BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Jalan mempunyai peranan yang sangat penting dalam menunjang kelancaran transportasi bagi pertumbuhan ekonomi suatu daerah, sehingga dibutuhkan konstruksi perkerasan jalan yang baik agar lalu lintas menjadi aman, nyaman dan lancar. Kelancaran lalu lintas sangat bergantung kepada kondisi konstruksi perkerasan jalan. Apabila konstruksi jalan bermasalah seperti berlubang, bergelombang, retak dan sebagainya maka kelancaran lalu lintas akan terganggu yang berakibat kepada biaya transportasi menjadi tinggi, bahkan secara keseluruhan ekonomi mengalami penurunan. Salah satu jenis lapis perkerasan yang sifatnya struktural dan umum digunakan di Indonesia adalah aspal lapis aus (AC-WC). Berbagai hal sering terjadi pada kerusakan jalan raya yang pada umumnya di akibatkan oleh air yang menggenangi atau masuk ke dalam pori perkerasan jalan yang menjadi salah satu faktor penyebab rusaknya jalan. Oleh sebab itu jalan diusahakan memiliki sifat kedap air menurut (Hamdani, 2015).

Limbah hebel merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan hebel. Limbah hebel terdiri dari agregat halus dan semen. Agregat halus dalam limbah hebel memiliki ukuran yang bervariasi, mulai dari 0,075 mm hingga 2,0 mm. Agregat halus dalam limbah hebel juga memiliki kandungan silika yang tinggi, yaitu sekitar 50%. Pada saat ini, kebutuhan akan agregat halus semakin meningkat seiring dengan meningkatnya pembangunan infastruktur jalan.

Menurut penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Muh. Imam Wahyudi Azis et al., 2022) Limbah hebel memiliki karakteristik yang berbeda dengan agregat halus, seperti memiliki bentuk yang tidak teratur, ukuran yang tidak seragam, dan memiliki kadar air yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah hebel sebagai pengganti agregat halus terhadap stabilitas Marshall pada campuran AC-WC Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membuat benda uji Marshall dengan variasi kadar limbah hebel yaitu 0%, 10%, 20%, dan 30%. Pengujian Marshall dilakukan untuk mendapatkan nilai stabilitas, flow, dan Marshall Quotient Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah hebel sebagai pengganti agregat halus dapat meningkatkan nilai stabilitas Marshall. Nilai stabilitas Marshall tertinggi diperoleh pada variasi kadar limbah hebel 30% yaitu sebesar 1073,23 kg. Nilai stabilitas Marshall yang memenuhi spesifikasi AC-WC (>1000 kg) diperoleh pada variasi kadar limbah hebel 20% dan 30% . Limbah hebel ini dapat mencemari lingkungan dan menimbulkan masalah pembuangan. Salah satu cara untuk memanfaatkan limbah hebel adalah dengan menggunakannya sebagai bahan pengganti atau tambahan pada campuran lapis aus (asphalt concrete-wearing course, AC-WC).

Dalam penelitian ini saya tertarik untuk menguji apakah limbah hebel layak untuk digunakan serta pengaruhnya terhadap pengujian Marshall. Maka dari itu Limbah hebel yang akan digunakan adalah sisa-sisa yang berupa potongan dengan ukuran yang bervariasi dari Perumahan Syakirah Residance.

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang menjadi acuan dalam penelitian ini yaitu:

1. Berapa besar ketahanan aspal AC-WC dengan menggunakan limbah hebel?
2. Bagaimana stabilitas marshall pada campuran aspal AC-WC terhadap penggunaan limbah hebel?
3. Berapakah kadar aspal optimum (KAO) yang dipergunakan terhadap pencampuran aspal lapis aus yang menggunakan limbah hebel?

C. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Mengetahui sejauh mana ketahanan aspal lapis aus (AC-WC) dengan menggunakan limbah hebel.
2. Mengetahui stabilitas marshall pada campuran aspal AC-WC terhadap penggunaan limbah hebel.
3. Mengetahui kadar aspal optimum (KAO) terhadap campuran aspal lapis aus dengan menggunakan limbah hebel.

D. Batasan Masalah

Penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal, Prodi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare.
2. Ketentuan bahan dalam penelitian ini yaitu:
   a. Aspal yang digunakan adalah aspal dengan penetrasi 60-70.

b. Material agregat halus pasir diambil dari sungai Lasape Kabupaten Pinrang dan hebel di ambil dari Perumahan Syakirah Residance di CV. Marrai Jaya Abadi sebagai agregat limbah hebel
c. Material agregat kasar di ambil dari Lawawoi Kabupaten Sidrap
d. *Filler* yang digunakan adalah semen.
e. Dalam pengujian untuk KAO dengan variasi perkiraan kadar aspal optimum, yaitu: 4.5%, 5.0%, 5.5%, dan 6.0%,

3. Pengujian material agregat dalam penelitian meliputi pengujian berat jenis dan penyerapan, dan pengujian analisa saringan agregat.
4. Pengujian aspal dalam penelitian meliputi pengujian penetrasi, titik lembek, kehilangan berat aspal, dan berat jenis aspal.
5. Standar pengujian marshall menggunakan SNI 03-1737-1989

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui karakteristik agregat pada campuran aspal lapis aus (AC-WC) apakah memenuhi spesifikasi menurut standart SNI 03-1737-1989
2. Dapat mengetahui persen rongga diantara agregat Void In Mineral Aggregate (VMA), persen stabilitas *(stability)*, kelelehan *(flow)* dan *Marshall Quatinet*
3. Dapat mengetahui nilai kadar aspal optimum (KAO) dengan menggunakan agregat halus limbah hebel Perumahan Syakirah Residance di Kota Parepare

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 yang menyangkut dengan penelitian 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 berisi tentang hasil penelitian limbah hebel sebagai pengganti agregat halus, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat, pemeriksaan analisa saringan, hasil rancangan campuran, dan hasil pengujian marshall.

BAB V PENUTUP

Bab ini berisi kesimpulan dan saran.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Lapisan Aspal Beton (Laston)

Lapis aspal beton adalah lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dn agregat yang bergradasi menerus (*well graded)* dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan *filler*, sedangkan aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 40/50, 60/70 dan 80/100 yang seragam, tidak mengandung air bila dipanaskan sampai suhu 175°C tidak berbusa dan memenuhi persyaratan sesuai dengan yang ditetapkan. Pembuatan lapis aspal beton (*Laston*) dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara (binder) pada perkerasan jalan yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya (Bina Marga, 1987). Menurut (Haikal & Widarto, 2024) menjelaskan bahwa lapis aspal beton (*Laston*) digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat, laston juga dikenal dengan nama AC (*Asphalt Concrete*). Aspal AC-WC.

Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) merupakan lapis aus dan berada di lapis permukaan paling atas yang memungkinkan terjadinya perubahan karakteristik yang di pengaruhi oleh beberapa factor lingkungan (udara, temperature dan sinar matahari). Fungsi utama dari aspal AC-WC adalah sebagai

lapisan yang pertama kali menahan beban kendaraan. Inilah sebabnya aspal AC-WC harus memiliki stabilitas yang tinggi untuk menghindari perubahan bentuk, alur dan *bleeding*. Aspal beton campuran panas, terbagi menjadi 3 yaitu :

1. Laston sebagai lapis aus, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course)* dengan tebal minimum AC-WC adalah 4 cm. Lapisan ini adalah lapisan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan dan dirancang untuk tahan terhadap perubahan cuaca, gaya geser, tekanan roda ban kendaraan serta memberikan lapis kedap air untuk lapisan dibawahnya.
2. Laston sebagai lapis pengikat, dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) dengan tebal minimum AC-BC adalah 5 cm. Lapisan ini untuk membentuk lapis pondasi jika digunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan.
3. Laston sebagai lapisan pondasi dikenal dengan nama AC-BC (*Asphalt Concrete-Base*) dengan tebal minimum AC-BC adalah 6 cm. Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca tapi memerlukan stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.

    a. Karakteristik aspal AC-WC

Lapisan aspal AC-WC adalah lapisan yang memiliki struktur paling halus dibandingkan dengan lapisan lainnya. Adanya campuran bergradasi rapat yang memiliki sedikit rongga pada campuran aspal AC-WC menyebabkan lapisan ini lebih peka terhadap variasi dan proporsi campuran. Sebagai lapisan yang terletak di susunan paling atas, tentu saja lapisan aspal AC-WC akan langsung berhubungan dengan kondisi luar, seperti cuaca lingkungan dan ban kendaraan. Oleh sebab itu

lapisan ini harus dibuat kedap air dan memiliki kekerasan yang tinggi. Untuk ketebalan minimum aspal AC-WC adalah 4 cm.

b. Fungsi lapisan aspal AC-WC

1) Sebagai lapisan aus

Selain sebagai penahan beban secara langsung, lapisan aspal AC-WC juga akan menerima gesekan ban kendaraan secara langsung yang membuat ban tersebut menjadi aus atau menyusut. Struktur lapisan permukaan ini perlu dibuat supaya kendaraan tidak tergelincir.

2) Melindungi lapisan dibawahnya

Adanya air dan udara dari lingkungan dapat mempercepat proses penuaan dan pengelupasan selimut aspal. Supaya lapisan kedua dan ketiga tetap aman dan terlindungi dari air hujan, maka sebagai lapisan pertama, aspal AC-WC harus didesain supaya dapat kedap air. Untuk mengetahui kekedapan air suatu lapisan, jumlah pori-pori pada campuran beton setelah dipadatkan dapat menjadi salah satu indicator.

3) Meneyebarkan beban

Setiap lapisan aspal memiliki beban yang berbeda beda sebagai lapisan surface course atau lapisan yang berada di permukaan, tentu lapisan ini akan menerima beban yang paling besar. Inilah mengapa lapisan AC-WC harus mampu mendistribusikan beban tersebut secara merata ke lapisan berikutnya.

c. Material campuran aspal AC-WC

Pada umumnya campuran untuk Menyusun beton aspal terdiri dari agregat halus, agregat kasar, bahan pengisi dan aspal. Beberapa kriteria dan persyaratan material campuran untuk aspal AC-WC adalah sebagai berikut:

1) Agregat halus terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah dan lolos ayakan. Presentase maksimum pasir yang di syaratkan untuk campuran aspal AC-WC adalah 10%. Kondisi agregat halus harus bersih, keras dan bebas dari lempung.
2) Fraksi agregat kasar yang akan digunakan adalah yang tertahan saringan. Selain itu, struktur agregat harus keras, bersih, awet dan bebas dari lempung.
3) Bahan pengisi atau *filler* harus kering, bebas gumpalan dan memiliki sifat non plastis.
4) Aspal adalah material yang dapat mencair dan membungkus agregat ketika dipanaskan.

Aspal adalah material perekat berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur utama bitumen yang diperoleh dari residu hasil pengilangan minyak bumi berfungsi sebagai pengikat agregat dalam pembuatan jalan. Aspal dipilih untuk konstruksi jalan karena mempunyai sifat pekat (*consistency*), tahan terhadap pelapukan yang disebabkan oleh cuaca, derajat pengerasan dan ketahanan terhadap air. Aspal mempunyai sifat visco-elastis dan tergantung dari waktu pembebanan. Aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperature tertentu dan kembali membeku jika temperature turun. Kandungan aspal terdiri dari 80% karbon, 10% hydrogen, 6%

belerang dan sisanya Oksigen, Nitrogen serta sejumlah renik besi, nikel dan vanadium. Aspal terbuat dari minyak mentah melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan Bersama-sama material lain.

d. Sifat dan Bahan penyusun Aspal

Aspal banyak digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan karena memiliki sifat sebagai pengikat dan pengisi rongga udara antara agregat.

Adapun sifat-sifat aspal adalah sebagai berikut (Sukirmn, 1993):

1) Mempunyai daya tahan (*durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, factor pelaksanaan dan sebagainya.

2) Kohesi dan adhesi

Kohesi merupakan kemampuan aspal untuk mengikat unsur-unsur penyusun dari dirinya sendiri sehingga terbentuknya aspal dengan daktilitas yang tinggi. Sedangkan adhesi menyatakan kemampuan aspal untuk berikatan dengan agregat dan tetap mempertahankan agregat pada tempatnya setelah berikatan.

3) Kepekaan terhadap temperature

Kepekaan aspal terhadap temperature adalah sensitivitas perubahan sifat viskoelastis aspal akibat perubahan temperature, sifat ini dinyatakan sebagai indeks penetrasi aspal (IP).

4) Kekerasan aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses peleburan. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi).

5) Viskoelastisitas Aspal

Viskoelastisitas aspal adalah suatu material yang bersifat viskoelastisitas yang sifatnya akan berubah tergantung pada temperature atau waktu pembebanan. Sifat viskoelastisitas aspal adalah untuk menentukan pada temperature berapa pencampuran aspal dengan agregat halus dilakukan agar mendapatkan campuran yang homogen dimana semua permukaan agregat dapat terselimuti oleh aspal secara merata dan aspal mampu masuk kedalam pori-pori agregat untuk membentuk ikatan kohesi yang kuat dan untuk mengetahui pada temperature berapa pemadatan dapat dilakukan dan kapan harus di hentikan.

Aspal akan diuji mengenai sifat kekerasannya atau yang biasa disebut tahap penetrasi. Sifat penting ini harus diketahui sehingga bisa tahu kualitasnya baik atau tidak untuk menjadi pelapis paling luar sebuah jalan. Berat jenisnya juga harus diketahui untuk memenuhi kandungan minyak bumiyang terkandung. Semakin tinggi berat jenis, semakin banyak kandungan minyak bumi. Seberapa tinggi aspal bisa melekat pada suatu material lain jugas harus diuji supaya tahu seberapa tahan lama nanti jalan akan kuat.

Satu hal yang harus diketahui dengan jelas dari material ini dalam pengujian adalah mengenai titik nyala dan titik bakar. Jalanan sering mengalami gesekan dan

akan bertambah tinggi ketika musim kemarau sehingga titik nyala harus benar-benar diketahui supaya tidak menimbulkan bahaya unttuk pengguna jalan.

Titik lembek, kelarutan dan daktilitas adalah tiga hal terakhir yang harus dilakukan pengujian terhadap aspal yang akan digunakan. Jika kedelapan tahan tersebut memiliki hasil yang memuaskan, aspal lolos dan bisa digunakan untuk pembuatan jalan.

B. Marshall Test

Pengujian marshall bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran agregat dan aspal terhadap kelelehan plastis (flow). Flow didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum dan dinyatakan dalam milimeter 0,01". Pengujian marshall merupakan pengujian yang paling banyak dan paling umum di pakai saat ini. Hal ini disebabkan karena alatnya sederhana dan cukup praktis untuk dimobelisasi (Engineering et al., 2023). Berdasarkan penejelasan diatas maka dilakukan pengujian marshall diantaranya sebagai berikut:

1. Pengujian Marshall

   Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi:

   a. Penentuan volume berat benda uji
   b. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal pada menerima beban sampai terjadi kelelehan plastis
   c. Pengujian kelelehan (flow), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal pada akibat adanya beban sampai batas keruntuhan

d. Perhitungan question marshall, adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan flow

e. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal pada *Void In The Mixture* (VIM), *Void In Mineral Aggregate* (VMA) dan *Void Filled With Asphalt* (VFA)

f. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

2. Langkah-langkah Uji Marshall secara garis besar meliputi pengujian:

   a. Persiapan benda uji

   b. Penentuan berat jenis bulk dari benda uji

   c. Pemeriksaan nilai stabilitas dan flow

   d. Perhitungan sifat volumetic benda uji

3. Parameter dan formula perhitungan

   Parameter formula untuk menganalisa campuran aspal beton adalah sebagai berikut:

   a. Berat Jenis Bulk dan Apparent Total Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi Agregat kasar, agregat halus dan beban pengesi/filler yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering (*bulk specific gravity*) dan berat jenis semua (*apparent grafity*)

   b. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif agregat, partikel-partikel yang ada dalam rongga agregat dan menyerap aspal, rumus yang digunakan untuk mencari nilai berat jenis efektif:

$$Gse = \frac{Gsb+Gsa}{2} \quad \text{.....(1)}$$

Dengan :

Gse : berat jenis efektif agregat, (gr/cc)

Gsb : berat jenis bulk agregat gabungan. (gr/cc)

Gsa : berat jenis semu masing-masing agregat, (gr/cc)

c. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, Gmm pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-90. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat) (Badan Standarisasi Nasional., 2011). Untuk mencari nilai dari berat maksimum campuran adalah:

$$\text{Gmm} = \frac{\text{Pmm}}{\frac{\text{Ps}}{\text{Gse}} + \frac{\text{Pb}}{\text{Gsb}}} \quad \text{.....(2)}$$

Dengan :

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

Pmm : Presentase 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)

d. Berat Jenis Bulk Campuran

Perhitungan berat jenis *bulk* campuran setelah pemadatan (Gmb) dinyatakan dalam gram/cc dengan rumus sebagai berikut:

$$Gmb = \frac{W\,a}{V\,bulk} \text{.....(3)}$$

Dengan :

Gmb : berat jenis *bulk* campuran padat, (gr/cc)

Vbulk : volume campuran padat, (cc)

Wa : berat diudara, (gr)

4. Rongga Diantara Mineral Agregat *Void In Mineral Aggregate* (VMA)

Rongga antar mineral agregat *Void In Mineral Aggregate* (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang disetat agregat).

a) Rongga di dalam campuran (*Void In The Mixture*/ VIM)

Rongga udara dalam campuran (Va) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal.

b) Rongga udara yang terisi aspal *Volids Filled With Asphalt* (VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat *Void In Mineral Aggregate* (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat.

c) Stabilitas

Nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelehan plastis. Nilai ini diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang di tunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nili yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat Marshall. Selain itu pada umumnya alat Marshall yang digunakan bersatuan Lbf (*pound force*), sehingga harus disesuaikan satuannya terhadap satuan kilogram. Selanjutnya nilai

tersebut juga harus disesuaikan dengan angka koreksi terhadap ketebalan atau volume benda uji.

d) Flow

Flow (kelelehan) adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan. Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti diatas Nilai flow berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum dial flow biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter), sehingga tidak perlu dikonversikan lebih lanjut.

e) Hasil Bagi Marshall

Hasil bagi marshall / marshall question (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelehan. Sifat marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{S}{F} \quad \text{.....(4)}$$

Dengan :

MQ : Nilai *marshall question*, (kg/mm)

S : Nilai stabilitas, (k*F* : Nilai *flow*, (mm)

f) Durabilitas Standar

Prosedur pengujian durabilitas mengikuti rujukan SNI M-58-1990. Uji perendaman dilakukan pada temperature 60±1ºC selama 24 jam. Masing-masing golongan terdiri dari 2 sampel yang direndam pada bak perendaman untuk semua variasi kadar aspal. Spesifikasi Departemen Pemukiman dan Prasarana Wilayah

untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian Marshall perendaman di dalam air suhu 60ºC selama 24 jam.

C. Hebel

Bata ringan atau biasa disebut Hebel merupakan bata berpori yang memiliki berat jenis (*density*) lebih ringan pada bata pada umumnya. Berat jenisnya antara 600-1600 kg/m³ dengan kekuatannya tergantung pada komposisi campuran (*mix design*) (Bm, 1999).

Bata ringan pertama kali dikenalkan di Indonesia pada tahun 1995 yang di produksi oleh PT. Hebel Indonesia Karawang, Jawa Barat. Ada 2 jenis bata ringan yang saat ini beredar di pasaran yaitu jenis *Autoclaved Aerated Concrete (AAC) dan Celullar Lightweight Concrete (CLC).* Pada dasarnya kedua jenis bata ringan/hebel ini sama yaitu menambahkan gelembung udara kedalam mortar untuk mengurangi berat yang dihasilkan hanya saja cara pengeringannya yang berbeda.

Gambar 2. 1 Hebel Sebagai Tambahan Agregat Halus

Sumber: Dokumentasi Pribadi

1. Bata Ringan Jenis *Autoclaved Aerated Concrete* (AAC)

Bata ringan / Hebel AAC merupakan hebel yang dimana proses pembuatan gelembung udara disebabkan oleh reaksi kimia, yaitu pada saat bubuk alumunium atau alumunium pasta mengembang seperti pada pembuatan roti saat penambahan bahan ragi untuk pengembangan adonan. Adonan bata ringan / hebel jenis AAC umumnya terdiri dari pasir kwarsa, kapur, gypsum, semen, air dan alumunium pasta.

Setelah semua adonan tercampur, nantinya adonan akan mengembang selama 4-6 jam. Bahan alumunium pasta tadi berfungsi juga sebagai pengeras beton. Volume alumunium pasta ini yaitu sebanyak 5-8% dari volume adonanan yang akan dibuat. Kemudian adonan tersebut dipotong sesusai ukuran yang diinginkan dan dimasukan kedalam autoclave chamber atau diberi uap panas dan diberi tekanan tinggi. Suhu di dalam autoclave chamber sekitar 180ºC-200 ºC dan tekanan antara 1,5 – 1,6 Mpa. Hal ini dilakukan sebagai proses pengeringan atau pematangan(Engineering et al., 2023).

Pada jenis AAC ini, gelembung udara yang terbentuk saling berhubungan satu dengan yang lainnya, hal ini menyebabkan air mudah diresap oleh bata ringan/hebel, oleh karena itu, harus diberikan pelindung kedap air seperti plaster.

Untuk mendapatkan nilai kuat tekan tinggi, proses pengeringan *(curing)* pada jenis ini menggunakan tabung autoklaf yang bertekan tinggi. Namun juga proses *curing* tersebut dapat mengganggu proses hidrasi dari semen. Oleh karena itu bata ringan jenis AAC harus terlindungi dari kelembaban.

Proses pembuatan bata ringan jenis AAC berbeda dengan bata ringan jenis CLC dan peralatan canggih serta modal yang relatif besar namun kapasitas yang didapatkan cukup tinggi yaitu sekitar 300 m^3 perhari.

2. Bata Ringan Jenis *Celullar Lightweight Concrete* (CLC)

Bata ringan / hebel jenis CLC merupakan bata ringan yang proses curing-nya secara alami. Bata ringan CLC merupakan beton kovensional dimana agregat kasar (kerikil) digantikan oleh gelembung udara yang dihasilkan dari *foam agent.* Peralatan dan pabrikasi yang digunakan pada produksi jenis ini merupakan alat standar, sehingga produksinya mudah dapat disamakan dengan pabrikasi beton konvensional. Hanya semen, pasir, air dan *foam agent.* Berat jenis yang diinginkan dapat disesuaikan mulai dari 350 kg/m^3 sampai dengan 1.800 kg/m^3 dan nilai kekuatan dapat juga dicapai dari 1,5 sampai lebih dari 30N/mm^2.

Bata ringan / hebel jenis CLC ini sama hanya dengan beton konvensional yang mana kekuatan akan bertambah seiring dengan berjalannya waktu. Meskipun bata ringan jenis ini tidak seiring jenis AAC. Jenis CLC ini tetap memberikan penurunan berat yang cukup besar jika dibandingkan dengan beton konvensional.

1) Agregat *Foundry sand*

Foundry sand atau biasa dikenal dengan nama *casting sand* terdiri dari pasir silika yang bersih, berukuran seragam, berkualitas tinggi yang diikat agar membentuk cetakan untuk logam besi (besi dan baja) non-besi (tembaga, alumunium, kungingan) yang telah digunakan selama ini sebagai bahan cetakan karena sifat yang unik.

Pasir yang digunakan di pabrik pengecoran logam berkualitas tinggi, Sebagian besar dipasok oleh anggota Asosiasi Mineral Industri Amerika Utara (IMA-NA). Sifat-sifat fisik dan kimia yang ketat harus dipenuhi karena pasir berkualitas buruk dapat menyebabkan cacat penuangan. Akibatnya *Foundry sand* akan sangat konsisten dalam komposisi, yang merupakan keuntungan bagi Sebagian besar aplikasi penggunaan akhir.

Meskipun banyak metode pengecoran logam lain seperti pengecoran mati, pengecoran investasi, dan pengecoran cetakan permanen, pengecoran pasir sejauh ini merupakan Teknik pengecoran yang paling umum digunakan.

Pada saat ini *Foundry sand* sudah mulai banyak digunakan pada kegiatan konstruksiseperti untuk :

a. Bahan baku untuk pembuatan semen Portland
b. Penggantian sebagian untuk agregat halus dalam campuran aaspal
c. Campuran mortar pasangan bata.

a) Kandungan *Foundry sand*

Foundry sand mengandung berapa unsur-unsur kimia antara lain silika (SiO_2), fero oksida (Fe_2O_3), alumina ($A1_2O_3$), titanium oksida (TiO_2), kalsium oksida (CaO), magnesium oksida (MgO), beleran trioksida (SO_3), natrium oksida (Na_2O) dan (K_2O). Komposisi kimia pada *Foundry sand* dapat dilihat pada table berikut ini

Tabel 2. 1 Komposisi kimia pada Foundry sand *(Sumber:* Saad et al,. 2020*)*.

Komponen	Kandungan (%)
SiO_2	87.91
Fe_2O_3	0.94
$A1_20_3$	4.70
TiO_2	0.15
CaO	0.14
MgO	0.3
SO_3	0.09
Na_2O	0.19
K_2O	0.25

2) Semen Portland

Semen Portland adalah salah satu komponen utama dalam konstruksi bangunan yang digunakan sebagai bahan perekat. Semen Portland merupakan bahan yang paling umum digunakan sebagai bahan campuran beton, adukan, plaster, bahan penambal dan lain sebagainya.

Salah satu ciri semen Portland adalah dapat mengeras apabila bersentuhan dengan air dan berubah menjadi padat yang tidak larut dalam air. Inilah mengapa semen Portland disebut sebagai perekat hidrolis.

a) Bahan Baku Semen Portland

Semen Portland memiliki tekstur berupa serbuk halus, dihasilkan dengan cara menggiling terak/clinker yang mengandung senyawa kalsium silikat dan

gypsum sebagai tambahan. Ada beberapa senyawa yang dibutuhkan dalam pembuatan semen Portland, yaitu kalsium oksida (CaO), silikon oksida (SiO_2), alumunium oksida ($A1_2O_3$), dan oksida besi (Fe_2O_3).

Senyawa-senyawa tersebut dapat diperoleh dari beberapa bahan mentah dan bahan tambahan. Bahan mentah semen Portland adalah sebagai berikut :

a. Batu Kapur

Batu kapur mempunyai kandungan kalsium oksida sebesar 50%.

b. Batu Silika

Merupakan sumber silicon oksida, alumunium oksida dan oksida besi dengan presentase masing-masing 65%, 17% dan 7%.

c. Tanah Merah

Tanah merah memiliki kandungan alumunium oksida sebesar 29% dan oksida besi 10%.

Adapun bahan tambahan dari semen Portland adalah gypsum dan pasir besi. Gypsum digunakan untuk memperbaiki kualitas dari sifat semen, sedangkan Pasir besi berguna sebagai flux pada pembakaran dan memberikan warna hitam pada semen.

3) Air

Air merupakan bahan dasar yang diperlukan untuk bereaksi dengan semen, serta sebagai bahan pelumas antar butir-butir agregat agar mudah dikerjakan dan didapatkan. Apabila air yang digunakan dalam proses pembuatan beton terlalu sedikit, maka akan menyebabkan beton sulit untuk dikerjakan, tetapi jika perlu banyak tentu akan mengurangi nilai kekuatan dari beton itu sendiri. Nilai banding

berat air dan semen untuk suatu adukan beton disebut dengan *Water Cement Ratio* (W/C) atau factor air semen (FAS). Agar terjadi proses hidrasi yang sempurna dalam adukan beton, pada umumnya nilai *Water Cement Ratio* 0,40-0,60. Sedangkan untuk beton non-pasir factor air semen berkisar antara 0,36-0,46 (Saepudin, 2018)

4) FOAM AGENT

Foam agent merupakan bahan selain semen, agregat dan air yang ditambahkan kedalam campuran beton ringan atau mortar. *Foam agent* digunakan untuk mengurangi berat dan karakteristik beton. Secara umum ada dua jenis bahan tambah yaitu bahan tambah yang berupa mineral (*Additive*) dan bahan tambah kimiawi (*Chemical Admixture*).

Salah satu konsep dari bata ringan adalah mengurangi kepadatan yang terdapat dalam suatu sampel didalam volume yang sama, artinya berat benda tersebut menjadi berkurang akibat kepadatannya berkurang akan tetapi volume benda tersebut tetap sama. *Foam agent* Zat sangat baik digunakan dalam pembuatan beton ringan atau bata ringan.

5) Biaya Produksi

Perkiraan biaya mempunyai peranan penting dalam penyelenggaraan suatu produksi. Segala sesuatu mengenai penyelenggaraan suatu kegiatan produksi akan dihitung dalam nilai uang. Maka pengalaman dan ketelitian akan sangat penting dalam perhitungan perkiraan biaya produksi (Salsabilla et al., 2022).

Ada 2 jenias biaya yang berhubungan langsung terkait dengan pembiayaan suatu produksi dan dapat dibedakan menjadi biaya langsung (*Direct Cost*) dan biaya tidak langsung (*Indirect Cost*).

a) Biaya Langsung (*Direct Cost*)

Biaya langsung merupakan semua biaya yang berhubungan dengan pelaksanaan suatu produksi dilokasi pembuatan. Biaya langsung didapat dengan mengalikan volume suatu pekerjaan dengan harga satuan (*unit cost*) pekerjaan. Harga satuan terdiri atas biaya peralatan dan upah. Biaya-biaya yang dikelompokkan kedalam jenis biaya bahan/material, pekerja dan peralatan.

b) Biaya Tidak Langsung (*Direct Cost*)

Biaya tidak langsung adalah semua baiaya yang tidak secara langsung berhubungan dengan produksi dilokasi pembuatan tetapi biaya ini harus ada dan tidak dapat dilepaskan dari kegiatan produksi ini. Biaya-biaya yang termasuk dalam biaya tidak langsung yaitu *overhead, contingence* dan *profit.*

Penjumlahan dari biayaan langsung dan biaya tidak langsung merupakan biaya yang digunakan selama produksi. Besarnya biaya ini sangat tergantung oleh waktu penyelesaian produksi.

Limbah bata ringan merupakan limbah pecahan atau sisa-sisa potongan pada saat pengerjaan pemasangan bata ringan. Sejauh ini limbah bata ringan masih banyak memicu masalah dalam penanggulangannya yang selama ini dibiarkan menumpuk, di timbun dan dijual dengan harga yang murah meskipun dengan penjualan skala besar. Pemanfaatan limbah bata ringan untuk material perkerasan jalan adalah salah satu cara untuk mengurangi limbah bata ringan tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui manfaat limbah bata ringan sebagai pengganti agregat halus terhadap stabilitas marshall pada campuran lapis aus. Campuran lapis aus dengan limbah bata ringan sebagai pengganti agregat halus menggunakan variasi 0%, 10%, 20% dan 30%. Hasil penelitian ini diketahui bahwa penambahan bata ringan sebagai pengganti agregat halus dapat meningkatkan stabilitas marshall. Nilai stabilitas marshall tertinggi diperoleh pada variasi kadar limbah hebel 30% yaitu sebesar 1150,64 kg. Nilai stabilitas marshall yang memenuhi spesifikasi AC-WC (>1000 kg) diperoleh pada variasi kadar limbah hebel 20% dan 30%.

Dalam penelitian ini saya tertarik untuk menguji apakah limbah bata ringan layak untuk digunakan serta manfaatnya terhadap stabilitas marshall. Maka dari itu limbah bata ringan yang akan digunakan adalah sisa-sisa yang berupa pecahan dan potongan pada saat pemasangan bata ringan dengan ukuran yang bervariasi dari Perumahan Syakirah Residance, Perumahan Syakirah Residance terletak di JL. Jendral Sudirman di kota Parepare dimana perumahan tersebut menggunakan bata ringan sebagai bahan utama pada pembangunan perumahan tersebut.

D. Agregat

Menurut sukirman (1992: 41), Agregat merupakan komponen utama perkerasan jalan yang mempunyai kandungan 90-95% agregat berdasarkan presentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan presentase volume. Sehingga agregat menyumbangkan factor kekuatan utama dalam perkerasan jalan. Berfungsi sebagai penstabil mekanis, agregat halus mempunyai suatu kekuatan dan kekerasan, untuk menghindarkan terjadinya kerusakan akibat beban lalu lintas. Pemilihan

agregat yang digunakan pada suatu konstruksi perkerasan jalan dipengaruhi oleh beberapa factor seperti gradasi, bentuk butir, kekuatan, kelekatan pada aspal, tekstur permukaan dan kebersihan(Safariska & Kurniasari, 2020). Secara umum agregat yang digunakan dalam campuran beraspal dibagi atas 2 fraksi yaitu:

1. Agregat Kasar

   Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.8 (2,36 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.

Tabel 2. 2 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%

Lanjutan Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Kasar (*Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018*

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90%
	Lainnya		95/90%
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA		Maks. 5%

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
	Lainnya	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

2. Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.8 (2,36 mm). Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada table berikut.

Tabel 2. 3 Ketentuan Agregat Halus (Sumber: Spesifikasi Bina Marga 2018)

Pengujian	**Metode pengujian**	**Nilai**
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6677-2002	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%

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terjadi dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan prosentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan prosentase volume(Studi et al., 2024).

Pemeliharaan agregat yang akan digunakan harus memperhatikan ketersediaan bahan dilokasi, jenis konstruksi, gradasi, ukuran maksimum,

kebersihan, daya tahan, bentuk, tekstur, daya letak agregat terhadap aspal dan berat jenis lainnya(Badan Standarisasi Nasional., 2011).

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian adalah Abu Batu. Abu batu merupakan partikel halus yang dihasilkan oleh mesin pemecah batu dimana abu batu tersebut memiliki sifat keras, awet, dan unsur pozzolan. Sehingga abu batu bisa digunakan dalam campuran aspal (Rachman, 2021)

Abu batu adalah material yang sangat halus yang berasal dari sisa pembakaran batu bara. Abu batu dapat dijadikan filler karena ukuran partikelnya yang sangat halus yang lolos saringan bila disaring dengan menggunakan saringan No. 200 (75 micron) dan mengandung unsur pozzolan, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat pada aspal beton (Horas et al., 2011)

Bahan pengisi (filler) harus kering dan bebas dari gumpalangumpalan dan mempunyai sifat non plastis. Fungsi filler dalam campuran adalah :

a. Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
b. Filler dan aspal secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar.
c. Mengisi ruang antara agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

4. Nilai Kekuasaan Agregat

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akbibat proses mekanis dan kimiawi. Agregat dapat mengalami

degradasi, yaitu perubahan gradasi, akibat pecahannya butir agregat. Kehancuran agregat dapat disebabkan oleh proses mekanis, seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan perkerasan jalan (penimbunan, penghamparan dan pemadatan), pelayanan terhadap beban lalu lintas, dan proses kimiawi, seperti pengaruh kelembapan, kepanasan dan perubahan suhu sepanjang hari.(SNI 03-1969, 1990)

Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi sangat ditentukan oleh jenis agregat, gradasi campuran, ukuran partikel, bentuk agregat dan besarnya energy yang dialami oleh agregat tersebut.

5. Bentuk Dan Tekstur Agregat

Berdasarkan bentuknya, partikel atau butir agregat dikelompokkan sebagai berbentuk bulat, lonjong, pipih, kubus, tak beraturan atau mempunyai bidang pecahan.

a. Agregat Berbentuk Bulat

Agregat yang ditemui di sungai pada umumnya telah mengalami erosi, sehingga berbentuk bulat (*rounded)* dan licin. Bidang kontak antar agregat berbentuk bulat sangat sempit, hanya berupa titik sunggung, sehingga menghasilkan penguncian antar agregat yang tidak baik dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan yang kurang baik

b. Agregat Berbentuk Kubus

Agregat berbentuk kubus (*cubical*) pada umumnya merupakan agregat hasil pemecahan batu massif atau hasil pemecahan mesin pemeca batu. Bidang kontak agregat ini luas, sehingga mempunyai daya saling mengunci yang baik. Kestabilan

yang diperoleh lebih baik dan lebih tahan terhadap pormasi. Agregat ini merupakan agregat yang terbaik untuk dipergunakan sebagai material perkerasan jalan.

c. Agregat Berbentuk Lonjong

Agregat berbentuk lonjong (*elongated*) dapat ditemukan di sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjang lebih dari 1,8 kali diameter rata-rata. Indek kelonjongan (*elongated index*) adalah presentase berat agregat lonjong berat total. Sifat campuran agregat bentuk lonjong ini hamper sama dengan agregat berbentuk bulat.

d. Agregat Berbentuk Pipih

Agregat berbentuk pipih (*flacky*) merupakan hasil produksi dari mesin pemecah batu, dan biasanya agregat ini memang cenderung pecah dengan bentuk pipih. Agregat pipih yaitu agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata. Indeks kepipihan adalah berat total agregat yang lolos slot dibagi berat total agregat yang tertahan slot pada ukuran nominal tertentu.

E. Kajian Hasil Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian yang telah dilakukan untuk mengkaji pengaruh limbah hebel terhadap stabilitas campuran AC-WC. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan limbah hebel dapat meningkatkan stabilitas campuran AC-WC.

1. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Putra et al., 2019) ”Pengaruh Subtitusi Styrofoam Pada Campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) 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.

2. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Haekal et al., 2023) “Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Dalam Campuran Aspal Beton Lapis Aus (*AC-WC*”:Limbah beton memenuhi persyaratan sebagai pengganti agregat ditinjau dari hasil pemeriksaan agregat berupa flakiness indeks, impact, abrasi, berat jenis dan angularitas. Flakiness = 23,37% (Syarat maks 25%). Impact value = 13,36% (Syarat maks 30%). Abrasi agregat = 28,31% (Syarat maks 30%). Berat jenis Agregat 10/10 = 2,51 gr/cm²(Syarat min 2,5). Agregat

5/10 = 2,56 gr/cm²(Syarat min 2,5). Agregat 0/5 = 2,53 gr/cm²(Syarat min 2,5). Angularitas = 9,62 (Syarat 0-12). Nilai optimum variasi campuran limbah beton pada kondisi campuran AC–WC adalah 29%, dengan nilai parameter Marshall. Stabilitas = 1093,70 kg (Syarat > 800). Flow = 3,31 mm (Syarat 2 – 4). VIM = 4,09% (Syarat 3 – 5) VMA = 16,36% (Syarat > 15). MQ =328,73 kg/mm (Tidak ada ketentuan). VFA = 74,96% (Syarat > 65).

Heri Wahyudiono, dkk (2020). "Modifikasi Laston AC-WC Menggunakan Bongkaran Limbah Beton". Dari hasil pengujian penambahan campuran aspal beton dapat disimpulkan. Nilai rata-rata VIM 6% = 7,91% ; 6,5% = 1,91% ; 7% = 6,2% ; 7,5% = 3,44% ; 8% = 4,92%. Nilai rata-rata VMA 6% = 60,19% ; 6,5% = 89,62% ; 7% = 65,97% ; 7,5% = 15,98% ; 8% = 17,26%. Nilai rata-rata VFB 6% = 60,19% ; 6,5% = 89,62% ; 7% = 65,97% ; 7,5% = 78,49% ; 8% = 71,5%. Nilai rata-rata stabilitas 6% = 2182kg/mm ; 6,5% = 2913kg/mm ; 7% = 3538kg/mm ; 77,5% = 2703kg/mm ; 8% = 3438kg/mm. Nilai rata-rata flow 6% = 3 ; 6,5% = 3 ; 7% =3 ; 7,5% = 3,2 ; 85 = 4. Nilai rata-rata MQ 6% = 727 ; 6,5% = 971 ; 7% = 1179 ; 7,5% = 845 ; 8% = 871. Berdasarkan hubungan antara kandungan kadar aspal minyak dan seluruh parameter marshall dan volumetrik menggunakan limbah bongkaran beton maka didaptkan kandungan aspal optimum berada pada kadar 7,5% dan 8% dari nilai VIM, VMA, VFB, STABILITAS dan MQ.

3. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Wardana et al., 2020)"Pengaruh Penambahann Limbah Karet Padat Ban Luar Bekas Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton":

Penelitian dilakukan untuk campuran panas jenis laston AC-WC (*Asphalt Concrete–Wearing Course*) dengan marshall test yang terdiri dari uji stabilitas, uji kelelehan (*flow*), VMA (Void in the Mineral Aggregate), VFA (*Voids Filled with Asphalt*), VIM (*Void In Mix*) dan *Marshall Quotient* (QM).Teknik pencampuran ban dengan aspal pen 60/70 dilakukan dengan cara memotong karet ban luar bekas tersebut dengan ukuran sebesar 0,15 mm, kemudian dicampurkan pada saat memasak aspal dengan suhu maksimal 200˚C agar aspal tersebut tidak rusak. Pengujian dilakukan pada campuran aspal dengan variasi penambahan karet ban bekas sebanyak 6%, 8%, dan 10% dari berat total kadar aspal optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai stabilitas, *marshall quotient*, VFA semakin kecil. Sedangkan nilai flow, VIM, dan VMA semakin besar. Penambahan limbah ban bekas dapat mengurangi penggunaan aspal dalam campuran laston.

4. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Hidayah & Hartantyo, 2021) ”Pengaruh Limbah Hebel Sebagai Pengganti Aggregat halus Terhadap Stabilitas Marshall Campuran AC-WC”:Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membuat benda uji marshall dengan variasi kadar limbah hebel yaitu 0%, 10%, 20% dan 30%. Pengujian Marshall dilakukan untuk mendapatkan nilai stabilitas, flow dan marshall quotient. Penambahan limbah hebel sebesar 20% dan 30% dapat meningkatkan stabilitas campuran AC-WC. Nilai stabilitas Marshall yang memenuhi spesifikasi AC-WC (>1000 kg) diperoleh pada variasi kadar limbah hebel 20% dan 30%.

5. Dalam penelitian yang dilakukan oleh ”Pengaruh Penambahan Limbah Hebel Sebagai Agregat Halus Terhadap Stabilitas Marshall Campuran AC-WC”:Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah hebel sebagai pengganti agregat halus terhadap stabilitas marshall pada campuran AC-WC. Penambahan limbah hebel sebesar 10% dan 20% dapat meningkatkan stabilitas campuran AC-WC. Nilai stabilitas Marshall yang memenuhi spesifikasi AC-WC (>1000 kg) diperoleh pada variasi kadar limbah hebel 20%.
6. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Arief , dkk. (2023) ”Peng Pengaruh Limbah Hebel sebagai Agregat Halus terhadap Stabilitas Marshall Campuran AC-WC dengan Variasi Kadar Aspal”:

   Limbah hebel merupakan limbah yang dihasilkan dari proses pembuatan hebel. Limbah hebel memiliki karakteristik yang berbeda dengan agregat halus, seperti memiliki bentuk yang tidak teratur, ukuran yang tidak seragam, dan memiliki kadar air yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah hebel sebagai pengganti agregat halus terhadap stabilitas Marshall campuran AC-WC dengan variasi kadar aspal.

   Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan membuat benda uji Marshall dengan variasi kadar limbah hebel yaitu 0%, 20%, dan 30%. Pengujian Marshall dilakukan untuk mendapatkan nilai stabilitas, flow, dan Marshall Quotient
7. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Yanti, dkk. (2021): “karakeristik Campuran Laston Lapis Aus Yang Menggunakan Agregat Limbah Beton”.

Metode yang digunakan dalam penelitian ini antara lain menguji sifat agregat kasar, agregat halus dan filler, setelah itu dilakukan perancangan campuran Laston Lapis Aus setelah itu dilakukan pengujian Marshall adapun pengujian marshall yang dilakukan yaitu Marshall konvensional untuk mendapat nilai karakteristik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakateristik bahan perkerasan berupa agregat dari Limbah beton memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 sebagai lapisan jalan. Melalui pengujian Marshall diperoleh karakteristik campuran Laston Lapis Aus dengan Kadar aspal 5.50%, 6.00%, 6.50%, 7.00%, dan 7.50%.

8. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Heri Wahyudiono, dkk (2020): "Modifikasi Laston AC-WC Menggunakan Bongkaran Limbah Beton". Dari hasil pengujian penambahan campuran aspal beton dapat disimpulkan. Nilai rata-rata VIM 6% = 7,91% ; 6,5% = 1,91% ; 7% = 6,2% ; 7,5% = 3,44% ; 8% = 4,92%. Nilai rata-rata VMA 6% = 60,19% ; 6,5% = 89,62% ; 7% = 65,97% ; 7,5% = 15,98% ; 8% = 17,26%. Nilai rata-rata VFB 6% = 60,19% ; 6,5% = 89,62% ; 7% = 65,97% ; 7,5% = 78,49% ; 8% = 71,5%. Nilai rata-rata stabilitas 6% = 2182kg/mm ; 6,5% = 2913kg/mm ; 7% = 3538kg/mm ; 77,5% = 2703kg/mm ; 8% = 3438kg/mm. Nilai rata-rata flow 6% = 3 ; 6,5% = 3 ; 7% =3 ; 7,5% = 3,2 ; 85 = 4. Nilai rata-rata MQ 6% = 727 ; 6,5% = 971 ; 7% = 1179 ; 7,5% = 845 ; 8% = 871. Berdasarkan hubungan antara kandungan kadar aspal minyak dan seluruh parameter marshall dan volumetrik menggunakan limbah bongkaran beton maka didaptkan kandungan aspal optimum berada pada kadar 7,5% dan 8% dari nilai VIM, VMA, VFB, STABILITAS dan MQ.

9. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kevin Libra Putra, dkk (2019): "Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Ban Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Stabilitas Lapisan AC-WC". Metode pencampuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah batas tengah gradasi campuran AC-WC dalampersyaratan Bina Marga.Berdasarkan analisis Marshall diperoleh kadar aspal optimum campuran 0% limbah serbuk banadalah 5.49%, campuran dengan 50% limbah serbuk ban sebagai pengganti agregat pada fraksi No. 30 memiliki kadar aspal optimum 5.75% dan campuran dengan 100% limbah serbuk bansebagai pengganti agregat pada fraksi No. 30 memiliki kadar aspal optimum 6.05%. Hasil pengujian Marshall Immersion menunjukkan indeks kekuatan sisa campuran AC-WC dengan 50% limbah serbuk ban sebagai pengganti sebagian agregat pada fraksi No. 30, memiliki nilai yang terbesar yaitu 95.49%. Campuran optimum diperoleh pada campuran yang mengandung serbuk ban bekas sebagai pengganti fraksi No. 30 sebanyak 56% sebesar 95.645%.
10. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Rizki, dkk (2017): "Uji Eksperimental Penggunaan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Lapisan Aspal AC-BC". Hasil karakteristik campuran aspal beton AC-BC pada kadar aspal optimum dinyatakan dalam sifat-sifat berikut nilai stabilitas maksimum kadar aspal 4,5% sebesar 1345,95 kg dan minimum pada kadar aspal 5,5% sebesar 1199,27 kg, nilai VMA maksimum pada kadar aspal 6,5% sebesar 17.69% dan minimum pada kadar aspal 5% sebesar 15.20%, nilai VIM maksimum pada kadar aspal 4.5% sebesar 6.59 % dan minimum pada kadar

aspal 6.5% sebesar 4,02%, Nilai VFB maksimum pada kadar aspal 6.5% sebesar 77.99% dan minimum pada kadar aspal 4.5% sebesar 63.32 %, nilai flow maksimum pada kadar aspal 6.5% sebesar 3.99 mm dan minimum pada kadar aspal 5% sebesar 2.3 mm, nilai MQ maksimum pada kadar aspal 5% sebesar 718,06 mm/kg dan minimum pada kadar aspal 6,5% sebesar 302,69 mm/kg, nilai karakteristik yang telah diperoleh melalui pengujian marshall dengan hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah 5.275%. Maka penggunaan material agregat limbah beton telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan layak digunakan dalam campuran aspal beton AC-BC.

11. Dalam penelitian yang dilakukan oleh JF. Sandrijanie Linggo dan Amelia Bunga Nugrahenny (2022): "Limbah Beton Sebagai Subtitusi Material Pada Laston AC-WC". Penelitian ini menggunakan kadar limbah beton 0%, 25%, 50%, dan 75% dengan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% masing-masing, dan GGBFS sebagai pengisi digunakan 2% sesuai dengan ketentuan Umum Spesifikasi Jalan Raya 2010 Revisi 3. Dari hasil pengujian diketahui bahwa semakin banyak limbah beton yang digunakan pada Campuran beton AC-WC maka semakin rendah nilai VMA dan VITMnya. Sebagai bahan pengganti yang mempunyai efek baik Karakteristik marshall terdapat pada campuran limbah beton 25% dengan kadar aspal 5,5% -6,5% dan KAO nilai 6,12%, limbah beton 50% dengan kadar aspal 6% -6,5% dan nilai KAO 6,25%.
12. Dalam penelitian ini dilakukan oleh Muhammad Rifaidi, dkk (2024): "Kinerja Marshall Immersion pada Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan

Limbah Bottom AshSebagai Substitusi Agregat Halus". Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa pemanfaatan limbahbottom ashyang telah diuraikan sebelumnya dapatditarik kesimpulandari hasilpengujian menggunakan marshall immersion didapatkan nilai VIM: Kadar aspal 4%= 41,7%, Kadar aspal 6% = 39,14%, Kadar aspal 8% = 31,41%. Nilai VFA kadar aspal4% =-1,93 %, kadar aspal 6% = 6,42 %, kadar aspal 8% = 17,31 %. Nilai MQ kadaraspal4% = 482 Kg/mm, kadar aspal 6% = 493 Kg/mm, kadar aspal 8% = 721 Kg/mm.Dari standarisasi Bina Marga Revisi 3 Tahun 2010, batas nilai VIM yaitu min3% sampai dengan max 5% , batas minimal nilai VFA yaitu 65%, dan batasan nilaiMQ 250 Kg/mm. Dapat dilihat nilai VIM dan VFA tidak memenuhi nilai spesifikasiBina Marga Revisi 3 Tahun 2010, sedangkan nilai MQ memenuhi nilai yang telah diisyaratkan. Namun penggunaan limbahbottom ashsebagai substitusi agregat halusdalam campuran aspal AC-WC tidak dapat di gunakan karena tingginya nilai VIMyang membuat aspal menjadibleedingdan rendah nya nilai VFA yang mengakibatkancampuran aspal menjadi berongga atau berpori sehingga campuran aspal tidak kedapair dan mudah hancur.

13. Dalam penelitian ini dilakukan oleh Kurnia Hadi Putra dan Jamila Wahdana (2019): "Studi Eksperimental Penambahan Limbah Keramik Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Laston (AC-WC) Terhadap Karakteristik Uji Marshall". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah keramik dalam campuran tersebut terhadap karakteristik uji marshall dan berapa kadar optimum penambahan limbah keramik. Penelitian ini

mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018. Langkah awal dalam penelitian ini adalah pembuatan benda uji tanpa limbah keramik dengan kadar aspal 5.3%, 5.8%, dan 6.3% kemudian dilakukan uji Marshall sehingga didapatkan nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) yaitu sebesar 5.8%. Selanjutnya pembuatan benda uji dengan penambahan limbah keramik akan menggunakan KAO. Dari pengujian Marshall yang telah dilakukan, hasil yang memenuhi seluruh spesifikasi adalah pada penambahan kadar limbah keramik sebesar 25% dimana diperoleh nilai VIM sebesar 4.09%, nilai VMA sebesar 15.52%, VFB sebesar 73.65%, nilai flow sebesar 2.50 mm, nilai stabilitas sebesar 1299.83 kg dan nilai Marshall Quotient sebesar 519.93 kg/mm.

14. Dalam penelitian ini dilakukan oleh Zainal Safariska, dkk (2020): “Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Subtitusi Agregat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisa AC-WC. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh subtitusi penggunaan abu cangkang kemiri sebagai pengganti filler terhadap campuran aspal beton lapisan AC-WC. Dengan penambahan abu cangkang kemiri mulai dari 25%, 50%, dan 100%. Penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi 3 Tahun 2014. Hasil penelitian menujukkan bahwa dengan penambahan abu cangkang kemiri dapat meningkatkan nilai stabilitas. Secara umum nilai karakteristik yang memenuhi persyaratan Bina Marga (2014) terdapat pada komposisi 25% filler abu cangkang kemiri pada kadar aspal 6,50%, nilai VIM 3,70%, VMA 19,49%, flow 3,30 mm dan stabilitas yaitu 1541,70 kg.
15. Dalam penelitian ini dilakukan oleh Nadya Shafira Salsabilla, dkk (2022):

“Dampak Penambahan Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Beberapa Agregat Halus Terhadap Stabilitas Campuran Aspal Dengan Metode Marshall Test”. Dari hasil penelitian 1) Pada dampak nilai uji marshall pada campuran aspal panas dengan menggunakan limbah serbuk besi sebagai pengganti sejumlah agregat halus pada kadar 5%, 10% dan 15% adalah dapat memdampak inilai karakteristik marshall yaitu meliputi nilai Kepadatan, VIM, VMA ,VFA, Stabilitas, Kelelehan (Flow), dan Marshall Quotient. 2) Pada nilai stabilitas aspal panas dengan campuran menggunakan limbah serbuk besi sebagai pengganti agregat halus pada kadar 5%, 10% dan 15%. Berdasarkan hasil dari Job Mix Design PT. Nisajana Hasna Rizqy memiliki nilai stabilitas marshall sebesar 1300 kg. Dimana penambahan yang paling efektif pada kadar 10% karena pada saat itu nilai stabilitas marshall mengalami kenaikan dengan nilai 1058,13 kg dibandingkan dengan stabilitas bahan tambah limbah serbuk besi dengan kadar 5% dengan nilai 992,64 kg ,sedangkan untuk bahan tambah limbah serbuk besi pada kadar 15% mengalami penurunan dengan nilai 882,35 kg. 3) Pada penambahan kadar limbah serbuk besi pada campuran aspal panas pada penilitian ini ada yang tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu VIM, pada nilai VFA yang tidak masuk pada kadar 5% dengan nilai 59,63 dan pada kadar 15% dengan nilai 58,75, pada nilai stabilitas yang tidak masuk pada kadar 15% dengan nilai sebesar 882,35 kg, pada nilai kelelehan (flow) yang tidak masuk pada kadar 10% sebesar 4,80 dan pada kadar 15% memiliki nilai sebesar 5,55, sedangkan pada nilai marshall quotient yang tidak masuk pada kadar 10% dengan nilai sebesar 220,44 kg/mm, dan pada kadar 15%

sebesar 158,98 kg/mm. Namun untuk persyaratan lain sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018, diantaranya, Kepadatan, VMA, pada nilai VFA yang masuk pada kadar 10%, sedangkan pada nilai stabilitas yang masuk pada kadar 5% dan 10%, sedangkan di nilai kelelehannya pada kadar 5%, dan pada nilai marshall quotient yang memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 pada kadar 5%.

16. Dalam penelitian ini dilakukan oleh Alimatul Hidayah dan Sugeng Dwi Hartantyo (2021): "Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Gipsum Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course". Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan, penggunaan limbah serbuk Gypsum sebagai pengganti Filler pada campuran (AC-WC) ternyata mempengaruhi hasil Marshall Properties. Variasi kadar Filler limbah serbuk Gypsum yang digunakan dalam campuran (AC-WC) adalah 7%, 8%, dan 9%. Dimana variasi limbah serbuk Gypsum yang telah memenuhi spesifikasi adalah pada variasi 7% yaitu nilai Stabilitasnya mengalami peningkatan 870,95 Kg dibandingkan dengan nilai Stabilitas pada variasi 0% atau normal yaitu dengan nilai 813,76 Kg. Nilai VFWA mengalami kenaikan yaitu 88,81% dari variasi 0% atau normal dengan nilai 86,40%. Nilai Flow mengalami kenaikan yaitu 3,50 mm dari nilai Flow pada variasi 0% atau normal yaitu 3,27% dan Marshall Quotient (MQ) juga mengalami kenaikan dengan nilai 252,72kg/mm di bandingkan pada variasi 0% atau normal yaitu 253,41 Kg/mm. Namun pada nilai VMA terjadi penurunan yaitu 19,35% dari pada variasi 0% atau normal dengan nilai 19,75% dan nilai VIM juga mengalami penurunan yaitu 4,57%

dibandingkan pada variasi 0% atau normal dengan nilai 5,04%. Meskipun nilai VMA dan VIM mengalami penurunan dari variasi 0% atau normal akan tetapi hasil tersebut masih memenuhi spesifikasi umum 2010 devisi 6.

17. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Naufal Imannurohman, dkk (2023): "Pemanfaatan Beton Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Perkerasan Laston *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)." Hasil pengujian Penambahan limbah beton pada perkerasan laston ACWC mempengaruhi karakteristik Marshall yaitu pada nilai Stabilitas, Flow, VIM, VFB, VMA, dan MQ hasil analisis statistik. Dengan hasil sebagai berikut : nilai stabilitas yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar 1461,96 kg, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar 1869,30 kg. Nilai flow yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar 3.42 mm, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar 3,17 mm. Nilai VIM yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar 3,45%, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar 3,83%. Nilai VFB yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar 78,66%, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar 76,97%. Nilai VMA yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar 16,19%, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar 16,64%. Nilai MQ yang dicapai pada kadar aspal optimum 6% tanpa limbah beton sebesar 428,13 kg/mm, sedangkan dengan limbah beton 15% sebesar 590,97 kg/mm. Berdasarkan nilai karakteristik Marshall kadar optimum campuran AC-WC didapatkan pada kadar limbah beton 15% dengan menggunakan aspal pertamina pen 60/70 kadar aspal sebesar 6% berpengaruh

baik terhadap nilai karakteristik marshall seperti Stabilitas sebesar 1869,30 kg, Flow sebesar 3,17 mm, VFB sebesar 76,97%, VMA sebesar 16,64 %, VIM sebesar 3,83% dan MQ sebesar 590,97 kg/mm. dengan demikian campuran tersebut sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2010, Revisi 3.

18. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Kurnia Hadi Putra, dkk (2019): "Studi Eksperimental Penambahan Limbah Keramik Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Laston (AC-WC) Terhadap Karakteristik Uji Marshall". Hasil pengujian yang baik serta memenuhi seluruh parameter Marshall adalah pada kadar penambahan limbah keramik sebesar 25% dimana nilai stabilitasnya sebesar = 1299.83 kg, nilai tersebut lebih baik dibandingkan tanpa penambahan keramik. sedangkan nilai VIM = 4.09%, VMA = 15.52%, VFB = 73.65%, Flow = 2.5 mm dan MQ = 519.93 kg/mm. Kadar optimum untuk penambahan limbah keramik adalah sebesar 16.05%.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis Penelitian

Metode penelitian yang digunakan adalah eskperimental Labolatorium, yaitu metode yang dilakukan dengan pengujian di Laboratorium untuk mendapatkan data. Kemudian melakukan pengolahan data untuk mengetahui pengaruh dari bahan limbah hebel terhadap lapisan aspal AC-WC terhadap nilai marshall.

B. Lokasi dan Waktu Penelitian

Lokasi dan waktu penelitian dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Lokasi penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Parepare, Jl. Jend. Ahmad Yani No. Km. 6, Kel. Bukit Harapan, Kec. Soreang kota parepare.

2. Waktu penelitian

Penelitian ini dilakukan selama 2 (dua) bulan yaitu dimulai pada tanggal 10 September 2024 sampai dengan 28 Oktober 2024.

C. Bahan dan Alat

1. Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini :

a. Agregat halus yang digunakan berasal dari Perumahan Syakirah Residance di Kota Parepare.

b. *Filler* atau material lolos saringan No. 200 yang digunakan dalam penelitian ini adalah semen (*Portland Cement*).

c. Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal keras penetrasi 60/70.

2. Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari :

a. *Mesin Los Angeles*

b. Satu Set Saringan

c. Oven

d. Timbangan

e. Piknometer

f. Alat Tekan Marshall

g. Alat Cetak Benda Uji

h. Alat penumbuk manual

i. Water Bath.

D. Prosedur Penelitian

Tahapan persiapan merupakan rangkaian kegiatan awal sebelum memulai pengumpulan dan pengolahan data. Pada tahan persiapan ini disususn hal-hal yang harus dilakukan agar tujuan penulisan tugas akhir ini menjadi teratur dan terstruktur, sehingga waktu penulisan tugas akhir ini berjalan efektif dan efisian. Pemanfaatan limbah hebel sebagai bahan pengganti agregat halus aspal AC-WC merupakan sebuah penelitian yang prosesnya dimulai dari pemeriksaan material

aspal sesuai dengan spesifikasi. Penentuan kadar aspal optimum campuran limbah hebel sebagai bahan tambah campuran aspal AC-WC.

Tabel 3. 1 Sampel Penelitian Variasi Limbah Hebel (Agregat Halus)

Kode	variasi limbah hebel (agregat halus)	Sampel
HA 1	20%	3
HA 2	25%	3
HA 3	35%	3
HA 4	40%	3
Jumlah Sampel		12

Keterangan tabel di atas sebagai berikut:

HA 1 adalah Penggunaan limbah hebel 20%
HA 2 adalah Penggunaan limbah hebel 25%
HA 3 adalah Penggunaan limbah hebel 35%
HA 4 adalah Penggunaan limbah hebel 40%

E. Teknik Pengembilan Data

Teknik pengumpulan data dilaksanakan dengan metode eskperimental terhadap beberapa benda uji dari berbagai kondisi perlakuan yang di uji di labolatorium. Jenis data pada penelitian ini dikelompokan menjadi 2 yaitu data primer dan sekunder.

1. Data primer adalah data yang dikumpulkan secara langsung melalui serangkaian kegiatan percobaan yang dilakukan sendiri dengan mengacu pada petunjuk manual yang ada, misalnya dengan mengadakann penelitian atau pengujian secara langsung seperti pengujian propertis aspal dan pengujian agregat.

2. Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung, untuk pengujian aspal dan limbah hebel diperoleh dari studi literatur dan dilingkungan sekitar.

F. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare.

1. Pengujian Propertis Aspal

Pengujian terhadap aspal dilakukan untuk mengetahui apakah aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi yang ditentukan, pengujian meliputi :

a. Uji penetrasi
b. Titik lembek
c. Berat jenis

G. Membuat Mix Design

Urutan perencanaan campuran pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menghitung komposisi campuran berdasarkan data analisa saringan masing-masing agregat.
2. Menentukan kadar aspal rencana untuk mencari kadar aspal optimum.
3. Membuat benda uji (briket) untuk masing-masing komposisi campuran 3 briket untuk tiap % kadar aspal rencana.

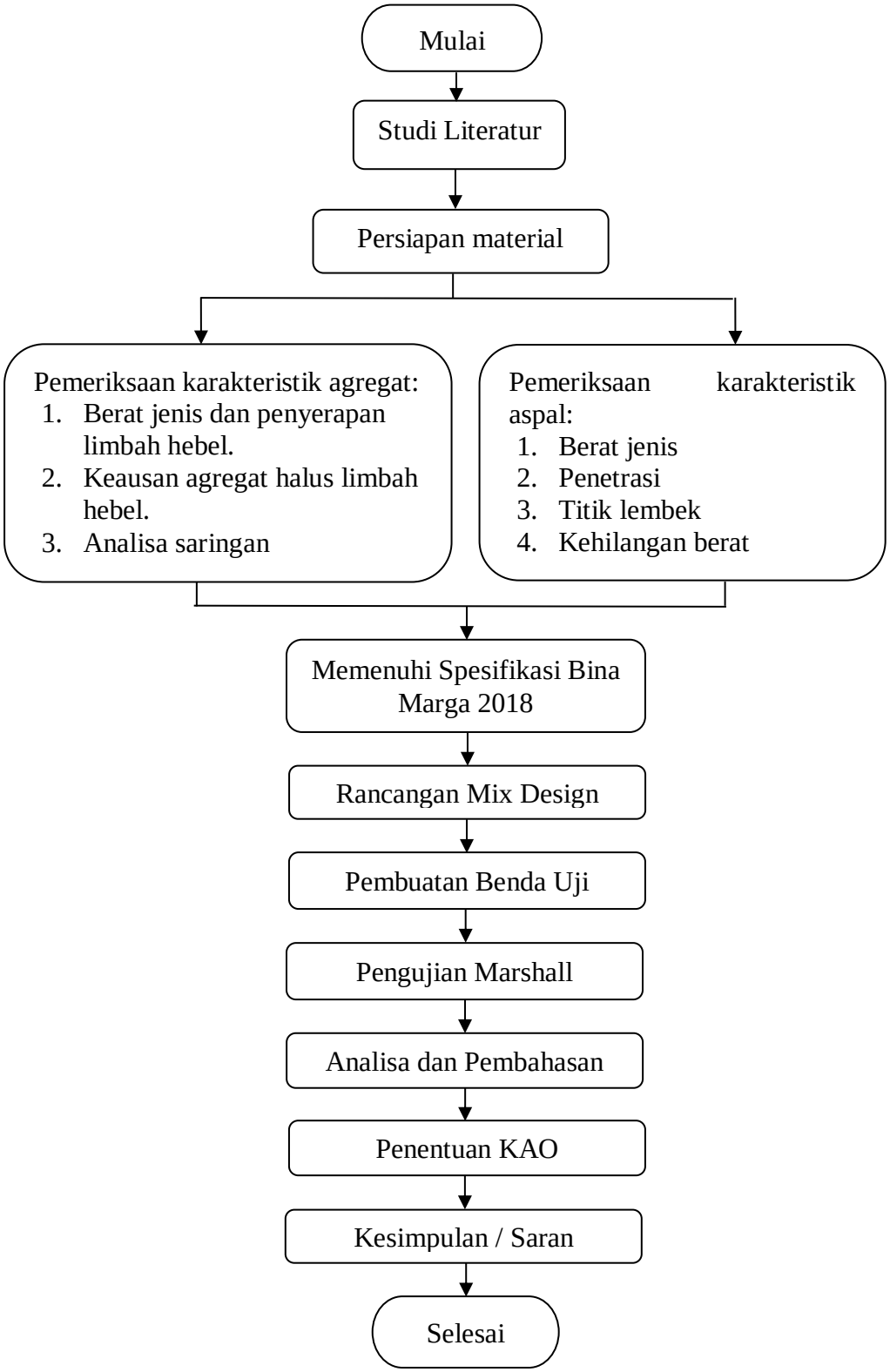
H. Pengujian Marshall

Rancangan campuran berdasarkan metode marshall ditemukan oleh *Bruce Marshall*, dan telah distandarnisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui

beberapa modifikasi, yaitu AASHTO T-245-97 secara garis besar, pengujian marshall ini meliputi :

a. Penentuan berat jenis bulk dari benda uji
b. Pemeriksaan nilai stabilitas dan flow
c. Perhitungan sifat volumetric benda uji

I. Diagrm Alir



Gambar 3. 1 Diagram Alir

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

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

1. 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 2024)*

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2.60	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering	2.73			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2.75			Memenuhi
4	Penyerapan	2,15	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat kasar 1-2 diatas telah memenuhi spesifiksi min 2,5 gr, berat jenis jenuh kering permukaan 2.73 gr, berat jenis semu 2.75 gr, dan penyerapan 2,15 %. Jadi, dari hasil analisis berat jenis agregat kasar 1-2 telah memenuhi spesifikasi yaitu berat jenis minimum 2.5 gr dan hasil penelitiaan 2,15 % telah memenuhi spesifikasi maksimal 3 %.

2. 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 2024)*

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2.56	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Beratjenis kering	2.60			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2.66			Memenuhi
4	Penyerapan	1.47	Maks. 3	%	Memenuhi

Dari pengujian berat jenis agregat kasar 0,5-1 diatas telah memenuhi spesifikasi min 2,5 gr, berat jenis jenuh kering permukaan 2.60 gr, berat jenis semu 2.66 gr, dan penyerapan 1.47 %. Jadi, dari hasil analisis berat jenis agregat kasar 0,5-1 telah memenuhi spesifikasi yaitu berat jenis minimum 2.5 gr dan hasil penelitian 1,47% telah memenuhi spesifikasi maksimal 3 %.

3. 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 2024)*

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Sat	Ket.
1	Berat jenis bulk	2.65	Min 2.5	gr	Memenuh
2	Berat jenis kering	2.67			Memenuh
3	Berat jenis semu	2.70			Memenuh
4	Penyerapan (Absorption)	0,78	Maks. 3	%	Memenuh

Dari hasil pengujian berat jenis agregat halus (abu batu) diatas telah memenuhi spesifikasi min 2,5 gr, berat jenis jenuh kering permukaan 2.67 gr, berat jenis semu 2.70 gr, dan penyerapan 0,78 %. Jadi, dari hasil analisis berat jenis agregat halus (abu batu) telah memenuhi spesifikasi yaitu berat jenis minimum 2.5 gr dan hasil penelitiaan 2,59% memenuhi spesifikasi maksimal 3 %.

B. Pemeriksaan analisa saringan agregat

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

1. Analisa saringan agregat kasar 1-2

Tabel 4. 4 Hasil analisa saringan agregat kasar normal 1-2 *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

NO Saringan	SAMPEL 1				SAMPEL 2				
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Rata - Rata
3/4"	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,000	100,00
1/2"	300,3	20,02	20,02	79,98	340,0	22,67	22,67	77,33	78,66
3/8"	622,1	41,47	61,49	38,51	626,2	41,75	64,41	35,59	37,05
4	443,7	29,58	91,07	8,93	415,0	27,67	92,08	7,92	8,42
8	104,5	6,97	98,04	1,96	98,6	6,57	98,65	1,35	1,65
16	8,5	0,57	98,61	1,39	10,2	0,68	99,33	0,67	1,03
30	1,8	0,12	98,73	1,27	5,6	0,37	99,71	0,29	0,78
50	1	0,07	98,79	1,21	2,3	0,15	99,86	0,14	0,67
100	0,3	0,02	98,81	1,19	0,3	0,02	99,88	0,12	0,65
200	0,6	0,04	98,85	1,15	0,4	0,03	99,91	0,09	0,62
Pan	17,2	1,15	100,00	0	1,4	0,09	100,00	0	0,00
Jumlah	1500	100			1500	100			

2. Analisa saringan agregat kasar 0,5-1

Tabel 4. 5 Hasil analisa saringan agregat kasar 0,5-1 *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

NO Saringan	SAMPEL 1				SAMPEL 2				
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Rata - Rata
3/4"	0	0	0	100,00	0	0	0	100	100,00
1/2"	0	0	0	100,00	0	0,00	0,00	100,00	100,00
3/8"	219,6	14,64	14,64	85,36	236,4	15,76	15,76	84,24	84,80
4	684,1	45,61	60,25	39,75	708,3	47,22	62,98	37,02	38,39
8	426,9	28,46	88,71	11,29	418,1	27,87	90,85	9,15	10,22
16	103,4	6,89	95,60	4,40	93,2	6,21	97,07	2,93	3,67
30	52,4	3,49	99,09	0,91	30,3	2,02	99,09	0,91	0,91
50	0,7	0,05	99,14	0,86	0,6	0,04	99,13	0,87	0,87
100	0,7	0,05	99,19	0,81	1,8	0,12	99,25	0,75	0,78
200	0	0,00	99,19	0,81	2,7	0,18	99,43	0,57	0,69
Pan	12,2	0,81	100,00	0	8,6	0,57	100,00	0	0,00
Jumlah	1500	100			1500	100			

3. Saringan agregat halus (abu batu)

Tabel 4. 6 Hasil analisa saringan agregat halus (abu batu) Sampel 1 *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

NO Saringan	SAMPEL 1				SAMPEL 2				
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	Komulatif Tertahan	(%) Lolos	Rata - Rata
3/4"	0	0	0	100	0	0	0	100	100,00
1/2"	0	0	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00	100,00
3/8"	0	0,00	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00	100,00
4	0	0,000	0,00	100,00	0	0,00	0,00	100,00	100,00
8	260,4	17,36	17,36	82,64	379	25,27	25,27	74,73	78,69
16	414,1	28	44,97	55,03	417,1	27,81	53,07	46,93	50,98
30	272,2	18,15	63,11	36,89	292,2	19,48	72,55	27,45	32,17
50	182,6	12,17	75,29	24,71	156,5	10,43	82,99	17,01	20,86
100	216,7	14,45	89,73	10,27	125,3	8,35	91,34	8,66	9,46
200	19,5	1,3	91,03	8,97	19,7	1,31	92,65	7,35	8,16
Pan	134,50	8,97	100,00	0	110,2	7,35	100,00	0	0,00
Jumlah	1500	100			1500	100			

4. Hasil Pemeriksaan Aspal

Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap aspal AC 60-70, diperoleh hasil yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 dengan menggunakan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan data selengkapnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 4. 7 Hasil pengujian aspal *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan	Ket.
1	Berat jenis aspal	1.0	≥ 1,0	gr/cc	Memenuhi
2	Tititk lembek	48,50	≥ 48	°C	Memenuhi
3	Penetrasi pada	69,8	60-70	0,1 mm	Memenuhi
4	Kehilangan berat	0.3	≤ 0,8	%	Memenuhi

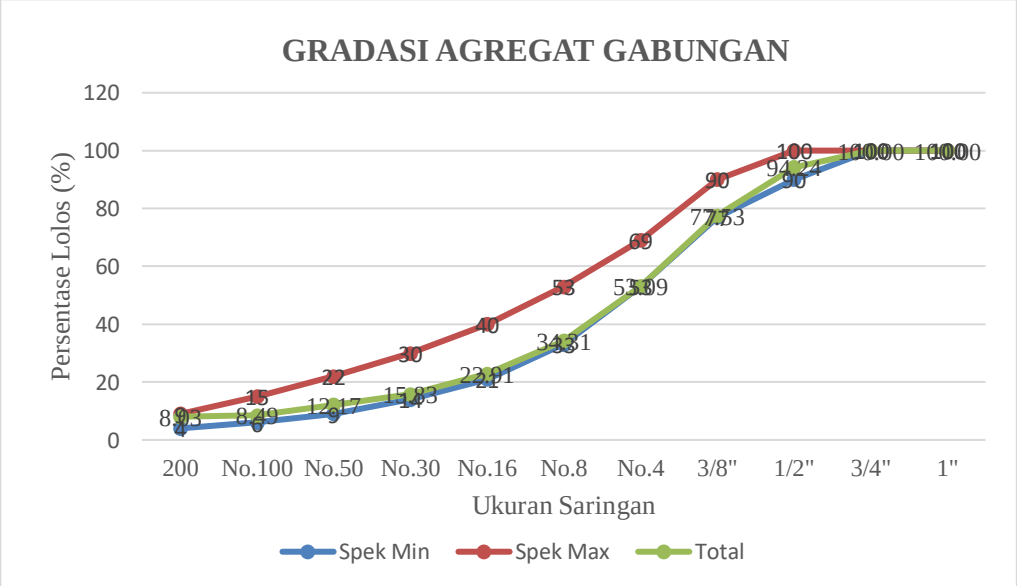
Dari hasil pengujian diatas diperoleh berat jenis sebesar 1.0 gr/cc, titik lembek sebesar 48,50 °C, Penetrasi pada 25 °C sebesar 69,8 mm, Kehilangan berat aspal sebesar 0.3 %.

C. Hasil Rancangan Campuran

1. Hasil gradasi agregat gabungan

Tabel 4. 8 Hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada Tabel Berikut

Saringan						27%	36%	32%	5%	Total	Spek AC-WC
ASTM	(mm)	Agregat 1/2	Agg. 0.5/1	Abu Batu	semen	Agg1/ 2	Agg 0.5/1	Abu Batu	Filler		
1"	25	100,00	100,00	100,00	100,00	27,00	36,00	32,00	5,00	100,00	
3/4"	19	100,00	100,00	100,00	100,00	27,00	36,00	32,00	5,00	100,00	100
1/2"	12,5	78,66	100,00	100,00	100,00	21,24	36,00	32,00	5,00	94,24	90-100
3/8"	9,5	37,05	84,80	100,00	100,00	10,00	30,53	32,00	5,00	77,53	77-90
No.4	4,75	8,42	38,39	100,00	100,00	2,27	13,82	32,00	5,00	53,09	53-69
No.8	2,36	1,65	10,22	78,69	100,00	0,45	3,68	25,18	5,00	34,31	33-53
No.16	1,18	1,03	3,67	50,98	100,00	0,28	1,32	16,31	5,00	22,91	21-40
No.30	0,6	0,78	0,91	32,17	100,00	0,21	0,33	10,29	5,00	15,83	14-30
No.50	0,3	0,67	0,87	20,86	100,00	0,18	0,31	6,68	5,00	12,17	9-22
No.100	0,15	0,65	0,78	9,46	100,00	0,18	0,28	3,03	5,00	8,49	6-15
200	0,075	0,62	0,69	8,16	100,00	0,17	0,25	2,61	5,00	8,03	4-9
PAN											



Gambar 4. 1 Grafik hasil gradasi agregat gabungan *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

% AGREGAT KASAR (TERTAHAN SARINGAN No. 8) =		59,47
AGREGAT HALUS (LOLOS SARINGAN No. 8 tertahan 200) =		35,07
FILLER(LOLOS SARINGAN NO.200)	=	5,46
		100,00

Pb = 0,035 (%CA)+ 0,045 (%FA) + 0,18 (%FILLER) +KONSTANTA

Pb = 5,64

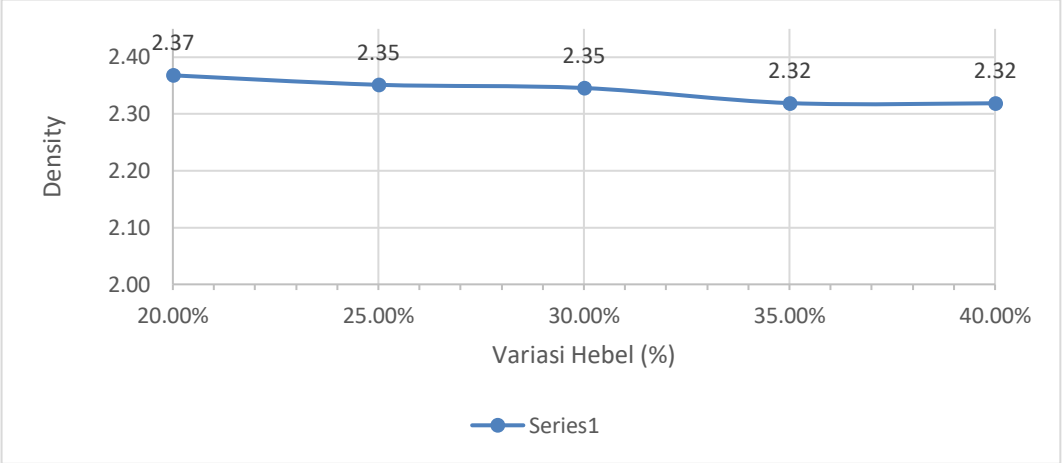
Dari hasil pemeriksaan analisa saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti pada table diatas. Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat, harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk campuran AC-WC harus berada di antara batas atas dan batas bawah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

D. Hasil Pengujian Marshall

1. Kepadatan

Tabel 4. 9 Kepadatan

Hebel %	Kepadatan gr/cc
20,00	2,37
25,00	2,35
30,00	2,35
35,00	2,32
40,00	2,32



Gambar 4. 2 Grafik kepadatan *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium2024)*

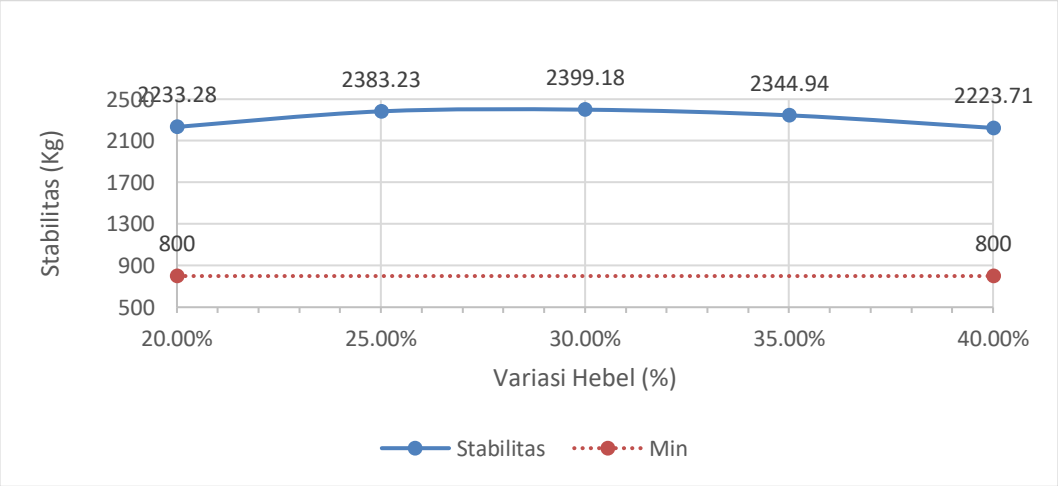
Dari hasil pengujian nilai kepadatan paling tinggi pada limbah hebel 20% sebesar 2,36 dan paling rendah 35% dan 40% sebesar 2,32.

2. 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 dicocokan 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:

Tabel 4. 10 Hasil pengujian stabilitas *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

Hebel %	Stabilitas Kg	Spesifikasi	Keterangan
		Min	
20,00	2233,28	800	Memenuhi
25,00	2383,23	800	Memenuhi
30,00	2399,18	800	Memenuhi
35,00	2344,94	800	Memenuhi
40,00	2223,71	800	Memenuhi



Gambar 4. 3 Grafik stabilitas *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium2024)*

Dari gambar 4.3 grafik menunjukan pada pemakaian limbah hebel 20 % sampai dengan 40 %. Dari grafik nilai stabilitas tertinggi yaitu pada hebel 30 % sebesar 2399,18 kg, dan nilai stabilitas terendah yaitu pada limbah hebel 40 % sebesar 2223,71 kg.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat nilai stabilitas minimum untuk lalu lintas berat yaitu 800 kg, sehingga semua

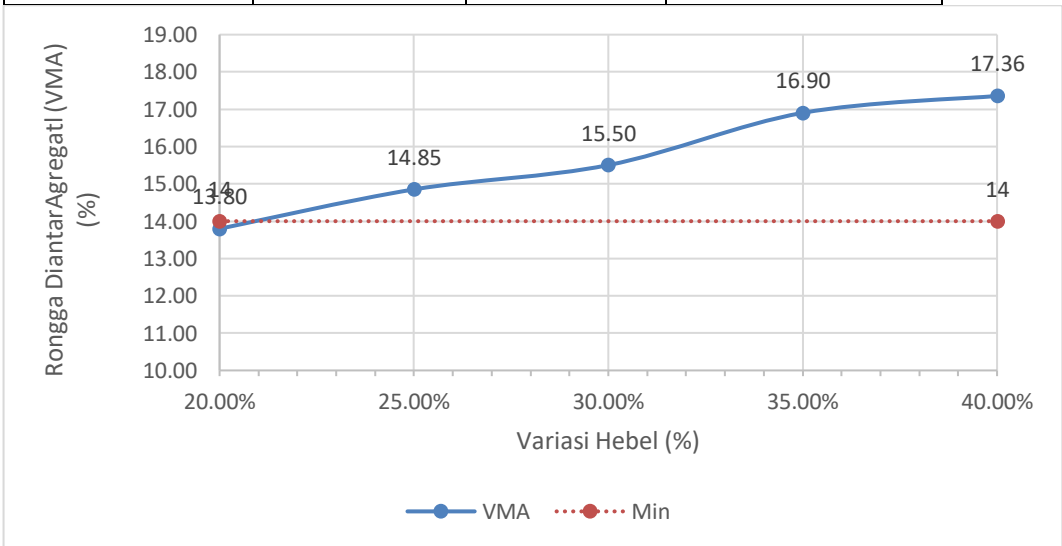
variasi hebel yang digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi persyaratan yang tertentu.

3. Rongga diantara agregat (VMA)

VMA *(Void In Mineral Agregate)* 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.

Tabel 4. 11 Hasil pengujian VMA *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

Hebel %	Nilai VMA (%)	Spesifikasi	Keterangan
		Min	
20,00	13,80	14	Tidak memenuhi
25,00	14,85	14	Memenuhi
30,00	15,50	14	Memenuhi
35,00	16,90	14	Memenuhi
40,00	17,36	14	Memenuhi



Gambar 4. 4 Grafik VMA*(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

Berdasarkan gambar 4.4 grafik menujukan nilai VMA (Void In Mineral Aggregate) pada limbah hebel 20 % sampai dengan 40 %, yaitu nilai VMA tertinggi 17,36 % pada hebel 40 % dan terendah 13,80 % pada hebel 20 %. Ditinjau dari Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VMA (Void In Mineral Aggregate) minimal 14 %, jadi yang memenuhi persyaratan mulai dari hebel 25% sampai dengan 40%.

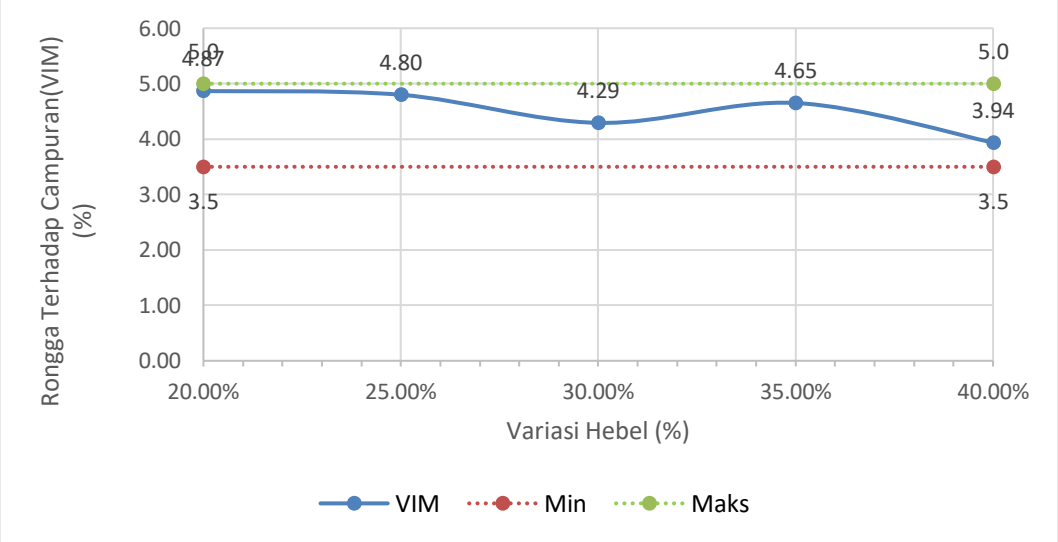
4. Rongga Terhadap Campuran (VIM)

VIM *(Void In The Mix)* merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Jika nilai VIM (Void In Mix) yang terlampau 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 terlampau rendah akan menyebabkan mudah terjadinya bleading pada lapis keras. Selain bleading, dengan VIM yang rendah kekakuan lapis keras akan mengalami retak dan pecah (cracking) apabila menerima beban lalulintas karena tidak cukup lentur untuk menerima deformasi yang terjadi. Hubungan antara VIM dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 4. 12 Hasil pengujian VIM *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

Hebel %	Nilai VIM (%)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
20,00	4,87	3	5	Memenuhi
25,00	4,80	3	5	Memenuhi
30,00	4,29	3	5	Memenuhi
35,00	4,65	3	5	Memenuhi
40,00	3,94	3	5	Memenuhi



Gambar 4. 5 Grafik VIM*(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

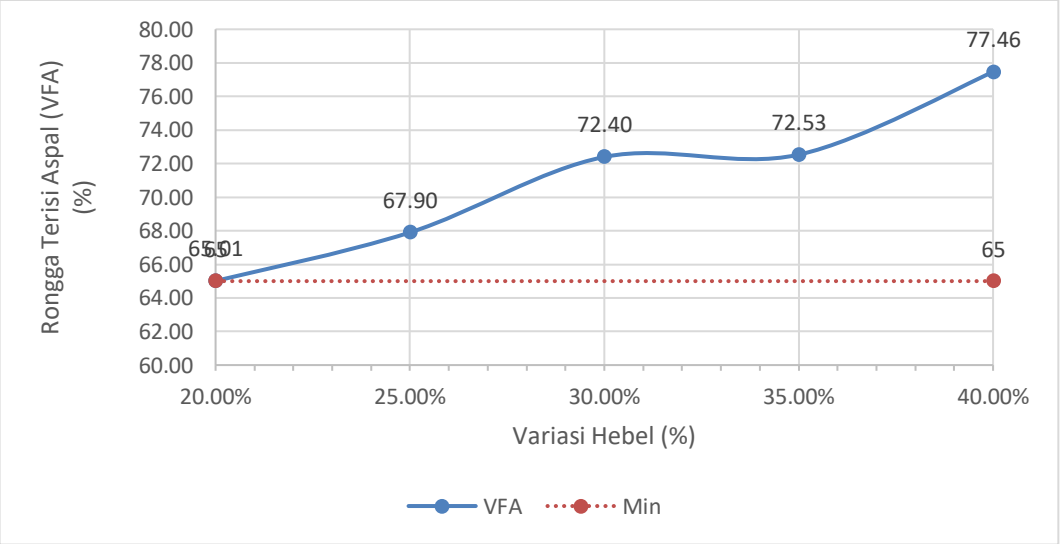
Dari gambar 4.5 grafik menunjukan pada limbah hebel 20 % sampai dengan 40 % nilai VIM tertinggi 4,87% pada hebel 20 % dan terendah 3,94 % pada hebel 40 %.. Berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VIM (Void In Mix) yang memenuhi persyaratan yaitu sebesar 3% - 5 %. Nilai VIM (Void In Mix) yang memenuhi persyaratan yaitu pada hebel 20% sampai dengan 40%.

5. Rongga terisi aspal (VFA)

VFA (Void Filled Asphalt), menyatakan prosestase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan. Hubungan antara VIM dengan kadar aspal dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.

Tabel 4. 13 Hasil pengujian VFA *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

Hebel %	Nilai VFA (%)	Spesifikasi	Keterangan
		Min	
20,00	65,01	65	Memenuhi
25,00	67,90	65	Memenuhi
30,00	72,40	65	Memenuhi
35,00	72,53	65	Memenuhi
40,00	77,46	65	Memenuhi



Gambar 4. 6 Grafik VFA *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

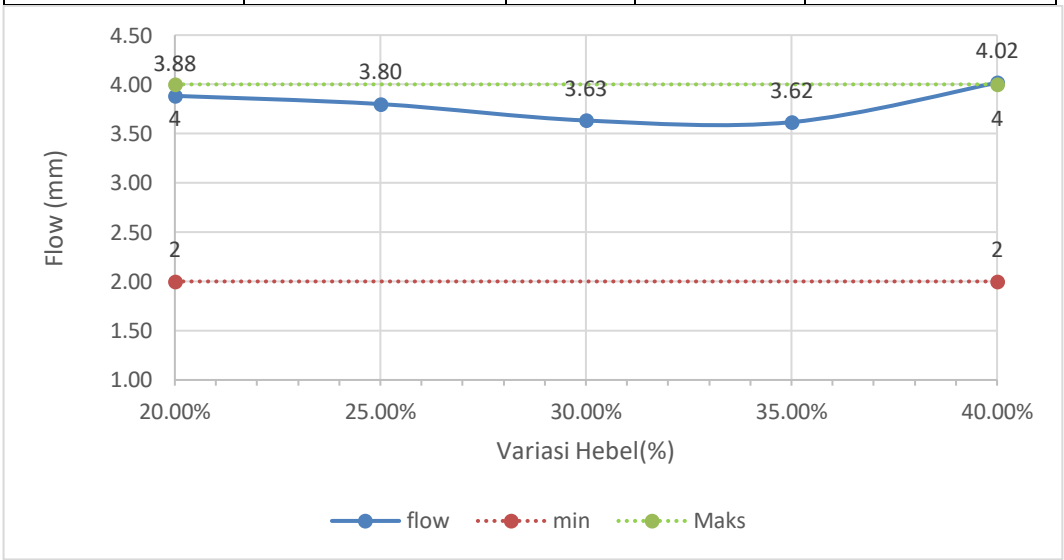
Dari gambar 4.6 grafik menunjukan pada limbah hebel 20 % sampai dengan 40 % dengan nilai VFA paling tinggi yaitu pada hebel 40% dengan nilai 77,46 % dan terendah pada hebel 20% dengan nilai 65,01%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan semakin meningkat nilai VFA.

Berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran Laston nilai VFA minimal 65 %. Nilai VFA yang memenuhi persyaratan yaitu pada hebel 20% sampai dengan 40%.

6. Flow

Tabel 4. 14 Hasil pengujian Flow *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

Hebel %	Nilai Flow (mm)	Spesifikasi		Keterangan
		Min	Maks	
20,00	3,88	2	4	Memenuhi
25,00	3,80	2	4	Memenuhi
30,00	3,63	2	4	Memenuhi
35,00	3,62	2	4	Memenuhi
40,00	4,02	2	4	Tidak memenuhi



Gambar 4. 7 Grafik Flow *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

Dari gambar 4.7 grafik menunjukan pada limbah hebel 20% sampai dengan 40 % mengalami kenaikan dan penurunan. Dari grafik nilai flow tertinggi yaitu pada hebel 40 % sebesar 4,02 mm dan nilai flow terendah yaitu pada hebel 35 % sebesar 3,62 mm.

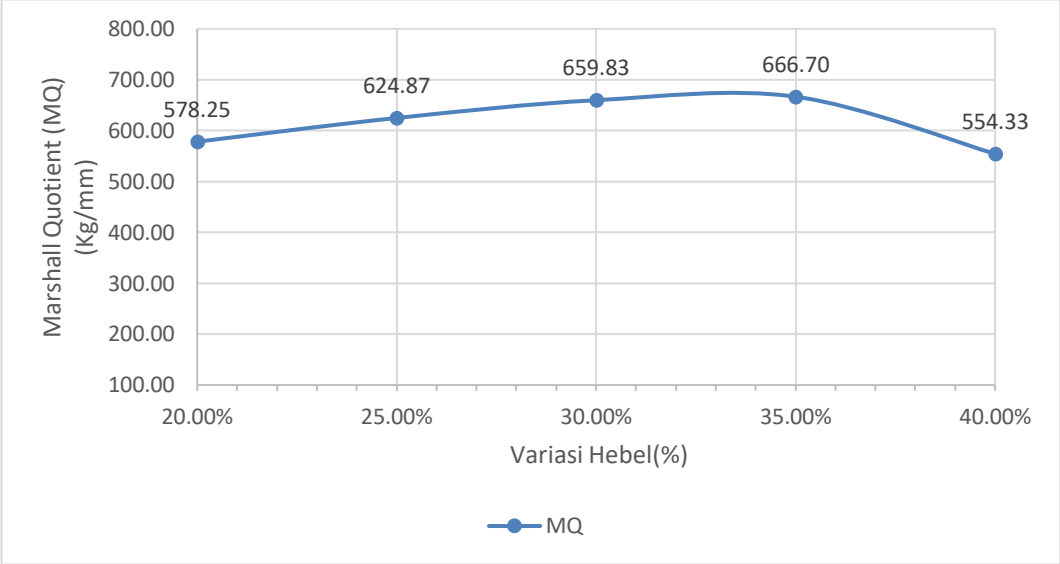
Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai flow yang memenuhi persyaratan yaitu 2 mm – 4 mm. Nilai Flow yang memenuhi persyaratan yaitu pada hebel 20% sampai dengan 35%.

7. 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 perkerasanya semakin lentur.

Tabel 4. 15 Hasil pengujian *Marshall Quotient* (MQ) *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

Hebel %	Nilai MQ	Spesifikasi	Keterangan
		Min	
20,00	578,25	200	Memenuhi
25,00	624,87	200	Memenuhi
30,00	659,83	200	Memenuhi
35,00	666,70	200	Memenuhi
40,00	554,33	200	Memenuhi



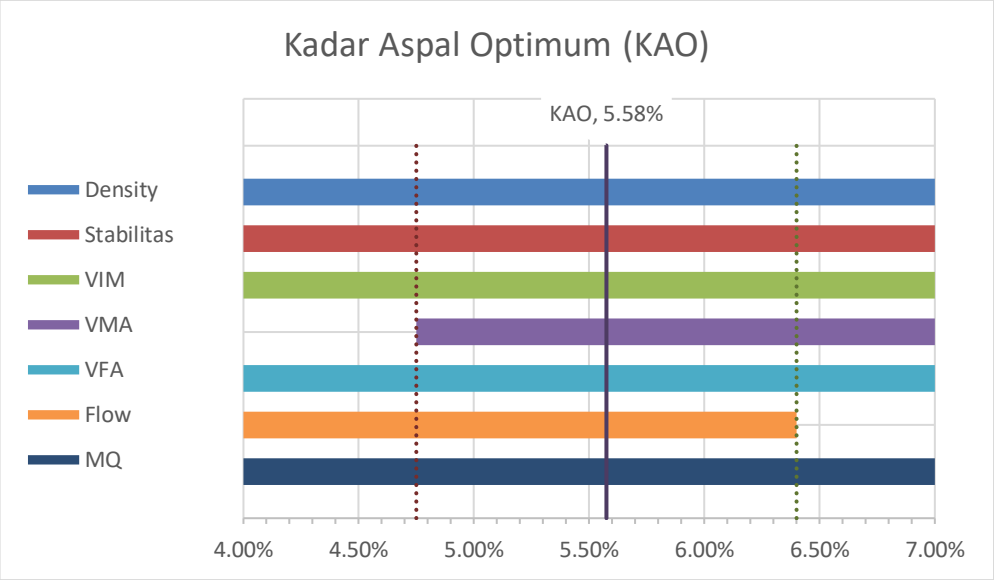
Gambar 4. 8 Grafik MQ *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024)*

Dari gambar 4.8 grafik menunjukan pada limbah hebel 20 % sampai dengan 40 % dari grafik nilai MQ tertinggi yaitu pada hebel 35 % sebesar 666,70 mm/kg dan nilai MQ terendah yaitu pada hebel 40 % sebesar 554,33 mm/kg.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 tentang ketentuan sifat-sifat campuran laston nilai MQ yang memenuhi persyaratan yaitu minimal 250 mm/kg. Nilai MQ yang memenuhi persyaratan yaitu pada hebel 20% sampai dengan 40%.

8. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum adalah jumlah aspal yang digunakan dalam campuran agar dapat tercapai mencapai persyaratan Stabilitas, Flow, VMA, VIM, density dan Marshall Quotient. Dalam penentuan kadar aspal optimum untuk menetepkan 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.



Gambar 4. 9 Diagram penentu kadar aspal optimum *(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024*

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{\text{KA Min} + \text{KA maks}}{2} = \frac{4{,}75\% + 6{,}40\ \%}{2} = 5{,}58\%$$

Berdasarkan gambar 4.9 diagram menujukan nilai density, stabilitas, VMA, VIM, VFA, Flow, dan Marshall Quotient yang memenuhi spesifikasi untuk semua karakteristik dalam campuran 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, dan6.5% Sehingga nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah 5,58%.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian limbah hebel sebagai pengganti agregat halus pada campuran AC-WC yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiya Parepare, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Karakteristik campuran aspal AC-WC pada kadar aspal optimum didapatkan. Nilai stabilitas normal 2399,18% sedangkan nilai stabilitas maksimum pada limbah hebel 30% di kadar aspal 5.58% sebesar 2399,18 kg dan minimum pada limbah hebel 40% di kadar aspal 5.58% sebesar 2223,71 kg. Nilai VMA normal 15,86% sedangkan Nilai VMA maksimum pada limbah hebel 40% di kadar aspal 5.58% sebesar 17,36% dan minimum pada limbah hebel 20% di kadar aspal 5.58% sebesar 13,80%. Nilai VIM normal 4,82% sedangkan Nilai VIM maksimum pada limbah hebel 20% di kadar aspal 5.58% sebesar 4,87 % dan minimum pada limbah hebel 40% di kadar aspal 5,58% sebesar 3,94 %. Nilai VFA normal 69,68% sedangkan Nilai VFA maksimum pada limbah hebel 40% di kadar aspal 5.58% sebesar 77,46 % dan minimum pada limbah hebel 20% di kadar aspal 5.58% sebesar 65,01 %. Nilai flow normal 3,63% sedangkan Nilai flow maksimum pada limbah hebel 40% di kadar aspal 5,58% sebesar 4,02 mm dan minimum pada limbah hebel 35% di kadar aspal 5,58% sebesar 3,62 mm. Nilai MQ normal 659,83% sedangkan Nilai MQ maksimum pada limbah hebel

35% kadar aspal 5,58% sebesar 666,70 mm/kg dan minimum pada limbah hebel 20% di kadar aspal 5,58% sebesar 578,25 mm/kg.

2. Nilai persen VMA maksimum pada hebel 40% sebesar 17,36% dan minimum pada hebel 20% sebesar 13,80%. Nilai persen stabilitas maksimum pada hebel 30% sebesar 2399,18% dan minimum pada hebel 40% sebesar 2223,71%. Nilai persen flow maksimum pada hebel 40% sebesar 4,02% dan minimum pada hebel 35% sebesar 3,62%. Nilai persen MQ maksimum pada hebel 35% sebesar 666,70% dan minimum pada hebel 20% sebesar 578,25%. Dari hasil penelitian limbah hebel sebagai pengganti agregat halus pada campuran AC-WC telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan layak digunakan dalam campuran aspal AC-WC.
3. Nilai karakteristik pengujian normal yang telah diperoleh melalui pengujian marshall dengan hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah 5,58%.

B. Saran

1. Diharapkan melakukan penelitian lebih lanjut terhadap karakteristik campuran aspal AC-WC menggunakan material dengan komposisi campuran yang berbeda.
2. Untuk kontraktor atau instansi terkait sebaiknya agar mempertimbangkan penggunaan agregat halus dengan penggunaan limbah hebel pada campuran AC-WC dalam konstruksi perkerasan jalan dengan alasan efisiensi waktu pada proses pengolahan limbah hebel menjadi butiran agregat halus.

3. Perlunya fasilitas laboratorium yang memadai terutama pada alat yang digunakan pada saat melakukan penelitian sehingga data yang diperoleh dalam penelitiaan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Standarisasi Nasional. (2011). Cara Uji Daktilitas Aspal Sni 2432:2011. *Badan Standarisasi Nasional*.

Bm, N. T. (1999). *Pedom An T Ek N I K Peren Can Aan Cam Pu Ran Beraspal Den Gan Pen Dek At An K Epadat An M U T Lak Lampiran No . 3 Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga Departemen Pekerjaan Umum*. *025*.

Engineering, C., Sciej, J., Karakteristik, S., Pada, M., Lapis, C., Beton, A., Limbah, T., & Nilon, K. (2023). *Sultra*. *4*(2), 161–172.

Haekal, M., M. Saleh, S., Salmannur, A., & Putri, A. (2023). Karakteristik Campuran Aspal Beton Menggunakan Coal Bottom Ash Dengan Persentase 0%, 10%, Dan 15% Sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus. *Journal Of The Civil Engineering Student*, *5*(2), 120–126. Https://Doi.Org/10.24815/Journalces.V5i2.21900

Haikal, M. F., & Widarto, H. (2024). *Analisa Pengaruh Variasi Penggabungan Asbuton Dan Aspal Minyak Terhadap Campuran Ac-Bc*. *4*(2), 161–170.

Hamdani, M. R. (2015). *“ Studi Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Agregat Kasar Campuran Aspal Berpori ” Makassar “ Studi Pemanfaatan Limbah Marmer Sebagai Agregat Kasar Campuran Aspal Berpori ” (Media Teknik Sipil , Ary Setyawan & Sanusi). Marshall Yang Lebih Rendah Dari Beto*.

Hidayah, A., & Hartantyo, S. D. (2021). Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Gipsum Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course. *Jmts: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, *4*(3), 545. Https://Doi.Org/10.24912/Jmts.V0i0.12554

Horas, L., Devina, G., Wulandari, P. S., & Patmadjaja, H. (2011). *Emulsi Dingin Untuk Perkerasan Jalan Raya*. 235–242.

Muh. Imam Wahyudi Azis, Hamsyah, H., & Kasmaida, K. (2022). Uji Experimental Variasi Agregat Halus Pada Campuran Asphalt Ac-Bc. *Jurnal Karajata Engineering*, *2*(1), 64–72. Https://Doi.Org/10.31850/Karajata.V2i1.1600

Putra, K. L., Prakoso, R. Y., & Muchtar, Z. (2019). Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Ban Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Stabilitas Lapisan Ac-Wc. *Teknik Sipil*, *14*(01), 9–14.

Rachman, R. (2021). Karakteristik Campuran Laston Lapis Aus Yang Menggunakan Agregat Limbah Beton. *Jurnal Teknik Sipil Ukipaulus-Makassar Volume 3 Issue 3, September 2021*, *3*(3), 459–468.

Saepudin, U. (2018). *Studi Komparatif Mutu Lapis Aspal Beton Dengan Menggunakan Agregat Kasar Daur Ulang Limbah Beton*. *04*(02), 147–154.

Safariska, Z., & Kurniasari, F. D. (2020). Pengaruh Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Agregat Halus (Filler) Terhadap Campuran Lapisan Ac-Wc. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Teuku Umar…*, *6*(1), 10–20. Http://180.250.41.45/Jtsipil/Article/View/1953

Salsabilla, N. S., Firmansyah, H., & Sugiono, M. C. (2022). Dampak Penambahan Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti. *Rekayasa Jurnal Teknik Sipil Universitas Madura*, *7*(1), 13–18. Http://Ejournal.Unira.Ac.Id/Index.Php/Jurnal_Rekayasa_Teknik_Sipil/Article/View/1556

Sni 03-1969. (1990). Metode Pengujian Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Bandung: Badan Standardisasnisi Indonesia*, 1–17.

Studi, P., Sipil, T., Tinggi, S., Dumai, T., & Utama, J. (2024). *Kinerja Marshall Immersion Pada Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Limbah Bottom Ash Sebagai Substitusi Agregat Halus*. *3*(1), 61–67.

Wardana, H. W., Mahardi, P., & Risdianto, Y. (2020). Penentuan Kadar Aspal Optimum (Kao) Dalam Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Limbah Beton Sebagai Pengganti Agregat. *Rekayasa Teknik Sipil*, *1*(2). Https://Jurnalmahasiswa.Unesa.Ac.Id/Index.Php/23/Article/View/34680