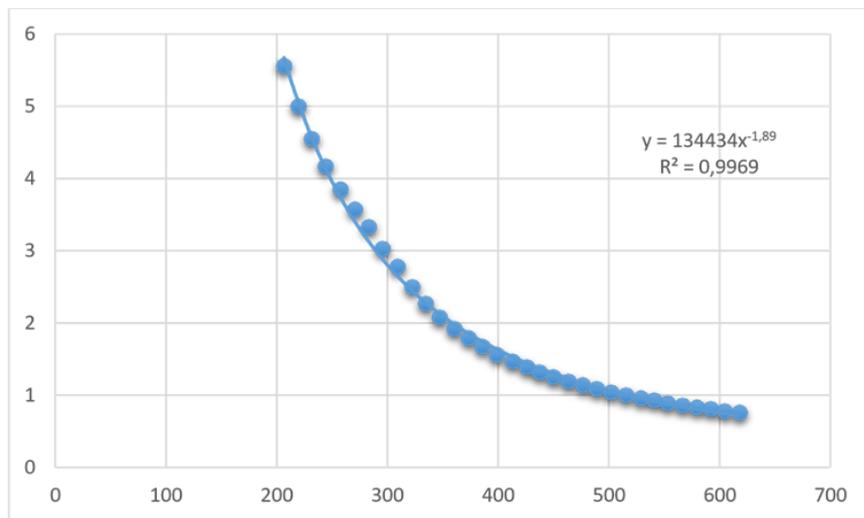
Bssd = Berat kering permukaan dari aspal beton yang telah didapatkan

Ba = Berat aspal beton padat di dalam air (Maulana, 2019).

Tabel 2. 10: Angka Korelasi Beban (Stabilitas)

Isi Benda Uji (Cm ³)	Rata-rata	Angka Koreksi
200-213	206,5	5,56
214-225	219,5	5
226-237	231,5	4,55
238-250	244	4,17
251-264	257,5	3,85
265-276	270,5	3,57
277-289	283	3,33
290-301	295,5	3,03
302-316	309	2,78
317-328	322,5	2,5
329-340	334,5	2,27
341-353	347	2,08
354-367	360,5	1,92
368-379	373,5	1,79
380-392	386	1,67
393-405	399	1,56
406-420	413	1,47
421-431	426	1,39
432-443	437,5	1,32
444-456	450	1,25
457-470	463,5	1,19
471-482	476,5	1,14
Isi Benda Uji (Cm ³)	Rata-rata	Angka Koreksi
483-495	489	1,09
496-508	502	1,04
509-522	515,5	1

523-535	529	0,96
536-546	541	0,93
547-559	553	0,89
560-573	566,5	0,86
574-585	579,5	0,83
586-598	592	0,81
599-610	604,5	0,78
611-625	618	0,76

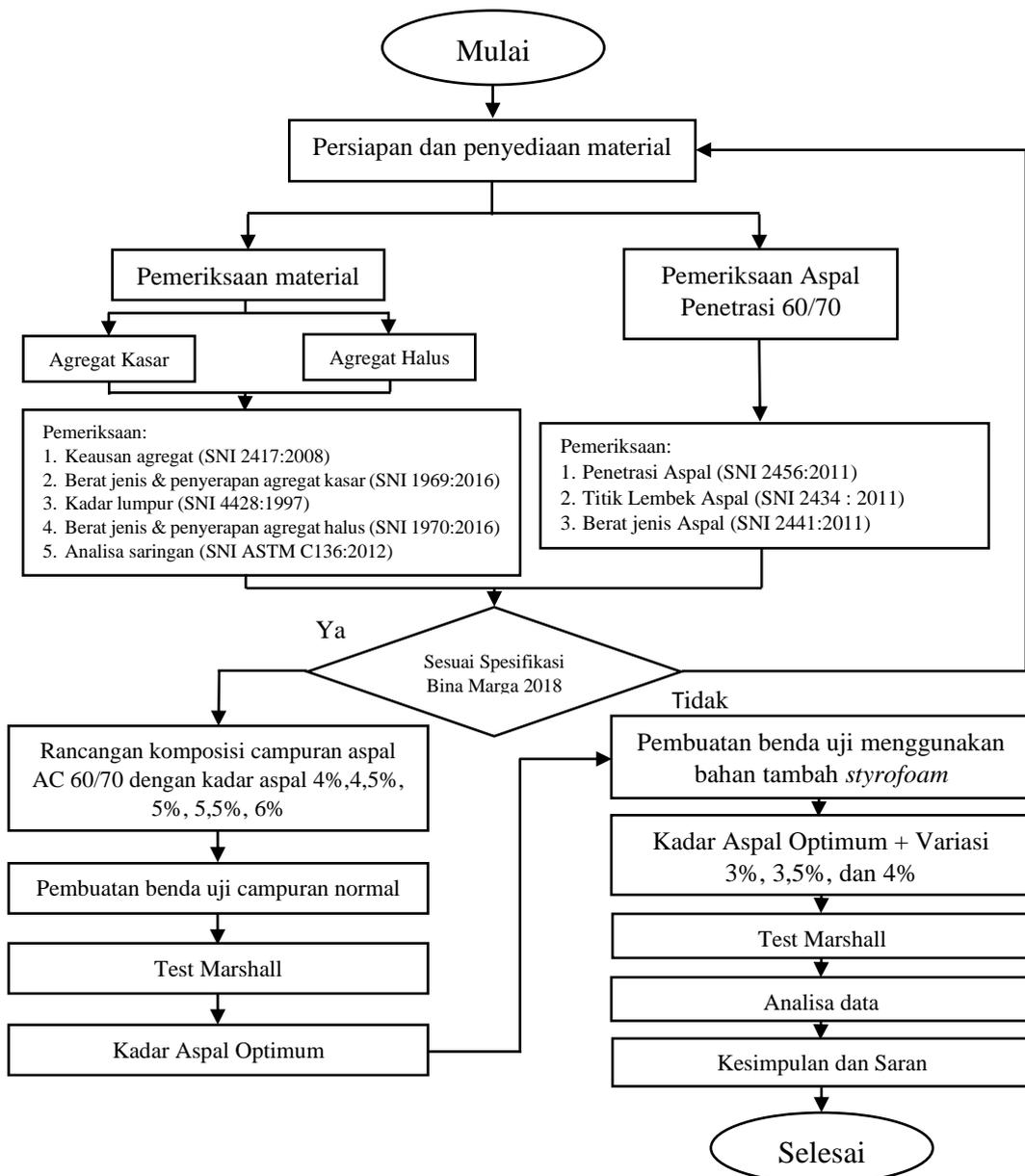


Gambar 2. 2: Grafik Angka Korelasi Beban (Stabilitas)

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Metode Penelitian

Secara garis besar penelitian yang dilaksanakan dengan kegiatan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1: Bagan alir penelitian yang dilaksanakan

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Dalam melakukan sebuah penelitian banyak hal yang harus dipersiapkan, dimulai dari tahap awal berupa studi literatur, lokasi penelitian, alat dan bahan. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium AMP PT. Trisakti Manunggal Perkasa Internasional, Blok Pasir Domba DS. Jalan Cagak, Kec. Jalan Cagak, Kab. Subang. Penelitian dilaksanakan pada 24 November 2022.

3.3 Tahap Awal

Setelah mendapatkan izin dari dosen pembimbing dan Ketua Prodi Teknik Sipil Universitas Sangga Buana YPKP Bandung. Kemudian melakukan studi literatur, seperti mencari jurnal referensi, kandungan dalam bahan tambah yang digunakan, dan metode yang digunakan dalam melakukan penelitian.

3.4 Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan ini yaitu menyiapkan perizinan laboratorium serta Kebutuhan untuk pengujian berupa alat dan bahan sebagai berikut :

1. Persiapan Alat

Alat-alat yang perlu dipersiapkan adalah sebagai berikut :

- a. Alat pemeriksaan agregat
- b. Alat pemeriksaan aspal

2. Persiapan Bahan

Bahan-bahan yang diperlukan adalah sebagai berikut :

- a. Agregat, yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan filler abu Batu.
- b. Aspal penetrasi 60/70.
- c. Styrofoam bekas yang sudah tidak terpakai kemudian dihaluskan menjadi butiran butiran kecil.

3.5 Tahap Pelaksanaan

3.5.1 Pemeriksaan Material

1. Agregat

Untuk mendapatkan campuran AC-BC yang berkualitas maka diperlukan agregat yang berkualitas juga, maka diperlukan pengujian sebagai berikut :

- a. Dilakukan analisa saringan terhadap agregat kasar dan agregat halus, untuk prosedur pemeriksaan ini mengacu pada SNI ASTM C136:2012.

Tahap pelaksanaan Agregat Kasar:

1. Ambil benda uji dengan cara perempat atau dengan alat pembagi sampel (*Sample Splitter*).
 2. Banyaknya contoh ditentukan dari besarnya maksimum agregat.
 3. Persiapan alat, saringan disusun sesuai urutan yang kecil dibagian bawah. Masukkan contoh ke dalam saringan yang sudah disusun dan set pada mesin pengguncang ayakan.
 4. Hidupkan mesin selama 10-15 menit.
 5. Hentikan mesin, ambil semua susunan ayakan.
 6. Buka dan ambil agregat yang tertahan mulai dari yang teratas.
 7. Timbang agregat pada masing – masing ayakan tersebut yang tertahan dan catat berat nya ke dalam data sheet
 8. Hitung presentase berat tertahan dan proses berat lolos pada data sheet yang tersedia.
- b. Pengujian berat jenis dan penyerapan terhadap agregat kasar, untuk prosedur pemeriksaan ini mengacu kepada SNI 1970:2016.

Tahap Pelaksanaan :

1. Ambil contoh secukupnya dengan cara perempat.
2. Kemudian saring sampel dengan ukuran saringan 10 mm kemudian ambil yang tertahan.
3. Ayak kembali dengan menggunakan ayakan 25 mm. Banyaknya contoh yaitu :
 - a. Dibawah saringan (lolos) # 25 mm = 2 kg
 - b. Diatas saringan (tertahan) # 25 mm = 5 kg
4. Cuci contoh sampai bersih, rendam dalam bak air dan bersihkan dengan kain lap satu persatu sehingga didapat kondisi SSD.
5. Kemudian timbang contoh dalam kondisi SSD dengan ketelitian timbangan 0,5 gr (W1).
6. Ambil keranjang kawat dan timbang beratnya (W2).

7. Timbang contoh tersebut kedalam air dengan keranjang kawat (W3)
8. Keringkan didalam oven dengan temperature (105-110)°C selama 24 jam
9. Ambil contoh dari oven, lalu dinginkan selanjutnya ditimbang (W4).
10. Berat jenis SSD (GSSD) dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Berat Jenis (GSSD)} = \frac{W1}{W1-(W3-W2)} \quad (2.10)$$

11. Penyerapan agregat dihitung dengan rumus:

$$\text{Penyerapan} = \frac{W1-W4}{W4} \times 100\% \quad (2.11)$$

keterangan :

W1 = Berat contoh SSS (gr)

W2 = Berat keranjang kawat (gr)

W3 = Berat keranjang kawat + contoh dalam air (gr)

W4 = Berat contoh setelah dioven (gr)

12. Lakukan percobaan minimal 2 kali, selisih tidak boleh lebih dari 0,02. Apabila lebih pengujian diulan. Selisih hasil uji penyerapan tidak lebih 0,05%. Berat jenis agregat berkisar 2,5 sampai 2,7.
 13. Tarik kesimpulan bahwa apabila penyerapan berkisar antara 1% ampai 3%, jika lebih maka daya tahan agregat kurang baik
- c. Pengujian berat jenis dan penyerapan terhadap agregat halus, untuk prosedur pemeriksaan ini mengacuupada SNI 1970:2016.

Tahap Pelaksanaan :

1. Ambil contoh secukupnya hingga perempat yang sebelumnya sudah diayak dengan ayakan #5 mm.
2. Rendam sampel dalam air selama 24 jam.
3. Keringkan sampel dalam suhu ruang hingga mencapai kondisi SSD, dengan cara dicek memakai flow cone pada 25 kali tumbukan.
4. Timbang berat picnometer dan catat beratnya(W1).
5. Ambil contoh dalam kondisi SSD masukan kedalam picnometer lalu timbang (W2) kemudian tambahkan air sampai pasir terendam.
6. Keluarkan sedikit demi sedikit dengan cara miringkan picnometer dan putar pelan-pelan.

7. Rendam dalam air pada temperature 200C selama 24 jam.
8. Tambahkan air sampai garis batas pada picnometer dan keringkan bagian luar picnometer dengan lap. Timbang berat picnometer + contoh + air (W3).
9. Keluarkan contoh dan air dari picnometer jangan sampai ada yang hilang, kemudian masukkan dalam oven (105-110) °C selama 24 jam.
10. Dinginkan sampel dalam desikator ±24 jam. Timbang dan catat beratnya (W4).
11. Hitung dengan rumus :

- a. Perhitungan Berat Jenis :

$$\text{Berat Jenis (Kering)} = \frac{W2-W1}{(W4-W1)-(W3-W2)} \quad (2.12)$$

- b. Perhitungan Penyerapan :

$$\text{Penyerapan} = \frac{(W2-W1)-W4}{W4} \times 100\% \quad (2.13)$$

keterangan :

W1 = Berat picnometer

W2 = Berat picnometer + contoh SSD (gr)

W3 = Berat picnometer + contoh SSD + air (gr)

W4 = Berat contoh setelah dioven (gr)

12. Percobaan dilakukan 2 kali, selisih dari hasil percobaan tersebut tidak lebih dari 0,02. Apabila lebih pengujian diulang.
13. Selisih hasil uji penyerapan tidak lebih dari 0,05%.
- d. Pemeriksaan keausan agregat kasar, untuk prosedur pemeriksaan ini mengacu kepada SNI 2417:2008.
 1. Ambil contoh secukupnya.
 2. Letakan kerikil dan bola bola baja pada mesin Los Angeles. Mesin memutar sebanyak 500 putaran pada kecepatan 30 hingga 35 rpm.
 3. Kemudian keluarkan sampel lalu saring dengan saringan nomor 12 (1,70 mm).
 4. Timbang sampel tertahan dan tulis hasil.
 5. Untuk menghitung hasil pengujian, gunakan rumus berikut:

$$Keausan = \frac{bs-bt}{bs} \times 100 \quad (2.14)$$

- e. Pengujian berat jenis terhadap bahan pengisi (filler), untuk prosedur pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-6723-2002.

Tahap Pelaksanaan :

1. Ambil contoh secukupnya kemudian masukkan ke oven (105 ± 5) °C
2. Dinginkan contoh yang telah di oven, kemudian saring dengan ayakan #0,0074mm.
3. Timbang berat picnometer dengan tutupnya, catat (W1).
4. Masukkan contoh kedalam picnometer minimum 10 gr, kemudian ditimbang dan catat (W2).
5. Tuangkan air suling pada picnometer hingga contoh terendam diamkan selama ± 5 menit. Agar contoh jenuh (tidak ada kandungan udara).
6. Kemudian tambahkan air suling hingga penuh dan tutup, lalu timbang beratnya, catat (W3)
7. Cuci picnometer, keringkan dengan lap. Isi picnometer dengan air suling hingga enuh. Tutup dan timbang beratnya (W4).
8. Hitung berat jenis dengan rumus :

$$Berat\ Jenis = \frac{W2-W1}{(W4-W1)-(W3-W2)} \quad (2.15)$$

9. Pengujian minimal dilakukan 2 kali, selisih dari 2 kali hasil pengujian maksimum 0,03, Bila lebih dari 0,03 pengujian diulang dengan contoh yang baru.

2. Aspal

Aspal yang digunakan harus lolos spesifikasi pengujian, berikut adalah jenis peengujian dan langkah-langkah pengujian aspal :

a. Pengujian Berat Jenis (SNI 2441:2011)

1. Timbang piknometer dan penutupnya.
2. Isi piknometer dengan air kemudian tutup dan timbang kembali berat piknometer + air.
3. Panaskan aspal hingga mencair. Pemanasan tidak boleh lebih dari 110°C diatas titik lelebur aspal dan tidak melebihi dalam waktu 60 menit.

4. Tuangkan $\frac{3}{4}$ benda uji ke dalam piknometer kosong, lalu timbang.
 5. Tambahkan air kedalam piknometer yang berisi benda uji, lalu tutup dan timbang.
- b. Pengujian Penetrasi (SNI 2456:2011)
1. Panaskan benda uji hingga mencair, pemanasan benda uji Tidak boleh lebih dari 90°C diatas titik lembeknya dan waktu pemanasan tidak boleh melebihi 60 menit.
 2. Tuang benda uji yang telah mencair ke dalam cawan hingga batas ketinggian pada cawan, kemudian dinginkan benda uji pada temperatur 15-30°C selama 60-90menit.
 3. Siapkan alat penetrasi benda uji.
 4. Letakkan pemberat 50 gram pada pemegang jarum.
 5. Letakkan cawan berisi benda uji pada transfer dish atau bak perendam yang berisi air, pastikan benda uji terendam air.
 6. Letakkan cawan berisi air dalam transfer dish atau bak perendam ke alat penetrometer.
 7. Pastikan kerataan posisi penetrometer menggunakan waterpass.
 8. Turunka njarum perlahan hingga menyentuh permukaann benda uji, kemudaian atur arloji penetrometer ke angka 0.
 9. Lepaskan pemegang jarum selama 5 detik, kemudian lakukan pembacaan angka penetrasi pada arloji penetrometer.
 10. Lakukan paling sedikit 3 kali pengujian penetrasi untuk benda uji yang sama, dengan jarak antar titik pengujian adalah 1 cm dan pastikan jarum penetrasi bersih sebelum digunakan pada penetrasi selanjutnya.
- c. Pengujian Titik Lembek (SNI 2434:2011).
- Pengujian ini menggunakan alat cincin dan bola (ring and ball)
1. Panaskan benda uji hingga mencair, kemudian tuang benda uji ke dua cincin sampai berlebih.
 2. Diamkannbendaauji pada suhu ruangselama 30 menit.
 3. Potong benda uji yang berlebih dengan pisau atau spatula panas.
 4. Isi bak perendam dengan cairan perendam.

5. Letakkan dan atur dua bola baja pada dasar bak perendam dengan penjepit.
6. Panaskan bak perendam dengan rata-rata kenaikan kecepatan temperatur $5^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.
7. Catat temperatur saat bola yang diselimuti aspal jatuh menyentuh plat dasar.

3.5.2 Pembuatan benda uji untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Untuk menentukan kadar aspal optimum lakukan pembuatan benda uji dengan langkah sebagai berikut :

1. Rancangan gradasi agregat dengan metode trial and error
 - a. Ketahui batas gradasi agregat yang disyaratkan.
 - b. Masukkan data spesifikasi gradasi persyaratan yang diharapkan sesuai dengan ukuran yang diperlukan.
 - c. Masukkan persentase rencana saringan pada masing-masing jenis agregat (Cost Agregat, Medium Agregat Dan Agregat Halus).
 - d. Temukan persentase yang sesuai pada masing-masing agregat sampai dapat lolos nilai spesifikasi.
 - e. Cek kembali hasil gradasi apakah dapat memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

2. Perhitungan nilai aspal ideal

Untuk menghitung nilai aspal ideal menggunakan rumus pada persamaan (2.17). setelah mendapatkan hasil dari rumus tersebut didapat nilai perkiraan kadar aspal optimum, tambahkan nilai tersebut 2 kali dengan interval 0,5% dan dikurangi 2 kali dengan interval 0,5%.

3. Tahap Persiapan

- a. Keringkan agregat dengan menggunakan oven minimal selama 4 jam (suhu 105°C - 110°C).
- b. Keluarkan agregat, kemudian dinginkan hingga berat tetap.
- c. Lakukan penyaringan guna memisahkan agregat pada fraksi yang ditentukan, kemudian timbang.

- d. Kemudian aspal dipanaskan hingga mencapai viskositas yang disyaratkan untuk pencampuran dan pematatan.
4. Tahap pencampuran benda uji
 - a. Setiap benda uji memerlukan agregat sebanyak ± 1200 gram yang sudah ditimbang sesuai rencana perhitungan sebelumnya.
 - b. Agregat dipanaskan menggunakan oven dengan suhu 60°C - 110°C .
 - c. Masukkan agregat yang sudah dipanaskan kedalam wadah pencampur.
 - d. Tuangkan aspal yang telah mencapai tingkat kekentalan sesuai kadar aspal optimum yang telah di peroleh lalu aduk dengan cepat agar agregat terselimuti aspal secara merata.
5. Pematatan benda uji
 - a. Siapkan dan bersihkan perlengkapan cetakan benda uji/mold dan bagian muka penumbuk lalu panaskan hingga suhu antara 90°C - 150°C .
 - b. Tempatkan cetakan di atas landasan pematat dan tahan menggunakan pemegang g cetakan serta lapisi permukaan mold dengan kertas saring



Gambar 3. 2: Penempatan mold sebagai wadah campuran aspal.

- c. Masukkan campuran ke dalam cetakan lalu tusuk-tusuk campuran menggunakan spatula yang sudah dipanaskan sebanyak 10 kali di bagian tengahnya dan 15 kali di bagian keliling pinggirannya.
- d. Letakkan kertas saring atau kertas penghisap diatas permukaan benda uji sesuai ukuran cetakan.

- e. Letakan cetakan campuran pada landasan dan tumbuk pada kedua sisi secara bergantian masing-masing sebanyak 50 kali.
- f. Setelah memadatkan campuran, kelurkan benda uji menggunakan alat ekstruder dan letakkan benda uji di permukaan yang rata dan biarkan kira-kira selama 24 jam pada suhu ruang.



Gambar 3. 3: Mengeluarkan benda uji menggunakan alat dongkrak.

6. Pengujian marshall

Sesudah dilakukan pemadatan benda uji, selanjutnya lakukan pengujian marshall terhadap benda uji dengan langkah sebagai berikut :

- a. Pengujian volumetrik
 - 1. Timbang berat benda uji dalam kondisi kering.



Gambar 3. 4: Timbang berat benda uji kondisi kering

4. Dalam kondisi kering permukaan jenuh (SSD), timbang benda uji.



Gambar 3. 7: Timbang benda uji dalam keadaan jenuh.

b. Pengujian Marshall

1. Benda uji direndam di waterbath selama 30 menit pada suhu 60°C.



Gambar 3. 8: Merendam benda uji di waterbath.

2. Setelah direndam, keluar kan benda uji dari waterbath.
3. Pasangkan benda uji yang sudah direndam ke alat uji marshall.

4. Naikkan kepala penekan dan bend uji sampai menyentuk alas cincin penguji dan pastikan jarum penetrasi pada angka nol.



Gambar 3. 9: Pemasangan benda uji pada alat uji marshall.

5. Pada benda uji berikan pembebanan dengan kecepatan konstan 50,8 mm/menit hingga pembebanan maksimum atau posisi beban menurun.



Gambar 3. 10: Pengujian Marshall.

6. Catat nilai *stability* dan *flow* pada saat jarum penetrasi mencapai pembebanan maksimum.

3.5.3 Pembuatan Benda Uji Dengan Penambahan Styrofoam

Setelah mendapatkan nilai kadar aspal optimum terhadap campuran AC-BC, buat benda uji dengan penambahan *styrofoam* dengan tiga variasi. Kadar variasi yang ditambahkan pada campuran Sebesar 3%, 3,5% dan 4%.

Berikut langkah pembuatan benda uji dengan penambahan *styrofoam* :

1. Persiapan pembuatan campuran benda uji dengan variasi kadar *styrofoam*.
 - a. Panaskan aspal penetrasi 60/70 dengan suhu $\pm 100^{\circ}\text{C}$.
 - b. Siapkan campuran agregat kasar, halus, filler dan bahan tambah *styrofoam* yang sudah ditimbang sesuai dengan berat masing-masing persentase yang telah ditentukan.



Gambar 3. 11: Penimbang Agregat dan Bahan tambah.

2. Pencampuran benda uji dengan variasi kadar *styrofoam*.
 - a. Siapkan campuran yang sudah ditimbang saat tahap persiapan dan ditambahkan *styrofoam* sesuai kadar variasi.
 - b. Masukkan campuran ke dalam wajan dan tuangkan aspal panas dengan kadar aspal optimum yang sudah didapatkan.
3. Lakukan pemadatannbendaauji dengan langkah seperti point 5 pada 3.5.2.
4. Lakukan pengujian marshall dengan langkah seperti point 6 pada 3.5.2.
5. Analisa data yang sudah diperoleh untuk mencari parameter yang dibutuhkan (VMA, VIM, VFB, Stabilitas, dan kelelahan).

3.5.4 Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan cara studi eksperimental, yaitu melakukan eksperimen pembuatan benda uji secara langsung.

3.5.5 Metode Analisis Data

Data-data dari pengujian di laboratorium dianalisa, data tersebut merupakan hasil dari pengujian- pengujian berikut :

1. Pengujian fisik aspal dan agregat
2. Perhitungan Mix design
3. Pembuatan benda uji dengan tambahan *styrofoam*
4. Pengujian marshall

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Penelitian

4.1.1 Pengujian Aspal



Gambar 4. 1: Proses pengujian aspal.

Aspal merupakan bahan pengikat agregat yang mutu dan jumlahnya sangat menentukan keberhasilan suatu campuran beraspal yang merupakan bahan dari suatu jalan.

Bahan yang digunakan untuk campuran Beton aspal pada penelitian ini terdiri dari aspal penetrasi 60/70, agregat kasar, agregat halus dan filler dari abu batu. Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap aspal pen 60/70, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1: Hasil pemeriksaan aspal penetrasi 60/70.

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji	Satuan
Penetrasi Pada suhu 25°C	60-70	65,60	0,1 mm
Berat Jenis	Min 1	1,030	gr/ml
Titik Lembek	Min 48	49,00	°C

Sumber : Laboratorium AMP PT. Trisakti Manunggal Perkasa Internasional.

4.1.2 Pengujian Agregat



Gambar 4. 2: Proses pengujian agregat.

Hasil pemeriksaan material agregat yang digunakan berdasarkan data yang didapat dari Laboratorium AMP PT. Trisakti Manunggal Perkasa Internasional telah memenuhi syarat sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk bahan campuran perkerasan jalan. Pada penentuan agregat kasar digunakan 2 jenis agregat yaitu batu split ukuran 19-22 mm dan split ukuran 12-19 mm. Dapat dilihat hasil pengujian material agregat mulai dari split, screening hingga abu batu pada tabel berikut.

a. Agregat Gradasi Split (19-22)

Tabel 4. 2: Analisa Gradasi Split (19-22).

No. Saringan	Ukuran(mm)	% Lolos Saringan
1"	25	100,00
3/4"	19	57,83
1/2"	12,5	13,91
3/8"	9,5	2,59
NO. 4	4,75	0,51
NO. 8	2,36	0,51
NO. 16	1,18	0,29
NO. 30	0,6	0,17
NO. 50	0,3	0,11
NO. 100	0,15	0,08

NO. 200	0,075	0,05
---------	-------	------

Pada spesifikasi bina marga untuk agregat kasar adalah yang memiliki ukuran butir lebih besar dari diameter saringan no.4 atau diameter 4,75 mm. Pada saringan no.4 banyak agregat yang lolos adalah 0,51%.

Tabel 4. 3: Hasil Pengujian Split (19-22).

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji	Satuan
Berat Jenis Bulk	-	2,607	gr/cc
Berat Jenis SSD	-	2,640	gr/cc
Berat Jenis Apparent	-	2,693	gr/cc
Penyerapan Air	Max 3	1,254	%

Dari tabel hasil pemeriksaan split diatas, didapatkan berat jenis sebesar 2,607 gr/ml, dan penyerapan 1,254%. Hasil tersebut memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk perkerasan aspal.

b. Agregat Gradasi Split (12-19)

Tabel 4. 4: Analisa Gradasi Split (12-19).

No. Saringan	Ukuran(mm)	%Lolos Saringan
1"	25	100,00
3/4"	19	100,00
1/2"	12,5	32,49
3/8"	9,5	8,11
NO. 4	4,75	1,82
NO. 8	2,36	0,51
NO. 16	1,18	1,70
NO. 30	0,6	1,60
NO. 50	0,3	1,39
NO. 100	0,15	0,86
NO. 200	0,075	0,40

Pada spesifikasi bina marga untuk agregat kasar adalah yang memiliki ukuran butir lebih besar dari diameter saringan no.4 atau diameter 4,75 mm. Pada saringan no.4 banyak agregat yang lolos adalah 1,82%.

Tabel 4. 5: Hasil Pengujian Split (12-19).

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji	Satuan
Berat Jenis Bulk	-	2,633	gr/cc
Berat Jenis SSD	-	2,672	gr/cc
Berat Jenis Apparent	-	2,741	gr/cc
Penyerapan Air	Max 3	1,488	%

Dari tabel hasil pemeriksaan split diatas, didapatkan berat jenis sebesar 2,633 gr/ml, dan penyerapan 1,488%. Hasil tersebut memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk perkerasan aspal.

c. Agregat Gradasi Screening (6-12)

Tabel 4. 6: Analisa Gradasi Screening (6-12).

No. Saringan	Ukuran(mm)	% Lolos Saringan
1"	25	100,00
3/4"	19	100,00
1/2"	12,5	100,00
3/8"	9,5	95,40
NO. 4	4,75	18,92
NO. 8	2,36	3,18
NO. 16	1,18	2,38
NO. 30	0,6	2,02
NO. 50	0,3	1,82
NO. 100	0,15	1,48
NO. 200	0,075	1,18

Pada agregat medium persentase lolos saringan ½" atau diameter 12,5 mm sebanyak 100% dan saringan no.4 sebanyak 18,92%.

Tabel 4. 7: Hasil Pengujian Screening (19-22).

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji	Satuan
Berat Jenis Bulk	-	2,628	gr/cc
Berat Jenis SSD	-	2,670	gr/cc

Berat Jenis Apparent	-	2,744	gr/cc
Penyerapan Air	Max 3	1,621	%

Dari tabel hasil pemeriksaan split diatas, didapatkan berat jenis sebesar 2,628 gr/ml, dan penyerapan 1,621%. Hasil tersebut memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk perkerasan aspal.

d. Agregat Gradasi Abu Batu

Tabel 4. 8: Analisa Gradasi Abu Batu.

No. Saringan	Ukuran(mm)	%Lolos Saringan
1"	25	100,00
3/4"	19	100,00
1/2"	12,5	100,00
3/8"	9,5	100,00
NO. 4	4,75	99,91
NO. 8	2,36	85,62
NO. 16	1,18	55,72
NO. 30	0,6	35,50
NO. 50	0,3	27,17
NO. 100	0,15	19,70
NO. 200	0,075	12,98

Tabel 4. 9: Hasil Pengujian Abu Batu.

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji	Satuan
Berat Jenis Bulk	-	2,611	gr/cc
Berat Jenis SSD	-	2,666	gr/cc
Berat Jenis Apparent	-	2,763	gr/cc
Penyerapan Air	Max 3	2,103	%
Sand Equivalent	Min 60	72,12	%
Lolos Saringan No.200	Max 10	9,49	%
Gumpalan Lempung Ageregat Halus	Max 1	0,58	%

Dari tabel hasil pemeriksaan split diatas, didapatkan berat jenis sebesar 2,611 gr/ml, dan penyerapan 2,103%. Hasil tersebut memenuhi syarat yang telah ditetapkan oleh Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk perkerasan aspal.

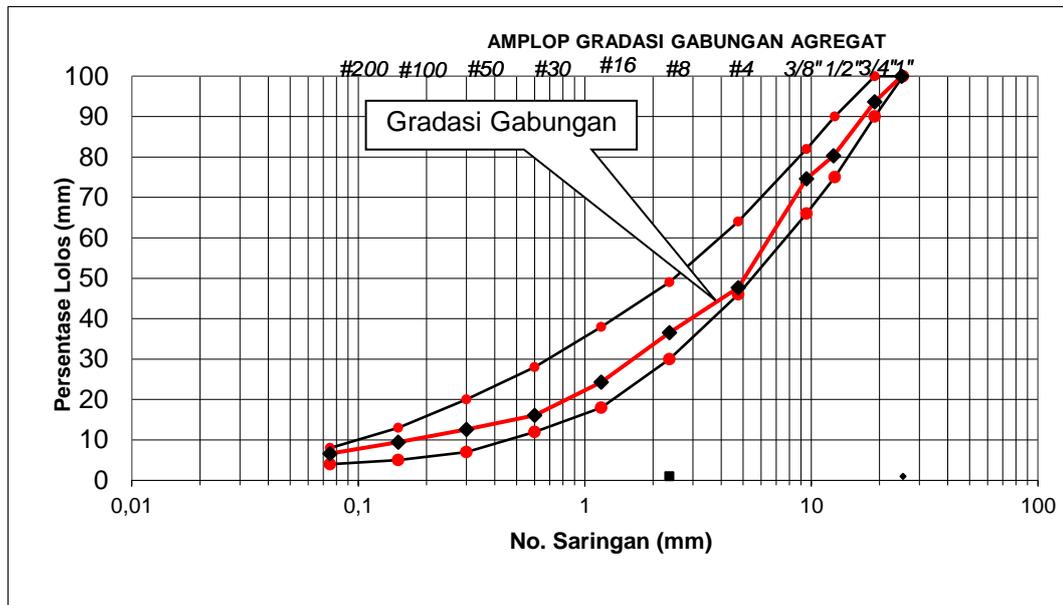
4.2 Pembahasan

4.2.1 Perancangan Gradasi Agregat Campuran

Perlu diketahui proporsi agregat gabungan untuk pembuatan campuran aspal. Proporsi agregat gabungan merupakan penggabungan agregat atau pencampuran agregat kasar, agregat medium, agregat halus dan filler sehingga menjadi campuran yang homogen dengan susunan butiran sesuai dengan spesifikasi. Hasil penentuan gradasi agregat untuk campuran ini dilakukan dengan cara trial and error. Dimana data yang digunakan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk lapisan aspal AC-BC. Tiap hasil analisis saringan dimasukkan kedalam grafik dan kemudian didapatkan persentase yang digunakan untuk pencampuran yaitu sebagai berikut :

Tabel 4. 10: Hasil gabungan gradasi agregat.

No Saringan	Agg Halus	Agg Sedang	Ca Max Size 3/4"	Ca Max Size 1"	Filler	Total Campuran
	40%	34%	10%	15%	1%	
1"	40,00	34,00	10,00	15,00	1,00	100,00
3/4"	40,00	34,00	10,00	8,67	1,00	93,67
1/2"	40,00	34,00	3,25	2,09	1,00	80,34
3/8"	40,00	32,44	0,81	0,39	1,00	74,64
No. 4	39,96	6,43	0,18	0,08	1,00	47,66
No. 8	34,25	1,08	0,17	0,08	1,00	36,58
No. 16	22,29	0,81	0,16	0,04	1,00	24,30
No. 30	14,20	0,69	0,14	0,03	1,00	16,05
No. 50	10,87	0,62	0,12	0,02	1,00	12,62
No. 100	7,88	0,50	0,09	0,01	1,00	9,48
No. 200	5,19	0,40	0,04	0,01	1,00	6,64



Gambar 4. 3: Grafik hasil gabungan agregat.

Dari hasil penhujian analisi saringan didapat hasil kombinasi gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi umum bina marga 2018.

Data persen agregat yang diperoleh pada campuran normal:

1. Medium Agregat = 34%
2. Agregat kasar CA ¾" inch = 10%
3. Agregat kasar CA 1" inch = 15%
4. Agregat halus abu batu = 40%
5. Filler semen = 1%

4.2.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

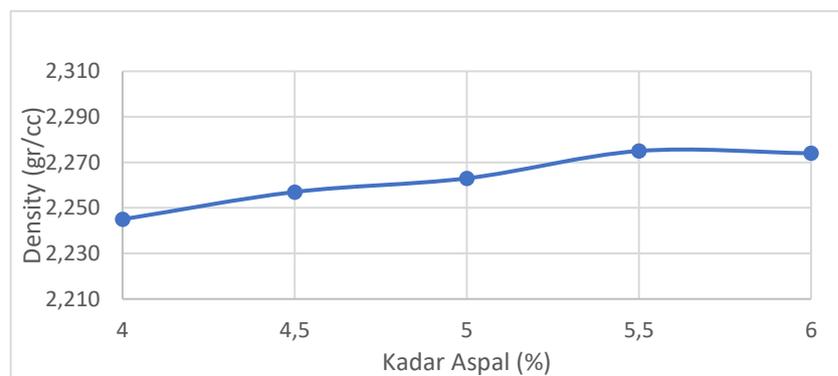
Untuk benda uji penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) maka dapat dilakukan pembuatan sampel dan pengujian Marshall yang dimana hasil pengujian tersebut dibutuhkan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Data-data yang diperlukan setelah pengujian Marshall yaitu Density, VIM, VMA, VFB, Stabilitas dan Flow. Kemudian data yang didapat dibandingkan dengan spesifikasi Bina Marga 2018 divisi 6. Besar nya nilai rata-rata dari beberapa data tersebut diambil nilai tengah nya untuk dijadikan Kadar Aspal Optimum. Berikut data hasil pengujian yang didapatkan sebagai berikut:

a. *Kepadatan (Bulk Density)*

Kepadatan atau *bulk density* merupakan nilai yang menunjukkan kepadatan dari campuran beraspal. Faktor yang mempengaruhi nilai kepadatan adalah suhu pemadatan, komposisi bahan penyusun, kadar aspal, dan jumlah tumbukan pemadatan. Berikut hasil nilai density yang diperoleh berdasarkan pengujian :

Tabel 4. 11: Hasil pengujian Bulk Density campuran normal.

Kadar Aspal	Spesifikasi Umum	<i>Bulk Density</i>
4%	-	2,245
4,5%	-	2,257
5%	-	2,263
5,5%	-	2,275
6%	-	2,274



Gambar 4. 4: Grafik nilai Bulk Density terhadap kadar aspal.

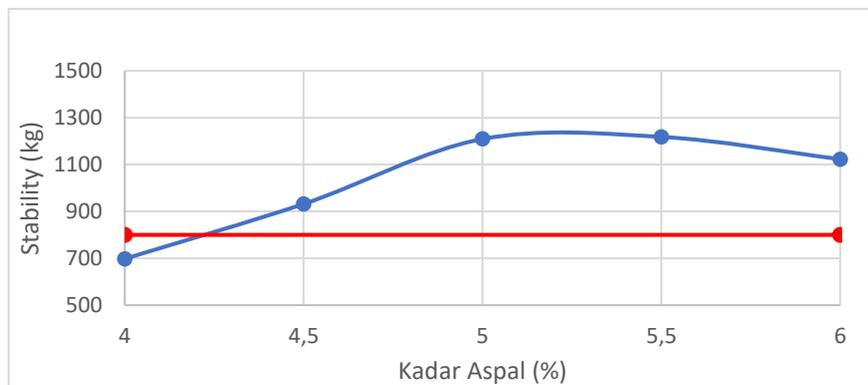
Dari hasil pengujian untuk nilai *bulk density* pada aspal normal didapatkan nilai tertinggi pada campuran 5,5% dengan nilai 2,275 gr/cc.

b. *Stabilitas (Stability)*

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) yang berbentuk seperti gelombang, alur (rutting), ataupun mengalami bleeding. Nilai stabilitas dipengaruhi kerapatan dalam campuran. Berikut hasil nilai stabilitas yang diperoleh berdasarkan pengujian :

Tabel 4. 12: Hasil pengujian Stability campuran normal.

Kadar Aspal	Spesifikasi Umum	Stability
4%	Min 800	698,0
4,5%	Min 800	932,0
5%	Min 800	1209,0
5,5%	Min 800	1218,0
6%	Min 800	1123,0



Gambar 4. 5: Grafik nilai Stability terhadap kadar aspal.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan nilai stabilitas pada kadar aspal 4% yang tidak memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2018 bahwa nilai stabilitas minimum sebesar 800 Kg. Semakin tinggi kadar aspal dalam campuran maka akan meningkatkan nilai stabilitas hingga optimum dan mengalami penurunan. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan perkerasan mudah retak dan bila terlalu rendah mudah terjadinya deformasi.

c. Air Voids (VIM)

VIM merupakan parameter yang menunjukkan persentase rongga dalam campuran. Nilai VIM menjadi indikator untuk mengetahui tingkat durabilitas atau memberi pengaruh terhadap keawetan dari campuran beraspal. Besar kecilnya nilai VIM sangat dipengaruhi oleh gradasi agregat, jumlah tumbukan serta suhu pemadatan yang akan membuat campuran lebih padat. Semakin tinggi nilai VIM maka semakin tinggi kemampuan aspal untuk kedap air dan udara, sehingga dapat

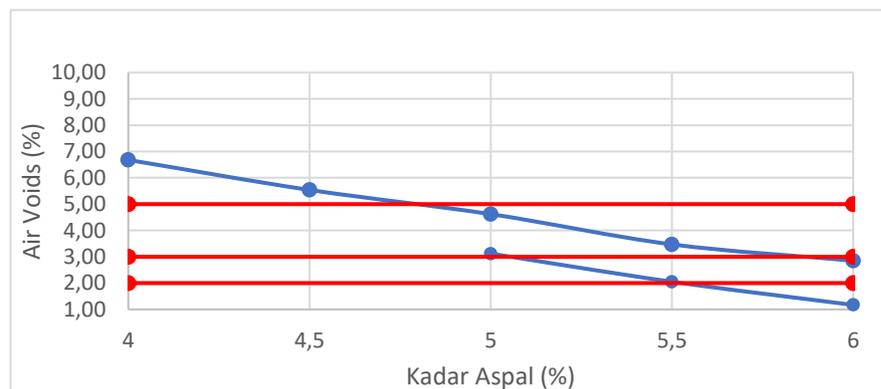
mempercepat penuaan aspal dan mudah retak sedangkan nilai VIM yang terlalu kecil juga akan mengakibatkan campuran perkerasan mudah mengalami bleeding. Berikut hasil nilai VIM yang diperoleh berdasarkan pengujian :

Tabel 4. 13: Hasil pengujian Air Voids (VIM) campuran normal.

Kadar Aspal	Spesifikasi Umum	Air Voids (VIM)
4%	3-5	6,68
4,5%	3-5	5,54
5%	3-5	4,62
5,5%	3-5	3,47
6%	3-5	2,85

Tabel 4. 14: Hasil pengujian Air Voids (VIM) PRD campuran normal.

Kadar Aspal	Spesifikasi Umum	Air Voids (VIM)
5%	Min 2	3,12
5,5%	Min 2	2,05
6%	Min 2	1,17



Gambar 4. 6: Grafik nilai Air Voids (VIM) terhadap kadar aspal.

Dari hasil pengujian yang dilakukan, didapatkan nilai VIM memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga yaitu sebesar 3-5% pada kadar aspal 4,85% hingga 5,85% sementara Air Voids PRD yang memenuhi spesifikasi mulai dari kadar aspal

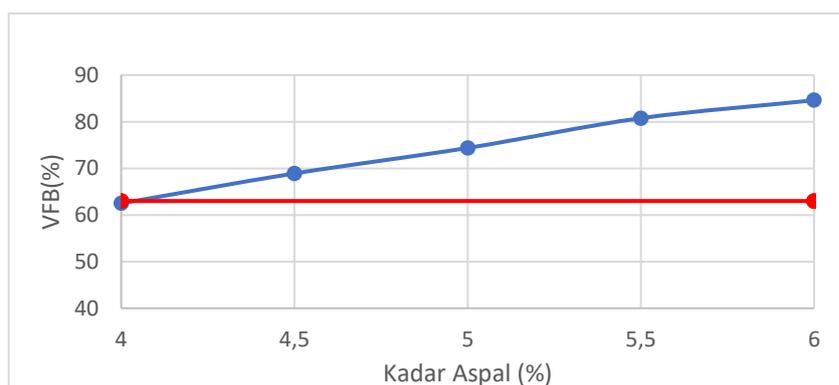
5,5%. Semakin besar kadar aspal yang digunakan maka pengaruh pada nilai VIM menjadi semakin kecil.

d. Voids Filled with Bitumen (VFB)

VFB atau rongga yang terisi aspal merupakan parameter yang menunjukkan banyaknya aspal yang terisi dalam rongga campuran beraspal yang telah dipadatkan. Nilai VFB dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat atau VMA. Faktor – faktor yang dapat mempengaruhi VFB antara lain kadar aspal, gradasi agregat, dan kekuatan saat pemadatan (jumlah dan temperatur pemadatan). Berikut hasil nilai VFB yang diperoleh berdasarkan pengujian :

Tabel 4. 15: Hasil pengujian Voids Filled with Bitumen (VFB) campuran normal.

Kadar Aspal	Spesifikasi Umum	VFB
4%	Min 63	62,51
4,5%	Min 63	68,91
5%	Min 63	74,38
5,5%	Min 63	80,76
6%	Min 63	84,60



Gambar 4. 7: Grafik nilai Voids Filled with Bitumen (VFB) terhadap kadar aspal.

Dari hasil pengujian yang dilakukan untuk pengujian VFB hanya kadar aspal 4% dengan nilai 62,51% yang tidak memenuhi syarat untuk Spesifikasi Bina Marga yaitu minimum 63%. Dilihat dari grafik diatas nilai VFB semakin meningkat

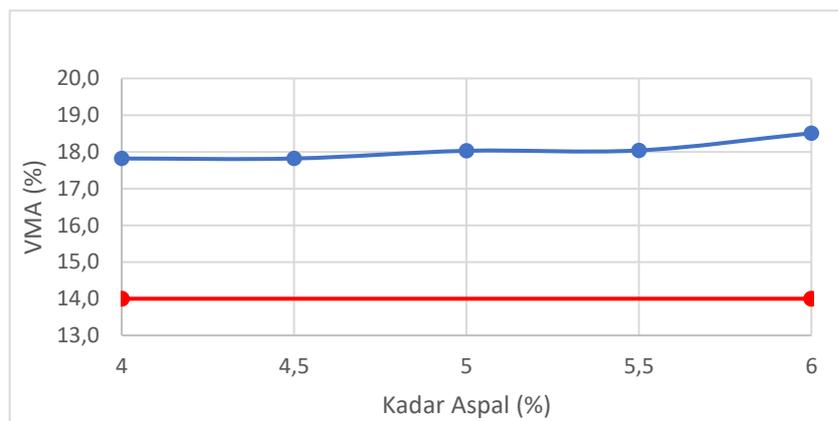
dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran. Hal ini disebabkan karena rongga yang ada dalam campuran semakin banyak terisi oleh aspal.

e. Void in Mineral Aggregate (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) atau rongga dalam agregat merupakan rongga antar butiran agregat dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan. Rongga tersebut dipergunakan untuk menampung aspal yang mengikat antar agregat satu sama lain. Nilai VMA yang terlalu kecil menyebabkan lapisan perkerasan mempunyai lapisan aspal yang tipis sehingga mudah lepas dan kedap air yang menyebabkan lapisan perkerasan mudah rusak. Berikut hasil nilai VMA yang diperoleh berdasarkan pengujian :

Tabel 4. 16: Hasil pengujian Void in Mineral Aggregate (VMA) campuran normal.

Kadar Aspal	Spesifikasi Umum	VMA
4%	Min 14	17,82
4,5%	Min 14	17,82
5%	Min 14	18,03
5,5%	Min 14	18,04
6%	Min 14	18,51



Gambar 4. 8: Grafik nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) terhadap kadar aspal.

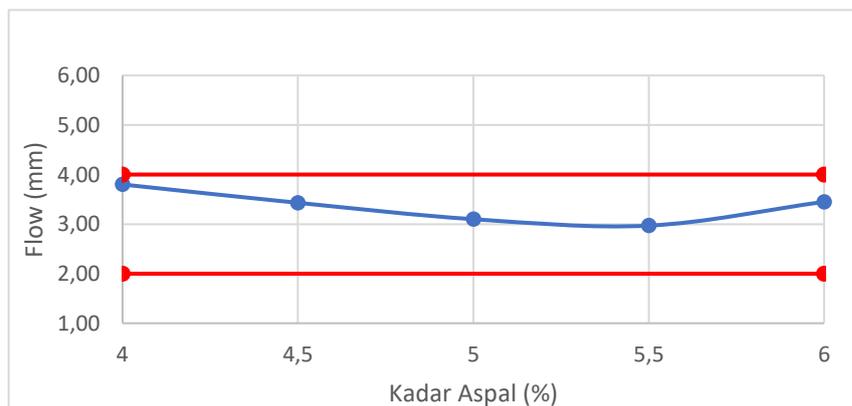
Dari pengujian yang dilakukan, didapatkan nilai VMA keseluruhan memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 dengan syarat minimal 14%.

f. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan atau *flow* merupakan indikator dari sifat fleksibilitas campuran yang dihasilkan. Nilai *flow* menunjukkan nilai penurunan yang terjadi pada campuran lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima sampai batas runtuh, dinyatakan dalam satuan mm. Nilai *flow* dipengaruhi antara lain oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat dan proses pemadatan. Berikut hasil nilai *flow* yang diperoleh berdasarkan pengujian :

Tabel 4. 17: Hasil pengujian Kelelehan (*flow*) campuran normal.

Kadar Aspal	Spesifikasi Umum	<i>flow</i>
4%	2-4	3,80
4,5%	2-4	3,43
5%	2-4	3,10
05,5%	2-4	2,97
6%	2-4	3,45



Gambar 4. 9: Grafik nilai Kelelehan (*flow*) terhadap kadar aspal.

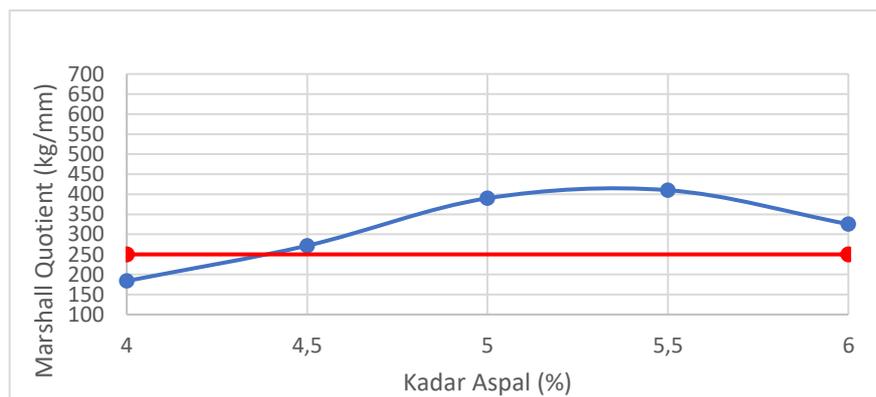
Dari hasil pengujian dengan mengacu syarat Spesifikasi Bina Marga 2018 bahwa nilai kelelehan sebesar 2 - 4. Maka nilai kelelehan yang didapatkan memenuhi syarat tersebut.

g. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient merupakan parameter dari kekakuan sebuah campuran yang dihasilkan. Dimana nilai MQ didapatkan dari hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai flow dan dinyatakan dalam kg/mm. Campuran yang memiliki nilai MQ yang rendah, maka campuran aspal akan semakin fleksibel, cenderung menjadi plastis dan lentur sehingga mudah mengalami perubahan bentuk pada saat menerima beban lalu lintas yang tinggi. Dan sebaliknya jika nilai MQ terlalu tinggi maka campuran beraspal akan kaku dan mudah retak. Berikut hasil nilai MQ yang diperoleh berdasarkan pengujian :

Tabel 4. 18: Hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ) campuran normal.

Kadar Aspal	Spesifikasi Umum	<i>Marshall Quotient</i> (MQ)
4%	250	183,8
4,5%	250	271,72
5%	250	390,0
5,5%	250	410,10
4	250	325,51

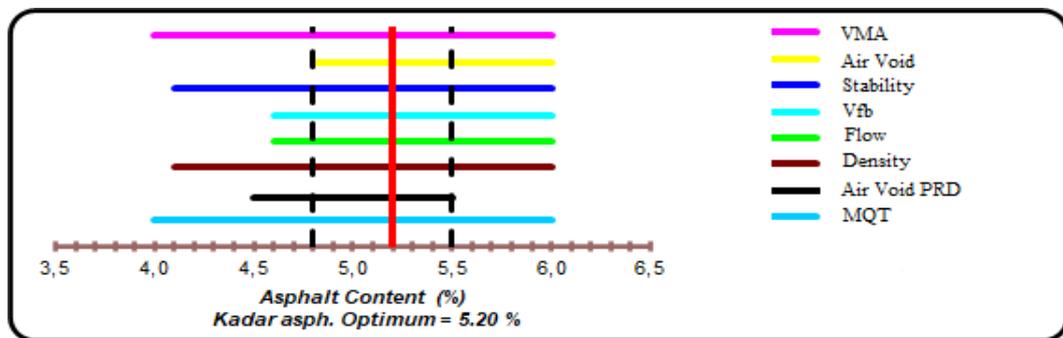


Gambar 4. 10: Grafik nilai *Marshall Quotient* (MQ) terhadap kadar aspal.

Hasil marshall quotient yang didapat menggambarkan grafik naik, dimana semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka nilai marshall quotient semakin naik. Hal ini diakibatkan dari banyaknya kandungan aspal pada campuran sehingga dapat menyebabkan kekakuan semakin besar.

Tabel 4. 19: Rekapitulasi hasil uji Marshall campuran Normal.

Karakteristik	Spesifikasi Umum	Kadar Aspal %				
		4	4,5	5	5,5	6
Bulk Density (Gr/cc)	-	2,245	2,257	2,263	2,275	2,274
Stability (Kg)	Min 800	698,0	932	1209	1218	1123
Air Voids (%)	3-5	6,68	5,54	4,62	3,47	2,85
Air Voids PRD (%)	Min 2	-	-	3,12	2,05	1,17
Voids Filled Bitumen (%)	Min 63	62,51	68,91	74,38	80,76	84,6
VMA (%)	Min 14	17,82	17,82	18,03	18,04	18,51
Flow (mm)	2-4	3,80	3,43	3,1	2,97	3,45
Marshall Quotient (Kg/mm)	Min 250	183,8	271,72	390,0	410,10	325,51



Gambar 4. 11: Grafik Penentuan KAO.

Nilai KAO didapatkan dari nilai parameter yang memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018, Nilai parameter yang didapatkan yaitu nilai VMA, VIM, VFB, density, Stabilitas, Flow, dan MQ dimasukkan dalam satu diagram dan ditentukan nilai kadar aspal yang memenuhi seluruh spesifikasi tiap parameter. Dapat dilihat pada gambar bahwa semua variasi kadar aspal memenuhi spesifikasi namun terdapat nilai parameter yang tidak seluruhnya memenuhi spesifikasi yaitu pada nilai vim. Nilai yang memenuhi hanya berada pada variasi 4,85 – 5,5 %, dan didapatkan batas atas – batas bawah dari variasi maka dicari kadar optimumnya yaitu nilai tengah dari kadar aspal yang memenuhi spesifikasi. Dengan hasil kadar aspal optimum yang diperoleh dari pengujian sebesar 5,20%.

4.2.3 Pencampuran Bahan Uji dengan KAO



Gambar 4. 12: Proses penimbangan komposisi campuran.

Setelah didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) Sebesar 5,20%. Maka digunakan sebagai acuan penggunaan kadar aspal terhadap campuran AC-BC dengan bahan penambah *Styrofoam*. Berikut variasi yang digunakan pada tiap campuran :

Tabel 4. 20: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji penggunaan styrofoam 3%, 3,5%, 4%, pada KAO 5,2%.

Material	Normal	Kadar Styrofoam		
		3%	3,5%	4%
Aspal	59,8	58,0	57,7	57,4
Abu Batu	436,1	436,1	436,1	436,1
Medium Agregat	370,7	370,7	370,7	370,7
Coarse Agregat 3/4	109,0	109,0	109,0	109,0
Coarse Agregat 1"	163,5	163,5	163,5	163,5
Filler Semen	10,9	10,9	10,9	10,9
Styrofoam	-	1,8	2,1	2,4
Total Campuran (gr)	1150,0	1150,0	1150,0	1150,0

4.2.4 Hasil Pengujian Marshall



Gambar 4. 13: Proses merendam benda uji dalam bak perendam (*water bath*).



Gambar 4. 14: Proses pengujian benda uji menggunakan alat marshall.

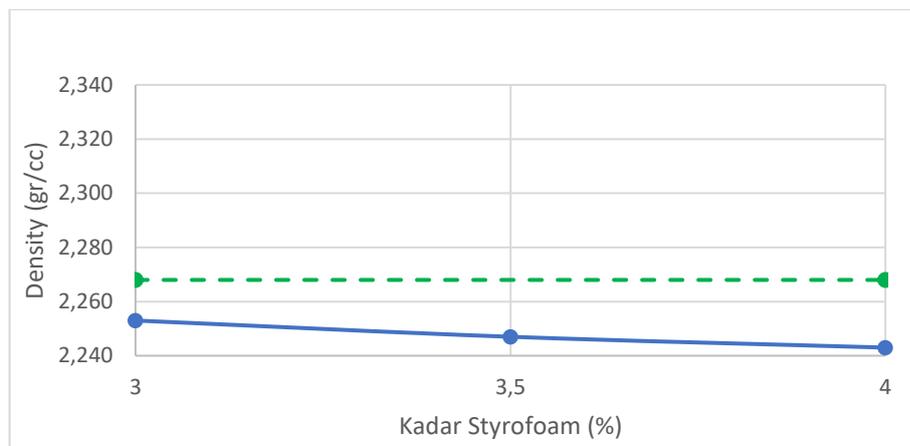
Uji marshall pada variasi campuran *styrofoam* dengan kadar aspal optimum dimaksudkan agar mendapatkan angka karakteristik marshall dan mengetahui pengaruh penambahan *styrofoam* dalam campuran aspal, serta mendapatkan kadar *styrofoam* yang optimum dalam pencampuran aspal. Hasil pengujian marshall dapat dilihat sebagai berikut :

a. Kepadatan (*Bulk Density*)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai kepadatan, hasil nilai kepadatan dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 4. 21: Hasil pengujian Kepadatan (*Bulk Density*) variasi styrofoam.

Kadar Styrofoam	Spesifikasi Umum	<i>Bulk Density</i>
3%	-	2,253
3,5%	-	2,247
4%	-	2,243



Gambar 4. 15: Grafik nilai Bulk Density terhadap variasi styrofoam.

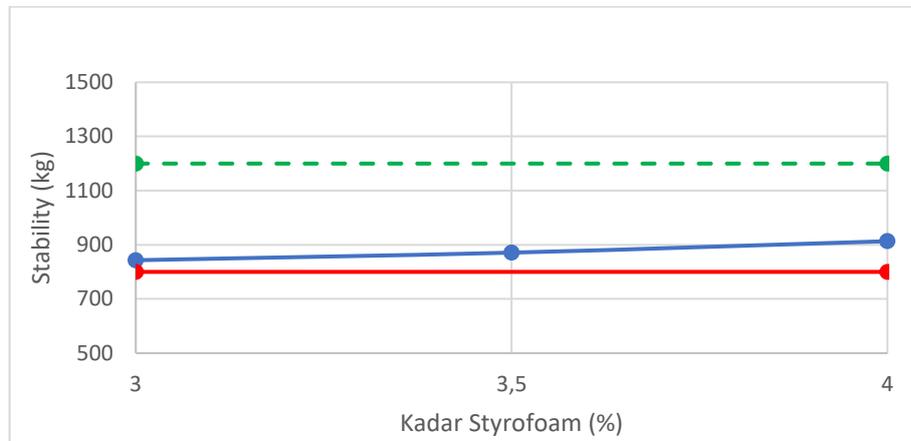
Berdasarkan hasil density yang didapat, Nilai density menurun dengan bertambahnya kadar variasi styrofoam. Jadi semakin banyak penambahan styrofoam maka semakin menurun nilai density sehingga campuran semakin tidak rapat dan semakin tidak kedap terhadap air dan udara.

b. Stabilitas (*Stability*)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai stabilitas, hasil nilai stabilitas dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 4. 22: Hasil pengujian Kepadatan Stabilitas (*Stability*) variasi styrofoam.

Kadar Styrofoam	Spesifikasi Umum	<i>Stability</i>
3%	Min 800	843
3,5%	Min 800	871,1
4%	Min 800	913,25



Gambar 4. 16: Grafik nilai Stabilitas (*Stability*) terhadap variasi *styrofoam*.

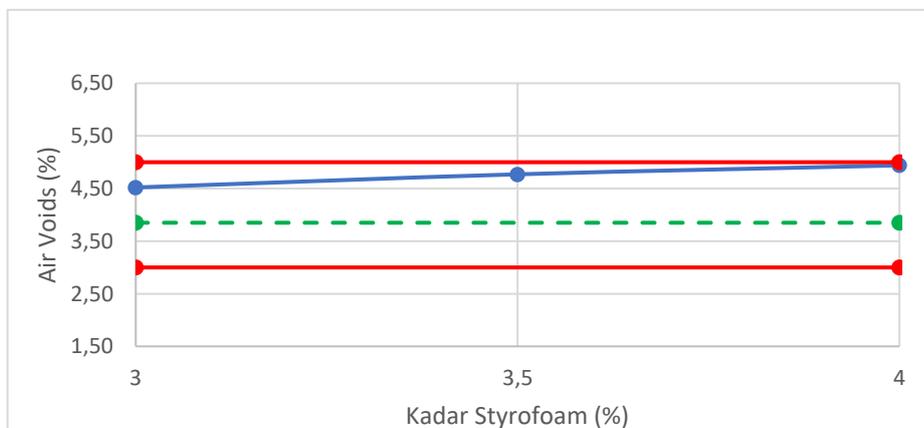
Berdasarkan hasil nilai stabilitas grafik diatas, menunjukkan bahwa setiap penambahan *styrofoam* mengalami peningkatan, dan semua kadar *styrofoam* memenuhi syarat spesifikasi bina marga.

c. Air Voids (VIM)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai VIM, hasil nilai VIM dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 4. 23: Hasil pengujian Air Voids (VIM) variasi *styrofoam*.

Kadar Styrofoam	Spesifikasi Umum	Air Voids (VIM)
3%	3-5	4,52
3,5%	3-5	4,77
4%	3-5	4,97



Gambar 4. 17: Grafik nilai Air Voids (VIM) terhadap variasi *styrofoam*.

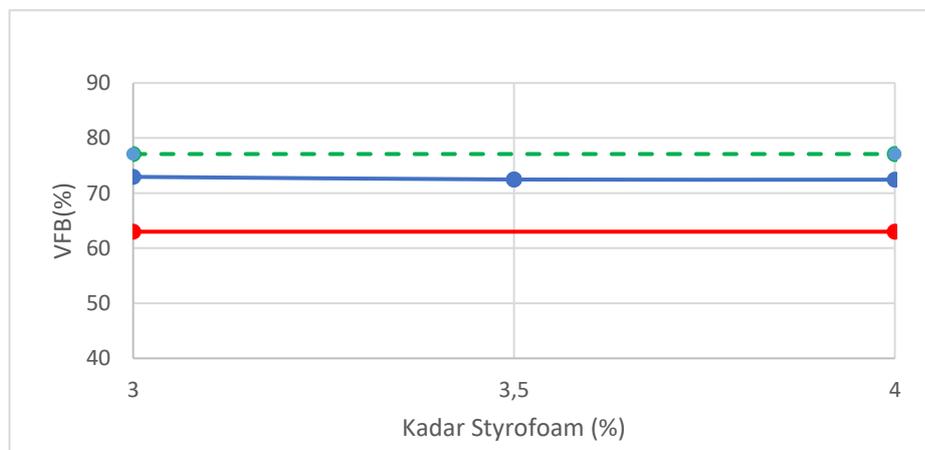
Pada hasil pengujian nilai VIM yang didapatkan nilai pada grafik terus mengalami peningkatan. Nilai VIM semuanya memenuhi syarat spesifikasi umum Bina Marga. Semakin besar penambahan *styrofoam* dalam campuran maka rongga semakin terisi.

d. Voids Filled with Bitumen (VFB)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai VFB, hasil nilai VFB dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 4. 24: Hasil pengujian Voids Filled with Bitumen (VFB) terhadap *styrofoam*.

Kadar Styrofoam	Spesifikasi Umum	VFB
3%	Min 63	72,96
3,5%	Min 63	72,48
4%	Min 63	72,45



Gambar 4. 18: Grafik nilai Voids Filled with Bitumen (VFB) terhadap variasi *Styrofoam*.

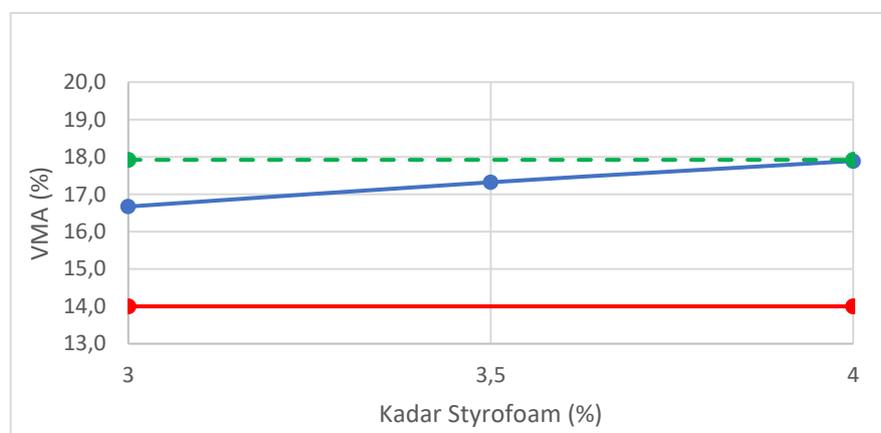
Dari grafik dapat dilihat nilai VFB mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar variasi *styrofoam*. Hal ini disebabkan *styrofoam* menyerap aspal dan mengisi rongga lebih banyak.

e. Void in Mineral Aggregate (VMA)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai VMA, hasil nilai VMA dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 4. 25: Hasil pengujian Void in Mineral Aggregate (VMA) variasi styrofoam.

Kadar Styrofoam	Spesifikasi Umum	VMA
3%	Min 14	16,67
3,5%	Min 14	17,32
4%	Min 14	17,89



Gambar 4. 19: Grafik nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) terhadap variasi styrofoam.

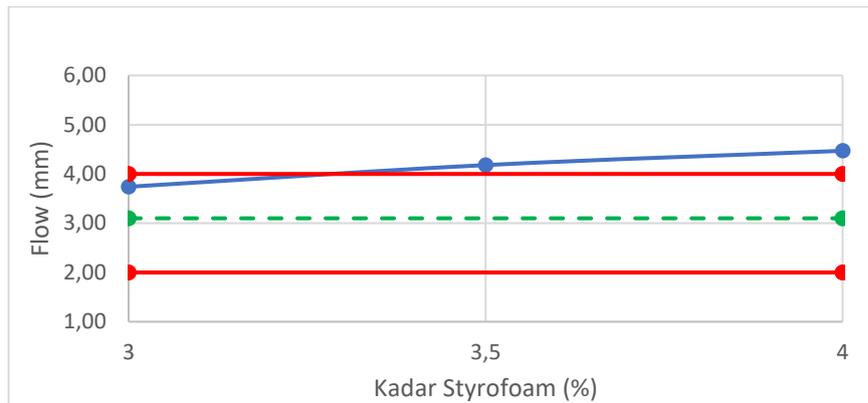
Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VMA mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar variasi styrofoam. Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori.

f. Kelelahan (*flow*)

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan didapatkan nilai kelelahan, hasil nilai kelelahan dapat dilihat dalam tabel berikut :

Tabel 4. 26: Hasil pengujian Kelelahan (*flow*) variasi styrofoam.

Kadar Styrofoam	Spesifikasi Umum	<i>flow</i>
3%	2-4	3,74
3,5%	2-4	4,18
4%	2-4	4,47



Gambar 4. 20: Grafik nilai Kelelehan (*flow*) variasi *styrofoam*.

Berdasarkan hasil nilai flow yang didapat, Dimana nilai flow yang diperoleh mengalami peningkatan dengan penambahan *styrofoam* namun hanya kadar *styrofoam* 3% memenuhi spesifikasi bina marga.

Berikut adalah tabel rekapitulasi dari hasil nilai pengujian sifat Marshall untuk nilai Berat Isi (*Bulk Density*), stabilitas (*Stability*), Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (VMA), Kelelehan (*Flow*) untuk campuran aspal normal dengan penambahan styrofoam 3%, 3,5% dan 4% dapat dilihat perbandingannya pada Tabel 4.27.

Tabel 4. 27: Rekapitulasi hasil uji Marshall variasi Styrofoam 3%, 3,5%, 4% pada KAO.

Karakteristik	Spesifikasi umum	Jenis Aspal			
		Normal	Styrofoam		
			3%	3,5%	4%
Bulk Density (gr/cc)	-	2,268	2,253	2,247	2,243
Stability (kg)	Min 800	1200	843	871,1	913,25
Air Voids (%)	3-5	3,85	4,52	4,77	4,94
Voids Filleds Bitumen (%)	Min 63	77,10	72,96	72,48	72,45
VMA (%)	Min 14	17,92	16,67	17,32	17,89
Flow (mm)	2-4	3,10	3,74	4,18	4,47

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil pengujian yang dilakukan pada AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*) dengan menggunakan styrofoam, maka kesimpulan yang didapat dari penelitian ini:

1. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan kadar aspal optimum sebesar 5,20%
2. Perubahan pada nilai karakteristik Marshall aspal dengan penambahan *styrofoam*, berikut adalah hasil pengujian:
 - a. Nilai *bulk density* pada kadar *styrofoam* 3% sebesar 2,253 gr/cc, kadar *styrofoam* 3,5% sebesar 2,247 gr/cc, kadar *styrofoam* 4% sebesar 2,243 gr/cc. Dari hasil pengujian didapat semakin besar kadar *styrofoam* maka nilai *bulk density* semakin turun. Hal ini disebabkan semakin bertambahnya kadar *styrofoam* maka banyaknya *styrofoam* semakin tidak mengikat agregat yang berada dalam campuran. Sementara untuk campuran normal nilai *bulk density* didapatkan 2,268 gr/cc.
 - b. Nilai stabilitas pada kadar *styrofoam* 3% sebesar 843 kg, kadar *styrofoam* 3,5% sebesar 871,1 kg, kadar *styrofoam* 4% sebesar 913,25 kg. Dengan mengacu syarat Spesifikasi Bina Marga 2018 bahwa nilai stabilitas minimum sebesar 800 Kg. Maka nilai stabilitas pada kadar *styrofoam* yang didapatkan semuanya memenuhi syarat tersebut. Nilai stabilitas yang terlalu rendah mudah menyebabkan terjadinya deformasi dan nilai stabilitas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan perkerasan mudah retak. Sementara untuk campuran normal nilai stabilitas didapatkan 1200 kg.
 - c. Nilai VIM pada kadar *styrofoam* 3% sebesar 4,52%, kadar *styrofoam* 3,5% sebesar 4,77%, kadar *styrofoam* 4% sebesar 4,94%. Untuk spesifikasi VIM sebesar 3%-5% sehingga kadar *styrofoam* 3%, 3,5%, dan 4% memenuhi spesifikasi. Semakin besar kadar *styrofoam* yang digunakan maka pengaruh pada nilai VIM menjadi semakin besar. Nilai VIM yang terlalu tinggi maka

akan semakin tinggi kemampuan aspal untuk kedap air dan udara, sehingga dapat mempercepat penuaan aspal dan mudah retak. Sementara untuk campuran normal nilai VIM didapatkan 3,85%.

- d. Nilai VFB pada kadar *styrofoam* 3% sebesar 72,96%, kadar *styrofoam* 3,5% sebesar 72,48%, kadar *styrofoam* 4% sebesar 72,45%. Pada spesifikasi VFB memiliki nilai minimum sebesar 63%, Dari Hasil pengujian didapatkan Nilai VFB semakin meningkat dengan bertambahnya kadar *styrofoam* dalam campuran. Sementara untuk campuran normal nilai VFB didapatkan 77,10%.
- e. Nilai VMA pada kadar *styrofoam* 3% sebesar 16,67%, kadar *styrofoam* 3,5% sebesar 17,32%, dan kadar *styrofoam* 4% sebesar 17,89%. Untuk spesifikasi minimum VMA sebesar 14%. Semua persenan kadar *styrofoam* memenuhi spesifikasi dari bina marga. Semakin besar kadar *styrofoam* yang digunakan maka pengaruh pada nilai VMA menjadi semakin besar. Nilai VMA yang terlalu kecil menyebabkan lapisan perkerasan mempunyai lapisan aspal yang tipis sehingga mudah lepas dan kedap air yang menyebabkan lapisan perkerasan mudah rusak. Sementara untuk campuran normal nilai VMA didapatkan 17,92%.
- f. Nilai *flow* pada kadar 3% sebesar 3,74 mm, pada kadar 3,5% sebesar 4,18 mm, kadar 4% sebesar 4,47 mm. Dari hasil pengujian didapat semakin besar kadar *styrofoam* maka nilai *flow* semakin tinggi. Berdasarkan spesifikasi bina marga untuk nilai *flow* 2 mm – 4 mm, sehingga kadar *styrofoam* pada persenan 3,5% dan 4% tidak memenuhi spesifikasi dari bina marga. Nilai *flow* yang besar membuat campuran bersifat plastis. Hal ini akan mengakibatkan lebih mampu mengikuti deformasi (perubahan permukaan) akibat beban laulintas, tetapi jika *flow* terlalu kecil akan mengisyaratkan bahwa campuran tersebut rongga yang tak terisi aspal atau dengan kata lain kadar aspal terlalu rendah. Kondisi ini akan mengakibatkan terjadinya retak dini (durabilitas rendah). Sementara untuk campuran normal nilai Flow didapatkan 3,10 mm.

3. Dari hasil pengujian Marshall yang meliputi pengujian VMA, VIM, VFB, Bulk density, Stabilitas, dan Flow, Bahwa kadar styrofoam 3% memiliki nilai yang baik dan memenuhi syarat spesifikasi bina marga 2018.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil analisa data dalam penelitian dapat diambil beberapa saran sebagai berikut:

1. Dalam melakukan pengujian Analisa Saringan dan Marshall diperlukan ketelitian agar tidak terjadi kesalahan.
2. Diperlukannya pemahaman tentang tahap perencanaan campuran aspal yang sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 serta Standart Nasional Indonesia agar memperkecil kesalahan dalam tahapan pembuatan campuran beraspal.
3. Diharapkan adanya penelitian lebih lanjut mengenai aspal penambahan styrofoam pada AC-BC agar lebih banyak referensi yang didapat.

DAFTAR PUSTAKA

- Adly, E. (2016). *Styrofoam sebagai pengganti Aspal Penetrasi 60 / 70 dengan Kadar 0 %*,. *11(1)*, 41–49.
- Agustian, K., & Ridha, M. (2018). *Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Dengan Menggunakan 6% Getah Damar Sebagai Bahan Substitusi Aspal Jurnal Teknik Sipil Unaya*, *4(1)*, <https://doi.org/10.30601/unayaded.v4i1.193>
- Mashuri. (2010). *Karakteristik Aspal sebagai bahan pengikat yang ditambahkan styrofoam. SMARTek*, *8(1)*, 1–12.
- Maulana, K. (2019). *Pengaruh penambahan Styrofoam Terhadap Karakteristik Campuran Aspal AC-WC*.
- Putri, E. E. (2016). *Tinjauan Substitusi Styrofoam Pada Aspal Pen. 60/70 Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Concrete – Wearing Course (Ac-Wc). Jurnal Teknik Sipil*, *6(1)*, 105–114.
- Raharjo, B., Pratomo, P., & Ali, H. (2016). *Pengaruh Suhu Pemadatan Campuran Untuk Perkerasan Lapis Antara (AC-BC). 4(1)*, 43–50.
- SNI 06-2489-1991 Metode Pengujian Aspal Dengan Alat Marshall.
- SNI 03-1968-1990 Metode Pengujian Tentang Analisis Saringan Agregat Halus Dan Kasar
- Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan.2018*. Surat Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018
- Supriadi, T., Syafaruddin As, H. A. (2010). *Perkerasan Campuran Aspal Ac-Wc Terhadap Sifat Penuaan Aspal Supriadi.T 1) ., Syafaruddin As 2) , Heri Azwansyah 2)*. 2–15.
- Tarmizi, T., Saleh, S. M., & Isya, M. (2018). *Pengaruh Substitusi Semen Portland*

Dan Fly Ash Batubara Pada Filler Abu Batu Terhadap Asphalt Concrete-Binder Course (Ac-Bc). Jurnal Teknik Sipil, 1(3), 749–760.
<https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.10036>

Waani, J. E. (2013). *Evaluasi Volumetrik Marshall Campuran AC-BC. Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 20(1), 67–78.*

Winayati, W., & Lubis, F. (2018). *Analisis Karakteristik Marshall Campuran Ac-Bc Menggunakan Filler Abu Tandan Sawit Dan Abu Batu. Siklus: Jurnal*

LAMPIRAN



USB

UNIVERSITAS SANGGA BUANA
FAKULTAS TEKNIK
YPKP

Terakreditasi BAN - PT

Jl. PHH. Mustopa No. 68 Telp. 022-7275489, 7202841 Fax. 022-7201756 BANDUNG 40124

Nomor : 072/06-Sipil/XI/2022
Lampiran :-
Perihal : Permohonan Data

Bandung, 22 November 2022

Kepada

Yth. Project Manager

PT Trisakti Manunggal Perkasa Internasional
Blok Pasir Domba DS. Jalan Cagak, Kec. Jalan Cagak.
Kab. Subang.

Dengan Hormat,

Sebagai Institusi yang bertanggung jawab dalam mengembangkan wawasan keilmuan dan membekali para mahasiswa dengan gambaran aplikasi di dunia nyata/perusahaan, kami dari Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil S1, mewajibkan mahasiswa untuk melaksanakan Topik Khusus.

Sehubungan dengan hal tersebut, melalui surat ini kami mengajukan permohonan kiranya para mahasiswa kami dapat mendapatkan data yang diperlukan untuk keperluan Topik Khusus di perusahaan yang Bapak/Ibu pimpin sesuai waktu yang Bapak/Ibu izinkan. Mengenai waktu dapat dikonfirmasi pada mahasiswa yang bersangkutan.

Adapun nama mahasiswa yang ditugaskan untuk pengambilan data sebagai berikut :

No.	NPM	Nama
1.	2112181030	Abdul Miftah
2.	2112181033	Arga Junanda
3.	2112181043	David
4.	2112181041	Mochamad Rifansyah
5.	2112181050	Romi Hidayat

Demikian surat permohonan ini dibuat, atas perhatian dan bantuan Bapak/Ibu, kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb.



Tembusan :
1 Arsip



**PT. TRISAKTI MANUNGGAL PERKASA INTERNASIONAL
GENERAL TRADE & CONTRACTOR**



PERCOBAAN MARSHALL RSNI M 03 - 1 - 2003

AGREGAT : Hot Bin AC Binder Course
 ASPAL : Pertamina Pem. 60 - 70
 Tanggal :

Asphalt Content	4,0	4,5	5,0
Bit. Film Thickness (micron)	5,30	6,18	7,07
Absorption aspal	0,869	0,869	0,869
Bj. Agregat eff.	2,686	2,686	2,686

Bj. agregat bulk : 2,623
 Bj. Aspal : 1,029
 Surface Area : 5,98

Kalibrasi Proving Ring : 14,334 Kg

No.	Aspal Terh. Bahan	Kadar Aspal	Berat (gr)			Tsi Benda Uji	BD Bulk Campuran	(Gmm) Uji LAB	Rangka diantara Agregat	Rangka Udara	Rangka Terisi Aspal	Stabilitas (kg)			Kelelahan Plastik (mm)	Hasil Bagi Mariall	Kadar Aspal Efektif
			Di Udara	Dalam Air	Kering Pemukaan							Di Baca	Di Sesuaikan	Di Koreksi			
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q
I . 1.		4,0	1157,2	650,3	1165,3	515,0	2,247	2,406	17,76	6,61	62,78	49	702	702	3,80	184,83	3,2
2.		4,0	1152,2	647,3	1160,5	513,2	2,245	2,406	17,83	6,69	62,48	47	674	674	3,90	172,74	3,2
3.		4,0	1151,4	647,4	1160,5	513,1	2,244	2,406	17,87	6,74	62,28	50	717	717	3,70	193,70	3,2
		RATA - RATA					2,245	2,406	17,82	6,68	62,51		698	698	3,80	183,68	3,2
II . 1.		4,5	1157,2	652,1	1165,5	513,4	2,254	2,389	17,93	5,67	68,38	61	874	874	3,40	257,16	3,7
2.		4,5	1152,3	650,1	1160,4	510,3	2,258	2,389	17,79	5,50	69,08	66	946	946	3,60	262,79	3,7
3.		4,5	1150,8	649,0	1158,4	509,4	2,259	2,389	17,75	5,46	69,24	68	975	975	3,30	295,36	3,7
		RATA - RATA					2,257	2,389	17,82	5,54	68,91		932	932	3,43	271,72	3,7
III . 1.		5,0	1156,8	652,2	1163,4	511,2	2,263	2,373	18,04	4,64	74,28	82	1175	1175	3,10	379,15	4,2
2.		5,0	1160,1	654,4	1166,6	512,2	2,265	2,373	17,97	4,55	74,68	85	1218	1218	2,90	420,13	4,2
3.		5,0	1155,5	652,0	1162,8	510,8	2,262	2,373	18,07	4,68	74,10	86	1233	1233	3,30	373,55	4,2
		RATA - RATA					2,263	2,373	18,03	4,62	74,38		1209	1209	3,10	390,00	4,2

Legenda
 a = % aspal terhadap bahan
 b = % aspal terhadap campuran
 c = berat kering (gr)
 d = berat dalam keadaan jenuh (gr)
 e = berat dalam air (gr)

(*) Gmm : ditentukan dengan cara AASHTO T 209 pada kadar aspal
 $P_b = 0,025 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% FT) + K$
 $K = 0,5 - 1$ Untuk Laston ; 2,0 - 3,0 Untuk Lataston
 $(100 - P_b)$

(**) BJ . t.tec. Agg. = $\frac{100 - P_b}{Gmm - BJ \text{ Aspal}}$
 h = berat jenis maksimum (teoritis)
 $\frac{100 - P_b}{BJ \text{ t.tec. Agg.}}$

(*) % Rangka diantara agregat
 $100 - \frac{(100 - b) \times g}{BJ \text{ Bulk agregat}}$

J = % Rangka terhadap comp.
 $100 - (100 g / h)$
 k = % Rangka terisi Aspal $100 (I - j) / I$
 l = Pembacaan orlogi Stabilitas
 m = Stabilitas (1 X Kalibrasi Proving Ring) Kg
 n = Stabilitas (1 X Koreksi benda uji) Kg

e = Kelelahan (mm)
 p = hasil bagi mariall n / o (kg/mm)
 (***) Abi. Aspal thd. Total Agg.
 $100 \times \frac{BJ \text{ Eff. Agg.} - BJ \text{ Bulk Agg.}}{BJ \text{ t.tec. Agg.} \times BJ \text{ Bulk Agg.}}$
 X BJ. Aspal
 BJ. t.tec. Agg. X BJ. Bulk Agg.

q = Kadar Aspal Efektif
 $\frac{Abip \text{ Aspal} (100 - b)}{100}$

Dibuat Oleh :
 Asphalt Mixing Plant
 PT. Trisakti Manunggal Perkasa
 Internasional

GUNAWAN
 LDO, TECHNICIAN



**PT. TRISAKTI MANUNGGAL PERKASA INTERNASIONAL
GENERAL TRADE & CONTRACTOR**



PERCOBAAN MARSHALL RSNI M 03 - 1 - 2003

AURE/GAI : Hot Bin AC Binder Course
 ASPAL : Pertamina Pem. 60 - 70
 Tanggal :

Kadar Aspal	5,5	6,0
Bit Film Thickness (micron)	7,96	8,87
Asap aspal	0,869	0,869
Bj. Agregat eff.	2,686	2,686

Bj. agregat bulk :	2,623
Bj. Aspal :	1,029
Surface Area :	5,98

Kalibrasi Proving Ring : 26.334 Kg

No.	Aspal Terh. Bahan	Kadar Aspal	Berat (gr)			Tali Benda Uji	BD Bulk Campuran	(Gmm) Uji LAB	Rongga diantara Agregat	Rongga Udara	Rongga Terisi Aspal	Stabilitas (kg)			Kelelahan Plastis (mm)	Hasil Bagi Marshall	Kadar Aspal Efektif
			DI Udara	Dalam Air	Kering Pemukaan							Di Baca	Di Sesuaikan	Di Koreksi			
	a	b	c	d	e	f	g	h	I	j	k	l	m	n	o	p	q
I . 1.		5,5	1155,2	653,3	1161,5	508,2	2,273	2,357	18,11	3,56	80,34	82	1175	1175	2,80	419,77	4,7
2.		5,5	1157,8	655,3	1164,2	508,9	2,275	2,357	18,04	3,47	80,76	85	1218	1218	2,90	420,13	4,7
3.		5,5	1153,6	653,6	1160,2	506,6	2,277	2,357	17,97	3,39	81,14	88	1261	1261	3,20	394,18	4,7
		RATA - RATA					2,275	2,357	18,04	3,47	80,76		1218	1218	2,97	410,10	4,7
II . 1.		6,0	1159,2	654,8	1164,6	509,8	2,274	2,341	18,51	2,85	84,60	80	1147	1147	3,50	327,63	5,2
2.		6,0	1155,5	652,3	1160,7	508,4	2,273	2,341	18,54	2,90	84,36	76	1089	1089	3,40	320,4	5,2
3.		6,0	1152,3	650,1	1156,6	506,5	2,275	2,341	18,47	2,81	84,79	79	1132	1132	3,30	343,14	5,2
		RATA - RATA					2,274	2,341	18,51	2,85	84,60		1123	1123	3,45	325,5	5,2

Keterangan :
 a = % aspal terhadap batuan
 b = % aspal terhadap campuran
 c = berat kering (gr)
 d = berat dalam keadaan jenuh (gr)
 e = berat dalam air (gr)

(*) Gmm : ditentukan dengan cara AASHTO T 209 pada kadar aspal
 $P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% FF) + K$
 $K = 0,5 - 1$ Untuk Laston : 2,0 - 3,0 Untuk Lathston
 $(100 - P_b)$

(**) BJ . Efec. Agg. = $\frac{100}{Gmm} - \frac{P_b}{BJ \text{ Aspal}}$

h = berat jenis maksimum (teoritis)
 $\frac{100}{100}$

$\frac{100 - P_b}{BJ \text{ Efec. Agg.}}$ $\frac{b}{BJ \text{ Aspal}}$

i = % Rongga diantara agregat
 $100 - \frac{(100 - b) \times g}{BJ \text{ Bulk agregat}}$

J = % Rongga terhadap camp.
 $100 - (100 \times g / h)$

k = % Rongga terisi Aspal $100 (I - j) / I$
 l = Pembacaan arloji Stabilitas
 m = Stabilitas (1 X Kalibrasi Proving Ring) Kg
 n = Stabilitas (1 X Koreksi benda uji) Kg

o = Kelelahan (mm)
 p = hasil bagi marshall n / o (kg/mm)
 (**) Abs. Aspal Thd. Total Agg.
 $\frac{BJ \text{ Efec. Agg.} - BJ \text{ Bulk Agg.}}{100 \times BJ \text{ Efec. Agg.} \times BJ \text{ Bulk Agg.}} \times BJ \text{ Aspal}$

q = Kadar Aspal Efektif
 $\frac{\text{Asap. Aspal} (100 - b)}{100}$

Dibuat Oleh :
 Asphalt Mixing Plant
 PT. Trisakti Manunggal Perkasa Internasional

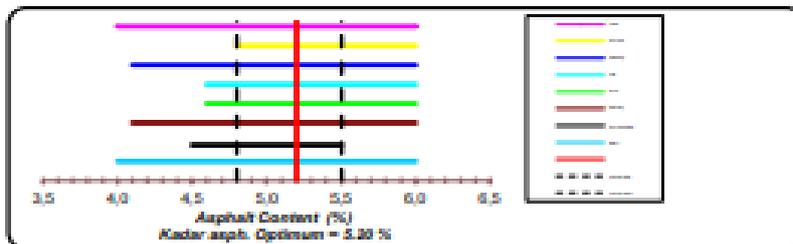
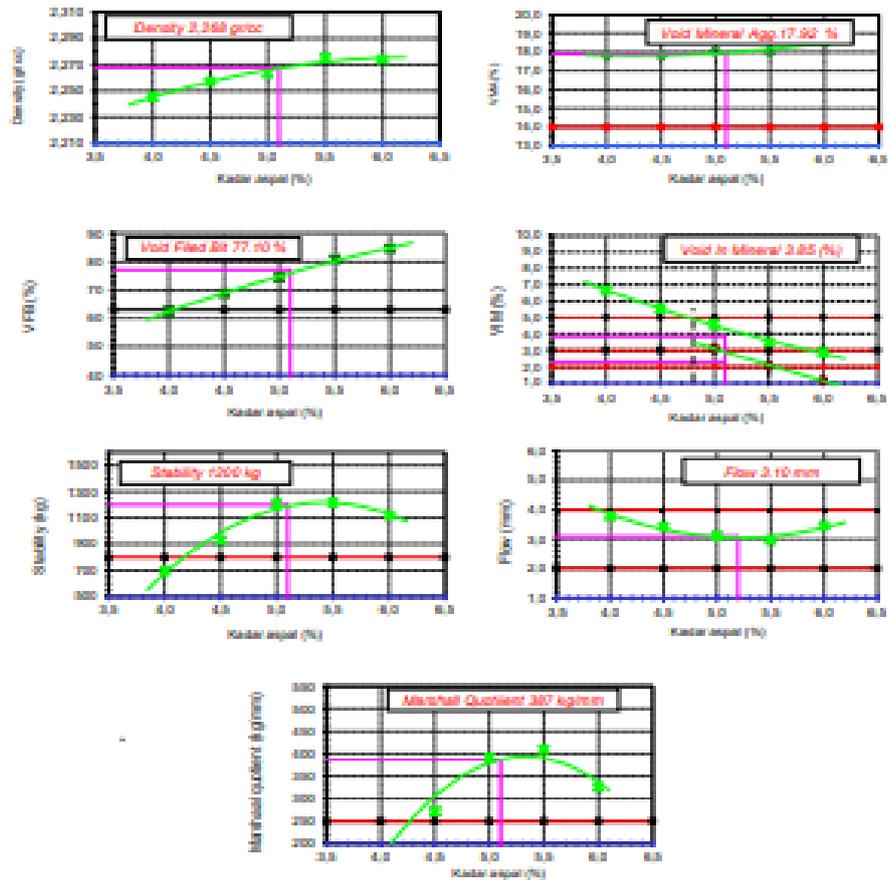
GUNAWAN
 LAD, TECHNICIAN

HASIL UJI MARSHALL CAMPURAN AC-BC PENETERASI 60/70 PENAMBAHAN STYROFOAM

Kadar Aspal	Berat (gr)			Isi Benda Uji	Bulk Density	Gmm (Uji Lab)	Rongga diantara Agregat (VMA)	Rongga Udara (VIM)	Rongga terisi aspal (VFB)	Stabilitas	Kelelehan (Flow)
	Di Udara	Dalam Air	Kering Permukaan								
3	1115,8	640,4	1134,4	494,0	2,259	2,360	16,46	4,29	73,94	843	3,74
3	1108,0	636,4	1129,3	492,9	2,248	2,360	16,87	4,75	71,97		
					2,253	2,360	16,67	4,52	72,96		
3,5	1098,0	631,7	1119,8	488,1	2,250	2,360	17,22	4,68	72,82	871,1	4,18
3,5	1092,4	629,4	1115,9	486,5	2,245	2,360	17,41	4,85	72,14		
					2,247	2,360	17,32	4,77	72,48		
4	1103,9	635,6	1125,0	489,4	2,256	2,360	17,43	4,42	74,64	913,25	4,47
4	1114,4	635,9	1135,4	499,5	2,231	2,360	18,35	5,46	70,25		
					2,243	2,360	17,89	4,97	72,45		



PERCOBAAN MARSHALL AC. BINDER COURSE
ASPAL (Pas. 60-70)



Dibuat Oleh :
Asphalt Mixing Plant
PT. Trisakti Manunggal Perkasa
Internasional

SUNAWAN
Lab. Technician



PT. TRISAKTI MANUNGGAL PERKASA INTERNASIONAL
GENERAL TRADE & CONTRACTOR



DESIGN MIX FORMULA ASHPALT CONCRETE BINDER COURSE ASHPALT PEN 60 - 70

Komposisi Campuran						
COLD BIN				HOT BIN		
Abu Batu	Ex. STC PT.TMPI	41,0%	thd. Agg.	Hot Bin I	42,0%	thd. Agg.
Medium Agg	Ex. STC PT.TMPI	33,0%	thd. Agg.	Hot Bin II	30,0%	thd. Agg.
Coarse Agg 19mm	Ex. STC PT.TMPI	10,0%	thd. Agg.	Hot Bin III	10,0%	thd. Agg.
Coarse Agg 22mm	Ex. STC PT.TMPI	15,0%	thd. Agg.	Hot Bin IV	17,0%	thd. Agg.
Filler Semen		1,00%	thd. Agg.	Filler Semen	1,00%	thd. Agg.
Aspal Pen 60/70		5,2%	thd. Campuran	Aspal Pen 60/70	5,2%	thd. Campuran

1. GRADASI CAMPURAN

JENIS PENGUJIAN	SATUAN	HASIL UJI		STANDAR UJI	SPESIFIKASI
		COLD BIN	HOT BIN		
Gradasi				SNI 03-1968-1990	
Ukuran Ayakan (inc)					
1"	%	100,00	100,00		100,00
3/4	%	95,13	93,66		90 - 100
1/2	%	84,26	79,32		75 - 90
3/8	%	70,59	71,41		66 - 82
# 4	%	48,86	55,34		46 - 64
# 8	%	39,07	40,75		30 - 49
# 16	%	25,27	31,69		18 - 38
# 30	%	16,52	20,37		12 - 28
# 50	%	13,19	15,08		70 - 20
# 100	%	8,73	9,96		5 - 13
# 200	%	5,26	5,35		4 - 8

2. AGREGAT PROPERTIES COLD BIN

JENIS PENGUJIAN	HASIL PENGUJIAN					Sat	Spek
	Abu - Batu	Split 06-12	Split 12-19	Split 19-22	Filler Semen		
Berat Jenis Bulk	2,611	2,628	2,633	2,607	2,914	gr/cc	-
Berat Jenis SSD	2,666	2,670	2,672	2,640		gr/cc	-
Berat Jenis Apparent	2,763	2,744	2,741	2,693		gr/cc	-
Penyerapan Air	2,103	1,621	1,488	1,254		%	Max 3
Sand Equivalent	72,12					%	Min.60
Lolos Saringan No.200	9,49					%	Max 10
Gumpalan Lempung Agregat Halus	0,58					%	Max 1.0

Diajukan Oleh
Penyedia Jasa
CV. GUNA KARYA

(.....)



PT. TRISAKTI MANUNGGAL PERKASA INTERNASIONAL
GENERAL TRADE & CONTRACTOR



3. ASPAL PROPERTIES

Penetrasi Pada suhu 25°C	65,60	0.1 mm	60 - 70
Berat Jenis	1,030		Min. 1
Titik Lembek	49,00	°C	Min. 48

3. MARSHALL PROPERTIES HOT BIN

SIFAT SIFAT - CAMPURAN	SAT	HASIL UJI PADA KADAR ASPAL OPTIMUM KADAR ASPAL 5,2%	SPESIFIKASI UMUM 2018 DIV. 6
Kepadatan Campuran (Laboratorium)	gr/cc	2,265	-
Stabilitas Marshall	kg	1223,1	Min 800
Rongga diantara Agregat (VMA)	%	18,14	Min 14
Rongga Terisi Aspal (VFB)	%	76,37	Min 65
Rongga Udara (VIM)	%	4,29	3,0 - 5,0
Rongga Udara (PRD)	%	2,55	Min 2,0
Pelelehan (Flow)	mm	3,07	2,0 - 4,0
Marshall Quotient	kg/mm	400,2	Min 250
Penyerapan Aspal	%	0,869	Max. 1,2
Rasio Partikel Lolos Ayakan 0,075 mm Dengan Kadar Aspal Efektif	%	1,2	0,6 - 1,2
Stabilitas Marshall Sisa	%	91,79	90

Diajukan Oleh
Penyedia Jasa
CV. GUNA KARYA

(.....)

DOKUMENTASI



Gambar 1:
Agregat (Agregat Kasar, Agregat Medium, dan Agregat Halus).



Gambar 2:
Bahan Penambah Styrofoam.



Gambar 3:
Proses penimbangan komposisi campuran.



Gambar 4:
Proses memasukkan komposisi campuran ke dalam oven.



Gambar 5:
Proses memanaskan campuran di wajan dan pengecekan suhu menggunakan thermometer.



Gambar 6:
Proses menuangkan aspal ke bahan uji.



Gambar 7:
Proses pencampuran hingga aspal menyelimuti bahan uji.



Gambar 8:
Memasukan bahan uji ke dalam cetakan (*mold*).



Gambar 9:
Proses pemadatan benda uji.



Gambar 10:
Proses mengeluarkan benda uji dari cetakan (*mold*).



Gambar 11:
Proses penimbangan benda uji.



Gambar 12:
Proses perendaman benda uji selama 24jam.



Gambar 13:
Proses penimbangan benda uji dalam air.



Gambar 14:
Proses penimbangan berat kering permukaan.