

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Transportasi adalah pemindah manusia atau barang dari suatu tempat ketempat yang lain dengan menggunakan sebuah kendaraan yang digerakkan oleh manusia ataupun mesin. Banyak negara didunia yang selalu mengandalkan transportasinya sebagai alat berpindah tempat. Di Negara berkembang yaitu di Indonesia transportasi sangatlah di perlukan terutama trnsportasi daratnya di karenakan di Indonesia merupakan negara memiliki banyak pulau yang besar. Seiring perkembangan dan peningkatan jumlah penduduk yang semakin meningkat jumlah kebutuhan kendaraan semakin meningkat pula. Untuk menciptakan transportasi yang baik, harus memiliki sarana dan prasarana yang memadai khususnya jalan raya (Lalu Mawardi, 2020)

Jalan adalah salah satu bagian dari sarana transportasi darat, tidak bisa dipungkiri fungsinya sangat vital dalam menujung peningkatan kemajuan ekonomi disuatu negara itu sendiri. Penyempurnaan kualitas Pembangunan jalan bertujuan agar mendapatkan hasil kualitas yang diharapkan dan dapat menghemat biaya produksi. Perkembangan penelitian tentang bahan kontruksi jalan khususnya perkerasan lentur (*flexible pavement*) diarahkan pemanfaatan matrial setempat dan disesuaikan dengan kondisi daerah dimana pelaksanaan proyek konstruksi perkerasan akan dilaksanakan (Raharjo, 2008).

Pemanfaatan agregat sungai wanggar kabupaten Nabire sebagai bahan campuran AC-WC dan AC-BC yang bertujuan untuk menguji karakteristik campuran Laston AC-WC dan AC-BC dengan batu dan pasir dari Sungai Wanggar. Metodologi dalam penelitian ini adalah melakukan serangkaian pengujian karakteristik berupa agregat kasar, halus dan *filler* lalu merancang komposisi campuran kemudian pembuatan benda uji berupa campuran Laston AC-WC dan AC-BC serta pengujian Marshall untuk mendapatkan karakteristik campuran dan pengujian Marshall Hasil pengujian Marshall Immertion campuran Laston AC-WC dan Laston AC-BC mendapatkan Indeks Perendaman (IP) / Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebesar 95,11% dan 94,41% yang berarti melampaui syarat batas yaitu $\geq 90\%$ sehingga campuran tahan terhadap perendaman dalam air. (Fani. L dan kawan-kawan, 2019)

Pegunungan Lembang Bau, Kecamatan Bonggakaradeng, Kabupaten Tana Toraja, Provinsi Sulawesi Selatan dengan luas wilayah 64,79 Km². Gunung Lembang Bau Tana Toraja, sebagai salah satu sumber daya alam di Indonesia, menawarkan potensi sumber daya agregat kasar yang dapat dimanfaatkan dalam pembuatan campuran laston. Analisis pemanfaatan agregat kasar dari wilayah ini menjadi penting karena dapat memberikan alternatif bahan konstruksi lokal yang dapat mengurangi ketergantungan pada sumber daya luar daerah. Dengan berlimpahnya material agreat tersebut dapat dimanfaatkan secara optimal untuk keperluan konstruksi jalan. karena selama ini material yang digunakan untuk konstruksi jalan di Lembang Bau, Tana Toraja, diambil dari Enrekang yang memerlukan waktu cukup lama serta biaya yang cukup besar, sedangkan material

agregat yang ada di pegunungan Lembang Bau, dapat digunakan sebagai aspal beton, dan campuran beton. Selain itu, analisis ekonomis menjadi pertimbangan esensial dalam mengevaluasi keberlanjutan proyek konstruksi jalan. Pemanfaatan agregat lokal dapat mengurangi biaya transportasi, memberikan manfaat ekonomi bagi masyarakat lokal, dan pada gilirannya, berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan.

Berdasarkan masalah-masalah di atas, maka saya tertarik meneliti dengan judul **“Analisis Pemanfaatan Agregat Kasar Dari Gunung Lembang Bau Tana Toraja Sebagai Material Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* dan *Asphalt Concrete-Binder Course*”** perlu dilakukan uji material di laboratorium. Untuk mengetahui karakteristik agregat kasar Gunung Lembang Bau Tana Toraja apakah dapat digunakan sebagai sumber agregat untuk perancangan perkerasan jalan.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka perumusan masalah yang dapat diambil adalah sebagai berikut:

1. Apakah material agregat kasar pada Gunung Lembang Bau Tana Toraja layak digunakan sebagai material campuran laston (AC-WC) dan (AC-BC)?
2. Bagaimana hasil marshal test materia Gunung Lembang Bau Tana Toraja sebagai campuran laston (AC-WC) dan (AC-BC)?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan yang penulis dapatkan untuk tugas akhir ini yaitu:

1. Untuk mengetahui kelayakan agregat kasar Gunung Lembang Bau Tana Toraja pada campuran aspal beton (AC-WC) dan (AC-BC).
2. Untuk mengetahui karakteristik marshall test material Gunung Lembang Bau Tana Toraja sebagai campuran laston (AC-WC) dan (AC-BC).

D. Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan batasan-batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Labolatorium Jalan dan Aspal, Universitas Muhammadiyah Parepare.
2. Ketentuan bahan dalam penelitian ini yaitu:
 - a. Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60-70.
 - b. Material agregat kasar dan agregat halus (abu batu) diambil dari kasar Gunung Lembang Bau, Kecamatan Bongkarakadeng, Kabupaten Tana Toraja.
 - c. Filler yang digunakan adalah semen.
 - d. Pengujian material agregat dalam penelitian meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan, pengujian keausan agregat kasar (abrasi), dan pengujian Analisa saringan agregat. Menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

3. Pengujian aspal dalam penelitian meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, kehilangan berat aspal, dan berat jenis aspal. Menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian yang dilakukan penulis pada tugas akhir ini yaitu:

1. Mengetahui karakteristik agregat yang menggunakan agregat kasar Gunung Lembang Bau Tana Toraja apakah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
2. Untuk mengetahui karakteristik marshall test material Gunung Lembang Bau Tana Toraja sebagai campuran laston (AC-WC) dan (AC-BC).

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi tentang teori-teori yang menyangkut dengan penelitian ini dan digunakan sebagai landasan serta hasil tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya yang bersifat relevan.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, bahan dan alat, prosedur penelitian, teknik pengumpulan data, teknik analisis data, dan diagram alir.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas secara keseluruhan tentang hasil penelitian yang dilakukan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari pokok permasalahan yang telah diteliti, serta saran yang memuat masukan-masukan dari penulis yang terkait dengan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Perkerasan Jalan

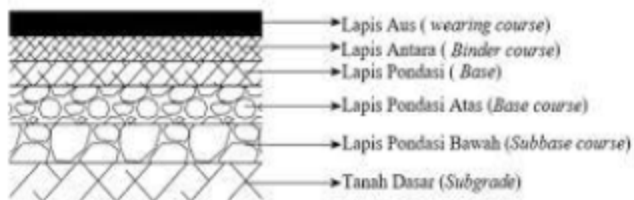
Menurut (Silvia Sukirman, 2003) Perkerasan jalan raya adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yaitu berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti.

Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi:

1. **Konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*)**, yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Struktur perkerasan jalan lentur dibuat secara berlapis dan terdiri atas lapisan permukaan (*surface course*) yaitu lapisan atas dan lapis antara. Lapisan dibawahnya ialah lapisan pondasi yang terdiri dari lapisan pondasi atas (*basecourse*) dan pondasi bawah (*subbase course*). Lapisan ini diletakkan di atas tanah dasar yang dipadatkan (*subgrade*). Masing-masing elemen lapisan di atas termasuk tanah dasar secara bersama-sama memikul beban lalu lintas. Tebal struktur perkerasan dibuat sedemikian rupa sampai batas kemampuan

tanah dasar memikul beban lalu lintas, atau dapat dikatakan tebal struktur perkerasan sangat tergantung pada kondisi atau daya dukung tanah dasar.

2. **Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*)**, yaitu perkerasan yang menggunakan semen (portland cement) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
3. **Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*)**, yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur



Gambar 2.1 Lapis perkerasan lentur
(Sumber: Sukirman, 1999)

B. Lapisan Aspal Beton

Secara Umum Menurut Bina Marga 2018, campuran aspal panas dapat diklasifikasikan dalam:

1. *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Stone Matrix Asphalt (SMA), terdiri dari tiga jenis: SMA Tipis, SMA Halus dan SMA Kasar, dengan ukuran partikel maksimum agregat masing-masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm, 25 mm. Setiap campuran SMA

yang menggunakan bahan aspal polymer disebut masing-masing sebagai SMA Tipis Modifikasi, SMA Halus Modifikasi dan SMA Kasar Modifikasi.

2. Lapisan Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet*)

Lapis Tipis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, 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*)

Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis: AC Lapis Aus (AC-WC), AC Lapis Antara (AC-BC) 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 bahan aspal polymer disebut masing-masing sebagai AC-WC Modifikasi, dan AC-Base Modifikasi. Menurut (Sukirman 2003) Lapisan Aspal Beton (Laston) adalah suatu lapisan pada struktur jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi dicampurkan, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu (SNI 03-1737-1989). Tebal nominal minimum Laston (AC) adalah 4 – 7,5 cm (Spesifikasi Umum 2018) 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. Lapisan ini harus memiliki permukaan yang rata dan nyaman serta memiliki kekesatan yang tinggi karena merupakan lapisan yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan.

- b. Laston sebagai lapisan antara**, dikenal dengan nama AC-BC (*AsphaltConcrete-Binder Course*), dengan tebal nominal minimum adalah 6 cm. Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan atau regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan dibawahnya yaitu *Base* dan *Sub Grade*.

- c. Laston sebagai lapisan pondasi**, dikenal dengan nama AC-Base (*AsphaltConcrete-Base*), dengan tebal nominal minimum adalah 7,5 cm. Lapisan ini berfungsi untuk memberi dukungan atau menerima beban kendaraan darilapisan AC-BC untuk selanjutnya diteruskan kembali ke lapisan pondasi bawah.

C. Bahan Penyusun Campuran Aspal Beton

Bahan penyusun campuran lapis aspal beton yaitu agregat halus, agregat kasar, aspal, dan filler. Dalam proses perancangan perkerasan jalan, bahan penyusun campuran aspal beton menjadi bagian yang diutamakan dalam pertimbangan analisis parameter perancangan. Hal ini karena salah satu parameter kekuatan konstruksi jalan terletak pada pemilihan material penyusun yang tepat (Saodang, 2005). Berikut adalah penjelasan masing-masing bahan penyusun campuran aspal beton:

1. Agregat

Agregat atau batu adalah material berbutir yang keras dan kompak, yang mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu dan pasir. Agregat digunakan sebagai bahan campuran beraspal, membentuk suatu kombinasi ikatan yang seimbang di antara pembentuk campuran beraspal, mortar atau beton (Tarmizi, Saleh, & Isya, 2018).

Agregat harus mempunyai gradasi yang baik dan memenuhi syarat agar seluruh massa beton dapat berfungsi secara utuh, homogen dan padat, dimana agregat yang berukuran kecil dapat mengisi rongga-rongga yang ada diantara agregat yang berukuran besar.

- a. Agregat yang akan digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar campuran beraspal, yang proporsinya dibuat sesuai dengan rumusan campuran kerja, memenuhi semua ketentuan yang disyaratkan dalam Tabel 2.1, sampai dengan Tabel 2.1, tergantung campuran mana yang dipilih.
- b. Agregat tidak boleh digunakan sebelum disetujui terlebih dahulu oleh Pengawas Pekerjaan. Bahan harus ditumpuk sesuai dengan ketentuan.
- c. Sebelum memulai pekerjaan Penyedia Jasa harus sudah menumpuk setiap fraksi agregat pecah dan pasir untuk campuran beraspal, paling sedikit untuk kebutuhan satu bulan dan selanjutnya tumpukan persediaan harus dipertahankan paling sedikit untuk kebutuhan campuran beraspal satu bulan berikutnya.
- d. Dalam pemilihan sumber agregat, Penyediaan Jasa dianggap sudah memperhitungkan penyerapan aspal oleh agregat. Variasi kadar aspal akibat

tingkat penyerapan aspal yang berbeda, tidak dapat diterima sebagai alasan untuk negosiasi kembali harga satuan dari campuran beraspal.

- e. Penyerapan air oleh agregat maksimum 2% untuk SMA dan 3% untuk yang lain.
- f. Berat jenis (Specific gravity) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2 (Spesifikasi Umum Bina Marga 2018).

2. Agregat Kasar

- a. Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Tabel 2.1.
- b. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan seperti ditunjukkan pada Tabel 2.1.
- c. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel 2.1. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut SNI 7619:2012.
- d. Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok keinstalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (cold bin feeds) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.

Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar (Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)

Pengujian			Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
		Magnesium Sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90*)
		Lainnya		95/90**)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Catatan:

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

3. Agregat Halus

- Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.

- b. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi campuran aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold binfeeds*) yang terpisah sehingga gradasi gabungan dan presentase pasir di dalam campuran dapat dikendalikan dengan baik.
- c. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Batu pecah halus harus diperoleh dari batu yang memenuhi ketentuan mutu dalam. Untuk memperoleh agregat halus yang memenuhi ketentuan diatas:
 - 1. Bahan baku untuk agregat halus dicuci terlebih dahulu secara mekanis sebelum dimasukkan ke dalam mesin pemecah batu, atau
 - 2. Digunakan scalping screen dengan proses berikut ini:
 - a. Fraksi agregat halus yang diperoleh dari hasil pemecah batu tahap pertama (*primary crusher*) tidak boleh langsung digunakan.
 - b. Agregat yang diperoleh dari hasil pemecah batu tahap pertama (*primary crusher*) harus dipisahkan dengan *vibro scalping screen* yang dipasang di antara *primary crusher* dan *secondary crusher*.
 - c. Material tertahan *vibro scalping screen* akan dipecah oleh *secondary crusher* hasil pengayakan dapat digunakan sebagai agregat halus.
 - d. Material lolos *vibro scalping screen* hanya boleh digunakan sebagai komponen material Lapis Fondasi Agregat.

- e. Agregat halus harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus (Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)

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

4. Bahan Pengisi (Filler)

Filler yang artinya sebagai bahan pengisi dapat dipergunakan debu, batu kapur, debu kapur padam, semen atau mineral yang berasal dari asbuton yang sumbernya disetujui oleh direksi pekerjaan (Utami, Sastra, dan Zulkarnain, 2020). Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian adalah semen. Bahan pengisi (filler) harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastis. Fungsi filler dalam campuran adalah sebagai berikut:

- Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang. *Filler* dan aspal secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar.

- b. Mengisi ruang antara agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

5. Aspal

Bitumen adalah zat perekat material (*viscous cementitious material*), berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh di alam atau pun sebagai hasil produksi. Bitumen dapat berupa aspal, tar, atau pitch. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi, tar adalah hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batubara, minyak bumi, kayu, atau material organik lainnya, sedangkan pitch diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional tar. Tar dan pitch tidak diperoleh di alam, namun merupakan produk kimiawi. Dari ketiga jenis bitumen tersebut di atas, hanya aspal yang umum digunakan untuk sebagai bahan pembentuk perkerasan jalan, sehingga seringkali bitumen disebut sebagai aspal (Sukirman 2003).

Aspal yang digunakan untuk bahan perkerasan jalan terdiri beberapa jenis (Saodang, 2005):

a. Aspal alam

Aspal alam terbentuk apabila deposit minyak mentah dalam perut bumi terdestilasi secara alami. Aspal ini bisa muncul ke permukaan bumi melalui celah/retakan. Apabila aspal yang muncul ke permukaan yang berupa lembah maka terbentuk deposit aspal alam yang disebut aspal danau. Sedangkan apabila aspal yang muncul ke permukaan bumi dan meresap kedalam batuan porus akan terbentuk aspal gunung. Di Indonesia terdapat aspal alam yang disebut aspal batu buton atau asbuton. Aspal alam ini terjadi karena adanya minyak bumi yang mengalir keluar melalui

retak-retak kulit bumi. Setelah minyak menguap, maka tinggal aspal yang melekat pada batuan yang dilalui.

b. Aspal minyak (*petroleum asphalt*)

Berbentuk padat atau semi-padat sebagai cikal bakal bitumen, yang diperoleh dari penirisan minyak. Aspal minyak dibedakan menjadi:

1. Aspal keras-panas (*asphaltic-cement, AC*)

Aspal ini berbentuk padat pada temperatur ruangan. Di Indonesia aspal semen dibedakan dari nilai penetrasinya, misal: AC dengan penetrasi 40/50, 60/70, 85-100. Aspal dengan penetrasi rendah digunakan di daerah cuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal dengan penetrasi tinggi digunakan ditempat bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah.

2. Aspal dingin-cair (*cut-back asphalt*)

Aspal ini digunakan dalam keadaan cair dan dingin. Aspal dingin adalah campuran pabrik antara aspal panas dengan bahan pengencer dari hasil penyulingan minyak bumi.

3. Aspal emulsi (*emulsion asphalt*) Disediakan dalam bentuk emulsi, dapat digunakan dalam keadaan dingin. Terdapat dua jenis emulsi, yaitu aspal emulsi asam (kationik) yaitu emulsi bermuatan arus listrik positif dan aspal emulsi alkali (anionik) yaitu emulsi bermuatan arus listrik negatif.

D. Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan (Sukirman, 2003).

Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran.

Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga atau berpori banyak, karena tidak terdapat agregat berukuran lebih kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi dari agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, maka rongga pori yang terjadi sedikit. Hal ini disebabkan karena rongga yang terbentuk oleh susunan agregat berukuran besar, akan diisi oleh agregat yang berukuran kecil.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.3 Rancangan dan Perbandingan Campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.3

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 11No.30 (0,600 mm). Bilamana gradasi yang diperoleh tidak memenuhi kesenjangan yang disyaratkan Tabel 2.3 di bawah ini.

Tabel 2.3 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal (Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Aspal (SMA)			Laston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1"	25			100				100	90-100
3/4"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90

1/2"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
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

E. Karakteristik Campuran Aspal Beton

Terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal yakni sebagai berikut (Sukirman, 2003):

1. Stabilitas

Stabilitas yaitu kekuatan dari campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban tetap dan berulang tanpa mengalami keruntuhan (*plastic flow*). Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan sebagian besar merupakan kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar dibandingkan dengan jalan yang volume lalu lintasnya hanya terdiri dari kendaraan penumpang saja. Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan antara lain: agregat bergradasi baik, rapat, dan mempunyai rongga antar butiran agregat VMA (*void in the mineral aggregate*) minimal sebesar 15%. Namun VMA yang kecil maka pemakaian aspal yang banyak akan menyebabkan terjadinya bleeding karena aspal tidak dapat menyelimuti agregat dengan baik.

2. Durabilitas

Durabilitas yaitu ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh cuaca, air, perubahan suhu, maupun keausan akibat gesekan roda kendaraan. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas, dan durabilitasnya menurun. Untuk mencapai ketahanan yang tinggi diperlukan rongga dalam campuran VIM (*void in the mix*) yang kecil, sebab dengan demikian udara tidak (atau sedikit) masuk kedalam campuran yang dapat menyebabkan menjadi rapuh. Selain itu diperlukan juga VMA yang besar, sehingga aspal dapat menyelimuti agregat lebih baik.

3. Kelenturan (*Fleksibilitas*)

Fleksibilitas yaitu kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa mengalami retak (*fatigue cracking*) ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Untuk mencapai kelenturan yang tinggi diperlukan VMA yang besar, VIM yang kecil, dan pemakaian aspal dengan penetrasi tinggi ataupun dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka

4. Kekesatan (*skid resistance*)

Kekesatan yaitu kemampuan perkerasan aspal memberikan permukaan yang

cukup kesat sehingga kendaraan yang melaluinya tidak mengalami slip, baik diwaktu jalan basah maupun kering. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Untuk mencapai kekesatan yang tinggi perlu pemakaian kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi bleeding, dan penggunaan agregat kasar yang cukup.

5. Kedap air (*impermeabilitas*)

Kedap air yaitu kemampuan beton aspal untuk tidak dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan saat menjadi indikator kekedapan air campuran. Tingkat kedap air beton aspal berbanding terbalik dengan tingkat durabilitasnya.

6. Ketahanan leleh (*fatigue resistance*)

Ketahanan leleh yaitu kemampuan aspal beton untuk mengalami beban berulang tanpa terjadi kelelahan berupa retak atau kerusakan alur (*rutting*).

7. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Workabilitas yaitu kemudahan campuran aspal untuk diolah. Faktor yang mempengaruhi *workabilitas* antara lain gradasi agregat, dimana agregat yang

bergradasi baik lebih mudah dikerjakan, dan kandungan *filler*, dimana *filler* yang banyak akan mempersulit pelaksanaan.

F. Metode Pengujian Marshall

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode marshall. Konsep *marshall test* dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insiyur perkerasan pada *Mississippi State Highway*. Pada tahun 1948 *US Cops of Engineering* meningkatkan dan menambah beberapa kriteria pada prosedur tesnya, terutama kriteria rancangan campuran. Sejak itu tes ini banyak diadopsi oleh berbagai organisasi dan pemerintahan dibanyak negara, dengan beberapa modifikasi prosedur ataupun intepretasi terhadap hasilnya. Untuk mendapatkan mutu aspal beton yang baik, dalam proses perencanaan campuran harus memperhatikan karakteristik campuran aspal beton. Menurut Direktorat Jendral Bina Marga (1999) dalam Pedoman Teknik No. 025/T/BM/1999, kinerja campuran beraspal ditentukan oleh volumetrik campuran (padat) yang terdiri atas:

1. Berat jenis bulk dari total agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda. Berikut adalah rumus untuk mencari berat jenis bulk ($G_{sbtotal}$):

$$G_{sbtotal} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{\frac{p_1}{G_{sb1}} + \frac{p_2}{G_{sb2}} + \frac{p_3}{G_{sb3}} + \dots + \frac{p_n}{G_{sbn}}} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

$G_{satotal}$ = Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

P1, P2, P3 = Persentase berat dari masing-masing agregat, (%) G_{sa1} , G_{sa2} ,

Gsa3 = Berat jenis semu masing-masing agregat, (gr/cc)

2. Berat jenis semu dari total agregat

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

$$G_{s\text{total}} = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + \dots + p_n}{\frac{p_1}{G_{sa1}} + \frac{p_2}{G_{sa2}} + \frac{p_3}{G_{sa3}} + \dots + \frac{p_n}{G_{san}}} \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

G_stotal = Berat jenis semu agregat gabungan, (gr/cc)

P₁, P₂, P₃ = Persentase berat dari masing-masing agregat, (%)

G_{sa}1, G_{sa}2, G_{sa}3 = Berat jenis semu masing-masing agregat, (gr/cc)

3. Berat jenis efektif agregat

Berat jenis efektif total agregat, rongga dalam partikel agregat yang menyerap aspal, dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{se} = \frac{G_{sb} + G_{sa}}{2} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

G_{se} = Berat jenis efektif total agregat, (gr/cc)

G_{sb} = Berat jenis bulk agregat gabungan, (gr/cc)

G_{sa} = Berat jenis semu masing-masing agregat, (gr/cc)

4. Berat jenis maksimum campuran

Berat jenis maksimum campuran diperlukan untuk mencari atau menghitung kadar rongga udara dalam campuran. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Berikut

adalah rumus yang digunakan untuk mencari nilai dari berat jenis maksimum campuran:

$$Gmm = \frac{pmm}{\frac{ps}{Gse} + \frac{pb}{Gsb}} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

Gmm = Berat jenis maksimum campuran, (gr/cc)

Pmm = Persentase berat total campuran, (100)

Ps = Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran, (%)

Pb = Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran, (%)

Gse = Berat jenis efektif total agregat, (gr/cc)

Gsb = Berat jenis bulk agregat gabungan, (gr/cc)

5. Kepadatan (*density*)

Kepadatan (*density*) merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Nilai kepadatan (*density*) dihitung dengan rumus berikut ini:

$$\text{Kepadatan} = \frac{Wm}{Wmsd - Wmpw} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

Wm = Berat benda uji setelah dipadatkan, (gr)

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

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

6. VIM (*void in the mix*)

VIM (*void in the mix*) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Berikut rumus menghitung nilai

$$VIM = 100 - \frac{\text{Berat Isi Benda}}{G_{mm}} \times 100 \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

VIM = Persentase rongga udara pada campuran, (%)

G_{mm} = Berat benda uji ssd setelah dipadatkan, (gr/cc)

Berat Isi Benda = Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

7. VMA (*void in mineral aggregate*)

VMA (*void in mineral aggregate*) merupakan kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Nilai VMA dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VMA = 100 - \frac{\text{Berat Isi Benda (100-kadar aspal)}}{G_{sb}} \dots\dots\dots (7)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara pada campuran, (%)

G_{sb} = Berat benda uji ssd setelah dipadatkan, (gr)

Berat isi benda = Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan, (gr/cc)

Kadar aspal = Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran, (%)

8. VFA (*void filled with asphalt*)

VFA (*void filled with asphalt*) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$VFA = \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \times 100 \dots\dots\dots (8)$$

Keterangan:

VFA = Persentase rongga udara yang terisi aspal, (%)

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

VIM = Persentase rongga udara pada campuran, (%)

9. Stabilitas

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

$$S = p \times q \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan:

S = Nilai stabilitas, (kg)

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi tebal benda uji

Tabel 2.4 Faktor koreksi stabilitas (Sumber: SNI 06-2489-1991)

Isi Benda Uji (cm ³)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200-213	25,4	5,56
214-225	27,0	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	3,33
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50

329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46,0	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	65,1	0,96
536-546	66,7	0,93
547-559	68,3	0,89
560-573	69,9	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

10. Pelelehan (*flow*)

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

11. Marshall quotient (MQ)

Marshall quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Berikut adalah rumus untuk mencari nilai marshall quotient:

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan:

MQ = Nilai *marshall quotient*, (kg/mm)

S = Nilai stabilitas, (kg)

F = Nilai *flow*, (mm)

G. Persyaratan Sifat Aspal dan Campuran Laston

1. Persyaratan sifat aspal

Bahan aspal berikut yang sesuai dengan table 2.5 dapat digunakan. Bahan pengikat ini dicampur dengan agregat sehingga menghasilkan campuran beraspal sebagaimana mestinya sesuai dengan yang disyaratkan spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dalam table 2.6. Aspal yang akan dicampurkan kedalam komposisi beton aspal haruslah sesuai dengan persyaratan seperti pada table 2.5 sebagai berikut.

Tabel 2.5 Ketentuan untuk aspal keras (Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				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 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	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	≥ 232	
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASTHO T44-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	-	
9	Stabilitas penyimpanan perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	≤ 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	≤ 0,8	≤ 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 osilasi 10 red/detik ≤ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

2. Persyaratan sifat campuran laston

Campuran laston terdiri dari aspal, agregat, dan bahan pengisi. Berikut adalah persyaratan sifat-sifat campuran laston pada table 2.6

Tabel 2.6 Ketentuan sifat-sifat campuran laston (Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
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
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah	Min	90		

H. Penelitian Terdahulu

1. Fani.L A, dan kawan-kawan, 2019. "Pemanfaatan Agregat Sungai Wanggar Kabupaten Nabire Sebagai Bahan Campuran AC-WC dan AC-BC" Penelitian ini dilakukan untuk menguji karakteristik campuran Laston AC-WC dan AC-BC dengan batu dan pasir dari Sungai Wanggar. Metodologi dalam penelitian ini adalah melakukan serangkaian pengujian karakteristik berupa agregat kasar, halus dan filler lalu merancang komposisi campuran kemudian pembuatan benda uji berupa campuran Laston AC-WC dan AC-BC serta pengujian Marshall untuk mendapatkan karakteristik campuran dan pengujian Marshall Immertion untuk mendapatkan Indeks Perendaman (IP) / Indeks

Kekuatan Sisa (IKS) / Durabilitas campuran yang berkadar filler optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan dengan menggunakan batu apung sebagai filler memenuhi spesifikasi sebagai bahan lapisan perkerasan jalan. Melalui uji Marshall diperoleh karakteristik campuran Laston AC-WC dengan kadar aspal 6,50% dan Laston AC-BC dengan kadar aspal 5,14%. Hasil pengujian Marshall Immersion campuran Laston AC-WC dan Laston AC-BC mendapatkan Indeks Perendaman (IP) / Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebesar 95,11% dan 94,41% yang berarti melampaui syarat batas yaitu $\geq 90\%$ sehingga campuran tahan terhadap perendaman dalam air.

2. Rahmat As'ari, dan kawan-kawan, 2023. "Variasi Penggunaan Agregat Kasar Kerikil Dan Batu Pecah Pada Campuran Aspal Beton AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall" Pada perkerasan lentur dengan lapisan permukaan aspal beton, salah satu material yang berperan penting adalah agregat, dimana memiliki peranan sebagai penyangga kekuatan struktural terbesar pada campuran. Didalam penelitian ini agregat kasar yang digunakan yaitu batu kerikil dan batu pecah. Pelaksanaan penelitian ini meliputi beberapa tahapan yaitu pemeriksaan properti material, mencari kadar aspal rencana, pembuatan benda uji dengan variasi penggunaan agregat kasar kerikil dan batu pecah dengan penggunaan agregat kasar kerikil sebesar 0%, 15%, 20%, 25%, 30% dan 35%, dimana untuk mengetahui pengaruh komposisi penggunaan agregat kasar kerikil sebagai material campuran aspal beton AC – WC terhadap karakteristik marshall agar tetap memenuhi persyaratan binamarga.

Penggunaan agregat kasar kerikil mempengaruhi karakteristik marshall yang menyebabkan terjadinya penurunan pada nilai rongga (VMA, VIM, VFA), marshall quotient (MQ), flow, dan peningkatan pada nilai stabilitas dan kepadatan sampel uji dari nilai keadaan sampel normal/kadar 0%, dan memenuhi persyaratan bina marga. Komposisi yang terbaik adalah pada komposisi agregat kasar kerikil 15% dengan nilai VMA (15,13%), VIM (4,05%), VFA (73,23%), flow (3,17 mm/cc), MQ (406,54 kg/mm), stabilitas (1253,89 kg/mm) dan kepadatan (2,39 gr/cc).

3. Irene Sion Kondo Sosang, dan kawan-kawan, 2020. "Pemanfaatan Agregat Sungai Mawa Kecamatan Cendana Dalam Campuran AC-WC" Penelitian ini di maksudkan untuk menguji karakteristik campuran AC-WC dengan memanfaatkan agregat dari sungai Mawa Kecamatan Cendana. Metode dalam penelitian ini adalah melakukan serangkaian pengujian karakteristik berupa agregat halus, kasar, dan filler lalu merancang komposisi campuran kemudian pembuatan benda uji berupa campuran AC-WC serta pengujian Marshall untuk mendapatkan karakteristik campuran dan pengujian Marshall Immersion untuk mendapatkan Indeks Perendaman (IP) / Indeks Kekuatan Sisa (IKS) / Durabilitas campuran yang berkadar aspal optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan berupa agregat dari sungai Mawa Kecamatan Cendana memenuhi spesifikasi sebagai bahan lapisan permukaan jalan. Melalui uji Marshall diperoleh karakteristik campuran AC-WC dengan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% memenuhi persyaratan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga

Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018. Hasil pengujian Marshall Immersion campuran AC-WC pada kadar aspal optimum 7% mendapatkan Indeks Perendaman (IP) / Indeks Kekuatan Sisa (IKS) / Durabilitas campuran sebesar 94,81% yang berarti melampaui syarat batas yaitu $\geq 90\%$ sehingga campuran tahan terhadap perendaman dalam air.

4. Ingrid Max Batara, dan kawan-kawan, 2020. "Pemanfaatan Agregat Sungai Lamasi Kabupaten Luwu Sebagai Campuran Lapisan Aspal Beton AC-WC" Penelitian ini dimaksudkan untuk pengujian karakteristik campuran Laston AC-WC yang menggunakan batu sungai dari Kabupaten Luwu. Metode dalam penelitian ini adalah melakukan serangkaian pengujian karakteristik agregat kasar, halus, dan filler kemudian merancang komposisi campuran Laston AC- WC serta pengujian Marshall untuk mendapatkan katakteristik campuran dan pengujian Marshall immertion untuk memperoleh indeks perendaman (IP) / Indeks kekuatan sisa (IKS)/ durabilitas campuran berkadar aspal optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan berupa batu sungai dari Kabupaten Luwu, memenuhi spesifikasi sebagai bahan lapisan perkerasan jalan. Melalui Uji Marshall diperoleh karakteristik campuran Laston AC-WC dengan kadar aspal 5,50%, 6,00%, 6,50%, 7,00%, 7,50%. Hasil pengujian marshall immertion campuran laston AC-WC dengan kadar aspal optimum 7,50 % diperoleh Indeks Perendaman (IP) / Indeks Kekuatan Sisa (IKS) 95,37%, memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6.

5. Ovelia Gizella Mandang, dan kawan-kawan, 2019. "Kajian Penggunaan Agregat Batu Gunung Untuk Bahan Campuran AC (Studi Kasus Agregat Desa Molobog Dan Desa Kakaskasen)" Campuran aspal panas pada umumnya terdiri dari $\pm 95\%$ agregat dan $\pm 5\%$ aspal dimana agregat sebagai komponen terbesar menentukan kemampuan perkerasan dan aspal sebagai bahan pengikat dari agregat. Agregat yang baik digunakan untuk perkerasan jalan dilihat dari nilai berat jenis dan penyerapan serta abrasi. Akan tetapi tidak semua material local yang berasal dari daerah tertentu memenuhi spesifikasi. Untuk itu demi mengurangi biaya konstruksi maka agregat dengan kualitas yang baik sedapat mungkin diperoleh dari sumber terdekat dari lokasi pekerjaan. Oleh karena itu sifat – sifat fisik dan mekanik agregat dalam campuran sangat perlu di perhatikan agar mendapatkan campuran yang kuat dan tahan lama. Campuran aspal panas merupakan satu jenis dari lapis perkerasan lentur yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat. Dalam campuran aspal panas agregat merupakan factor utama penentu dari kinerja campuran. Agregat dari batu sungai ataupun batu gunung bisa digunakan sebagai material perkerasan jalan apabila memenuhi syarat spesifikasi yang berlaku. Penelitian ini menggunakan agregat batu gunung yang berasal dari desa Molobog dan desa Kakaskasen dengan bahan pengikat aspal penetrasi 60/70. Pemeriksaan awal agregat dilakukan untuk menentukan apakah agregat dari Molobog dan agregat dari Kakaskasen memenuhi syarat untuk digunakan dalam campuran aspal panas. Selanjutnya dilakukan rancangan campuran berdasarkan komposisi gradasi gabungan yang telah dibuat dimana

rancangan campuran ini dilakukan untuk menentukan kadar aspal rencana untuk kedua campuran aspal yang menggunakan agregat yang berbeda. Kadar aspal yang diperoleh akan digunakan dalam campuran dan melalui pengujian Marshall akan diperoleh nilai besaran Marshall dan kadar aspal terbaik. Diperoleh dari hasil penelitian ini untuk kedua material yang mempunyai gradasi dan kadar aspal rencana yang sama dan penambahan PC sebesar 1% dengan kadar aspal terbaik 6% untuk material dari Kakaskasen, didapatkan nilai stabilitas sebesar 1297 kg; flow= 3.8mm; VIM = 4.7%; VMA= 15.15%; VFB = 67.60%; density = 2.09 gr/cc; rasio filler = 1.01 dan kadar aspal terbaik 5.6% untuk material dari Molobog didapatkan nilai stabilitas sebesar 1330 kg; flow = 2.7mm; VIM = 4.5%; VMA = 15.3%; VFB = 65.1%; density = 2.156 gr/cc; rasio filler = 1.129. Material yang berasal dari Molobog mendapatkan kadar aspal terbaik 5.6% lebih kecil dibandingkan dengan material dari Kakaskasen yaitu 6% dikarenakan memiliki berat jenis dan penyerapan serta abrasi yang berbeda. Untuk perencanaan campuran beraspal panas khususnya lapis perkerasan AC – BC ini sebaiknya menggunakan material yang mempunyai sifat fisik dan mekanik yang baik agar umur perkerasan jalan tahan lama.

6. Schwarz Y. Pomantow, dan kawan-kawan, 2019. “Kinerja Campuran AC-WC Dengan Menggunakan Agregat Dari Batu Kapur” Kebutuhan material untuk pelaksanaan pembangunan dan pemeliharaan jalan di setiap wilayah di Indonesia terus meningkat, bahkan pada beberapa daerah tertentu yang dimana agregat standar sulit di temukan harus mendatangkan dari luar daerah,

sehingga membutuhkan waktu yang lama dan biaya yang cukup besar. Oleh karena itu, kendala untuk mendapatkan agregat standar dilokasi pekerjaan jalan perlu diatasi. Besarnya deposit material batu kapur yang ada di Indonesia menunjukkan besarnya potensi penerapan teknologi material lokal sub standar, batu kapur untuk campuran perkerasan jalan dalam hal ini pemanfaatan batu kapur sebagai agregat utama. Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang campuran aspal AC-WC dengan menggunakan material Batu Kapur dari berbagai daerah di Indonesia sebagai material utama dengan hasil pengujian marshall yaitu nilai stabilitas 1481,6 kg dan flow 3.6 mm dan penelitian tentang Batu Kapur dari Rau menggunakan campuran aspal AC-WC (Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2017) dengan hasil pengujian marshall yaitu nilai stabilitas 1493,7 kg dan flow 3,7 mm, maka dari hasil penelitian sebelumnya yang sudah di lakukan, akan di lakukan penelitian terhadap material Batu Kapur yang berada di Bolaang Mongondow, Sulawesi Utara Penelitian ini sifatnya mengidentifikasi sampel agregat, diperiksa di laboratorium dengan metode Marshall. Kemudian akan diambil sampel hasil perancangan untuk pemeriksaan Marshall (dibuat benda uji Marshall) kemudian di periksa kriteria Marshall untuk memperoleh kadar aspal optimum. Setelah selesai pada pengujian marshall untuk menentukan kadar aspal, optimum, kemudian di buat benda uji menggunakan kadar aspal optimum yang di dapat lalu divariasikan dengan filler (semen) yang akan di buat sampel untuk mendapatkan hasil dari pengujian Marshall. Dari hasil analisis Marshall, yang dibuat di laboratorium di dapat besaran Marshall

kadar aspal 6,7%, untuk nilai stabilitas = 1377,67 flow = 3,651mm, VIM = 3,991%, VMA = 14,087%, VFB = 71,679%, density = 2,249. Dapat disimpulkan bahwa agregat batu kapur sebagai agregat sub standar dapat di gunakan dalam perkerasan campuran beraspal panas, dan dengan membuat benda uji berdasarkan gradasi yang sesuai dengan ketentuan untuk campuran AC-WC batu kapur.

7. Heri Wahyudiono, dan kawan-kawan, 2020. "Modifikasi Laston AC-WC Menggunakan Limbah Bongkaran Beton" Penggunaan bahan baku sebagai bahan perkerasan jalan pada umumnya menggunakan bahan yang masih terbilang umum. Peneliti mencoba menggunakan material alternatif sebagai pengganti agregat yang terus menerus dieksploitasi. Penelitian ini menggunakan beton bongkaran agregat halus yang telah dihancurkan. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan variasi kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%. Pengujian ini menggunakan metode Marshall yang menjadi dasar perhitungan nilai stabilitas dan flow. Pada uji Marshall hasil pengujian tabel karakteristik nilai VMA tertinggi dengan aspal 6% dengan nilai 19,87%, nilai VIM tertinggi dengan aspal 6% dengan nilai 7,91 Nilai VFB tertinggi dengan aspal 6,5% dengan nilai 89,62 Nilai % stabilitas dengan aspal 7% dengan nilai 3538 kg, untuk nilai flow tertinggi dengan aspal optimum berada pada 7,5% dan 8% dari nilai VIM, VMA, VFB, STABILITAS, dan MQ.
8. Gabriel Pabia Palimbunga, dan kawan-kawan, 2020. "Penggunaan Agregat Sungai Batu Tiakka' pada Campuran AC-BC" Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik penggunaan agregat Sungai Batu Tiakka'

dalam Campuran AC-BC. Metode dalam penelitian ini adalah melakukan serangkaian pengujian karakteristik agregat kasar, halus, dan *filler* kemudian merancang komposisi campuran AC-BC serta pengujian *Marshall* untuk mendapatkan karakteristik campuran dan pengujian *Marshall immersion* untuk memperoleh indeks kekuatan sisa (IKS) dengan menggunakan kadar aspal optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik bahan perkerasan berupa agregat Sungai Batu Tiakka Kecamatan Saluputti memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebagai bahan lapisan perkerasan jalan. Melalui uji *Marshall* diperoleh karakteristik campuran AC-BC dengan kadar aspal 5,00%, 5,50%, 6,00%, 6,50%, 7,00%. Hasil pengujian *Marshall immersion* campuran AC-BC dengan kadar aspal optimum 7,00% diperoleh Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebesar 93,47% yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu 90%. Di mana hasil penelitian ini dapat ditarik kesimpulan bahwa agregat Sungai Batu Tiakka Kecamatan Saluputti dapat digunakan sebagai bahan perkerasan jalan dalam campuran AC-BC karena memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

9. Mas Nurjana. 2020. "Optimasi Kadar aspal Pertamina Terhadap Karakteristik Aspal Beton (AC-BC) Menggunakan Variasi Agregat Batuan Lokal Gunung Balapulang". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *Marshall* menggunakan bahan pengikat aspal Pertamina AC 60/70 dengan menggunakan *Flow* (kelelahan), *VIM* (*Void In Mix*), *VMA* (*Void In Mineral Agregate*) *VFB* (*Void Filled Bitumen*) dan *Marshall Quotient* (MQ). Penelitian ini menggunakan metode pengujian campuran beraspal panas (*Hot*

Mix) dengan metode *Marshall*. Penelitian ini Terdiri dari 5 Varian dan masing-masing varian menggunakan kadar aspal yang berbeda antara lain 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%. Dan perkadar dibuatkan masing-masing 3 sample benda uji. Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik sipil Universitas Pancasakti Tegal dan Laboratorium PT, Nisaana Hasna Rizky. Tahapan pengujian meliputi Pemeriksaan Agregat Agregat kasar dan agregat halus), pemeriksaan aspal AC 60/70, Pemeriksaan filler, pembuatan benda uji campuran beton aspal dan pengujian marshall. Hasil uji kinerja karakteristik Marshall didapat kadar Optimum 5,5% dan hasil rata Stabilitas Marshall 1550,0 kg, nilai rerata *Flow* (kelelehan) 4,00 mm, nilai *Density* (kepadatan) 2,340 gr/cc, nilai VMA (*Void In Mineral Agregate*) 14,40%, nilai rerata Vim (*Void In Mix*) 3,70%, nilai rerata VFB (*void Filled Bitumen*) 76,20%, dan nilai rerata *Marshall Quotient* (MQ) 440,0 kg/mm

10. Nauval Rizky. 2021. "Pengaruh Substitusi Styrofoam Pada Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall". Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui adanya nilai perbandingan karakteristik aspal yang menggunakan substitusi *Styrofoam* dengan aspal yang tidak menggunakan *Styrofoam*. Aspal yang digunakan pada penelitian adalah aspal dengan penetrasi 60/70 dengan Persentase campuran *styrofoam* yang digunakan adalah 2%, 2,5%, dan 3% dari total berat Kadar Aspal Optimum. Pada setiap variasi campuran terdapat 3 benda uji. Dari pengujian yang dilakukan didapatkan nilai kadar aspal optimum sebesar 5,99%. Nilai *bulk*

density pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 2,346 gr/cc, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 2,357 gr/cc, kadar *styrofoam* 3% sebesar 2,356 gr/cc. Nilai *stability* pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 828 kg, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 853 kg, kadar *styrofoam* 3% sebesar 878 kg. Nilai VIM pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 3,66%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 3,20%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 3,25%. Nilai VFA pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 76,42%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 78,08%, kadar *styrofoam* 3% sebesar 78,94%. Nilai VMA pada kadar *styrofoam* 2% sebesar 14,9%, kadar *styrofoam* 2,5% sebesar 14,5%, dan kadar *styrofoam* 3% sebesar 15,3%. Nilai flow pada kadar 2%

sebesar 2,47 mm, pada kadar 2,5% sebesar 2,76 mm, kadar 3% sebesar 3,01 mm. Aspal dengan campuran *styrofoam* memenuhi nilai spesifikasi.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan penelitian metode eksperimental, yaitu penelitian ini dilakukan dilaboratorium yang bertujuan untuk menyelidiki sebab akibat antara satu sama lain. Proses penelitian ini dilakukan dengan serangkaian pengujian terhadap karakteristik bahan yang digunakan dengan persyaratan yang ditentukan. Selanjutnya dibuat 2 buah sampel masing-masing dengan kadar aspal bervariasi untuk menentukan Kadar Aspal Optimum.

B. Lokasi dan Waktu

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare selama 2 bulan mulai dari bulan Juli sampai dengan bulan Agustus 2023. Adapun lokasi pengambilan material yaitu dari Pegunungan Lembang Bau, Kecamatan Bonggakaradeng, Kabupaten Tana Toraja.

C. Bahan dan Alat

1. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. Agregat kasar yang digunakan berasal dari Gunung Lembang Bau, Kecamatan Bonggakaradeng, Kabupaten Tana Toraja.
- b. Agregat halus yang digunakan berasal dari Gunung Lembang Bau, Kecamatan Bonggakaradeng, Kabupaten Tana Toraja.

- c. *Filler* atau material lolos saringan No. 200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen (*Portland Cement*).
- d. Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal keras penetrasi 60/70.

2. Alat

Peralatan yang akan digunakan untuk melakukan pemeriksaan material yaitu:

- a. Alat untuk pemeriksaan agregat, terdiri dari:

1. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram
2. Oven
3. Keranjang
4. Talang
5. Piknometer/gelas ukur, dengan kapasitas 500 ml
6. Mesin *Los Angeles*
7. Bola-bola baja
8. Satu set saringan: 1½", 1", ¾", ½", 3/8", 4, 8, 16, 30, 50, 100, 200, Pan.
9. Sendok material.
10. Mesin penggetar untuk saringan (*sieve shaker*).

- b. Alat untuk pemeriksaan aspal, terdiri dari:

1. Termometer
2. Kompor gas
3. Piknometer
4. Bejana gelas, tahan terhadap pemanasan mendadak
5. Timbangan
6. Cincin kuningan

7. Bola baja
 8. Dudukan benda uji, lengkap dengan pengarah bola baja dan plat dasar.
 9. Alat penetrasi
 10. Pengukur waktu (*stopwatch*)
- c. Alat untuk pengujian marshall, terdiri dari:
1. Kompok
 2. Wajan dan sodek
 3. Cetakan (*mold*) berbentuk silinder
 4. Penumbuk (*compactor*)
 5. Pengangkat briket (dongkrak hidrolis)
 6. *Water bath*
 7. Satu set alat marshall terdiri dari kepala penekan yang berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 2500 kg dengan arloji tekan, dan arloji penunjuk kelelahan.

D. Prosedur Pengujian

Tahap pemeriksaan bahan material agregat dan aspal. Berikut pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi:

1. Pemeriksaan karakteristik agregat kasar

- a. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis kering semu (*apparent*), serta untuk mengetahui persentase berat air yang terkandung (dapat diserap) oleh agregat kasar yang dihitung terhadap berat keringnya. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Siapkan alat dan bahan.
 2. Menyaring benda uji kemudian diambil yang tertahan di saringan No.4 kemudian dicuci untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada agregat.
 3. Benda uji direndam dalam air selama 24 jam.
 4. Setelah direndam selama 24 jam, kemudian dilap dengan kain sampai selaput air permukaan agregat hilang (dalam keadaan kering SSD) kemudian timbang beratnya.
 5. Timbang berat keranjang kosong.
 6. Timbang keranjang dan benda uji dalam air.
 7. Masukkan benda uji dalam oven pada suhu 110°C selama 24 jam dan keluarkan serta dinginkan lalu timbang berat benda uji kering oven.
- b. Keausan agregat kasar (abrasi)

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap gesekan atau benturan (keausan) dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Mengambil benda uji di lapangan kemudian diayak. Tertahan saringan 1/2" diambil sebanyak 2500 gr dan tertahan saringan 3/8" sebanyak 2500 gr jadi total agregat 5000 gr.
2. Benda uji dioven selama $\pm$ 24 jam dengan suhu 110°C, setelah itu dinginkan lalu timbang beratnya.
3. Masukkan benda uji dan bola-bola baja sebanyak 11 biji ke dalam mesin *Los Angeles*. Putar mesin sebanyak 500 putaran.

4. Setelah selesai pemutaran, mengeluarkan benda uji dari mesin kemudian disaring dengan saringan No. 12.
5. Benda uji yang tertahan saringan No. 12 dicuci, lalu dioven selama ± 24 jam dengan suhu 110°C .
6. Mengeluarkan benda uji dari oven, lalu menimbang beratnya.

c. Analisa saringan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Mengambil sampel agregat kasar kemudian dicuci terlebih dahulu, kemudian menimbang berat agregat kasar.
2. Benda uji dikeringkan dalam oven selama dengan suhu selama ± 24 jam dengan suhu 110°C .
3. Benda uji disaring sesuai dengan urutan saringan.
4. Ayak benda uji dengan menggunakan alat penggetar selama 15 menit.
5. Diamkan benda uji sejenak dan menghilangkan debu yang terbang.
6. Timbang agregat yang tertahan diatas tiap saringan.

2. Pemeriksaan karakteristik agregat halus

a. Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis kering semu (*apparent*), serta untuk mengetahui persentase berat air yang terkandung (dapat diserap) oleh agregat halus yang dihitung terhadap berat keringnya. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Mengambil sampel benda uji.
2. Menyaring benda uji yang lewat saringan No. 4 sebanyak 250 gr.
3. Mencuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan lain yang melekat pada permukaan agregat.
4. Merendam benda uji selama ± 24 jam.
5. Setelah 24 jam, benda uji dihampar di udara terbuka sambil di adukaduk sampai diperoleh benda uji kondisi SSD.
6. Timbang picnometer kosong.
7. Mengisi picnometer dengan air, kemudian menimbang picnometer + air kemudian dicatat.
8. Air yang berada dalam picnometer dikeluarkan, kemudian memasukkan sampel kedalam picnometer lalu masukkan air hingga penuh kemudian ditimbang.
9. Mengeluarkan benda uji kemudian di keringkan menggunakan kain.
10. Masukkan benda uji kedalam oven selama 24 jam pada suhu 110°C .
11. Setelah 24 jam, keluarkan benda uji kemudian timbang beratnya.

b. Analisa saringan

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat dengan menggunakan saringan. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Mengambil sampel agregat kasar kemudian dicuci terlebih dahulu, kemudian menimbang berat agregat halus.
2. Benda uji dikeringkan dalam oven selama dengan suhu selama ± 24 jam dengan suhu 110°C .

3. Benda uji disaring sesuai dengan urutan saringan.
4. Ayak benda uji dengan menggunakan alat penggetar selama 15 menit.
5. Diamkan benda uji sejenak dan menghilangkan debu yang terbang.
6. Timbang agregat yang tertahan diatas tiap saringan.

3. Pemeriksaan karakteristik aspal

a. Berat jenis aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan nilai berat jenis bitumen (aspal). Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Memanaskan sampel aspal perlahan-lahan sambil diaduk secara merata hingga mencapai suhu 110 °C.
2. Setelah mencair, aspal dituang kedalam piknometer hingga terisi 2/3 bagian.
3. Mendinginkan sampel dengan cara mendinginkannya beberapa menit 4) Timbang picnometer yang berisi aspal.
4. Masukkan air kedalam picnometer yang sebelumnya telah diisi aspal, isi sampai penuh. Lalu timbang.
5. Bersihkan picnometer sampai tidak ada lagi aspal tersisa didalamnya. Setelah bersih isi air hingga penuh di dalam piknometer, lalu timbang dan catat hasilnya.
6. Membersihkan piknometer, keringkan lalu timbang.

b. Pemeriksaan titik lembek aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan suhu berapa aspal akan mulai melembek atau menentukan nilai atau suhu titik lembek aspal. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Memanaskan sampel aspal perlahan-lahan sambil diaduk secara merata.
 2. Setelah mencair, aspal dituang ke dalam 2 buah cincin di atas pelat kaca.
 3. Mendiamkan 2 buah cincin pada suhu sekurang-kurangnya 8°C di bawah titik lembeknya selama 30 menit.
 4. Setelah dingin, permukaan sampel dalam cincin diratakan dengan pisau yang telah dipanaskan.
 5. Memasang dan mengatur kedua benda uji di atas dudukan dan meletakkan pengarah bola di atasnya kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut ke dalam bejana gelas.
 6. Isi bejana dengan air suling baru, dengan suhu $\pm 5^{\circ}\text{C}$
 7. Meletakkan thermometer di antara kedua benda uji
 8. Meletakkan bola-bola baja yang bersuhu 5°C
 9. Memanaskan bejana sehingga kenaikan suhu menjadi 5°C per menit.
 10. Setelah bola menyentuh dasar bejana akibat pemanasan yang terjadi, percobaan dihentikan lalu hasilnya dicatat.
- c. Pemeriksaan kehilangan berat aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat aspal dengan cara pemanasan yang dinyatakan dalam persen. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Timbang cawan kosong.
2. Memanaskan aspal keras perlahan-lahan serta aduk hingga cukup cair untuk dapat dituangkan.
3. Setelah aspal keras cair merata, tuangkan ke dalam cawan yang telah disiapkan dan diamkan hingga dingin. Setelah dingin timbang benda uji.
4. Setelah sampel aspal ditimbang, cawan + contoh aspal dioven selama ± 5 jam.
5. Sampel didinginkan pada suhu ruang, kemudian ditimbang.

c. Pemeriksaan penetrasi aspal

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan aspal.

Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Memanaskan aspal keras perlahan-lahan serta mengaduk hingga cukup cair dapat dituangkan. Aduk perlahan lahan agar udara tidak masuk kedalam aspal cair.
2. Setelah aspal keras cair merata, tuang ke dalam cawan yang telah disiapkan dan didiamkan hingga dingin.
3. Menutup benda uji agar bebas dari debu dan didiamkan pada suhu ruang selama 1 jam.
4. Memasukkan benda uji dalam bak perendaman yang telah mencapai suhu yang ditentukan. Periksa pemegang jarum agar dapat dipasang dengan baik dan membersihkan jarum penetrasi dengan toluene atau pelarut lain kemudian mengeringkan jarum dengan lap bersih dan memasang jarum pada pemegang jarum.

5. Memindahkan benda uji tersebut pada tempat air yang berada di bawah alat penetrasi.
6. Menurunkan jarum perlahan-lahan sehingga jarum tersebut menyentuh permukaan benda uji.
7. Melepaskan pemegang jarum bersamaan dengan menjalankan *stopwatch* selama jangka waktu yang di tentukan (5 detik).
8. Memutar arloji penetrometer dan membaca angka penetrasi yang berimpit dengan jarum penunjuk. Melepaskan jarum dari pemegang jarum dan menyiapkan alat penetrasi untuk pekerjaan berikutnya.
9. Melakukan pekerjaan diatas 5 kali untuk benda uji yang sama, dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan dan tepi dinding berjarak lebih dari 1 cm.

4. Pengujian marshall

Tujuan dilakukan pengujian marshall adalah untuk mengetahui karakteristik campuran dan menentukan kadar aspal optimum pada campuran. Adapun cara pengujiannya sebagai berikut:

1. Membuka contoh benda uji dari *mold*.
2. Membersihkan kertas kertas filter.
3. Mengukur ketebalan masing masing benda uji dengan 3 sisi.
4. Benda uji ditimbang kering dan benda uji ditimbang dalam air.
5. Benda uji direndam 10-15 menit lalu ditimbang SSD.
6. Benda uji direndam dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 – 40 menit. Selang 5 menit benda uji yang lain dimasukkan lagi. Ulangi langkah 6 sampai benda uji terakhir.

7. Benda uji dimasukkan kedalam *mold* untuk diuji marshallnya.
8. Menyalakan alat uji marshall sampai benda uji rapat pada *proving ring* kemudian mematikan alat lalu nolkan pembacaan.
9. Menyalakan alat kembali sampai jarum pembacaan tidak bergerak lagi atau turun lalu mematikan alat dan catat pembacaan stabilitas dan *flow*.
10. Menormalkan kembali alat lalu keluarkan benda uji.
11. Melakukan analisis berat jenis dan karakteristik campuran.
12. Membuat grafik hubungan kadar aspal dengan karakteristik campuran yang telah dianalisis.
13. Memasukkan data spesifikasi kedalam grafik.
14. Menentukan kadar aspal optimum pada campuran.
15. Menghitung kembali karakteristik campuran berdasarkan grafik dan kadar aspal optimum yang digunakan.

E. Teknik Pengumpulan Data

Dalam teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan pengumpulan data sekunder dan data primer.

1. Pengumpulan data sekunder

Pada tahapan ini yang dilakukan adalah mengumpulkan data standar sesuai dengan spesifikasi yang ada, serta mencari literatur-literatur terkait dengan penelitian yang akan dilaksanakan.

2. Pengumpulan data primer

Pada tahapan ini mengumpulkan data primer dari hasil pengujian di laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare yaitu:

- a. Berat jenis dan penyerapan agregat
- b. Analisis saringan agregat
- c. Pengujian keausan agregat kasar (abrasi)
- d. Pemeriksaan penetrasi
- e. Pemeriksaan titik lembek
- f. Pemeriksaan berat jenis aspal
- g. Pemeriksaan kehilangan berat aspal
- h. Uji Marshall

F. Pembuatan Benda Uji

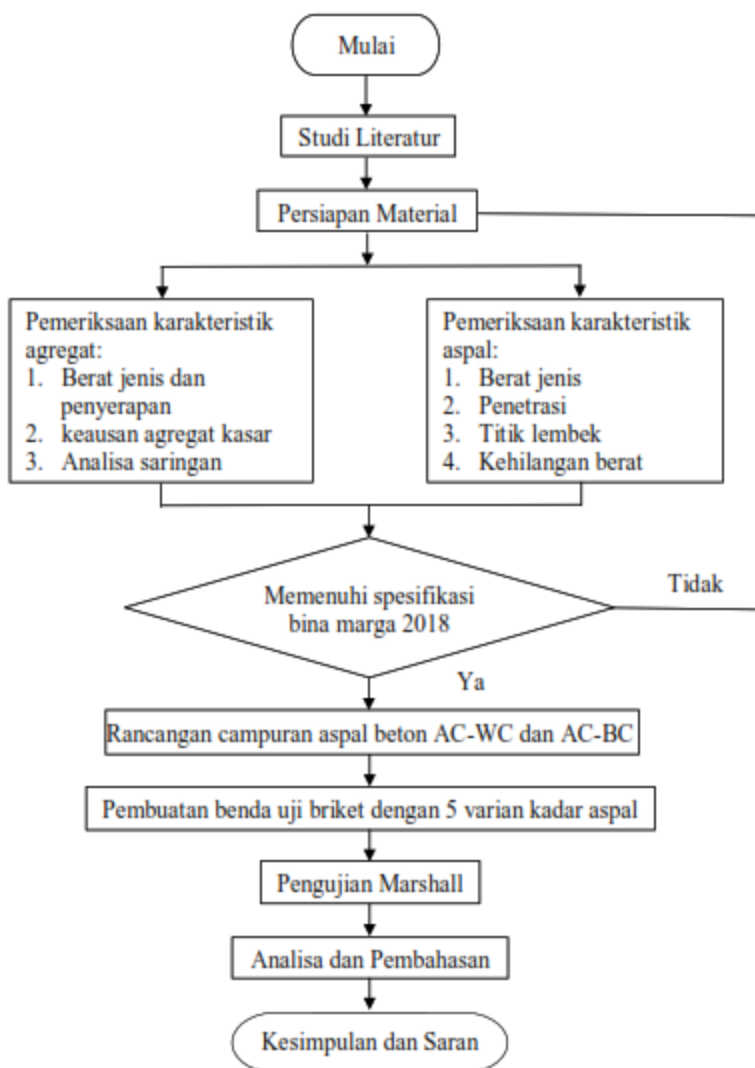
Tabel 3.1 Jumlah dan Variasi Benda Uji

Kode Sampel		Kadar Aspal	Jumlah Sampel	
(AC-WC)	(AC-BC)		(AC-WC)	(AC-BC)
1	1	4.50%	3	3
2	2	5%	3	3
3	3	5.50%	3	3
4	4	6%	3	3
5	5	6.50%	3	3
Jumlah			15	15

G. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data pada penelitian adalah metode marshall. Konsep marshall test dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insiyur perkerasan pada Mississippi State Highway. Untuk mendapatkan mutu aspal beton yang baik, dalam proses perencanaan campuran harus memperhatikan karakteristik campuran aspal beton.

H. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Agregat

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat pada penelitian ini terdiri atas pengujian berat jenis agregat kasar dan halus.

a. Berat jenis agregat kasar 1-2

Hasil pengujian terhadap agregat kasar 1-2 berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut:

Tabel 4.1 Berat jenis dan penyerapan agregat kasar 1-2 (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

No.	Perhitungan	Hasil pemeriksaan	Spesifikasi	Satuan	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,73	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,78			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,88			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1,88	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat kasar 1-2 diatas didapat berat jenis bulk 2.73 gr, berat jenis jenuh kering permukaan 2.78 gr, berat jenis semu 2.88 gr, dan penyerapan 1.88 %. Jadi, dari hasil analisis berat jenis agregat kasar 1-2 telah memenuhi spesifikasi yaitu berat jenis minimum 2.5 gr dan penyerapan air maksimal 3 %.

b. Berat jenis agregat kasar 0,5-1

Hasil pengujian terhadap agregat kasar 0,5-1 berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Berat jenis dan penyerapan agregat kasar 0,5-1 (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

No.	Perhitungan	Hasil pemeriksaan	Spesifikasi	Satuan	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,55	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,63			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,79			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	0,03	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat kasar 0,5-1 diatas didapat berat jenis bulk 2.55 gr, berat jenis jenuh kering permukaan 2.63 gr, berat jenis semu 2.79 gr, dan penyerapan 0,03 %. Jadi, dari hasil analisis berat jenis agregat kasar 0,5-1 telah memenuhi spesifikasi yaitu berat jenis minimum 2.5 gr dan penyerapan air maksimal 3 %.

c. Berat jenis agregat halus (abu batu)

Hasil pengujian terhadap agregat halus (abu batu) berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Berat jenis dan penyerapan agregat halus (abu batu) (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

No.	Perhitungan	Hasil pemeriksaan	Spesifikasi	Satuan	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,50	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,56			Memenuhi

3	Berat jenis semu	2,66			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	2,34	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari hasil pengujian berat jenis agregat halus (abu batu) diatas didapat berat jenis bulk 2.50 gr, berat jenis jenuh kering permukaan 2.56 gr, berat jenis semu 2.66 gr, dan penyerapan 2,34 %. Jadi, dari hasil analisis berat jenis agregat halus (abu batu) telah memenuhi spesifikasi yaitu berat jenis minimum 2.5 gr dan penyerapan air maksimal 3 %.

2. Pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi)

Tabel 4.4 Hasil pengujian agregat kasar (abrasi) 500 putaran (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Saringan		Berat		Spesifikasi
Lolos	Tertahan	Sebelum (gr)	Sesudah (gr)	
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	2500	4216,4	
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	2500	4216,4	
Jumlah Berat (gram)		5000	4216,4	
Berat Tertahan		5000	4216,4	
Berat Tertahan				
Saringan No. 12 (gram)				
Persen Keausan		15.672		Maks. 30%

Dari pengujian agregat kasar (abrasi) menggunakan mesin *Los Angeles* dan diputar sebanyak 500 putaran bersama dengan bola-bola baja sebanyak 11 bola, sehingga diperoleh hasil persen keausan sebesar 15.672 % dan telah memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 30 %.

3. Pemeriksaan analisa saringan agregat

Pemeriksaan analisa saringan agregat pada penelitian ini terdiri atas pengujian analisa saringan agregat kasar dan halus.

a. Analisa saringan agregat kasar 1-2

Tabel 4.5 Hasil analisa saringan agregat kasar 1-2 (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

No. Saringan	SAMPSEL 1			SAMPSEL 2			Rata - Rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	0.00	0.00	100.00	9.90	0.66	99.34	99.67
1/2"	613.70	40.91	59.09	725.20	48.35	50.99	55.04
3/8"	602.40	40.16	18.93	567.90	37.86	13.13	16.03
4	243.60	16.24	2.69	167.90	11.19	1.94	2.31
8	30.30	2.02	0.67	28.50	1.90	0.04	0.35
16	0.10	0.01	0.66	0.10	0.01	0.03	0.35
30	1.30	0.09	0.57	0.00	0.00	0.03	0.30
50	2.00	0.13	0.44	0.00	0.00	0.03	0.24
100	2.70	0.18	0.26	0.00	0.00	0.03	0.15
200	0.90	0.06	0.20	0.00	0.00	0.03	0.12
Pan	3.00	0.20	0.00	0.50	0.03	0.00	0.00
Jumlah	1500.00	100.00		1500.00	100.00		

b. Analisa saringan agregat kasar 0,5-1

Tabel 4.6 Hasil analisa saringan agregat kasar 0,5-1 (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

No. Saringan	SAMPSEL 1			SAMPSEL 2			Rata - Rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	100.00
3/8"	145.00	9.67	90.33	144.50	9.63	90.37	90.35
4	1065.30	71.02	19.31	1045.40	69.69	20.67	19.99
8	273.60	18.24	1.07	304.10	20.27	0.40	0.74
16	6.30	0.42	0.65	4.00	0.27	0.13	0.39
30	1.60	0.11	0.55	0.40	0.03	0.11	0.33
50	2.90	0.19	0.35	0.40	0.03	0.08	0.22
100	2.90	0.19	0.16	0.10	0.01	0.07	0.12
200	0.00	0.00	0.16	0.00	0.00	0.07	0.12
Pan	2.40	0.16	0.00	1.10	0.07	0.00	0.00
Jumlah	1500.00	100.00		1500.00	100.00		

c. Analisa saringan agregat halus (abu batu)

Tabel 4.7 Hasil analisa saringan agregat halus (abu batu) (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

No.Sarin gan	SAMPEL 1			SAMPEL 2			Rata - Rata
	Berat Tertaha n	(%)Terta han	(%)Lol os	Berat Tertaha n	(%)Ter tahan	(%)L olos	
3/4"	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	100.00
1/2"	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00	100.00
3/8"	0.00	0.00	100.00	1.40	0.09	99.91	99.95
4	2.40	0.16	99.84	4.10	0.27	99.63	99.74
8	211.40	14.09	85.75	169.90	11.33	88.31	87.03
16	520.50	34.70	51.05	456.10	30.41	57.90	54.47
30	307.30	20.49	30.56	323.00	21.53	36.37	33.46
50	169.50	11.30	19.26	196.90	13.13	23.24	21.25
100	135.30	9.02	10.24	167.20	11.15	12.09	11.17
200	78.60	5.24	5.00	111.20	7.41	4.68	4.84
Pan	75.00	5.00	0.00	70.20	4.68	0.00	0.00
Jumlah	1500.00	100.00		1500.00	100.00		

B. Hasil Pemeriksaan Aspal

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap aspal AC 60-70, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 dengan menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan data selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4.8 Hasil pengujian aspal (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifika si	Satua n	Ket.
1	Berat jenis aspal	1.02	$\geq 1,0$	gr/cc	Memenuhi
2	Titik lembek aspal	48.50	≥ 48	$^{\circ}\text{C}$	Memenuhi
3	Penetrasi pada 25 $^{\circ}\text{C}$	66.40	60-70	0,1 mm	Memenuhi
4	Kehilangan berat aspal	0.35	$\leq 0,8$	%	Memenuhi

Dari hasil pengujian diatas diperoleh berat jenis sebesar 1.02 gr/cc, titik lembek sebesar 48.50 °C, Penetrasi pada 25°C sebesar 66.40 mm, Kehilangan berat aspal sebesar 0.35 %.

C. Hasil Rancangan Campuran

6. Hasil gradasi agregat gabungan AC-WC

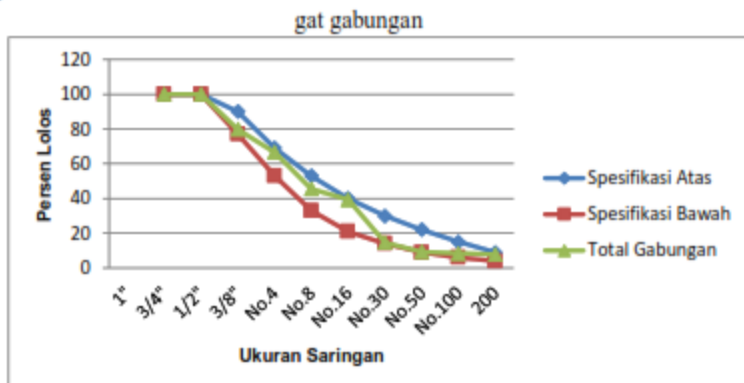
a. Hasil gradasi agregat gabungan

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil gradasi agregat gabungan (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Saringan	Gradasi Agregat				57%			Total	Spek. AC-WC
	ASTM (mm)	Agg. 0.5/1	Abu Batu	semen	Agg 0.5/1	Abu Batu	semen		
1"	25	100,00	100,00	100,00	57,00	37,00	6,00	100,00	
3/4"	19	100,00	100,00	100,00	57,00	37,00	6,00	100,00	100
1/2"	12,5	100,00	100,00	100,00	57,00	37,00	6,00	100,00	100
3/8"	9,5	64,45	100,00	100,00	36,74	37,00	6,00	79,74	77-90
No.4	4,75	41,41	99,76	100,00	23,60	36,91	6,00	66,51	53-69
No.8	2,36	7,54	95,23	100,00	4,30	35,24	6,00	45,53	33-53
No.16	1,18	3,09	85,14	100,00	1,76	31,50	6,00	39,26	21-40
No.30	0,6	1,21	21,20	100,00	0,69	7,85	6,00	14,53	14-30
No.50	0,3	0,39	8,50	100,00	0,22	3,15	6,00	9,37	9-22
No.100	0,15	0,26	6,03	100,00	0,15	2,23	6,00	8,38	6-15
200	0,08	0,07	4,84	100,00	0,04	1,79	6,00	7,83	4-9

Gambar 4.1 Grafik hasil gradasi agregat gabungan



(Sumber: Hasil Pengolahan Data 2023)

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada table diatas. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran AC-WC harus berada di antara batas atas dan batas bawah yang sesuai dengan spesifikasi. Dari hasil gradasi agregat gabungan diatas telah memenuhi batas-batas spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

b. Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji

Dari hasil analisa gradasi agregat gabungan diatas, didapat perhitungan berat agregat yang diperlukan seperti pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji
(Sumber:Hasil Pengolahan Data 2023)

Kadar Aspal (%)	Aspal (gr)	Agregat 0.5-1 (gr)	Abu Batu (gr)	Semen (gr)
4,50	54,00	653,22	424,02	68,76
5,00	60,00	649,80	421,80	68,40
5,50	66,00	646,38	419,58	68,04
6,00	72,00	642,96	417,36	67,68
6,50	78,00	639,54	415,14	67,32

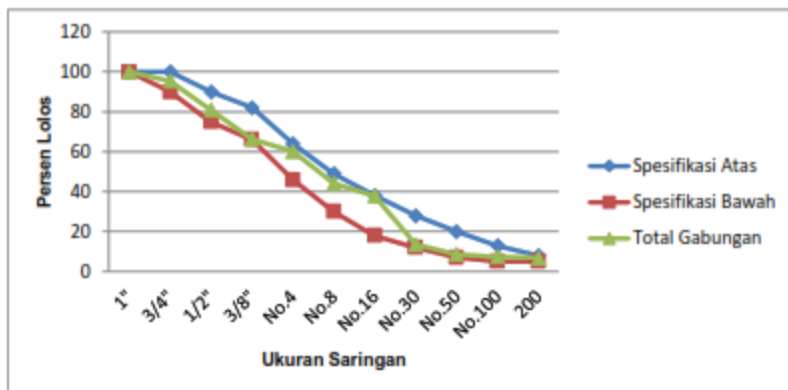
7. Hasil gradasi agregat gabungan AC-BC

a. Hasil gradasi agregat gabungan

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Hasil gradasi agregat gabungan (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Saringan		Gradasi Agregat				23%	34%	38%	5%	Total	Spek. AC-BC
AST M	(m m)	Agg.1 /2	Agg. 0.5/1	Abu Batu	semen	Agg.1 /2	Agg. 0.5/1	Abu Batu	semen		
1"	25	100,00	100,00	100,00	100,00	23,00	34,00	38,00	5,00	100,00	100
3/4"	19	79,82	100,00	100,00	100,00	18,36	34,00	38,00	5,00	95,36	90-100
1/2"	12,5	21,74	97,00	100,00	100,00	5,00	32,98	38,00	5,00	80,98	75-90
3/8"	9,5	5,34	64,78	100,00	100,00	1,23	22,03	38,00	5,00	66,26	66-82
No.4	4,75	3,22	48,41	99,76	100,00	0,74	16,46	37,91	5,00	60,11	46-64
No.8	2,36	1,33	4,54	98,23	100,00	0,31	1,54	37,33	5,00	44,18	30-49
No.16	1,18	1,24	0,76	85,14	100,00	0,28	0,26	32,35	5,00	37,89	18-38
No.30	0,6	1,06	0,54	21,20	100,00	0,24	0,18	8,06	5,00	13,49	12-28
No.50	0,3	0,93	0,39	8,50	100,00	0,21	0,13	3,23	5,00	8,58	7-20
No.100	0,15	0,38	0,26	6,03	100,00	0,09	0,09	2,29	5,00	7,47	5-13
200	0,08	0,03	0,07	4,84	100,00	0,01	0,02	1,84	5,00	6,87	4-8



Gambar 4.2 Grafik hasil gradasi agregat gabungan
(Sumber: Hasil Pengolahan Data 2023)

Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh

seperti pada table diatas. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran AC-BC harus berada di antara batas atas dan batas bawah yang sesuai dengan spesifikasi. Dari hasil gradasi agregat gabungan diatas telah memenuhi batas-batas spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

b. Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji

Dari hasil analisa gradasi agregat gabungan diatas, didapat perhitungan berat agregat yang diperlukan seperti pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil berat agregat yang diperlukan untuk benda uji (Sumber: Hasil Pengolahan Data 2022)

Kadar Aspal (%)	Aspal (gr)	Agregat 1-2 (gr)	Agregat 0.5-1 (gr)	Abu Batu (gr)	Semen (gr)
4,50	54,00	263,58	389,64	433,48	57,30
5,00	60,00	262,20	387,60	433,20	57,00
5,50	66,00	260,82	385,56	430,92	56,70
6,00	72,00	259,44	383,52	428,64	56,40
6,50	78,00	258,06	381,48	426,36	56,10

D. Hasil Pengujian Marshall

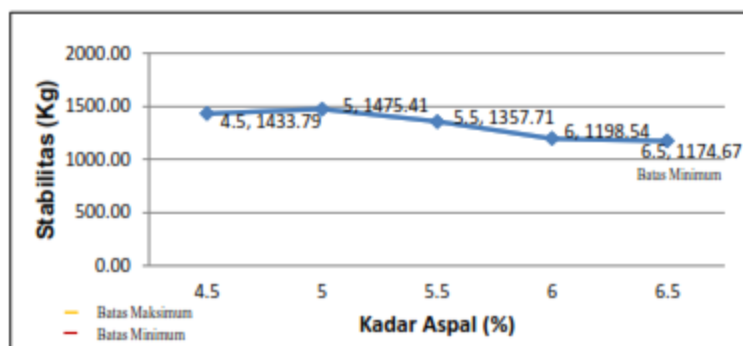
1. Stabilitas

Stabilitas adalah ketahanan lapis perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya, tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian dengan alat *marshall*. Selanjutnya dicocokkan dengan angka kalibrasi *proving ring* dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi tebal benda uji. Berikut ini adalah tabel dan gambar hubungan kadar aspal dan stabilitas:

a. Tabel dan gambar hubungan kadar aspal dan stabilitas laston AC-WC

Tabel 4.13 Hasil pengujian stabilitas (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium2023)

Kadar Aspal (%)	Nilai Stabilitas (Kg)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4,5	1433,79	800	-	Memenuhi
5	1475,41			Memenuhi
5,5	1357,71			Memenuhi
6	1198,54			Memenuhi
6,5	1174,67			Memenuhi



Gambar 4.3 Grafik hubungan kadar aspal dan stabilitas (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium2023)

Dari gambar 4.2 grafik menunjukkan hubungan stabilitas dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai stabilitas maksimum yaitu pada kadar aspal 5 % sebesar 1475.41 kg, dan nilai minimum yaitu pada kadar aspal 6.5% sebesar 1174.67 kg.

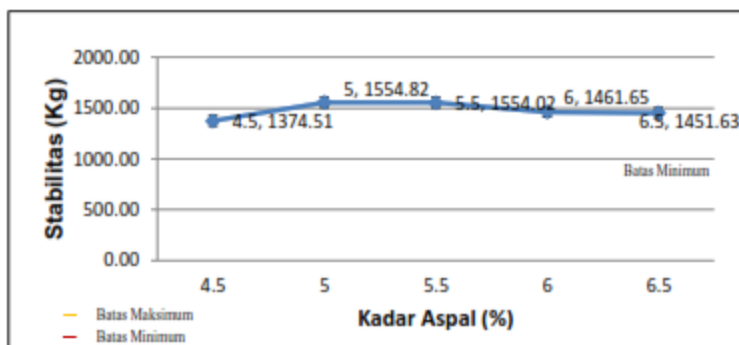
Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat

yaitu 800 kg, sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian inilah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.13.

b. Tabel dan gambar hubungan kadar aspal dan stabilitas laston AC-BC

Tabel 4.14 Hasil pengujian stabilitas (Sumber: Hasil Penguji Laboratorium 2023)

Kadar Aspal (%)	Nilai Stabilitas (Kg)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4,5	1374,51	800	-	Memenuhi
5	1554,82	800	-	Memenuhi
5,5	1554,02			Memenuhi
6	1461,65			Memenuhi
6,5	1451,63			Memenuhi



Gambar 4.4 Grafik hubungan kadar aspal dan stabilitas
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Dari gambar 4.2 grafik menunjukkan hubungan stabilitas dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai stabilitas maksimum yaitu pada kadar aspal 5 % sebesar 1554.82 kg, dan nilai minimum yaitu pada kadar aspal 4.5% sebesar 1374.51 kg.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan

sifat-sifat campuran laston nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat yaitu 800 kg, sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.14.

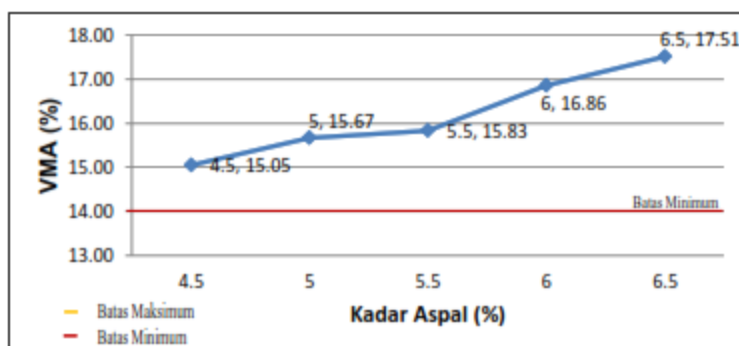
2. Rongga diantara agregat (VMA)

VMA (*void in mineral aggregate*) merupakan kadar persentase ruang rongga diantara partikel agregat pada benda uji, besarnya nilai VMA dipengaruhi oleh kadar aspal, gradasi bahan susun, jumlah tumbukan dan temperatur pemadatan. Hubungan antara VMA dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

a. Tabel dan gambar Rongga diantara agregat (VMA) laston AC-WC

Tabel 4.15 Hasil pengujian VMA (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Kadar Aspal (%)	Nilai VMA (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4,5	15,05	14	-	Memenuhi
5	15,67			Memenuhi
5,5	15,83			Memenuhi
6	16,86			Memenuhi
6,5	17,51			Memenuhi



b

ar 4.5 Grafik hubungan kadar aspal dan VMA

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

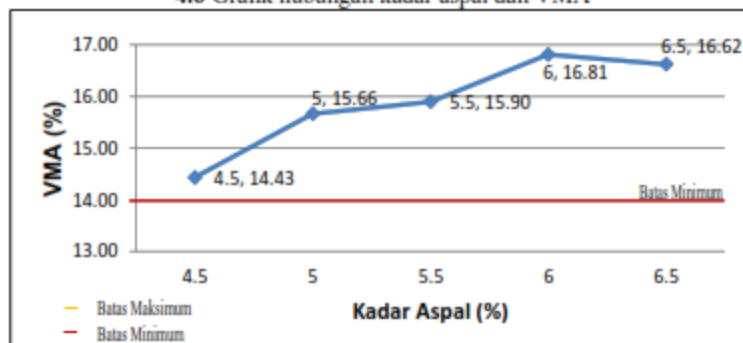
Berdasarkan gambar 4.3 grafik menunjukan nilai VMA (*Void In Mineral Aggregate*) pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 %, yaitu sebesar 15.05 %, 15.67 %, 15.83 %, 16.86 %, dan 17.51 %. Nilai VMA maksimum pada kadar aspal 6.5 % sebesar 17.51 %, dan nilai minimum pada kadar aspal 4.5 % sebesar 15.54 %. Ditinjau dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VMA (*Void In Mineral Aggregate*) minimal 14 %, jadi semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.15.

b. Tabel dan gambar Rongga diantara agregat (VMA) laston AC-BC

Tabel 4.16 Hasil pengujian VMA (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

G a m b a r	Kadar Aspal (%)	Nilai VMA (%)	Spesifikasi		Keterangan
			Min	Maks	
	4,5	14,43	14	-	Memenuhi
	5	15,66			Memenuhi
	5,5	15,90			Memenuhi
	6	16,20			Memenuhi
	6,5	16,62			Memenuhi

4.6 Grafik hubungan kadar aspal dan VMA



(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Berdasarkan gambar 4.3 grafik menunjukan nilai VMA (*Void In Mineral Aggregate*) pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 %, yaitu sebesar 14.43 %, 15.66 %, 15.90 %, 16.81 %, dan 16.62 %. Nilai VMA maksimum pada kadar aspal 6 % sebesar 16,81 %, dan nilai minimum pada kadar aspal 4.5 % sebesar 14.43 %. Ditinjau dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VMA (*Void In Mineral Aggregate*) minimal 14 %, jadi semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.16.

3. Rongga Terhadap Campuran (VIM)

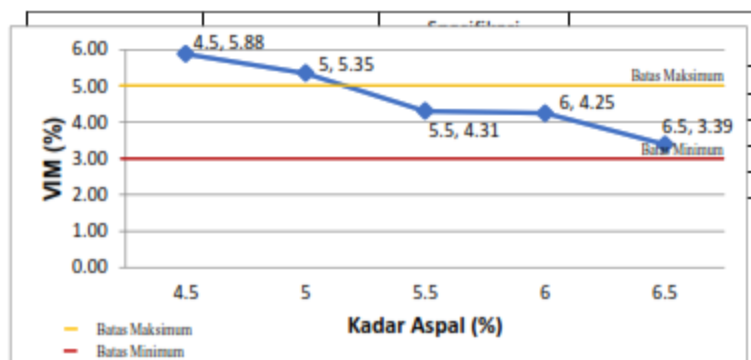
VIM (*void in the mix*) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Jika nilai VIM (*Void In Mix*) yang terlampaui tinggi berkurangnya keawetan dari lapis keras karena rongga yang terlalu besar akan memudahkan masuknya air dan udara kedalam lapis perkerasan. Udara akan mengoksidasi aspal sehingga selimut aspal menjadi tipis dan kohesi aspal menjadi berkurang. Jika hal ini terjadi maka akan menyebabkan terjadi lepasnya butiran (*raveling*), sedangkan air akan melarutkan bagian aspal yang tidak teroksidasi sehingga pengurangan jumlah aspal akan lebih cepat.

Nilai VIM yang terlampaui rendah akan menyebabkan mudah terjadinya bleeding pada lapis keras. Selain bleeding, dengan VIM yang rendah kekakuan lapis keras akan mengalami retak dan pecah (*cracking*) apabila menerima beban lalu lintas karena tidak cukup lentur untuk menerima

deformasi yang terjadi. Hubungan antara VIM dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

- a. Tabel dan gambar Hubungan antara VIM dengan kadar aspal AC-WC

Tabel 4.17 Hasil pengujian VIM (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)



Gambar 4.7 Grafik hubungan kadar aspal dan VIM
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

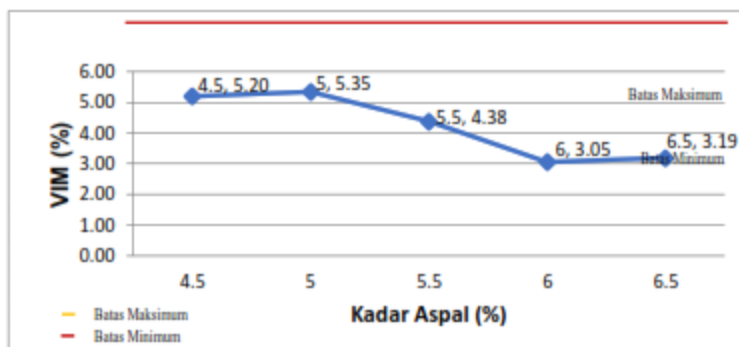
Dari gambar 4.4 grafik menunjukan hubungan stabilitas dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami penurunan dengan nilai VIM sebesar 5.88 %, 5.35 %, 4.31 %, 4.25 %, dan 3.39 %. Nilai VIM maksimum pada kadar aspal 4.5 % sebesar 5.88 %, dan nilai minimum pada kadar aspal 6.5 % sebesar 3.39 %.

Berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat campuran Laston nilai VIM (*Void In Mix*) yang memenuhi persyaratan yaitu sebesar 3.5 % - 5.5 %. Nilai VIM (*Void In Mix*) yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 5.2% sampai dengan 6.5%.

- b. Tabel dan gambar Hubungan antara VIM dengan kadar aspal AC-BC

Tabel 4.18 Hasil pengujian VIM (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Kadar Aspal (%)	Nilai VIM (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4,5	5,20	3	5	Tidak Memenuhi
5	5,35			Tidak Memenuhi
5,5	4,38			Memenuhi
6	3,05			Memenuhi
6,5	3,19			Memenuhi



4.8 Grafik hubungan kadar aspal dan VIM
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Dari gambar 4.4 grafik menunjukkan hubungan stabilitas dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan dengan nilai VIM sebesar 5.20 %, 5.35 %, 4.38 %, 3.05 %, dan 3.19 %. Nilai VIM maksimum pada kadar aspal 5 % sebesar 5.35 %, dan nilai minimum pada kadar aspal 6 % sebesar 3.05 %.

Berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat campuran Laston nilai VIM (*Void In Mix*) yang memenuhi persyaratan yaitu sebesar 3.5 % - 5.5 %. Nilai VIM (*Void In Mix*) yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 5.2% sampai dengan

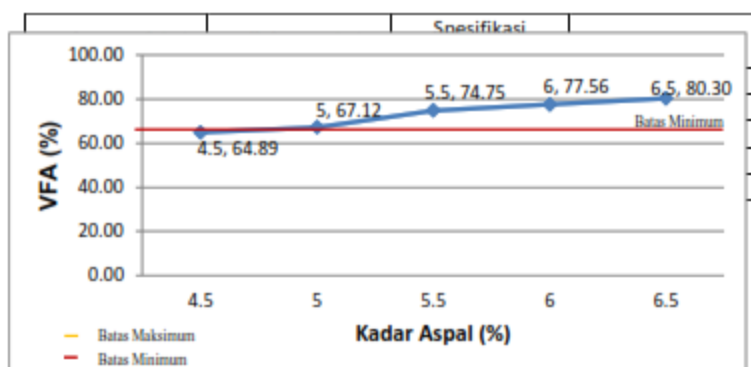
6.5%.

4. Rongga terisi aspal (VFB)

VFB (*Void Filled Bitumen*), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan. Hubungan antara VFB dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

a. Tabel dan gambar Hasil pengujian VFB AC-WC

Tabel 4.19 Hasil pengujian VFB (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)



Gambar 4.9 Grafik hubungan kadar aspal dan VFB
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Dari gambar 4.5 grafik menunjukkan hubungan VFB dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan, dengan nilai VFB sebesar 64.89 %, 67.12 %, 74.75 %, 77.56 %, dan 80.30 %. Nilai VFB maksimum pada kadar aspal 6.5 % sebesar 80.30 %, dan nilai minimum pada kadar aspal 4.5 % sebesar 64.89 %. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan semakin

meningkat nilai VFB.

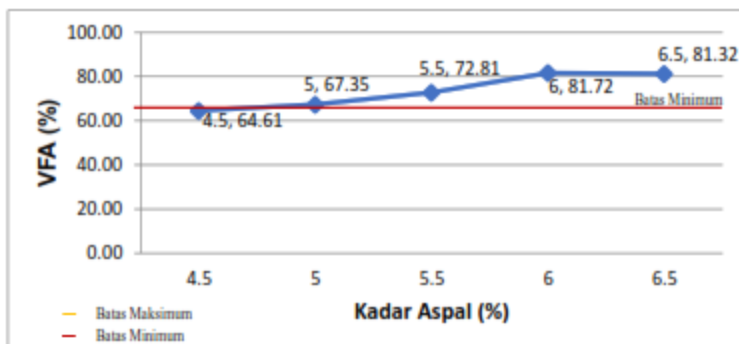
Berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VFB minimal 65 %. Nilai VFB yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 5 % sampai dengan 6.5%.

b. Tabel dan gambar Hasil pengujian VFA AC-BC

Tabel 4.20 Hasil pengujian VFB (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Kadar Aspal (%)	Nilai VFA (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4,5	64,61	65	-	Tidak Memenuhi
5	67,35			Memenuhi
G 5,5	72,81			Memenuhi
a 6	81,72			Memenuhi
m 6,5	81,32			Memenuhi

b



ar 4.10 Grafik hubungan kadar aspal dan VFB
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Dari gambar 4.5 grafik menunjukkan hubungan VFA dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan, dengan nilai VFB sebesar 64.61 %, 67.35 %, 72.81 %, 81.72 %, dan 81.32 %. Nilai VFB maksimum pada kadar aspal 6 % sebesar 81.72 %, dan nilai minimum pada kadar aspal 4.5 % sebesar 64.61 %. Sehingga dapat

disimpulkan bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan semakin meningkat nilai VFB.

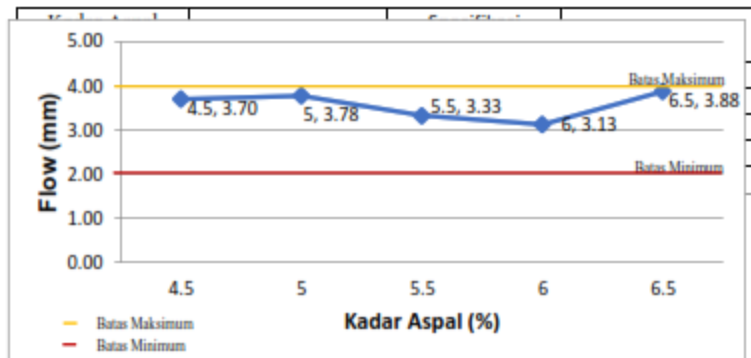
Berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VFB minimal 65 %. Nilai VFB yang memenuhi persyaratan yaitu pada kadar aspal 5 % sampai dengan 6.5%.

5. Flow

Hubungan antara *flow* dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

- a. Tabel dan gambar hubungan antara *flow* dengan kadar aspal AC-WC

Tabel 4.21 Hasil pengujian *Flow* (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

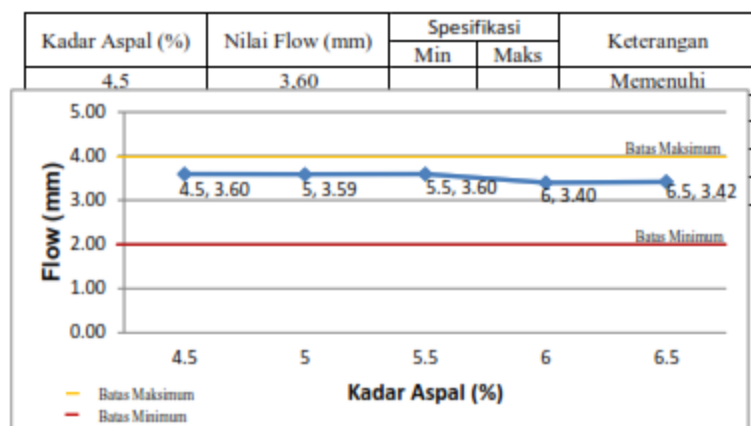


Dari gambar 4.6 grafik menunjukkan hubungan *flow* dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai *flow* maksimum yaitu pada kadar aspal 6.5 % sebesar 3.88 mm dan nilai *flow* minimum yaitu pada kadar aspal 6 % sebesar 3.13 mm.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuansifat-sifat campuran laston nilai *flow* yang memenuhi persyaratan yaitu 2 mm – 4 mm, sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian inilah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.21.

- b. Tabel dan gambar hubungan antara *flow* dengan kadar aspal AC-BC

Tabel 4.22 Hasil pengujian *Flow* (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)



(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Dari gambar 4.6 grafik menunjukkan hubungan *flow* dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai *flow* maksimum yaitu pada kadar aspal 4.5 % dan 5.5 % sebesar 3.60 mm dan nilai *flow* minimum yaitu pada kadar aspal 6 % sebesar 3.40 mm.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuansifat-sifat campuran laston nilai *flow* yang memenuhi persyaratan yaitu 2 mm – 4 mm, sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam

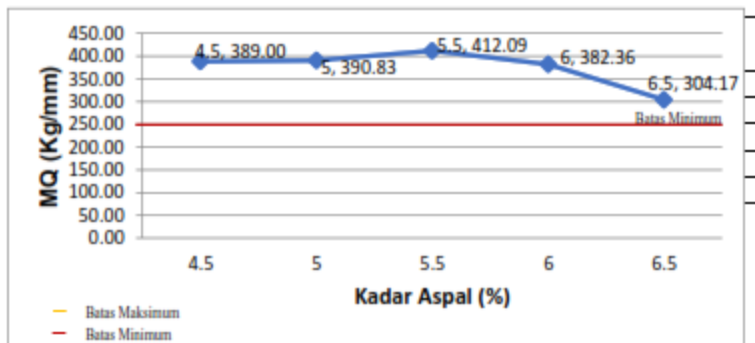
penelitian inilah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.22.

6. Marshall quotient (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) yaitu dari hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*) merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas komposisi campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* (QM) bertanda komposisi campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil *Marshall Quotient* (QM) maka perkerasannya semakin lentur. Hubungan antara MQ dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

a. Tabel dan gambar hubungan antara MQ dengan kadar aspal AC-WC

Tabel 4.23 Hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ) (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)



Gambar 4.13 Grafik hubungan kadar aspal dan MQ
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Dari gambar 4.7 grafik menunjukkan hubungan flow dan kadar aspal, pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai MQ maksimum yaitu pada kadar aspal 5.5 % sebesar 412.09 mm/kg dan nilai MQ minimum yaitu pada kadar aspal 6.5 %

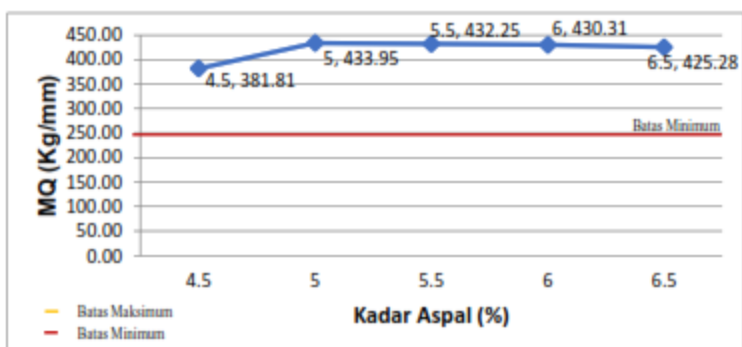
sebesar 304.17 mm/kg.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai MQ yang memenuhi persyaratan yaitu minimal 250 mm/kg, sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.23.

b. Tabel dan gambar hubungan antara MQ dengan kadar aspal AC-BC

Tabel 4.24 Hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ) (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Kadar Aspal (%)	Nilai MQ (Kg/mm)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
4,5	381,81	250	-	Memenuhi
5	433,95			Memenuhi
5,5	432,25			Memenuhi
6	430,31			Memenuhi
6,5	425,28			Memenuhi



4.14 Grafik hubungan kadar aspal dan MQ
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

Dari gambar 4.7 grafik menunjukkan hubungan flow dan kadar aspal,

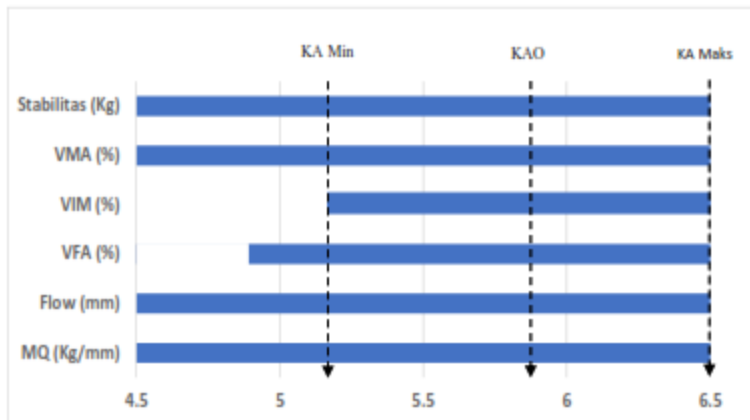
pada kadar aspal 4.5 % sampai dengan 6.5 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai MQ maksimum yaitu pada kadar aspal 5 % sebesar 433.95 mm/kg dan nilai MQ minimum yaitu pada kadar aspal 4.5 % sebesar 381.81 mm/kg.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai MQ yang memenuhi persyaratan yaitu minimal 250 mm/kg, sehingga semua kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertera pada tabel 4.24.

E. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum adalah jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agar dapat tercapai mencapai persyaratan stabilitas, VMA, VIM, VFB, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ). Dalam penentuan kadar aspal optimum untuk menetapkan berapa besarnya kadar aspal efektif dalam campuran yang diperlukan untuk pembuatan benda uji baru dengan komposisi agregat sama namun dengan kadar aspal optimum yang telah ditentukan. Berikut nilai kadar aspal optimum yang diperoleh dari pengujian marshall terlihat pada gambar di bawah ini.

1. Nilai kadar aspal optimum pengujian marshall AC-WC



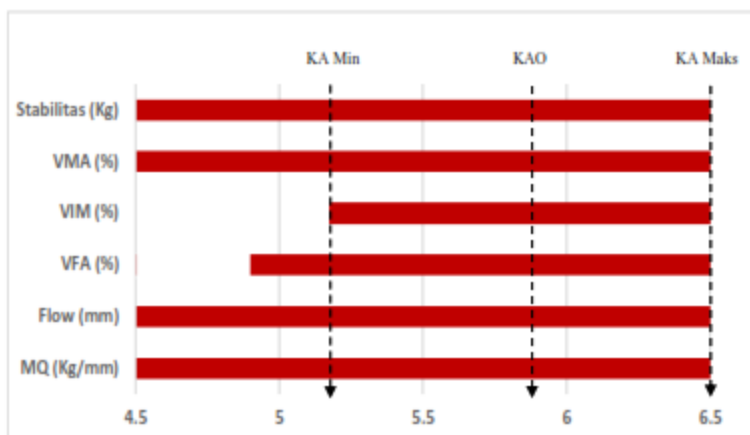
Gambar 4.15 Diagram penentu kadar aspal optimum

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{KA \text{ min} + KA \text{ maks}}{2} = \frac{5,2 \% + 6,5 \%}{2} = 5,85 \%$$

Berdasarkan gambar 4.8 diagram menunjukan nilai stabilitas, VMA, VIM, VFB, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ) yang memenuhi spesifikasi untuk semua karakteristik dalam campuran 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, dan 6.5%. Sehingga nilai Kadar Aspal Optimum (KA O) yang diperoleh adalah 5.85%.

2. Nilai kadar aspal optimum pengujian marshall AC-BC



Gambar 4.16 Diagram penentu kadar aspal optimum
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023)

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{KA_{min} + KA_{maks}}{2} = \frac{5,2\% + 6,5\%}{2} = 5,85\%$$

Berdasarkan gambar 4.8 diagram menunjukan nilai stabilitas, VMA, VIM, VFB, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ) yang memenuhi spesifikasi untuk semua karakteristik dalam campuran 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, dan 6.5%. Sehingga nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah 5.85%.

BAB V

PENUTUP

A. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pemeriksaan agregat yaitu pemeriksaan berat jenis penyerapan agregat kasar dan agregat halus (abu batu) telah memenuhi spesifikasi. Hasil pemekrisaan keausan agregat kasar (abrasi) diperoleh hasil persen keausan sebesar 15.672 % dan telah memenuhi spesifikasi yaitu maksimal 30 %, dan Hasil pemeriksaan Analisa saringan agregat kasar lembang bau tana toraja

telah memenuhi Spesifikasi.

2. Karakteristik campuran aspal beton AC-WC dan AC-BC dinyatakan dalam sifat-sifat berikut:

- a. Hasil pengujian campuran aspal beton AC-WC diperoleh nilai Stabilitas maksimum yaitu pada kadar aspal 5 % dan minimum pada kadar aspal 6.5%. Nilai VMA maksimum pada kadar aspal 6.5 % dan minimum pada kadar aspal 4.5 %. Nilai VIM maksimum pada kadar aspal 4.5 % dan minimum pada kadar aspal 6.5 %. Nilai VFB maksimum pada kadar aspal 6.5 % dan minimum pada kadar aspal 4.5 %. Nilai *Flow* maksimum yaitu pada kadar aspal 6.5 % dan minimum yaitu pada kadar aspal 6 %. Nilai *Marshall Quotient* maksimum yaitu pada kadar aspal 5.5 % dan minimum yaitu pada kadar aspal 6.5 %. Nilai hasil Kadar Aspal Optimum yang diperoleh yaitu 5.85%. Nilai KA minimum 5.2 % dan KA maksimum 6.5 % yang telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan layak digunakan dalam campuran aspal beton AC-WC.
- b. Hasil pengujian campuran aspal beton AC-BC diperoleh nilai stabilitas maksimum yaitu pada kadar aspal 5 % dan minimum yaitu pada kadar aspal 4.5%. Nilai VMA maksimum pada kadar aspal 6 % dan minimum pada kadar aspal 4.5 %. Nilai VIM maksimum pada kadar aspal 5 %, dan minimum pada kadar aspal 6 %. Nilai VFB maksimum pada kadar aspal 6 % dan minimum pada kadar aspal 4.5 %. Nilai *flow* maksimum yaitu pada kadar aspal 4.5 % dan 5.5 % dan minimum yaitu pada kadar aspal 6 %. Nilai MQ maksimum yaitu pada kadar aspal 5 % dan minimum yaitu pada kadar

aspal 4.5 %. Nilai hasil Kadar Aspal Optimum yang diperoleh yaitu 5.85%. Nilai KA minimum 5.2 % dan KA maksimum 6.5 % yang telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan layak digunakan dalam campuran aspal beton AC-BC.

B. SARAN

1. Penelitian ini diharapkan dapat dikembangkan lebih lanjut untuk meneliti lebih mendalam pengaruh penggunaan material agregat gunung Lembang Bau terhadap karakteristik campuran aspal beton AC-WC dan AC-BC dengan komposisi campuran yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- Alpius, "Campuran HRS-WC Menggunakan Agregat Batu Gunung Desa Palipu Kecamatan Mengkendek Tana Toraja," in *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTeKS) - 13*, Banda Aceh, 2019, vol. 1, pp. 431–441.
- Alpius and A. Kusuma, "Performance of Laston AC-WC Mixture Using Asbuton LGA and Fakfak Materials," *Jour Adv Res. Dyn. Control Syst.*, vol. 11, no. 7, Art. no. 7, 2019.
- Asrol, S. M. Saleh, dan M. Isya, 2018, "Karakteristik Campuran Aspal Beton Ac-Wc Dengan Substitusi Buton Rock Asphalt Terhadap Rendaman Air Berlumpur," *J. Arsip Rekayasa Sipil Dan Perenc.*, vol. 1, no. 3, hlm. 39–45, doi: 10.24815/jarsp. V 1i3.11760.
- Aqif, Mohamad. 2012. "Optimasi Kadar Aspal Beton AC 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall Pada Lalu Lintas Berat Menggunakan Material Lokal Bantak Proyek." *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan* (May 2014): 32.
- Anonim, 2011, Modul Pengujian dan Perencanaan Campuran Beraspal, PuslitbangJalan dan Jembatan, Bandung.

- Amal, A. S., & Saleh, C. (2015). Pemanfaatan Limbah Batu Marmer sebagai Pengganti Agregat Kasar pada Campuran Aspal Beton terhadap Karakteristik Marshall. *Media Teknik Sipil*, 13(2).
- Badan Standar Nasional, 2015. *Spesifikasi lapis fondasi agregat dan campuran beraspal panas menggunakan batu kapur*, SNI 8158:2015. Jakarta.
- Bernard, H., & Sitamorang, S. (2014). Pengaruh penggunaan filler semen portland pada ac-wc halus spesifikasi jalan Bina Marga 2010.
- B. Bulgis and R. B. Alkam, "Pemanfaatan Agregat Alami dan Agregat Batu Pecah Sebagai Material Perkerasan Pada Campuran Aspal Beton," *Potensi*, vol. 19, no. 1, Mar. 2017.
- Direktorat Jenderal Bina Marga, *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Jakarta Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018.
- D. Sarwono, D. Djumari, dan T. G. 2018, Pamungkas, "Karakteristik Campuran Panas Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Menggunakan Semarbut Tipe 4 Sebagai Binder," *Matriks Tek. Sipil*, vol. 6, no. 1, doi: 10.20961/mateksi. V 6i1.36614.
- Dessy Purnamasari Harahap. 2021. "Kajian Perbedaan Antara Design Mix Formula, Job Mix Formula Dan Trial Mix Lapis Aus Asphalt Concrete Wearing Course (AC – WC) Pada Preservasi Rehabilitasi Jalan Air." 3(March):6.
- Fithra, H. (2017). Pengaruh Jumlah Tumbukan Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Tambahan Lateks Terhadap Sifat Marshall. *Teras Jurnal*.
- Fernando, N. (2009). Karakteristik Campuran Aspal Beton Dalam Kondisi Terendam Air Hujan Dan Beban Statis Dengan Variasi Waktu Rendaman Skripsi. Skripsi. <https://doi.org/877/FT.01/SKRIP/07/2009>
- McNulty, J. (2013). *Pemanfaatan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course Gradasi Kasar Arys*. 66(1997), 37–39.
- Muhammad Taufik Gunawan. 2021. Pengaruh Campuran Aspal Dengan Bahan Tambahan Filler Batu Zeolite Dan Karet Alam (SIR20) Terhadap Stabilitas. Dumai: Sekolah Tinggi Teknologi Dumai

- National Centre for Asphalt Technology (NCAT),2009. *“Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction” 3rd Edition*. NAPA Research and Education Foundation Lanham, Maryland.
- O. G. Mandang, L. G. J. Lalamentik, and J. E. Waani, “Kajian Penggunaan Agregat Batu Gunung Untuk Bahan Campuran AC,” p. 9, 2019.
- R. Rachman, “Pemanfaatan Batu Gunung Bottomale Toraja Utara sebagai Campuran Laston,” *J. Tek. Sipil Dan Teknol.*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, 2020.
- Refi, A. (2017). Efek Pemakaian Pasir Laut Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas (AC-BC) Dengan Pengujian Marshall. *Jurnal Teknik Sipil Itp Issn 2354-8452 E-Issn 2614-414x*, 2(1).
- SNI 1969. 2008. “Cara Uji Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar.” *Standar Nasional Indonesia*: 20.
- 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.