

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Pemanfaatan berbagai sumber daya alam sebagai bahan konstruksi pada dasarnya tidak dapat dipisahkan dari upaya pemenuhan kebutuhan dan peningkatan kesejahteraan manusia melalui pembangunan. Namun, banyak sampah atau material tak berguna yang dihasilkan dari penggunaan ini. Dengan kontribusi sebesar 50% di seluruh dunia terhadap penciptaan sampah konstruksi dan ekstraksi sumber daya alam, sektor konstruksi yang terdiri dari tahap ekstraksi material dan pengiriman bahan hingga pembangunan konstruksi, pengoperasian, pemeliharaan, dan pembongkaran merupakan kontributor terbesar terhadap keduanya (Ervianto, 2012).

EU Environment General Directorate telah mengumpulkan informasi yang menunjukkan bahwa produksi tahunan bahan-bahan konstruksi dari sampah yang dihasilkan oleh operasi pembangunan dan pembongkaran diperkirakan mencapai 180 juta ton. Setelah limbah pertambangan dan pertanian, sampah yang dihasilkan selama pembongkaran dan konstruksi bangunan merupakan aliran limbah terbesar ketiga (Suharto, 2011).

Setiap proyek pembangunan pasti akan menghasilkan sampah konstruksi. Banyak asumsi, pengawasan pekerja, dan penggunaan material yang berlebihan menjadi beberapa alasan munculnya hal tersebut. Batu bata, baja tulangan, beton siap pakai, dan kayu merupakan beberapa elemen yang dibutuhkan untuk proses

pembangunan. Contoh kecerobohan pekerja akibat ada perubahan atau kesalahan pembacaan desain material dapat menambah terciptanya pemborosan. Sayangnya banyak kontraktor yang tidak selalu menangani puing-puing bangunan dengan baik, terutama dari pekerjaan beton (Yunita, 2012).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan (Townsen, Kiber, 1998), limbah dari hasil biasanya, zat inert yang digunakan dalam konstruksi dan pembongkaran tidak meresap secara alami ke dalam air tanah. Peraturan telah diberlakukan untuk mengendalikan bagaimana dampak lingkungan dibuang dan dipantau, terutama yang berkaitan dengan pencemaran air tanah. Pada dasarnya ada dua kategori yang mempengaruhi kualitas air tanah. Pertama, harus ada kekhawatiran serius mengenai polusi kimia, khususnya senyawa organik atau logam berat. Senyawa ini diyakini berasal dari berbagai produk berbahaya yang disemprotkan pada bahan bangunan atau yang dibuang secara tidak benar ke dalam aliran limbah konstruksi dan dekonstruksi. Kedua, kualitas air tanah juga dapat memburuk karena polusi yang disebabkan oleh tingginya jumlah zat tidak beracun seperti amonia, garam, sulfat, dan klorida. Penyaringan bahan-bahan utama bangunan dan limbah konstruksi menghasilkan senyawa tersebut (Yunita, 2012).

Pada penelitian yang dilakukan pada batu bata merah terdapat kandungan senyawa berupa SiO_2 , Al_2O_3 dan Fe_2O_3 lebih dari 70%, sehingga yang mana 3 tersebut termasuk sebagai kandungan bahan pozzolan aktif. Selain itu bata merah mengandung silika sebesar 47% dan alumina juga sebesar 47%, yang dimana dalam penelitian dilakukan oleh (Ambarwati, 2009) mengatakan penggunaan kandungan silika dalam campuran beraspal dapat meningkatkan potensi nilai stabilitas dan nilai

durabilitas pada campuran aspal. Dengan adanya hasil dari penelitian ini, dapat diketahui seberapa besar pengaruh penggunaan limbah bata merah terhadap pengaplikasian pada campuran lapisan aspal beton yang memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan pada perkerasan jalan dengan menggunakan metode yaitu metode *marshall*.

Dengan adanya latar belakang di atas, maka dilakukan penelitian Uji Experimental Penggunaan Limbah Bata Merah Sebagai *Filler* Pada Perkerasan Aspal Beton (*Asphalt Concrete - Binder Course*). Penelitian mencoba untuk menguji pengaruh limbah bata merah sebagai bahan pengganti pengisi *filler* yang mana dapat menggantikan *filler* bahan semen terhadap penggunaan campuran lapisan aspal beton dengan menggunakan limbah hasil konstruksi pembongkaran, yaitu limbah bata merah yang di ambil dari hasil konstruksi pembongkaran rumah yang terkena dampak pada bencana longsor yang terjadi di kota Parepare pada 6 Desember 2021.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan dari permasalahan yang telah dikemukakan di latar belakang, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana mengetahui nilai kadar aspal optimum, Dengan variasi komposisi *filler* 100:0 (semen), 50:50 (semen dan limbah bata merah) 0:100 (limbah bata merah) pada campuran aspal beton AC-BC?
2. Bagaimana penggunaan dari limbah bata merah sebagai bahan pengganti *filler* dengan perbandingan antara penggunaan *filler* semen pada variasi komposisi *filler* 100:0 (semen), 50:50 (semen dan limbah bata merah) 0:100 (limbah bata

merah) terhadap karakteristik nilai *marshall* dan mengacu pada spesifikasi bina marga 2018, pada penggunaan campuran aspal beton AC-BC?

C. Tujuan Penelitian

Adapun hasil yang ingin ditinjau dari hasil penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui nilai kadar aspal optimum pada setiap variasi komposisi *filler* 100:0 (semen), 50:50 (semen dan limbah bata merah) 0:100 (limbah bata merah) pada campuran aspal beton AC-BC?
2. Untuk mengetahui penggunaan dari limbah bata merah sebagai bahan pengganti *filler* dengan perbandingan antara penggunaan *filler* semen pada variasi komposisi *filler* 100:0 (semen), 50:50 (semen dan limbah bata merah) 0:100 (limbah bata merah) terhadap karakteristik nilai *marshall* dan mengacu pada spesifikasi bina marga 2018, pada penggunaan campuran aspal beton AC-BC?

D. Batasan Masalah

Adapun dari batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Limbah bata merah yang digunakan untuk melakukan penelitian ini ialah limbah bata merah hasil konstruksi pembongkaran rumah yang terdampak pada bencana longsor yang terjadi di kota Parepare pada 6 Desember 2021.
2. Pada penelitian ini komposisi *filler* yang digunakan ialah terdiri dari tiga variasi *filler* yakni, pertama sampel yang menggunakan 100:0 (semen), 50:50 (semen dan limbah bata merah) dan 0:100 (limbah bata merah).
3. Persyaratan spesifikasi penggunaan campuran aspal beton (AC-BC) mengacu pada standar yang ditetapkan pada Spesifikasi Bina Marga 2018.

E. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaatnya dapat mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan limbah bata merah sebagai *filler* terhadap pada penggunaan campuran lapisan aspal beton.
2. Diharapkan juga dapat memberikan pemahaman mengenai penggunaan limbah bata merah sebagai bahan pengganti *filler* pada *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)* terhadap nilai karakteristik *marshall*.
3. Diharapkan juga dapat memberikan sesuatu pemahaman dan wawasan bagi perencana konstruksi jalan tentang pemanfaatan limbah bata merah sebagai bahan pengganti *filler* selain *filler* semen pada penggunaan campuran *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)*.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan dapat disajikan sebagai berikut:

1. BAB I PENDAHULUAN

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

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi latar belakang yang digunakan sebagai landasan atau acuan dari penelitian, dan teori-teori yang terkait pada penelitian ini, serta hasil tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian sebelumnya yang bersifat relevan.

3. BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisi tentang jenis penelitian, lokasi dan waktu penelitian, bahan dan

alat, prosedur penelitian, teknik pengumpulan data, teknik analisa data, dan diagram alir.

4. BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil-hasil penelitian dan menganalisa hasil penelitian serta pembahasannya.

5. BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari pokok permasalahan yang telah diteliti, bab ini juga terdiri dari saran yang didasarkan dari hasil penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Perkerasan Jalan

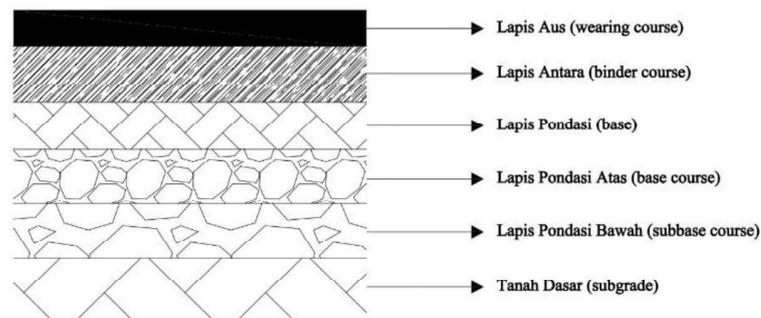
Perkerasan jalan adalah suatu bagian dari jalan yang telah diperkuat dengan suatu lapisan perkerasan yang terdiri dari ketebalan, kekuatan, kekakuan, dan stabilitas yang tertentu agar dapat dengan aman meneruskan dan menyalurkan beban arus lalu lintas yang ada di atasnya ke lapisan tanah dasar.

Berdasarkan dari bahan pengikatnya, konstruksi dari perkerasan jalan dapat dibedakan menjadi 3 (tiga), yaitu:

1. Konstruksi perkerasan lentur adalah khususnya dari lapisan perkerasan jalan yang dasarnya menggunakan aspal sebagai pengikatnya. Lapisan perkerasan bertanggung jawab untuk menahan beban dan menyalurkannya ke tanah dasar. Struktur perkerasan jalan lentur terdiri dari lapis dan lapis permukaan (*surface course*), lapisan aus dan lapisan tengah. Lapisan pondasi, yang terdiri dari pondasi atas (*base course*) dan pondasi bawah (*subbase course*), adalah lapisan dibawahnya. Di atas tanah dasar yang dipadatkan (*subgrade*), lapisan ini diterapkan. Beban lalu lintas ditanggung bersama oleh setiap komponen lapisan di atas tanah dasar. Ketebalan struktur perkerasan dibatasi oleh kapasitas tanah dasar dan berat beban lalu lintas, atau struktur perkerasan sangat tergantung pada kondisi atau daya dukung tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku adalah dimana dari penggunaan semen (*portland cement*), digunakan sebagai bahan pengikat dari perkerasan. Pada tanah dasar,

pelat beton dengan menggunakan tulangan atau tanpa tulangan yang dipasang, seperti halnya pada lapisan dari pondasi bawah. Pelat beton bisa menanggung sebagian besar beban arus lalu lintas.

3. Konstruksi perkerasan komposit adalah juga dikenal sebagai hasil perkerasan kaku yang digabungkan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan kaku pada perkerasan lentur atau berupa perkerasan lentur pada perkerasan kaku.



Gambar 2.1 Struktur Lapisan Perkerasan
(Sumber: Ayu Ningsih, 2018)

B. Lapisan Aspal Beton

Secara umum menurut standar yang ditetapkan pada Spesifikasi Bina Marga 2018, campuran aspal panas dapat diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) yaitu:

1. *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

Terdapat tiga jenis *Stone Matrix Asphalt (SMA)* yaitu: *Stone Matrix Asphalt (SMA) Tipis*, *Stone Matrix Asphalt (SMA) Halus*, dan *Stone Matrix Asphalt (SMA) Kasar*, dengan ukuran partikel agregat maksimum masing-masing 12,5 mm, 19 mm, dan 25 mm. Jika aspal polimer disertakan dalam kombinasi ini,

masing-masing disebut SMA Tipis Modifikasi, SMA Halus Modifikasi, dan SMA Kasar Modifikasi.

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

Beton Aspal Lapis Tipis (Laston), disebut juga HRS, terdiri dari dua campuran utama: HRS *Foundation* (HRS-Base) dan HRS *Wearing Course* (HRS-WC). Kedua campuran tersebut mempunyai ukuran agregat maksimum sebesar 19 mm. Pada campuran HRS-Base mempunyai jumlah agregat kasar yang lebih besar dibandingkan dengan campuran HRS-WC.

3. Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concrete*)

Lapisan Aspal Beton (Laston), disebut juga AC, terdiri dari tiga jenis: AC Lapisan Aus (AC-WC), AC Lapisan Antara (AC-BC), dan AC Lapisan Pondasi (AC-Base). Ukuran agregat maksimum untuk lapisan ini masing-masing adalah 19 mm, 25,4 mm, dan 37,5 mm. Campuran ini disebut sebagai Modifikasi AC-WC dan Modifikasi AC-Base bila dikombinasikan dengan aspal polimer.

Sukirman (2003) mendefinisikan Lapisan Aspal Beton (Laston) sebagai elemen krusial dalam konstruksi jalan raya. Terdiri dari campuran aspal keras dan agregat bergradasi, yang diaplikasikan dan dipadatkan pada suhu tinggi tertentu (SNI 03-1737-1989). Ketebalan nominal minimum Laston (AC) bervariasi antara 4 dan 7,5 cm. sesuai yang ditetapkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Laston (AC) diklasifikasikan menjadi tiga kategori kombinasi berdasarkan fungsinya:

- 1) Lapisan aus, Laston yang disebut AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) harus mempunyai ketebalan nominal minimal 4 cm. Fungsi utama

lapisan ini adalah untuk memberikan permukaan gesekan yang halus dan nyaman, karena lapisan inilah yang akan bersentuhan langsung dengan roda kendaraan.

- 2) Lapisan antara AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) pada Laston mempunyai ketebalan nominal minimal 6 cm. Lapisan tersebut, meskipun tidak terkena pengaruh cuaca secara langsung, namun harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk meminimalkan dampak beban lalu lintas, yang akan disalurkan ke lapisan Dasar dan Sub Kelas di bawahnya.
- 3) Lapisan pondasi Laston yang disebut AC-Base (*Asphalt Concrete-Base*) harus mempunyai ketebalan minimal 7,5 cm. Fungsi utama lapisan ini adalah memberikan perkuatan struktur dengan menerima beban kendaraan dari lapisan AC-BC dan meneruskannya ke lapisan pondasi di bawahnya.

Tabel 2.1 Tebal Nominal Campuran Beraspal (Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Jenis Campuran		Simbol	Tebal nominal Minimum (cm)
Laston	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Pondasi	AC-Base	7,5

C. Campuran AC-BC

Terletak dibawah bagian lapisan aus AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), campuran aspal panas pengikat AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) adalah lapis perkerasan yang tidak terpengaruh langsung oleh cuaca tetapi harus

cukup tebal dan kaku untuk menurunkan tekanan dan regangan yang diakibatkan beban arus lalu lintas. komposisi agregat bila digabungkan Persyaratan Aspal Modifikasi untuk Campuran AC-BC pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat Campuran Lapisan Aspal Beton (Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
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 (VIM) (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi Aspal (VFB) (%)	Maks	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (<i>Flow</i>) (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60° C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm	Min	2500		

D. Agregat

Dalam arti luas, agregat adalah bongkahan batuan bumi yang keras dan tebal yang terdapat pada kerak bumi. Pada tahun 1974, *American Standart Testing and Materials* (ASTM) mendefinisikan Agregat yaitu mengacu pada zat yang terdiri dari butiran mineral padat yang berukuran besar atau berbentuk potongan.

Agregat merupakan penyusun utama konstruksi perkerasan jalan, yang menyumbang 90-95% berat atau 75-85% volume. Kualitas perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh karakteristik agregat dan interaksinya dengan komponen lain dalam kombinasi tersebut (Silvia S, 2003). Agregat dapat diklasifikasikan menjadi 2 (dua) yaitu:

1. Agregat Kasar

- a. Fraksi agregat kasar yang digunakan dalam desain campuran harus memiliki partikel yang lebih besar dari saringan No.4 (4,75 mm) dan harus diuji saat basah. Agregat harus bersih, kuat, tahan lama, dan tidak mengandung tanah liat atau zat lain yang tidak diinginkan. Hal ini juga harus sesuai dengan persyaratan yang ditentukan dalam Tabel 2.3.
- b. Fraksi agregat kasar harus dibuat dari batu pecah mesin dan dibuat dalam ukuran nominal berdasarkan jenis campuran yang direncanakan, seperti ditunjukkan pada Tabel 2.3.
- c. Sudut sudut agregat kasar harus memenuhi persyaratan yang ditentukan pada Tabel 2.3. Keangularan ditentukan dengan menghitung persentase berat agregat yang terdiri dari potongan-potongan lebih besar dari 4,75 mm dengan satu atau lebih permukaan pecah. Perhitungan ini berdasarkan pengujian yang dilakukan sesuai dengan SNI 7619:2012.
- d. Partikel agregat yang lebih besar harus disimpan secara terpisah dan dikirim ke pabrik pencampuran aspal melalui (*cold bin feeds*) dengan cara yang memungkinkan pengendalian yang memadai terhadap distribusi ukuran partikel keseluruhan agregat campuran.

Tabel 2.3 Ketentuan Agregat Kasar (Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan berbentuk 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	Maks 6%
		500 Putaran	Maks 30%
	Semua jenis campuran beraspal gradasi lainnya	100 putaran	Maks 8%
		500 putaran	Maks 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
Butir pecahan pada agregat kasar	SMA	SNI 2439:2011	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%

2. Agregat Halus

Istilah "agregat halus" digunakan untuk menggambarkan bahan agregat yang telah diayak melalui saringan No. 4 (4,75 mm). Komposisi bahannya terdiri dari permukaan yang kasar dan bersudut lancip, sehingga menjamin tidak adanya kotoran yang tidak diinginkan. Agregat bergradasi halus tersusun dari berbagai ukuran butir, mulai dari kasar hingga halus, dengan konsentrasi agregat halus yang lebih tinggi. adapun persyaratan agregat halus sebagai berikut:

- a. Agregat halus berasal dari sumber manapun dan harus terdiri dari pasir atau hasil dari proses pengayakan batu pecah yang mana terdiri dari bahan yang

- lolos ayakan No. 4 (4,75 mm).
- b. Fraksi agregat halus dari hasil proses dari pecah mesin dan pasir harus dipisahkan dari agregat kasar.
 - c. Pasir Alam yang dapat digunakan dalam campuran AC memiliki persyaratan suhu batas yang tidak boleh melampaui 15% terhadap berat total campuran.

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Halus (Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

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

3. Gradasi Gabungan Agregat

Menurut (Indira, 2017) Gradasi adalah susunan dari butir ukuran agregat memainkan peran penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Hal ini karena berdampak langsung pada volume rongga, kemampuan kerja, dan stabilitas campuran secara keseluruhan. Kategorisasi gradasi agregat biasanya dilakukan sebagai berikut:

a. Gradasi Seragam

Istilah "gradasi seragam" digunakan untuk menggambarkan agregat yang terdiri dari partikel-partikel yang berukuran sama atau sangat mirip ukurannya. Penggunaan agregat bergradasi seragam dalam campuran beton aspal menghasilkan material yang menunjukkan karakteristik fleksibilitas yang baik, meskipun stabilitasnya agak terbatas atau kecil.

b. Gradasi Menerus

Istilah "agregat menerus" mengacu pada agregat yang memiliki ukuran butir yang tersebar merata di suatu rentang. Bahan tersebut, yang biasa disebut agregat bergradasi rapat, memiliki jumlah pori yang sedikit, menunjukkan karakteristik pemadatan yang sangat baik, dan memberikan stabilitas yang luar biasa. Tingkat stabilitas ditentukan oleh ukuran butir agregat terbesar.

c. Gradasi Senjang

Kombinasi agregat yang tidak sesuai dengan kategori yang disebutkan di atas disebut agregat bergradasi buruk. Agregat yang bergradasi senjang sering digunakan dalam konstruksi lapisan perkerasan lentur. Ini adalah kombinasi yang kurang atau hanya mengandung sedikit satu porsi. Jenis ini, kadang-kadang disebut sebagai gradasi senjang, menghasilkan lapisan perkerasan dengan kualitas menengah, ditempatkan di antara bentuk gradasi seragam dan gradasi menerus.

Tabel 2.5 Gradasi Gabungan Agregat Untuk Campuran Aspal (Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018)

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap total agregat		
		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5	-	-	100
1"	25	-	100	90 – 100
3/4"	19	100	90 – 100	76 – 90
1/2"	12,5	90 – 100	75 – 90	60 – 78
3/8"	9,5	77 – 90	66 – 82	52 – 71

Lanjutan Tabel 2.5

No. 4	4,75	53 – 69	46 – 64	35 – 54
No. 8	2,36	33 – 53	30 – 49	23 – 41
No. 16	1,18	21 – 40	18 – 38	13 – 30
No. 30	0,6	14 – 30	12 – 28	10 – 22
No. 50	0,3	9 – 22	7 – 20	6 – 15
No. 100	0,15	6 – 15	5 – 13	4 – 10
No. 200	0,075	4 – 9	4 – 8	3 – 7

E. Aspal

Aspal dapat didefinisikan sebagai bahan material perakat yang memiliki warna coklat tua atau hitam dimana dari unsur utamanya berasal dari bitumen. Aspal dapat diperoleh dari yaitu pertama dari proses alam dan kedua proses residu dari penyulingan minyak bumi. Aspal adalah bahan termoplastik padat yang mana jika dipanaskan dengan suhu tertentu akan berbentuk cair dan kembali padat apabila temperatur suhu turun.

Berdasarkan tempat di perolehnya, aspal hanya dapat dibedakan menjadi 2 (dua) jenis yaitu:

1. Aspal alam ialah aspal yang hanya ditemukan di alam berbentuk batuan. Aspal alam dapat dibedakan menjadi 2 (dua) macam yaitu: Aspal Gunung (*natural rock asphalts*) seperti yang umum dikenal di Indonesia Aspal terbuat dari batu buton, disebut juga asbuton. yang berada di Buton, Sulawesi Tenggara, sedangkan yang kedua Aspal Danau (*trinidad lake asphalt*), Danau Pitch yang terletak di negara Trinidad Tobago yang merupakan danau aspal yang terbesar

di dunia.

2. Aspal buatan adalah aspal minyak yang merupakan hasil dari proses residu penyulingan minyak bumi dan ada juga pula cara ada dengan diproses melalui penyulingan batu bara. Aspal minyak dalam penggunaannya antara lain adalah yaitu:

- a. Aspal keras/padat (*Asphalt Cement, AC*), adalah aspal yang dipergunakan pada saat waktu keadaan berbentuk cair dan panas dan penyimpanannya dilakukan dalam bentuk keras/padat dengan temperatur suhu ruang 25°C - 30°C. Penggunaan AC penetrasi rendah di pakai untuk daerah beriklim panas dengan arus volume lalu lintas yang sangat tinggi, sedangkan dari hasil penggunaan AC penetrasi yang tinggi di pakai pada suatu daerah yang suhunya beriklim dingin dengan arus volume lalu lintas yang rendah. Pada umumnya yang digunakan di Indonesia biasanya yang dipakai penetrasi 60/70 dan juga menggunakan penetrasi 80/100.
- b. Aspal dingin/cair (*Cutback Asphalt*), adalah aspal yang dipergunakan pada saat hanya dalam keadaan bentuk cair. Aspal ini dibuat biasanya dengan cara memcampurkan aspal keras/panas (AC) dengan bahan pencair hasil dari proses penyulingan minyak bumi yang berbentuk cair yang hasilnya seperti pada minyak tanah, bensin, atau solar.

Pada proses penelitian ini menggunakan bahan aspal yang berpenetrasi 60/70 atau sering disebut aspal keras/padat. Pada umumnya pemakaian aspal penetrasi di Indonesia yang digunakan adalah penetrasi 60/70 dan penetrasi 80/100. Pada aspal yang akan digunakan dalam pada campuran komposisi beton aspal

haruslah sesuai dengan persyaratan spesifikasi seperti pada Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2.6 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 red/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	Daktalitas 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	$\geq 1,0$	-	
9	Stabilitas penyimpanan perbedaan titik lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10	Kadar paraffin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	2		
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)					

F. Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler mengacu pada jenis bahan yang memiliki tekstur berbutir halus dan

mampu melewati saringan No. 200 yang memiliki ukuran mata jaring 0,075 mm. Komposisi bahannya dapat berupa serbuk batu, kapur, semen *portland*, atau bahan lain yang sejenis (Totomiharjo, Soeprapto, 1994). Fungsi utama bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kepadatan dan stabilitas campuran. Hal ini dicapai dengan meningkatkan titik kontak antar partikel dan mengurangi jumlah aspal yang dibutuhkan untuk mengisi rongga dalam campuran. Bahan pengisi yang digunakan dalam campuran aspal harus memenuhi persyaratan tertentu. Itu harus kering dan bebas gumpalan. Selain itu, harus mengandung minimal 75% berat bahan yang lolos saringan No. 200 (75 mikron), sebagaimana ditentukan dalam standar SNI ASTM C136:2012. Namun untuk mineral asbuton, kandungan bahan pengisinya harus kurang dari 95% menurut beratnya, sebagaimana tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018.

G. Semen

Produksi semen melibatkan kombinasi batu kapur dengan mineral yang berbeda dan pemanasan campuran selanjutnya di tempat pembakaran, yang mengarah pada pembentukan zat bubuk. Kombinasi bubuk ini dengan air memulai reaksi kimia, sehingga terjadi pengerasan dan pembentukan ikatan yang kuat (Putrowijoyo, 2006). Komposisi kimia semen disajikan pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Komposisi kimia semen (Sumber: Putrowijoyo, 2006)

No.	Oksidasi	Lambang	Kode	Persentase
1	Calcuim Oxide	CaO	C	60-65
2	Magnesium Oxide	MgO	M	0-5
3	Aluminium Oxide	Al ₂ O ₃	A	4-8
4	Ferrie Oxide	Fe ₂ O ₃	F	2-5
5	Sillicon Oxide	SiO ₃	S	20-24
6	Sulfur Oxide	Sl ₃	S	1-4

H. Batu Bata Merah

Batu bata merah adalah salah satu jenis batu buatan yang dibuat khusus untuk digunakan dalam konstruksi, terutama untuk keperluan konstruksi dinding. Bahan utama yang digunakan dalam produksi batu bata merah adalah tanah liat. Tanah liat pertama-tama dicetak menjadi bentuk yang diinginkan dan kemudian dikenai suhu tinggi melebihi 800°C. Proses yang disebut dengan pembakaran ini menyebabkan tanah liat mengeras dan menghasilkan tekstur seperti batu (Wulandari, 2011).

Batu bata merah telah banyak digunakan dalam berbagai penelitian sebagai bahan pengisi pada konstruksi perkerasan jalan beton karena kekerasan dan kuat tekannya yang tinggi. Dalam penelitian yang dilakukan oleh (Widodo, 2004) bahwa ditemukan batu bata merah memiliki komposisi lebih dari 70% SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 . Komposisi ini mengklasifikasikan batu bata merah sebagai pozzolan aktif.

Menurut (Fauzi, 2012) batu bata merah mengandung silika sebesar 47% dan alumina sebesar 47%, dimana dalam penelitian yang dilakukan oleh (Ambarwati, Arifin, 2009) yang mana mengatakan penggunaan silika dalam campuran beraspal dapat meningkatkan potensi stabilitas dan durabilitas pada campuran aspal.

Menurut (Fauzi, 2012), batu bata merah tersusun atas 47% silika dan 47% alumina. Penelitian yang telah dilakukan oleh (Ambarwati, Arifin, 2009) dapat mengemukakan bahwa dengan penambahan silika pada setiap campuran aspal maka dapat meningkatkan stabilitas dan ketahanannya.

Limbah batu bata merah hasil pembongkaran rumah akan di haluskan akan menjadi limbah serbuk halus. Serbuk halus batu bata merah itulah yang akan

digunakan dalam penelitian ini seperti pada contoh gambar di bawah ini:



Gambar 2.2 Bata merah yang di haluskan
(Sumber: Dok. Pribadi)

I. Karakteristik Campuran Aspal Beton

Campuran aspal beton yang biasa disebut AC-BC terdiri dari beberapa komponen antara lain agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan bitumen. Aspal berfungsi sebagai pengikat, menyatukan komponen lainnya. Dalam penelitian (Sukirman, 2003), ditekankan bahwa beton aspal harus menunjukkan berbagai sifat penting, antara lain stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, ketahanan terhadap leleh, ketahanan geser, impermeabilitas, dan kemudahan pengaplikasian.

1. Stabilitas

Stabilitas kekuatan campuran aspal yaitu kemampuannya untuk menahan deformasi tanpa runtuh di bawah beban berulang dan konstan (*plastic flow*). Jika dibandingkan dengan suatu jalan dengan volume arus lalu lintas tinggi kendaraan terutama penumpang, jalan dengan volume lalu lintas tinggi yang mayoritas kendaraan dengan tonase berat membutuhkan lebih banyak stabilitas geser antara setiap butir, penguncian antara setiap partikel, dan pada daya ikat dari lapisan aspal yang kuat semuanya berkontribusi terhadap stabilitas. Oleh

karena itu, stabilitas yang tinggi dapat diperoleh atau dicapai dengan cara yaitu memanfaatkan, antara lain yaitu: agregat yang padat bergradasi baik dengan agregat mineral kecil VMA (*void in mineral aggregate*). Namun penggunaan aspal yang berlebihan akan mengakibatkan *bleeding* jika nilai VMA kecil karena campuran aspal tidak akan cukup menutupi bagian agregat.

2. Durabilitas

Durabilitas keawetan campuran aspal adalah ketahanannya terhadap pengaruh yang disebabkan dari cuaca, air, perubahan suhu iklim, dan gesekan roda kendaraan. Ketebalan lapisan atau selimut aspal, jumlah dari pori-pori dalam campuran aspal, densitasnya, dan kededapan airnya semuanya mempengaruhi durabilitas pada komposisi campuran aspal. Beton aspal kehilangan daya tahannya sebagai akibat dari pori-pori yang lebih kecil yang tersisa dalam campuran aspal setelah proses pemadatan. Selimut aspal kurang tahan lama dan lebih cenderung teroksidasi dengan udara, menjadi rapuh, dan kededapan air semakin besar lapisan pori-pori yang tersisa. Dalam suatu beton aspal. Rongga kecil dalam komposisi campuran aspal pada VIM (*void in the mix*) diperlukan untuk ketahanan yang tinggi karena mencegah masuknya udara ke dalam campuran, yang dapat menyebabkannya menjadi getas. Agar lapisan aspal dapat menutupi bagian agregat dengan lebih baik, VMA besar juga diperlukan.

3. Kelenturan (*Fleksibilitas*)

Ialah kemampuan dari suatu lapisan pada aspal untuk mengikuti sifat deformasi yang disebabkan oleh karna beban arus lalu lintas yang terus berulang tanpa mengalami retak lelah atau penurunan yang disebabkan berat dari timbunan di

atas tanah asli disebut fleksibilitas. VMA yang besar, dan VIM yang kecil, aspal dengan penetrasi tinggi atau agregat bergradasi terbuka, dan fleksibilitas tinggi semua diperlukan.

4. Kekesatan (*Skid resistance*)

Ialah kemampuan dari perkerasan aspal untuk memberikan sautu permukaan yang relatif kasar yang mencegah selip basah dan kering untuk kendaraan yang melewatinya disebut sebagai kekasaran. Kekasaran pada permukaan agregat butir, bidang kontak atau bentuk butiran, gradasi butiran agregat, densitas pada campuran, dan ketebalan pada lapisan aspal adalah faktor yang sama yang menentukan kekasaran jalan serta kekasaran jalan yang tinggi. Kekasaran permukaan juga ditentukan oleh ukuran butir maksimum agregat. Untuk mencapai viskositas tinggi, agregat kasar yang cukup dan kadar aspal yang sesuai untuk mencegah perdarahan diperlukan.

5. Kedap air (*impermeabilitas*)

Ialah kemampuan dari aspal beton yaitu untuk mencegah masuknya air ke dalam suatu lapisan dikenal dengan sifat kedap air. Udara dan air dapat mempercepat terjadinya penuaan dari aspal sehingga lapisan dari suatu aspal dapat mengalami terkelupas di lapisan permukaan agregat. Setelah aspal beton yang dipadatkan, jumlah dari pori-pori yang ada merupakan tanda dari bagian yang kedap air campuran. Daya tahan aspal beton berbanding terbalik dengan hasil tingkat kedap airnya.

6. Ketahanan leleh (*fatigue resistance*)

Kapasitas aspal beton untuk menahan suatu momen beban berulang tanpa

mengalami suatu kelelahan yang dalam bentuk retakan dalam hal ini bekas roda dikenal sebagai ketahanan leleh.

7. Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Ialah kemudahan dalam mengolah campuran aspal dikenal sebagai *workability*. Grade agregat, yang menentukan seberapa mudah untuk bekerja dengan agregat bergradasi baik, dan kandungan *filler*, yang menentukan seberapa sulit untuk diterapkannya, keduanya kemungkinan berdampak pada kemungkinan untuk dilaksanakan.

J. Pengujian Marshall

Uji Marshall digunakan untuk mengevaluasi karakteristik campuran aspal serta jumlah aspal optimal yang ada. Studi ini pertama kali dikembangkan oleh Bruce Marshall, seorang insinyur bahan aspal, bekerja sama dengan Departemen Jalan Raya Negara Bagian Mississippi. Selanjutnya, Korps Insinyur Angkatan Darat Amerika Serikat memperluas cakupan penyelidikan. Mengikuti pedoman AASHTO T 245-97 (2004), tujuan pengujian ini adalah untuk mengevaluasi stabilitas dan aliran aspal ketika dikenai beban lalu lintas.

Sesuai dengan Petunjuk Teknis Nomor 025/T/BM/1999 yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga pada tahun 1999, kinerja suatu campuran aspal dinilai berdasarkan berat yang ditentukan dari hasil pengujian campuran padat tersebut. Menurut tahap pengujian Marshall, kriteria berikut digunakan:

1. Berat jenis bulk pada total agregat

Agregat total terdiri dari fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda. Berat

jenis bulk pada total agregat dihitung dengan rumus berikut:

$$Gsb \text{ total} = \frac{P1+P2+P3+\dots+Pn}{\frac{P1}{Gsb1} + \frac{P2}{Gsb2} + \frac{P3}{Gsb3} + \dots + \frac{Pn}{Gsbn}} \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan:

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

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

Gsb1, Gsb2, Gsb3 = Berat jenis bulk masing-masing agregat (gr/cc)

2. Berat jenis semu pada total agregat

Berat jenis semu pada total agregat dihitung dengan rumus berikut:

$$Gsa \text{ total} = \frac{P1+P2+P3+\dots+Pn}{\frac{P1}{Gsa1} + \frac{P2}{Gsa2} + \frac{P3}{Gsa3} + \dots + \frac{Pn}{Gsan}} \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

Gsa total = Berat jenis semu agregat gabungan (gr/cc)

P1, P2, P3 = Persentase jenis semu agregat gabungan (gr/cc)

Gsa1, Gsa2, Gsa3 = Berat jenis semu masing-masing agregat (gr/cc)

3. Berat jenis efektif agregat

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

$$Gse = \frac{Gsb+Gsa}{2} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

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

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

Gsa = 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 jika kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Berat jenis maksimum campuran dihitung dengan rumus berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_{sb}}} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

P_{mm} = Persentase berat total campuran (100)

P_s = Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

P_b = Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran (%)

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

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

5. Kepadatan (*density*)

Kepadatan (*density*) merupakan tingkat kerapatan campuran setelah pemadatan. Semakin tinggi densitas campuran semakin baik kerapatannya. Campuran dengan nilai densitas yang lebih tinggi dapat menahan beban yang lebih tinggi dari pada campuran dengan nilai densitas yang lebih rendah karena luas partikel agregat berbentuk kotak yang lebih besar (*friction*) sehingga meningkatkan gesekan antar partikel agregat. Nilai kepadatan (*density*) dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kepadatan} = \frac{W_m}{(W_{mssd} - W_{mpw})} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan:

Kepadatan = Nilai kepadatan (gr/cc)

Wm = Berat benda uji setelah dipadatkan (gr)

Wmssd = Berat benda uji ssd setelah dipadatkan (gr)

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

6. Rongga Udara (VIM)

VIM adalah rongga yang ditinggalkan oleh pemadatan campuran aspal beton. VIM ini digunakan dimana partikel agregat bergerak karena pemadatan tambahan yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang berulang atau dimana aspal meleleh dan melunak karena peningkatan suhu udara. VIM yang lebih tinggi akan menghasilkan pelelehan yang lebih cepat berupa lekukan dan retakan. Hal ini menyebabkan campuran aspal menjadi kurang rapat sehingga memungkinkan air dan udara dengan mudah masuk ke rongga-rongga dalam campuran sehingga menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Rongga udara campuran (Va) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri dari udara antara partikel agregat dari terlapisi aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$VIM = 100 - \frac{\text{Berat isi benda}}{Gmm} \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan:

VIM = Persentase rongga udara dalam campuran (%)

Gmm = Berat benda uji ssd setelah dipadatkan (gr/cc)

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

7. Rongga Antar Agregat (VMA)

Rongga antar agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat

pada perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap oleh agregat). Jumlah rongga mempengaruhi kinerja campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran akan mengalami masalah daya tahan, dan jika VMA terlalu besar maka campuran akan mengalami masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi. Jika bahan campuran ditentukan sebagai persen berat dari total campuran, VMA dihitung dengan persamaan berikut:

$$VMA = 100 - \frac{\text{Berat isi benda (100 - kadar aspal)}}{Gsb} \dots\dots\dots(7)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara dalam campuran (%)

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

Kadar aspal = Persentase kadar aspal pada berat total campuran (%)

Gsb = Berat benda uji ssd setelah dipadatkan (gr)

8. *Void Filled with Asphalt (VFA)*

Void Filled with Asphalt (VFA) adalah persentase rongga yang terisi aspal dalam campuran setelah proses pemadatan. Nilai VFA dipengaruhi oleh faktor pemadatan yaitu jumlah dan suhu pemadatan gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA mempengaruhi impermeabilitas campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan daya tahan. Nilai VFA yang lebih tinggi berarti lebih banyak rongga dalam campuran yang diisi aspal dan campuran lebih tahan terhadap air dan udara, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *bleeding*. Nilai VFA yang terlalu kecil akan membuat campuran menjadi kedap air dan kedap udara, karena lapisan film aspal akan menjadi lebih tipis dan rawan retak bila dikenai beban tambahan

membuat campuran aspal rentan terhadap oksidasi dan akhirnya lapisan perkerasan tidak akan bertahan lama. Nilai VMA dihitung dengan rumus sebagai berikut:

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

Keterangan:

VFA = Persentase rongga udara yang terisi aspal (%)

VMA = Persentase rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM = Persentase rongga udara pada campuran (%)

9. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah besarnya penurunan atau deformasi vertikal yang terjadi pada benda uji pada saat awal pembebanan sehingga mengurangi stabilitas dan merupakan besarnya deformasi yang terjadi pada lapisan perkerasan akibat beban yang diterima. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat *Marshall* lainnya seperti stabilitas VIM dan VFA. Nilai VIM yang lebih besar menghasilkan sesistensi interlocking yang lebih rendah dari campuran dan dapat menyebabkan deformasi. Dan cara mendapatkan nilai kestabilannya, nilai *flow* adalah setiap nilai yang ditunjukkan oleh dial. Hanya saja jarum dial *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

10. Stabilitas

Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat di pengujian dengan alat *Marshall*. Stabilitas adalah parameter dengan satuan kilogram yang menyatakan beban maksimum yang dapat diterima oleh campuran aspal jika terjadi kegagalan. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan

perkerasan kaku sehingga menurunkan tingkat keawetannya. Nilai stabilitas dihitung dengan rumus berikut:

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

Keterangan:

S = Nilai stabilitas (kg)

p = Pembacaan arloji x kalibrasi alat

q = Angka koreksi tebal benda uji

Tabel 2.8 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

Lanjutan Tabel 2.8

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

K. Penelitian Terdahulu

1. Habibul Hasbi (2022)

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap Pengaruh Penggunaan Limbah Bata Merah Sebagai Pengganti Sebagian *Filler*, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan : Pada variasi kadar *filler* serbuk batu bata 1% dengan semen 0%, serbuk batu bata 1% dengan semen 1%, serbuk batu bata 1% dengan semen 2%, serbuk batu bata 2% dengan semen 0%, serbuk batu bata 2% dengan semen 1%, dan serbuk batu bata 3% dengan semen 0% terhadap berat total agregat. Semua diuji sesuai dengan metode *Marshall* untuk mendapatkan data kepadatan, stabilitas, *Flow*, dan MQ. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa terjadi pengaruh nilai stabilitas akibat penambahan *filler* serbuk batu bata dan semen *portland*. Semakin banyak proporsi penambahan *filler* serbuk batu bata dan semen *portland* maka nilai stabilitas *Marshall* akan semakin tinggi. Nilai proporsi maksimum kadar *filler* paling baik dihasilkan dengan proporsi campuran 2% serbuk batu bata dengan 1% semen. Setelah adanya penambahan *filler* serbuk batu bata pada campuran lapis aspal beton, lapisan aspal beton mampu memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yang ditinjau dari nilai kepadatan (*density*), pelelehan (*flow*), stabilitas, MQ (*Marshall quotient*).

2. Muhammad Abdurrohim (2021)

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap Penggunaan Serbuk Bata Merah dan Batu Apung Sebagai Pengganti Sebagian *Filler*, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan : Berdasarkan dari variasi kadar filler digunakan 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dengan kadar aspal 6,75%. Setelah itu akan dilakukan uji *Marshall* terhadap seluruh benda uji untuk mengetahui nilai karakteristiknya. Setelah dilakukan analisis, pada penggunaan serbuk batu apung sebagai *filler* mampu meningkatkan nilai Stabilitas dan MQ secara optimum pada kadar *filler* 50% yaitu masing – masing sebesar 547,79kg dan 357,84kg/mm, sementara nilai Flow pada kadar 75% dengan penurunan sebesar 1,25mm. Kemudian untuk nilai VIM dan VMA akan semakin meningkat seiring penambahan kadar namun VFA akan selalu menurun seiring penambahan kadar *filler*. Sementara penggunaan *filler* serbuk bata merah dengan kadar 75%, diperoleh peningkatan optimum pada stabilitas yang meningkat 61,29kg, Untuk nilai flow dan VFA akan semakin meningkat seiring penambahan kadar filler. Sedangkan nilai *Marshall Quotient*, VIM dan VMA terjadi hal yang sebaliknya yaitu nilai akan semakin menurun seiring penambahan kadar *filler*. Berdasarkan hasil analisa tersebut dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan serbuk batu apung sebagai *filler* lebih baik daripada penggunaan serbuk bata merah.

3. M. Shidiqul Aziz (2017)

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap Pemanfaatan Limbah Bata Merah Sebagai Pengganti Sebagian *Filler*, maka dapat dari hasil penelitian yang dilakukan, didapatkan:

- a. Pemanfaatan limbah bata merah memberikan pengaruh terhadap nilai density beton aspal yang ditunjukkan dengan adanya penurunan pada nilai persentase VMA dan VIM. Dimana nilai VMA dengan filler Abu batu sebesar 17,946%, sedangkan nilai VMA dengan filler limbah bata merah sebesar 17,691%. Sementara nilai VIM dengan filler abu batu sebesar 4,249%, sedangkan nilai VIM dengan filler limbah bata merah sebesar 3,952%.
- b. Pemanfaatan limbah bata merah memberikan pengaruh terhadap uji parameter marshall yang ditunjukkan dengan adanya kenaikan pada nilai stabilitas dan flow. Dimana nilai stabilitas dengan filler abu batu sebesar 996,202 kg, sedangkan nilai stabilitas dengan filler limbah bata merah sebesar 1093,220 kg. Sementara nilai Flow dengan filler abu batu sebesar 3,45 mm, sedangkan nilai flow dengan filler limbah bata merah sebesar 4,47 mm.

4. I Gede Budiarta Utama (2017)

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap Penggunaan Serbuk Bata Merah Sebagai Pengganti Sebagian *Filler*, maka dapat diperoleh beberapa kesimpulan : Berdasarkan persentase *filler* yang diambil 0%, 100%, 20%, 80%, 40%, 60%, 60%, 40%, 80%, 20%, 100%, Kadar aspal rencana yang digunakan adalah (Pb) = 6%, dengan rentang kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%. Setelah dilakukan pengujian *marshall*, terhadap variasi kadar aspal dengan 100% abu batu sebagai *filler*, lalu ditentukan kadar aspal optimum yaitu 6,75% selanjutnya, dibuat benda uji sesuai dengan KAO. Kemudian dilakukan pengujian yaitu; Volumetrik, *Marshall*, IDT dan *Stiffness*. Hasil yang diperoleh adalah nilai

stabilitas dan MQ campuran dengan serbuk batu bata lebih tinggi dan memiliki nilai *flow* yang lebih rendah dari pada campuran dengan menggunakan abu batu. Rongga yang terjadi pada campuran dengan penggunaan serbuk batu bata juga lebih kecil dibandingkan dengan campuran dengan menggunakan abu batu. Campuran yang menggunakan serbuk batu bata sebagai *filler* dapat bekerja lebih baik dari pada campuran yang menggunakan *filler* abu batu. Begitu pula apabila dikombinasikan, campuran yang menggunakan serbuk batu bata lebih banyak, memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan campuran yang menggunakan lebih banyak abu batu. Walaupun pada kadar 100% serbuk batu bata mengalami penurunan kemampuan terhadap pengujian yang dilakukan, tapi nilai pengujiannya masih lebih baik apabila dibandingkan dengan campuran yang menggunakan abu batu.

5. Mas Nurjana (2020)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik *Marshall* menggunakan bahan pengikat aspal Pertamina AC 60/70 dengan menggunakan *Flow* (kelelehan), 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 Rizqy. 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.

C. Bahan dan Alat

1. Bahan

Berikut adalah daftar item bahan yang digunakan dalam penelitian ini:

- a. PT. Lakera Bum, kontraktor aspal yang berbasis di Pinrang, merupakan pemasok material yang mencakup agregat kasar dan halus, serta aspal dengan penetrasi 60/70.
- b. Aspal yang digunakan untuk penelitian ini mempunyai tingkat penetrasi 60/70.
- c. Bahan pengisi adalah komponen metode eksperimental yang melibatkan penggantian bahan pengisi campuran, dengan dua jenis bahan pengisi berbeda yang digunakan:
 - 1) Semen
Abu batu merupakan bahan pengisi utama
 - 2) Limbah bata merah
Sebagai bahan pengisi alternatif digunakan limbah bata merah. Sampah limbah ini didapat dari pembongkaran rumah warga terdampak longsor yang terjadi di Kota Parepare pada 6 Desember 2021.

2. Alat

Termasuk dalam peralatan yang akan digunakan untuk ujian materi adalah:

- 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: 1 $\frac{1}{2}$ "", 1"", $\frac{3}{4}$ "", $\frac{1}{2}$ "", $\frac{3}{8}$ "", 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 atau alas 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) Kompor
 - 2) Wajan dan sobek
 - 3) Cetakan (*mold*) bernentuk silinder

- 4) Penumbuk (*compactor*)
- 5) Pengangkat briket (dongkrak hidrolis)
- 6) Wadah (*Waterbath*)
- 7) Selain *flow meter*, *loading head* yang agak melengkung, *test ring* berkapasitas 2500 kg, dan *pressure gauge* merupakan komponen-komponen yang disertakan dalam satu set peralatan Marshall.

D. Prosedur Penelitian

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

1. Pengujian agregat kasar (batu pecah)
Berat jenis dan penyerapan, analisa saringan, keausan agregat (abrasi).
2. Pengujian agregat halus (Abu batu) dan (Limbah bata merah)
Berat jenis dan penyerapan, analisa saringan.
3. Pengujian aspal
Berat jenis, titik lembek, kehilangan berat, penetrasi.
4. Setelah menyelesaikan semua pengujian, kemudian diperiksa apakah pengujian sesuai spesifikasi atau tidak.
5. Setelah merancang campuran aspal sesuai dengan komposisi yang telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah membuat benda uji campuran aspal pada struktur lapisan aspal khususnya AC-BC untuk mengetahui kandungan aspal terbaik. Untuk itu digunakan persentase aspal 5%, 6%, dan 7%, kemudian dilakukan uji Marshall untuk mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO).
6. Untuk keperluan penelitian ini, sebanyak 18 benda uji dibuat untuk memastikan

Kadar Aspal Optimum (KAO). Dua sampel dibuat untuk masing-masing varian kandungan bahan pengisi utama (semen) dan bahan pengisi alternatif (limbah bata merah) yang berbeda untuk memperkirakan nilai rata-ratanya. Informasi lebih lengkap mengenai spesifikasi benda uji dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kebutuhan benda uji

Kadar aspal (%)	Jumlah Benda Uji Setiap Komposisi Filler (%)		
	Semen (100:0)	Limbah Bata Merah dan Semen (50:50)	Limbah Bata Merah (0:100)
5	2	2	2
6	2	2	2
7	2	2	2
KAO terpilih	2	2	2
Jumlah benda uji	24		

7. Pengujian dengan Marshall Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan stabilitas terhadap *flow* dari campuran aspal sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T-245-9.
8. Tes *Marshall*. Mengikuti aturan yang ditentukan dalam SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T-245-9, tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan stabilitas terhadap *flow* dari campuran aspal.

E. Teknik Pengumpulan Data

Untuk keperluan dari penelitian ini, proses pengumpulan data mencakup pengumpulan data sekunder dan data primer sebagai bagian yang terpadu.

1. Pengumpulan data sekunder

Tindakan yang membentuk tinjauan literatur dilakukan pada awal penelitian ini. Kegiatan tersebut meliputi yaitu merujuk jurnal, memilih sumber daya, menetapkan persyaratan, dan mengembangkan teknik penelitian.

2. Pengumpulan data primer

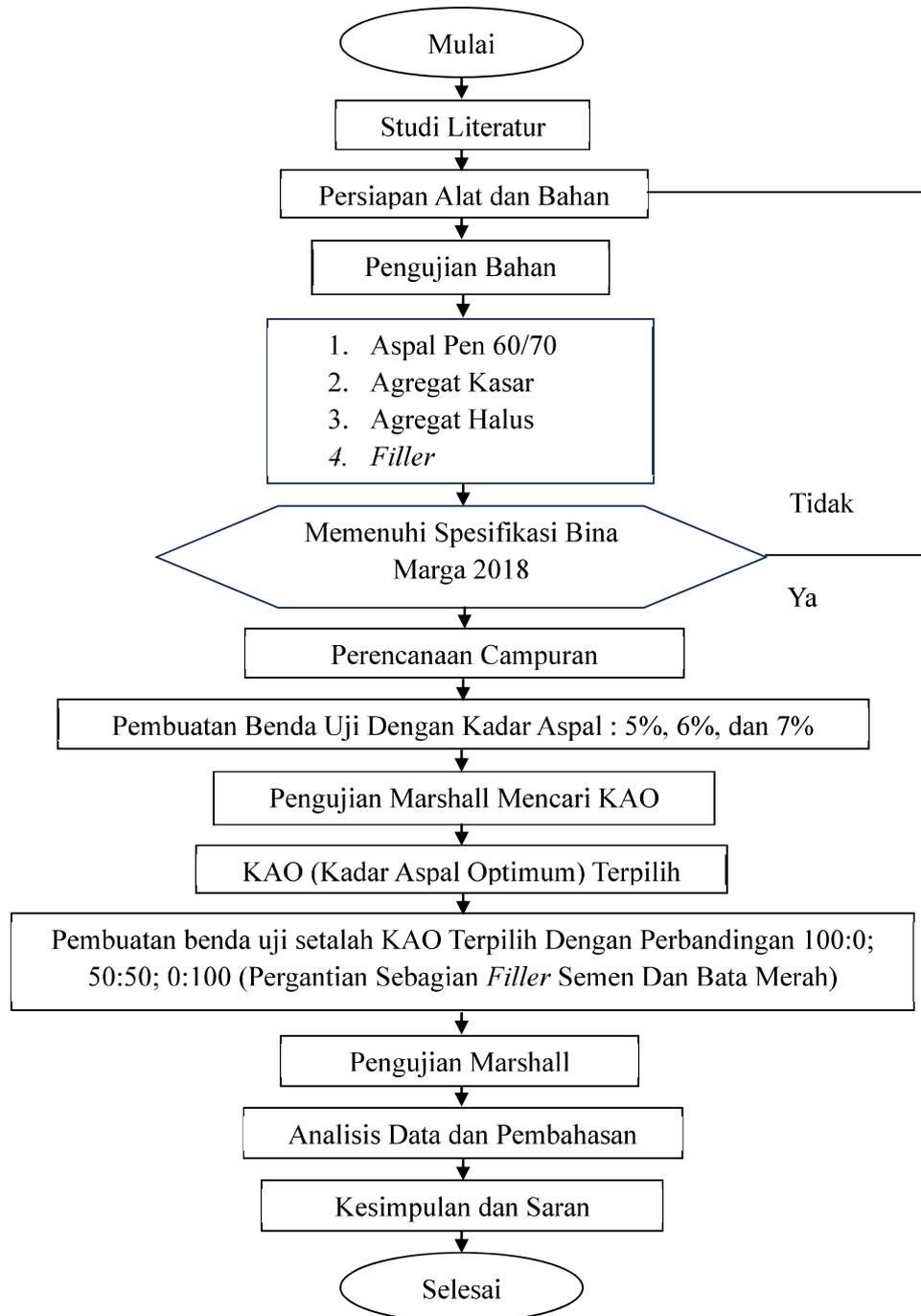
Menyusul penetapan rincian penelitian, maka dilakukan proses pengumpulan data dengan cara pengujian di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare. Tes berikut digunakan:

- 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. Penggabungan kombinasi bahan pengisi (*filler*) limbah bata merah dan abu batu
- i. Pengujian Marshall

F. Teknik Analisis Data

Secara khusus, metode Uji *Marshall* digunakan sebagai pendekatan analisis data yang digunakan dalam penelitian ini. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik suatu campuran aspal serta jumlah aspal yang tepat yang sebaiknya dimasukkan ke dalam campuran tersebut. Tujuannya adalah untuk menilai kestabilan (*stabilitas*) dan kelelehan (*flow*) campuran padat yang dibuat, selain melakukan analisis densitas dan porositas campuran.

G. Diagram Alir



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Agregat

Pengujian seperti berat jenis, penyerapan agregat, keausan agregat kasar (abrasi), dan analisis saringan digunakan untuk menilai sifat fisik agregat.

1. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Hasil pemeriksaan pengujian berat jenis dan serapan agregat telah sesuai dengan Spesifikasi Umum Perkerasan Aspal Bina Marga Divisi 6 Tahun 2018. Data dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 4.1, 4.2, dan 4.3.

a. Berat jenis agregat kasar 1-2

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

No.	Perhitungan	Hasil pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,64	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,68			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,74			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1,49	Maks. 3	%	Memenuhi

Hasil pengujian berat jenis agregat kasar 1-2 menunjukkan berat jenis bulk sebesar 2,64 gr, berat jenis kering permukaan sebesar 2,68 gr, berat jenis semu sebesar 2,74 gr, dan penyerapan. tingkatnya adalah 1,49%. Mengingat nilai tersebut memenuhi kriteria yang ditentukan yaitu berat jenis minimum 2,5 dan penyerapan air maksimum 3%, maka dapat disimpulkan bahwa agregat yang diuji memenuhi standar yang dipersyaratkan.

b. Berat jenis agregat kasar 0,5-1

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

No.	Perhitungan	Hasil pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	2,60	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	2,66			Memenuhi
3	Berat jenis semu	2,78			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	2,56	Maks. 3	%	Memenuhi

Hasil pengujian berat jenis agregat kasar 0,5-1 menunjukkan berat jenis bulk sebesar 2,60 gr, berat jenis kering permukaan sebesar 2,66 gr, berat jenis semu sebesar 2,78 gr, dan laju penyerapan. sebesar 2,56%. Mengingat nilai tersebut memenuhi kriteria yang ditentukan yaitu berat jenis minimum 2,5 dan penyerapan air maksimum 3%, maka dapat disimpulkan bahwa agregat yang diuji memenuhi standar yang dipersyaratkan.

c. Berat jenis agregat halus (Abu Batu)

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

No.	Perhitungan	Hasil pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis bulk	3,16	Min 2.5	gr	Memenuhi
2	Berat jenis kering permukaan	3,21			Memenuhi
3	Berat jenis semu	3,34			Memenuhi
4	Penyerapan (Absorption)	1,48	Maks. 3	%	Memenuhi

Hasil pengujian berat jenis agregat halus (abu-batu) menunjukkan berat jenis bulk sebesar 3,61 gr, berat jenis kering permukaan sebesar 3,21 gr, berat jenis semu sebesar 3,34 gr, dan laju penyerapan. sebesar 1,48%. Mengingat nilai tersebut

memenuhi kriteria yang ditentukan yaitu berat jenis minimum 2,5 dan penyerapan air maksimum 3%, maka dapat disimpulkan bahwa agregat yang diuji memenuhi standar yang dipersyaratkan.

2. Pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi)

Pemeriksaan keausan agregat kasar (abrasi) mengikuti prosedur yang telah ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

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

Saringan		Berat		Spesifikasi
Lolos	Tertahan	Sebelum (gr)	Sesudah (gr)	
19 mm (3/4")	12,5 mm (1/2")	2500	4315	
12,5 mm (1/2")	9,5 mm (3/8")	2500	4315	
Jumlah Berat (gram)		5000	4315	
Berat Tertahan Berat Tertahan		5000	4315	
Saringan No. 12 (gram)				
Persen Keausan		13,7		

Keausan (abrasi) agregat kasar dievaluasi dengan melakukan pengujian menggunakan mesin Los Angeles. Mesin diputar sebanyak 500 putaran dengan 11 bola baja sehingga menghasilkan nilai keausan sebesar 13,7%. Ini berada dalam batas yang ditentukan yaitu maksimal 30%.

3. Pemeriksaan analisa saringan agregat

Uji analisis saringan agregat melibatkan analisis agregat kasar dan halus. Hasil berat jenis dan serapan agregat harus sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018.

a. Analisa saringan agregat kasar 1-2

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

No. Saringan	SAMPEL 1			SAMPEL 2			Rata-Rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	13,6	0,91	99,09	37,1	2,47	97,53	98,31
1/2"	677,6	45,17	53,92	753,2	50,23	47,30	50,61
3/8"	469,3	31,29	22,63	445,2	29,69	17,61	20,12
4	298,2	19,88	2,75	230,4	15,37	2,24	2,50
8	21,2	1,41	1,34	15,2	1,01	1,23	1,28
16	9,1	0,61	0,73	8,5	0,57	0,66	0,70
30	2,5	0,17	0,57	3,4	0,23	0,43	0,50
50	1,5	0,10	0,47	1,1	0,07	0,36	0,41
100	3,1	0,21	0,26	1,8	0,12	0,24	0,25
200	0,00	0,00	0,26	0,00	0,00	0,24	0,25
Pan	3,9	0,26	0,00	3,6	0,24	0,00	0,00
Jumlah	1500	100		1500	100		

b. Analisa saringan agregat kasar 0,5-1

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

No. Saringan	SAMPEL 1			SAMPEL 2			Rata-Rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	0,00	0,00	100	0,00	0,00	100	100
1/2"	0,00	0,00	100	0,00	0,00	100	100
3/8"	301,5	20,10	79,90	354	23,60	76,40	78,15
4	711,2	47,41	32,49	785	52,33	24,07	28,28
8	466,1	31,07	1,41	339,5	22,63	1,43	1,42
16	14,9	0,99	0,42	15,6	1,04	0,39	0,41
30	0,3	0,02	0,40	0,8	0,05	0,34	0,37
50	0,7	0,05	0,35	0,1	0,01	0,33	0,34
100	1,3	0,09	0,27	1,5	0,10	0,23	0,25
200	2,2	0,15	0,12	2,5	0,17	0,07	0,09
Pan	1,8	0,12	0,00	1	0,07	0,00	0,00
Jumlah	1500	100		1500	100		

c. Analisa saringan agregat halus (abu batu)

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

No. Saringan	SAMPEL 1			SAMPEL 2			Rata-Rata
	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	Berat Tertahan	(%) Tertahan	(%) Lolos	
3/4"	0,00	0,00	100	0,00	0,00	100	100
1/2"	0,00	0,00	100	0,00	0,00	100	100
3/8"	0,00	0,00	100	0,00	0,00	100	100
4	0,00	0,000	100	0,00	0,00	100	100
8	60,6	4,04	95,96	68,9	4,59	95,41	95,68
16	351,9	23	72,50	368,5	24,57	70,84	71,67
30	331,5	22,10	50,40	331,5	22,10	48,74	49,57
50	248,7	16,58	33,82	261,6	17,44	31,30	32,56
100	327,7	21,85	11,97	364,3	24,29	7,01	9,49
200	158,3	10,6	1,42	99,4	6,63	0,39	0,90
Pan	21,3	1,42	0,00	5,8	0,39	0,00	0,00
Jumlah	1500	100		1500	100		

B. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Aspal

Pengujian sifat-sifat aspal terdiri dari pengujian berat jenis aspal, pengujian titik lembek aspal, pengujian kehilangan berat aspal, dan pengujian penetrasi. Pada pemeriksaan aspal merujuk pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Perkerasan Aspal. Dari hasil pemeriksaan aspal diperoleh data pada tabel berikut:

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

No.	Jenis Pengujian	Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Sat.	Ket.
1	Berat jenis aspal	1,02	$\geq 1,0$	gr/cc	Memenuhi
2	Titik lembek aspal	49,50	≥ 48	$^{\circ}\text{C}$	Memenuhi
3	Penetrasi pada 25 $^{\circ}\text{C}$	6,40	60-70	0,1 mm	Memenuhi
4	Kehilangan berat aspal	0,57	$\leq 0,8$	%	Memenuhi

Hasil pengujian aspal menunjukkan berat jenis 1,02 gr/cc, titik lembek 49,50°C, kehilangan berat aspal 0,57 mm, dan penetrasi pada suhu 25°C sebesar 66,40 mm. Nilai-nilai ini memenuhi spesifikasi untuk pemeriksaan aspal.

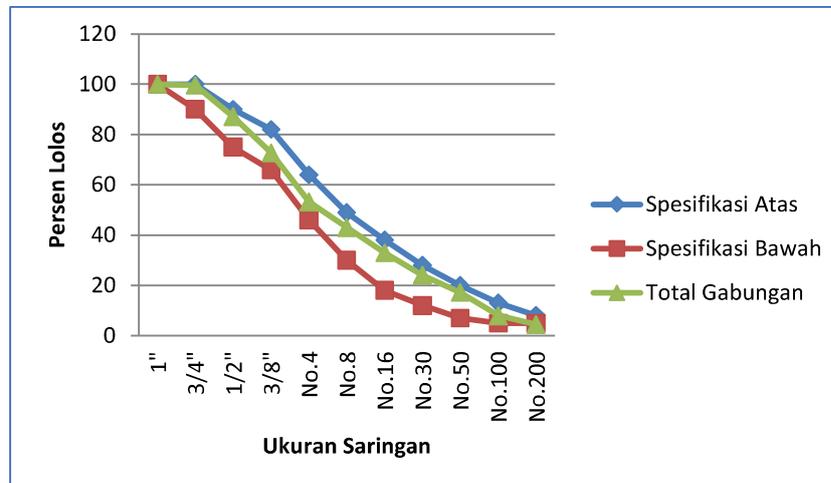
C. Hasil Rancangan Campuran

1. Gradasi agregat gabungan

Gradasi agregat gabungan ditentukan melalui oleh proses sistematis yang memanfaatkan nilai-nilai dari analisis saringan agregat dan menggabungkan data spesifikasi dari setiap analisis saringan. Variasi persentase masing-masing agregat ditentukan, dan hasil gabungan agregat dicapai dengan mengalikan persentase dengan persentase lolos masing-masing agregat hingga memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk campuran aspal AC-BC. Data gradasi agregat gabungan *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil gradasi agregat gabungan campuran aspal AC-BC (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Saringan		26%	30%	40%	4%	Total	Spek. AC-BC
ASTM	(mm)	Agg.1/2	Agg 0.5/1	Abu Batu	semen		
1"	25	26,00	30,00	40,00	4,00	100,00	100
3/4"	19	25,56	30,00	40,00	4,00	99,56	90-100
1/2"	12,5	13,16	30,00	40,00	4,00	87,16	75-90
3/8"	9,5	5,23	23,45	40,00	4,00	72,68	66-82
No.4	4,75	0,65	8,48	40,00	4,00	53,13	46-64
No.8	2,36	0,33	0,43	38,27	4,00	43,03	30-49
No.16	1,18	0,18	0,12	28,67	4,00	32,97	18-38
No.30	0,6	0,13	0,11	19,83	4,00	24,07	12-28
No.50	0,3	0,11	0,10	13,02	4,00	17,23	7-20
No.100	0,15	0,07	0,07	3,80	4,00	7,94	5-13
No.200	0,075	0,07	0,03	0,36	4,00	4,45	4-8



Gambar 4.1 Grafik hasil gradasi agregat gabungan campuran aspal AC-BC
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Analisis data menunjukkan bahwa gradasi agregat untuk campuran aspal AC-BC harus berada dalam batas atas dan bawah yang ditentukan, yang dinyatakan dalam persentase berat gradasi agregat. Hasil gradasi agregat campuran AC-BC memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018.

2. Perencanaan kadar aspal rencana dan komposisi campuran agregat

Perkiraan awal kadar aspal dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan penggabungan pada tiga fraksi agregat, sedangkan perhitungannya sebagai berikut:

a. Kadar Aspal Rencana Untuk Proporsi Agregat Gabungan Awal

1) Fraksi Agregat

$$\begin{aligned}
 \text{a) Fraksi agregat kasar (CA)} &= 100\% - \% \text{ total agregat saringan No. 8} \\
 &= 100\% - 43,03\% \\
 &= 56,97\%
 \end{aligned}$$

- b) Fraksi agregat halus (FA) = % total nilai perhitungan (CA) - total agregat saringan No.200
- $$= 56,97\% - 4,45\%$$
- $$= 52,52\%$$
- c) Bahan pengisi (FF) = % total agregat saringan No.200
- $$= 4,45\%$$

2) Kadar Aspal Rencana

Kadar aspal rencana perkiraan awal kadar aspal rencana (Pb)

$$Pb = 0.035 (\%CA) + 0.045 (\%FA) + 0.18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

$$= 0.035 (56,97) + 0.045 (52,52) + 0.18 (4,45) + 1$$

$$= 6,1 \approx 6,0\%$$

Dari hasil perkiraan kadar aspal (Pb) dibuatkan benda uji dengan lima variasi kadar aspal, 2 kadar aspal di bawah Pb dan 2 kadar aspal di atas Pb dengan interval 0,5% sehingga variasi kadar aspal rencana adalah 5,0%, 5.5%, 6,0%, 6.5%, dan 7,0%. Dan kadar aspal yang dipakai dalam penelitian ini 5,0%, 6,0%, dan 7,0%.

b. Perhitungan Berat (gr) Pada Kadar Aspal 5,0%, 6,0%, Dan 7,0%:

1) Kadar Aspal = 5,0 %

Berat Benda Uji aspal = 1200 gr

Kadar aspal perkiraan = $5,0\% \times 1200 = 60$ gr

2) Kadar Aspal = 6,0 %

Berat Benda Uji aspal = 1200 gr

Kadar aspal perkiraan = $6,0\% \times 1200 = 72$ gr

3) Kadar Aspal = 7,0 %

Berat Benda Uji aspal = 1200 gr

Kadar aspal perkiraan = 7,0 % × 1200 = 84 gr

c. Perhitungan Berat Komposisi Persen Abu Batu (40%), Agregat 0,5-1 (30%), Agregat 1-2 (26%), Semen (4%).

1) Kadar Aspal (5,0%)

Abu batu = $40\% \times ((1200 - 60)/1200) \times 100 = 38,00\%$

Agregat 0,5-1 = $30\% \times ((1200 - 60)/1200) \times 100 = 28,50\%$

Agregat 1-2 = $26\% \times ((1200 - 60)/1200) \times 100 = 24,70\%$

Semen = $4\% \times ((1200 - 60)/1200) \times 100 = 3,80\%$

Total Agregat dalam campuran = 95,00%

Jumlah = 100%

2) Kadar Aspal (6,0%)

Abu batu = $40\% \times ((1200 - 72)/1200) \times 100 = 37,60\%$

Agregat 0,5-1 = $30\% \times ((1200 - 72)/1200) \times 100 = 28,20\%$

Agregat 1-2 = $26\% \times ((1200 - 72)/1200) \times 100 = 24,44\%$

Semen = $4\% \times ((1200 - 72)/1200) \times 100 = 3,76\%$

Total Agregat dalam campuran = 94,00%

Jumlah = 100%

3) Kadar Aspal (7,0%)

Abu batu = $40\% \times ((1200 - 84)/1200) \times 100 = 37,20\%$

Agregat 0,5-1 = $30\% \times ((1200 - 84)/1200) \times 100 = 27,90\%$

Agregat 1-2 = $26\% \times ((1200 - 84)/1200) \times 100 = 24,18\%$

$$\begin{aligned} \text{Semen} &= 4\% \times ((1200 - 84)/1200) \times 100 = 3,72\% \\ \text{Total Agregat dalam campuran} &= \underline{93,00\%} \\ \text{Jumlah} &= 100\% \end{aligned}$$

Tabel 4.10 Komposisi agregat campuran pada lapisan aspal AC-BC (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Komponen Bahan	Komposisi Agregat	Kadar Aspal Rencana (%)		
		5,0	6,0	7,0
Abu Batu	40%	38,00	37,60	37,20
Agregat 0,5-1	30%	28,50	28,20	27,90
Agregat 1-2	26%	24,70	24,44	24,18
Semen	4%	3,80	3,76	3,72
Total Agregat Campuran (%)	100%	95,00	94,00	93,00
Total Campuran (%)		100	100	100

3. Hasil berat agregat yang dibutuhkan untuk pembuatan benda uji

Perhitungan berat agregat yang dibutuhkan untuk campuran lapisan aspal AC-BC ditentukan berdasarkan hasil analisis gradasi agregat gabungan, seperti disajikan pada perhitungan di bawah berikut:

a. Kadar Aspal (5,0%)

$$\begin{aligned} \text{Abu batu} &= 38,00\% \times 1200 = 456,00 \text{ gr} \\ \text{Agregat 0,5-1} &= 28,50\% \times 1200 = 342,00 \text{ gr} \\ \text{Agregat 1-2} &= 24,70\% \times 1200 = 296,40 \text{ gr} \\ \text{Semen} &= 3,80 \times 1200 = 45,60 \text{ gr} \\ \text{Aspal} &= 5,0\% \times 1200 = \underline{60,00 \text{ gr}} \\ \text{Jumlah} &= 1200\% \end{aligned}$$

b. Kadar Aspal (6,0%)

$$\begin{aligned} \text{Abu batu} &= 37,60\% \times 1200 = 451,20 \text{ gr} \\ \text{Agregat 0,5-1} &= 28,20\% \times 1200 = 338,40 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat 1-2} &= 24,44 \% \times 1200 = 293,28 \text{ gr} \\
 \text{Semen} &= 3,76 \times 1200 = 45,12 \text{ gr} \\
 \text{Aspal} &= 6,0\% \times 1200 = \underline{72,00 \text{ gr}} \\
 \text{Jumlah} &= 1200\%
 \end{aligned}$$

c. Kadar Aspal (7,0%)

$$\begin{aligned}
 \text{Abu batu} &= 37,20 \% \times 1200 = 446,40 \text{ gr} \\
 \text{Agregat 0,5-1} &= 27,90 \% \times 1200 = 334,80 \text{ gr} \\
 \text{Agregat 1-2} &= 24,18 \% \times 1200 = 290,16 \text{ gr} \\
 \text{Semen} &= 3,76 \times 1200 = 44,64 \text{ gr} \\
 \text{Aspal} &= 7,0\% \times 1200 = \underline{84,00 \text{ gr}} \\
 \text{Jumlah} &= 1200\%
 \end{aligned}$$

Tabel 4.11 Hasil berat agregat untuk benda uji campuran aspal pada lapisan aspal AC-BC (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Komposisi Campuran	Berat Timbangan (gr)			
	%	5,0	6,0	7,0
Kadar Aspal Rencana				
Abu batu	gram	456,00	451,20	446,40
Agregat 0,5-1	gram	342,00	338,40	334,80
Agregat 1-2	gram	296,40	293,28	290,16
Semen	gram	45,60	45,12	44,64
Berat Agregat Campuran (gr)		1,140	1,128	1,116
Berat Aspal (gr)		60,00	72,00	84,00
Berat Rencana Total Campuran (gr)		1,200	1,200	1,200

D. Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum ditentukan dengan menambahkan jumlah aspal yang tepat ke dalam campuran agregat agar memenuhi spesifikasi persyaratan Stabilitas, VMA, VIM, VFA, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Menghitung kadar aspal optimum

memerlukan identifikasi jumlah aspal paling sesuai yang diperlukan untuk menghasilkan benda uji baru dengan komposisi agregat yang sama, disesuaikan untuk memenuhi kadar aspal optimum yang diinginkan.

Pengolahan data yang dilakukan melalui *Marshall* menghasilkan perhitungan nilai parameter yang pada akhirnya berujung pada penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO). Hal ini meliputi peringkasan perhitungan campuran aspal standar AC-BC, khususnya kadar aspal 5%, 6%, dan 7%. Komposisi bahan pengisi meliputi tiga variasi yang berbeda: sampel dengan 100:0 (semen), 50:50 (semen dan limbah bata merah) dan 0:100 (limbah bata merah). Lihat Tabel 4.12, Tabel 4.13, dan Tabel 4.14 untuk informasi lebih lanjut.

Tabel 4.12 Hasil uji Marshall campuran aspal beton AC-BC dengan variasi *filler* 100:0 (Semen) (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

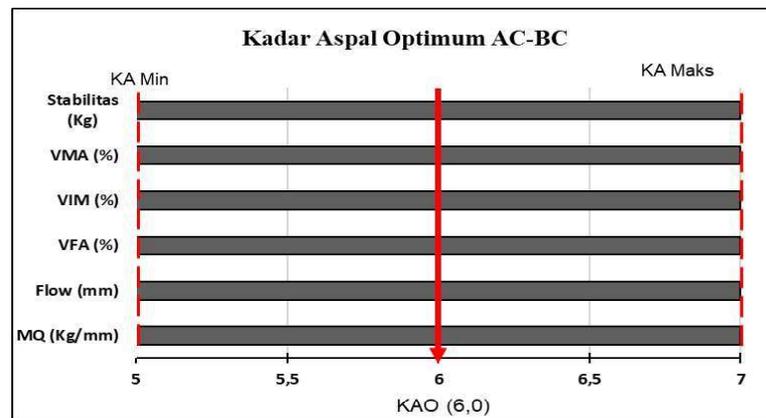
Karakteristik Campuran	Spesifikasi Umum	Persentase Variasi Kadar Aspal (%)		
		5,0	6,0	7,0
Stabilitas (Kg)	Min. 800	2611,89	1190,27	1790,06
VMA (%)	Min. 15	14,29	16,67	19,19
VIM (%)	3 - 5	3,80	4,03	4,51
VFA (%)	Min. 65	73,42	75,83	76,51
Flow (mm)	2 - 4	3,33	3,36	3,45
MQ (Kg/mm)	Min. 250	783,75	355,19	519,92

Tabel 4.13 Hasil uji Marshall campuran aspal beton AC-BC dengan variasi *filler* 50 :50 (semen dan Limbah bata merah) (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Karakteristik Campuran	Spesifikasi Umum	Persentase Variasi Kadar Aspal (%)		
		5,0	6,0	7,0
Stabilitas (Kg)	Min. 800	1458,11	1179,10	1257,37
VMA (%)	Min. 15	14,72	16,66	18,30
VIM (%)	3 - 5	4,29	4,02	3,45
VFA (%)	Min. 65	70,87	75,93	81,13
Flow (mm)	2 - 4	3,36	3,56	3,43
MQ (Kg/mm)	Min. 250	435,09	331,42	367,29

Tabel 4.14 Hasil uji Marshall campuran aspal beton AC-BC dengan variasi *filler* 0:100 (Limbah bata merah) (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Karakteristik Campuran	Spesifikasi Umum	Persentase Variasi Kadar Aspal (%)		
		5,0	6,0	7,0
Stabilitas (Kg)	Min. 800	2603,91	1195,85	1730,29
VMA (%)	Min. 15	14,00	16,66	18,87
VIM (%)	3 - 5	3,48	4,02	4,13
VFA (%)	Min. 65	75,15	75,93	78,10
Flow (mm)	2 - 4	3,28	3,30	3,43
MQ (Kg/mm)	Min. 250	793,40	363,01	505,56



Gambar 4.2 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) Komposisi *filler* 100:0, 50:50, dan 0:100

(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{\text{KA Min} + \text{KA Maks}}{2} = \frac{5 + 7}{2} = 6,0 \%$$

Didapatkan KAO setiap variasi komposisi *filler* yaitu: 6,0%.

Berdasarkan data pada gambar 4.2 terlihat bahwa nilai kestabilan, VMA, VIM, VFA, *Flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ) semuanya memenuhi syarat aspal campuran AC-BC dengan kadar aspal sebesar 5%, 6%, dan 7%. Komposisi bahan pengisi yang digunakan terdiri dari tiga variasi yang berbeda: sampel menggunakan 100% semen, kombinasi 50% semen dan 50% limbah bata merah, serta 100%

limbah bata merah. Secara konsisten diperoleh kadar aspal optimum untuk setiap jenis aspal dan variasi *filler* sebesar 6,0%. Setelah dilakukan uji *Marshall* dengan tiga komposisi bahan pengisi yang berbeda, maka ditentukan Kadar Aspal Optimum setiap persentasenya seperti terlihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

No.	Variasi Komposisi <i>Filler</i>	Kadar Aspal Optimum (%)
1	100:0 (semen)	6,0
2	50:50 (semen dan limbah bata merah)	6,0
3	0:100 (limbah bata merah)	6,0
Jadi semua variasi komposisi <i>filler</i> memakai KAO 6,0%		

E. Hasil Pengujian *Marshall* Pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

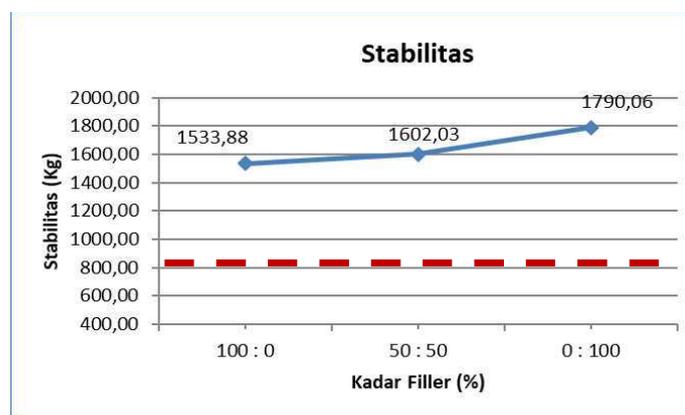
Setelah mendapatkan nilai KAO, Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji pada ketiga komposisi *filler* untuk melihat nilai karakteristik *Marshall* yang mana meliputi nilai stabilitas, VMA, VIM, VFA, *flow*, dan *Marshall Quotient* (MQ). Adapun hasil pengujian pada setiap variasi penggantian komposisi *filler* dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil pengujian *Marshall* untuk setiap penggantian *filler* (Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Komposisi <i>Filler</i>	Kadar Aspal	Stabilitas (Kg)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
100:0	6,0	1533,88	16,68	4,04	75,77	3,31	464,14
50:50	6,0	1602,03	17,32	4,78	72,42	3,41	469,74
0:100	6,0	1790,06	17,45	4,92	71,79	3,53	507,73
Spesifikasi		Min 800 Kg	Min 14%	3-5%	Min 65%	2-4 mm	Min 250 Kg/mm

a. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas dibutuhkan untuk mengetahui seberapa besar kemampuan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa menimbulkan perubahan yang tetap, seperti gelombang, alur dan bleeding. Hasil pengujian terhadap nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 4.3.



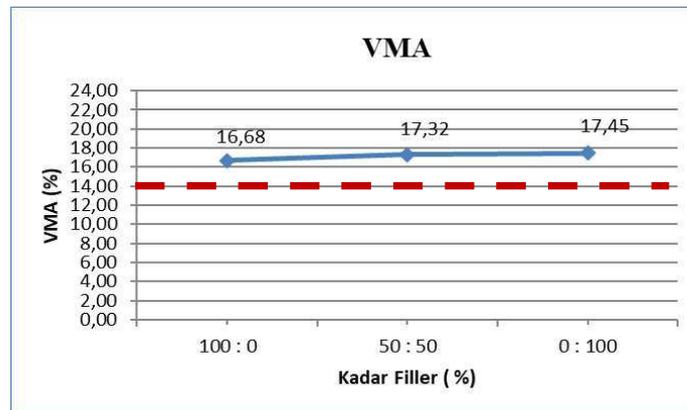
Gambar 4.3 Grafik Hasil Stabilitas Terhadap penggantian *Filler*.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Berdasarkan Gambar 4.3, Nilai stabilitas setiap komposisi *filler* memenuhi standar minimal 800 kg. Stabilitas tertinggi, 1790,06 kg, dicapai dengan komposisi 0:100, sementara yang terendah adalah 1533,88 kg pada komposisi 100:0. Secara umum, stabilitas meningkat seiring bertambahnya rasio *filler*.

b. Rongga antara mineral agregat (Void in Mineral Aggregate, VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas rongga udara pengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat

kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Gambar 4.4 menampilkan hasil pengujian VMA.



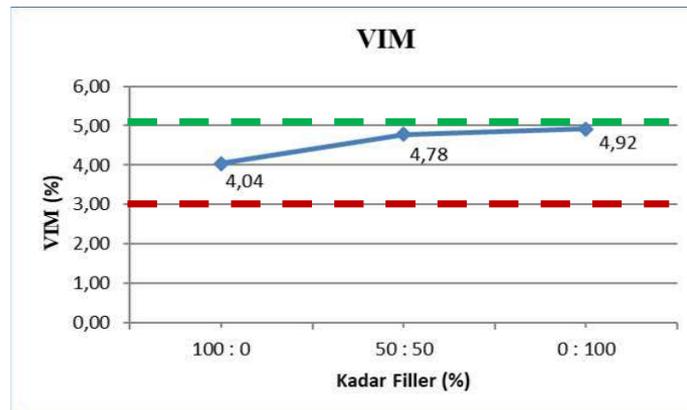
Gambar 4.4 Grafik Hasil Nilai VMA Terhadap penggantian *Filler*.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Berdasarkan Gambar 4.4, Nilai VMA untuk setiap komposisi filler memenuhi spesifikasi minimal 14%. Grafik menunjukkan kenaikan nilai VMA yang stabil, meskipun sedikit. VMA adalah 16,68% pada komposisi 100:0, meningkat menjadi 17,32% pada komposisi 50:50, dan mencapai 17,45% pada komposisi 0:100. Kenaikan ini dipengaruhi oleh tingkat pemadatan dan jumlah aspal yang digunakan.

c. Rongga udara dalam campuran (Air Voids/Voids in Mix, VIM)

Void in The Mix (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi sehingga menyebabkan lekatan antar butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran dan

pengelupasan permukaan pada lapis perkerasan. Gambar 4.5 menampilkan hasil pengujian VIM.



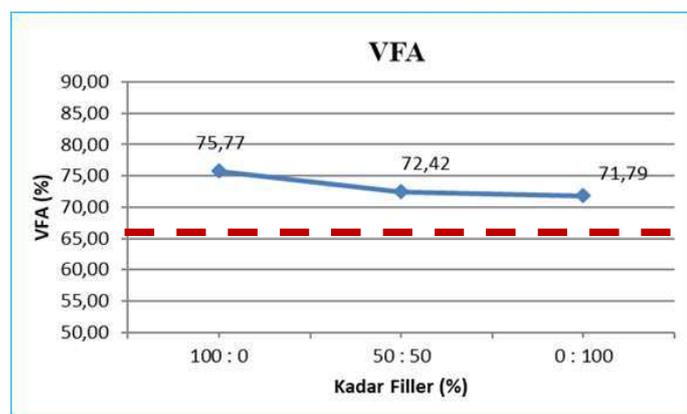
Gambar 4.5 Grafik Hasil Nilai VIM Terhadap penggantian *Filler*.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Berdasarkan Gambar 4.5, Nilai VIM untuk setiap komposisi *filler* berada dalam kisaran 3-5%. Pada komposisi 100:0, VIM adalah 4,04%, meningkat menjadi 4,78% pada komposisi 50:50, dan mencapai 4,92% pada komposisi 0:100. Idealnya, VIM menurun dengan bertambahnya kuantitas pengisi. Namun, pada komposisi 50:50 dan 0:100, VIM meningkat karena kesalahan teknis saat preparasi spesimen dan kekurangan kadar aspal, yang menyebabkan pengisian rongga tidak mencukupi.

d. Rongga terisi aspal (Void Filled with Asphalt, VFA)

Void Filled with Asphalt (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi

nilai VFA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding*. Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Gambar 4.6 menunjukkan hasil pengujian VFA.



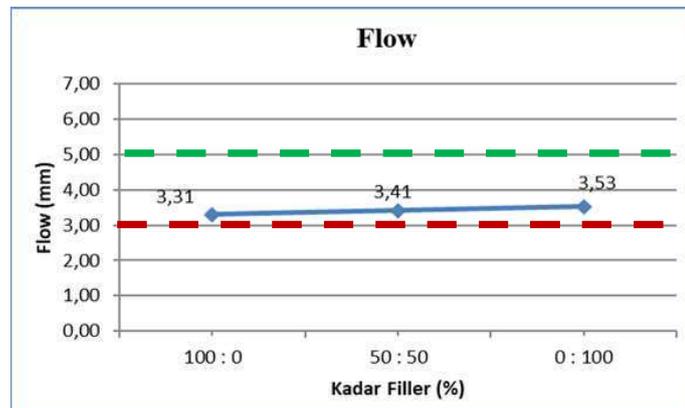
Gambar 4.6 Grafik Hasil Nilai VFA Terhadap penggantian *Filler*.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Berdasarkan Gambar 4.6, Nilai VFA untuk setiap komposisi filler memenuhi spesifikasi minimal 65%. VFA adalah 75,77% pada komposisi 100:0, menurun menjadi 72,42% pada komposisi 50:50, dan turun lagi menjadi 71,79% pada komposisi 0:100. Meskipun mengalami penurunan, semua komposisi masih memenuhi spesifikasi yang ditetapkan.

e. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah deformasi vertikal awal atau penurunan benda uji

di bawah pembebanan, yang menyebabkan penurunan stabilitas. Gambar 4.7 menampilkan hasil pengujian *Flow*.



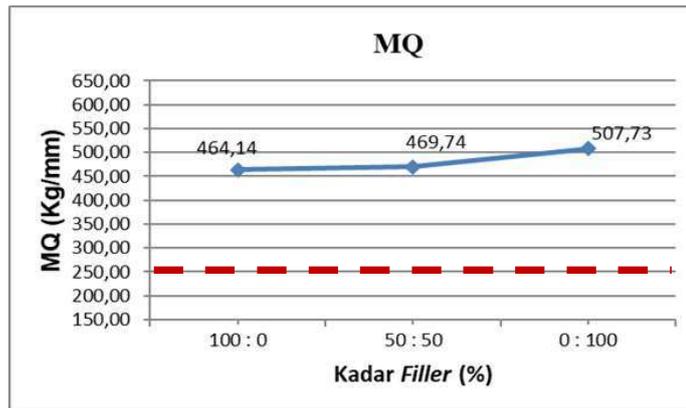
Gambar 4.7 Grafik Hasil Nilai *Flow* Terhadap penggantian *Filler*.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Berdasarkan Gambar 4.7, Nilai *Flow* untuk setiap komposisi filler memenuhi spesifikasi 3-5%. Nilai *Flow* meningkat secara stabil: 3,31 mm untuk komposisi 100:0, 3,41 mm untuk 50:50, dan 3,53 mm untuk 0:100. Peningkatan kecil ini menunjukkan bahwa penggunaan lebih banyak bahan pengisi meningkatkan fleksibilitas dan plastisitas campuran.

f. Hasil bagi Marshall (Marshall Quotient, MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah indeks yang mengukur fleksibilitas suatu campuran, direpresentasikan sebagai rasio stabilitas terhadap aliran dalam kg/mm. Nilai ini menunjukkan kemampuan perkerasan dalam menahan deformasi. *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Nilai *marshall quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *marshall quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai *Marshall Quotient* dipengaruhi oleh stabilitas dan flow. Jika nilai MQ yang terlalu rendah

menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk bila menahan beban lalu lintas. Gambar 4.8 menampilkan hasil uji MQ.



Gambar 4.8 Grafik Hasil Nilai MQ Terhadap penggantian *Filler*.
(Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium Tahun 2023)

Seperti terlihat pada Gambar 4.8, Nilai MQ untuk setiap komposisi filler memenuhi spesifikasi minimal 250 kg/mm. Nilai MQ tertinggi adalah 507,73 kg/mm pada komposisi 0:100. Komposisi 50:50 memiliki MQ sebesar 469,74 kg/mm, dan komposisi 100:0 memiliki MQ terendah sebesar 464,14 kg/mm. Nilai MQ dipengaruhi oleh stabilitas dan aliran campuran benda uji

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian variasi *filler* pada campuran aspal AC-BC yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Universitas Muhammadiyah Parepare, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil Penelitian pada campuran aspal AC-BC dengan variasi komposisi *filler* 100:0 (semen), 50:50 (semen dan limbah bata merah) dan 0:100 (limbah bata merah) dengan kadar aspal rencana 5,0%, 6,0% dan 7,0%, didapatkan kadar aspal optimum sebesar 6,0% pada setiap komposisi variasi *filler*,
2. Hasil pengujian karakteristik *marshall* dengan variasi komposisi *filler* 100:0 (semen), 50:50 (semen dan limbah bata merah) dan 0:100 (limbah bata merah) pada nilai meliputi nilai stabilitas, VMA, VIM, flow, dan *marshall quotient* mengalami kenaikan pada saat penambahan variasi komposisi *filler* limbah bata merah, sedangkan nilai VFA mengalami penurunan setiap pada penambahan variasi komposisi *filler* limbah bata merah, namun variasi komposisi *filler* limbah bata merah di campuran aspal beton AC-BC pada karakteristik *marshall* memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan penggunaan limbah bata merah layak digunakan sebagai pengganti *filler* semen dalam campuran aspal beton AC-BC.

B. Saran

Beberapa saran yang dapat disampaikan adalah sebagai berikut:

1. Hendaknya proses pencampuran maupun pemadatan benda uji dalam penelitian dilakukan menggunakan alat *Automatic Asphalt Compactor* untuk mempercepat proses pemadatan benda uji dan mengurangi kesalahan yang terjadi selama penelitian.
2. Pada penelitian selanjutnya disarankan menggunakan campuran aspal AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*).

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. Z., Kartikasari, D. (2018). Substitusi Filler Pada Campuran Aspal Dengan Fly Ash Dan Serbuk Batu Bata. *Jurnal CIVILLA*. 3(1): 2503-2399.
- Abdurrohman, M, (2021). *Komparasi Karakteristik Marshall Hot Rolled - Wearing Course dengan Penambahan Filler Serbuk Bata Merah dan Batu Apung*. Skripsi tidak dipublikasikan. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Aminuddin, M., dkk. (2018). Job Mix Laston (Ac-Bc) Menggunakan Bubuk Gypsum Dan Abu Bata Merah. *Jurmateks*. 1(2): 2621-7686.
- Aziz, M. S. (2017). *Studi Penelitian Pemanfaatan Limbah Bata Merah Sebagai Filler pada Beton Aspal AC-WC*. Skripsi tidak dipublikasikan. Malang: Institut Teknologi Malang.
- Hasbi, H. (2022). *Pengaruh penambahan limbah batu bata sebagai filler terhadap nilai stabilitas Laston Marshall (AC-WC)*. Skripsi tidak dipublikasikan. Mataram: Universitas Mataram.
- Husni, W. D. (2020). *Pengaruh kadar filler abu batu terhadap karakteristik marshall pada campuran aspal beton AC-WC*. Skripsi tidak dipublikasikan. Mataram: Universitas Mataram.
- Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*: Direktorat Jendral Bina Marga.
- Mawardi, L. (2020). *Pengaruh Variasi Suhu Campuran terhadap Berat Jenis Aspal*. Skripsi tidak dipublikasikan. Mataram: Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Nurjana, M. (2020). *Optimasi Kadar Aspal Pertamina terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton (AC-BC) menggunakan Variasi Agregat Batuan Lokal Gunung (Balapuang)*. Tegal: Universitas Pancasakti Tegal.
- Sakur, Y. D., Farida, I. (2019). Analisis Penggunaan Serbuk Bata Merah Sebagai Filler Pada Campuran Laston Lapis Aus (ACWC). *Jurnal Konstruksi*. 17(1): 2302-7312
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.

- Universitas Muhammadiyah Parepare. (2020). *Modul Praktikum Perkerasan Jalan dan Aspal*: Program Studi Teknik Sipil.
- Utama, I. G. B. (2017). *Pengaruh Penggunaan Serbuk Batu Bata Sebagai Filler Pada Campuran Laston (AC-WC)*. Skripsi tidak dipublikasikan. Mataram: Universitas Muhammadiyah Mataram.
- Wahyudi, D. (2021). *Perbandingan Kuat Tekan Batu Bata Antara Penambahan Serbuk Gergaji Dan Abu Pada Tanah Liat*. Skripsi tidak dipublikasikan. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Wibowo, A. dkk. (2022). Pemanfaatan Serbuk Bata Merah Untuk Campuran Aspal Beton Ac-Wc Terhadap Karakteristik Marshall. *De 'Teksi Jurnal Teknik Sipil Unigoro*. 7(1): 2502-315
- Universitas Muhammadiyah Parepare. (2020). *Modul Praktikum Jalan Dan Aspal*, Parepare: UMPAR Press.