

**PENGGUNAAN LIMBAH BATA MERAH SEBAGAI SUBSTITUSI
FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-BC (Asphalt Concrete -
Binder Course)**

SKRIPSI

Karya tulis sebagai salah satu syarat
Untuk memperoleh gelar Sarjana dari
Universitas Fajar

Oleh

GERRY KURNIAWAN SUMAMPOUW
1920121029



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS FAJAR
2023**

LEMBAR PENGESAHAN

PENGUNAAN LIMBAH BATA MERAH SEBAGAI FILLER PADA
CAMPURAN ASPAL AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course)

Gerry Kurniawan Sumampouw
(1920121029)

Menyetujui
Tim Pembimbing
Makassar, Tanggal 11 November 2023

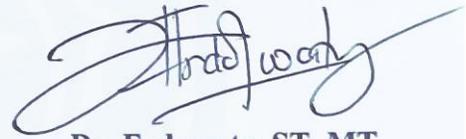
Pembimbing I



Ir. Zulharnah, MT

NIDN.0031036407

Pembimbing II



Dr. Erdawaty, ST, MT

NIDN.0921047802

Mengetahui,

Universitas Makassar
Universitas Fajar



Prof. Dr. Ir. Erniati, ST., MT

NIDN.0906107701

Ketua Program Studi
Teknik Sipil Universitas Fajar



Fatmawaty Rachim, ST., MT

NIDN.0919117903

PERNYATAAN ORISINALITAS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul **“Penggunaan Limbah Bata Merah Sebagai Filler Pada Campuran Aspal AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course)”** adalah karya orisinal saya dan setiap serta seluruh sumber acuan telah ditulis sesuai dengan panduan penulisan ilmiah yang berlaku di Fakultas Teknik Universitas Fajar.

Makassar, 11 November 2023

Yang menyatakan,



Gerry Kurniawan Sumampouw

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami haturkan kepada Allah SWT atas kehadirat-Nya telah melimpahkan rahmad dan hidayah-Nya. Sehingga penulis bisa menyelesaikan penyusunan tugas akhir yang berjudul “PENGUNAAN LIMBAH BATA MERAH SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course)” yang menjadi salah satu persyaratan menyelesaikan studi teknik sipil universitas fajar .

Ucapan terima kasih yang sebanyak-banyaknya saya sampaikan kepada semua pihak yang memberikan bimbingan beserta bantuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Olehnya pada kesempatan ini saya menyampaikan secara khusus terima kasih kepada :

1. Kepada kedua orang tua saya dengan ikhlas mendoakan, memberikan petunjuk, nasehat baik berupa materil atau non materil yang tidak bisa dinilai,
2. Rektor Universitas Fajar, Bapak Mulyadi Hamid, SE.,M.Si.
3. Dekan Fakultas Teknik Universitas Fajar, Ibu Prof. Dr. Ir. Erniati, ST.,MT.
4. Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Fajar, Ibu Fatmawaty Rachim, S.T.,MT.
5. Ibu Ir. Zulharnah, MT. Selaku pembimbing I dan ibu Dr. Erdawaty, ST.,MT. Selaku pembimbing II. Terima kasih atas segala bantuan dan bimbingannya atas saran dan motivasi yang diberikan sampai terselesaikannya Tugas Akhir ini.
6. Teman-teman Teknik Sipil 2019

Dengan hal ini kritik dan saran yang tentunya sangat dibutuhkan unruk membantu membangun dan menyempurnakan Tugas Akhir ini demi bertambahnya ilmu bagi penyusun Tugas Akhir ini tentunya.

Demikianlah sepatah kata dari penulis, wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatu.

Makassar 13 Juli 2023
Penyusun

Gerry Kurniawan Sumampouw
1920121029

ABSTRAK

Penggunaan limbah bata merah sebagai substitusi filler pada campuran aspal AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course). Gerry Kurniawan Sumampouw. lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus *wearing course* dan diatas lapisan pondasi *base course*). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Tujuan dari penelitian ini Untuk mengetahui nilai karakteristik *marshall* pada campuran aspal menggunakan limbah bata merah sebagai pengganti filler pada campuran aspal dan Untuk mengetahui nilai *cantabro* pada campuran aspal menggunakan limbah bata merah sebagai pengganti filler pada campuran aspal. Penelitian ini dilakukan dengan metode eksperimen yang dilakukan dengan melakukan kegiatan percobaan untuk mendapatkan data,. Penelitian ini menggunakan bata merah yang lolos saringan 200 sebagai *filler* campuran aspal. Penelitian ini juga menggunakan pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas, flow (kelelehan) density (kerapatan), VIM, VMA, VFA dan Marshall quotient. Dengan variasi campuran 2%; 4% dan 5%. Untuk variasi 0%, 2%, 4% telah memenuhi standar spesifikasi dan dapat dikatakan bahwa semakin tinggi variasi abu bata merah sebagai substitusi filler maka semakin melemah pula stabilitas yang didapat. bahwa pengujian cantabro pada substitusi abu bata merah sebagai filler memenuhi standar spesifikasi bina marga, karena rata-rata yang diperoleh tidak melewati 20% yang disyaratkan.

Kata kunci : Limbah bata merah, lapisan aspal AC-BC, marshall

ABSTRACT

The use of red brick waste as a filler substitute in the AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course) asphalt mixture. Gerry Kurniawan Sumampouw. This layer is a pavement layer located below the wearing course wear layer and above the base course foundation layer.). The most important characteristic of this mixture is stability. The aim of this research is to determine the value of marshall characteristics in asphalt mixtures using red brick waste as a substitute for filler in asphalt mixtures and to determine the value of cantabro in asphalt mixtures using red brick waste as a substitute for filler in asphalt mixtures. This research was carried out using an experimental method which was carried out by carrying out experimental activities to obtain data. This research uses red brick that passes a 200 sieve as a filler for the asphalt mixture. This research also uses the Marshall test to obtain stability, flow (melt) density values, VIM, VMA, VFA and Marshall quotient. With a mix variation of 2%; 4% and 5%. For variations of 0%, 2%, 4%, they have met the standard specifications and it can be said that the higher the variation of red brick ash as a filler substitute, the weaker the stability obtained. that the cantabro test on the substitution of red brick ash as a filler meets the development specification standards, because the average obtained does not exceed the required 20%.

Key words: Red brick waste, AC-BC asphalt layer, marshall

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN ORISINALITAS	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	vii
DATAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
II.1 Perkerasan Jalan.....	5
II.1.1 Lapis Aspal Beton (LASTON)	8
II.2 Aspal (<i>Bitumen</i>).....	10
II.2.1 Campuran Aspal Panas	11
II.3 Parameter Marshall Test	19
II.4 Pengujian Cantabro	24
BAB III	25
METODOLOGI PENELITIAN	25
III.1 Gambaran Umum Penelitian	25
III.2 Metode Penelitian.....	25
III.2.1 Metode Pengumpulan Data	25
III.2.2 Metode Perencanaan Campuran	25
III.2.3 Metode Marshall test.....	26

III.3 Persiapan Alat dan Bahan.....	26
III.3.1 Persiapan bahan	26
III.3.2 Persiapan alat.....	26
III.4 Pengujian Bahan.....	27
III.4.1 Pengujian Aspal	28
III.4.2 Pengujian Agregat	28
III.4.3 Perencanaan Campuran (Job Mix Formula)	28
III.5 Perencanaan penelitian.....	30
III.6 Pengujian Marshall dan Cantabro	31
III.7 Analisa Data	32
III.8 Bagan Alur Penelitian	34
BAB IV	35
HASIL DAN PEMBAHASAN	35
IV.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material	35
IV.1.1 Hasil pengujian sifat fisik agregat	35
IV.2 Pengujian Kadar Aspal Optimum	36
IV.3 Gradiasi Gabungan.....	45
IV.4 Pengujian Marshall	47
IV.5 Pengujian Cantabro.....	52
BAB V	55
PENUTUP	55
V.1 Kesimpulan	55
V.2 Saran	55
DAFTAR PUSTAKA	56
L A M P I R A N.....	57

DAFTAR TABEL

Tabel II. 1 Perbedaan Perkerasan Lentur dan Kaku.....	7
Tabel II. 2 sifat-sifat campuran ketentuan.....	9
Tabel II. 3 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal Laston	10
Tabel II. 4 Persyaratan Aspal keras Pen 60/70	13
Tabel II. 5 Batas Gradasi Agregat Halus	16
Tabel II. 6 Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar	17
Tabel II. 7 Spesifikasi Gradasi Campuran Beto Aspal AC- BC	18
Tabel III. 1 Jenis Pengujian.....	29
Tabel III. 2 Jumlah Sampel Pengujian	31
Tabel IV. 1 Sifat Fisik Agregat Kasar.....	35
Tabel IV. 2 Sifat Fisik Agregat Halus.....	36
Tabel IV. 3 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum.....	37
Tabel IV. 4 Hasil pengujian kadar aspal optimum.....	43
Tabel IV. 5 Gradasi Gabungan Agregat.....	45
Tabel IV. 6 Mix Gabungan Agregat	46
Tabel IV. 7 Hasil perhitungan persentase substitusi pada limbah bata merah sebagai filler	47
Tabel IV. 8 Pengujian Marshall Menggunakan Filler Bata Merah.....	47
Tabel IV. 9 Hasil pengujian cantabro	53

DAFTAR GAMBAR

Gambar II. 1 Struktur perkerasan jalan lentur.....	6
Gambar III. 1 Bagan Alur Penelitian	34
Gambar IV. 1 Grafik VIM penentuan kadar aspal optimum	38
Gambar IV. 2 Grafik VFB penentuan kadar aspal optimum	39
Gambar IV. 3 Grafik VMA penentuan kadar aspal optimum	40
Gambar IV. 4 Grafik stabilitas penentuan kadar aspal optimum	41
Gambar IV. 5 Grafik FLOW penentuan kadar aspal optimum	42
Gambar IV. 6 Grafik MQ penentuan kadar aspal optimum.....	43
Gambar IV. 7 Hasil VIM Terhadap Variasi Filler Abu Bata Merah	48
Gambar IV. 8 Variasi Bata Merah Terhadap Nilai VFB	49
Gambar IV. 9 Variasi Bata Merah Terhadap Nilai VMA	49
Gambar IV. 10 Variasi bata merah terhadap nilai stabilitas	50
Gambar IV. 11 Variasi bata merah terhadap nilai flow	51
Gambar IV. 12 Variasi abu bata merah terhadap nilai MQ	52
Gambar IV. 13 Variasi abu bata merah terhadap pengujian cantabro	54

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Kasar	58
Lampiran 2. Pemeriksaan Berat Jenis Dan penyerapan Air Agregat Pasir	59
Lampiran 3. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Halus	60
Lampiran 4. Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar	61
Lampiran 5. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar	62
Lampiran 6. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus	63
Lampiran 7. Analisa Nilai Variasi Abu Bata Merah.....	64
Lampiran 8. Analisa Data Pengujian Marshall	65
Lampiran 9. Analisa Data Pengujian Cantabro.....	66
Lampiran 10. Dokumentasi.....	67

BAB I

PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Aspal sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya pun di Indonesia dari tahun ke tahun makin meningkat. Hal ini disebabkan aspal mempunyai beberapa kelebihan dibanding dengan bahan-bahan lain, diantaranya harganya yang relative lebih murah dibanding beton, kemampuannya dalam mendukung beban berat kendaraan yang tinggi dan dapat dibuat dari bahan-bahan lokal yang tersedia dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca.

Aspal atau asphaltic adalah campuran dari agregat bergradasi menerus dengan bahan bitumen. Kekuatan utama aspal ada pada keadaan butir agregat yang saling mengunci dan sedikit pada pasir/filler/bitumen sebagai mortar.

Secara umum bahan perkerasan campuran AC-BC terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal. Seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk maka semakin meningkatnya pembangunan jalan, sehingga semakin meningkat pula kebutuhan dasar untuk perkerasan. Salah satu yang bisa dimanfaatkan adalah abu bata merah.

Bata merah yang dimaksud adalah bata yang dibuat dari tanah yang dicetak kemudian dibakar dengan suhu tinggi sehingga menjadi benar-benar kering, mengeras, dan berwarna kemerah-merahan. Tanah yang digunakan pun bukanlah sembarang tanah, tetapi tanah yang agak liat sehingga bisa menyatu saat proses pencetakan.

Jalan raya terdiri dari beberapa lapisan, salah satunya adalah laston lapis aus. Laston lapis aus (AC-WC) merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan, mempunyai tekstur yang lebih halus dibandingkan dengan laston lapis pondasi (*Asphalt Concrete- Binder Course*). Lapisan ini merupakan lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus *wearing course*

dan diatas lapisan pondasi *base course*. Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan, regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan dibawahnya yaitu base dan sub grade (tanah dasar). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Untuk memenuhi karakteristik tersebut maka diperlukan campuran yang tepat dan juga bahan pendukung/ pengisi (*filler*).

Persyaratan *filler* menurut kementerian pekerjaan umum direktorat jendral bina marga tahun 2018 revisi 1 harus dalam kondisi kering, bebas dari gumpalan-gumpalan dan lolos ayakan 200. Berdasarkan ketentuan tersebut, dalam aplikasi dilapangan *filler* sering menggunakan seman karena mengandung kapur tohor 60-65%, silica 20-24% dan alumina sekitar 2-8%. Kandungan bahan tersebut mempengaruhi stabilitas dan viskositas campuran aspal. Namun hal tersebut tidak menutup kemungkinan adanya penggunaan *filler* lain selama masih memenuhi ketentuan yang disyaratkan.

Pada penelitian ini kadar bahan pengisi di batasi antara 2% hingga 8% dari berat total campuran aspal beton dan bahan pengisi (*filler*) yang digunakan adalah *abu bata merah*. Menurut Mohammad Zainuddin (2018), fly ash dan serbuk batu bata bisa digunakan sebagai filler dalam campuran aspal dengan test marshall 50% batu bata dengan 50% fly ash mendapatkan hasil yang bagus baik nilai stabilitas, flow maupun hasil bagi marshall questient.

Dalam jurnal Yusep Daiman dan Ida Farida menuliskan bahwa penggunaan filler serbuk bata merah sebanyak 5% sebagai bahan pengisi dalam campuran laston lapis aus (AC-WC) dapat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh bina marga tahun 2018 (revisi 3) yaitu di dapatkan kadar aspal optimum sebesar 5,4%.

Penelitian ini merupakan eksperimen dan akan dilihat pengaruhnya terhadap nilai marshall dari penggantian *filler* menggunakan abu bata merah. Dan untuk mengetahui pengaruh dan nilai stabilitas aspal tersebut, maka penulis melakukan penelitian yang berjudul “ **PENGGUNAAN LIMBAH BATA MERAH SEBAGAI SUBSTITUSI FILLER PADA CAMPURAN ASPAL AC-BC (ASPHALT CONCRETE- BINDER COURSE).**”

I.2 Rumusan Masalah

Rumusan yang akan dibahas yaitu :

1. Berapakah nilai karakteristik *marshall* pada campuran aspal menggunakan limbah bata merah sebagai pengganti filler pada campuran aspal?
2. Berapakah nilai *cantabro* pada campuran aspal menggunakan limbah bata merah sebagai pengganti filler pada campuran aspal?

I.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang akan dilakukan sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui nilai karakteristik *marshall* pada campuran aspal menggunakan limbah bata merah sebagai pengganti filler pada campuran aspal.
2. Untuk mengetahui nilai *cantabro* pada campuran aspal menggunakan limbah bata merah sebagai pengganti filler pada campuran aspal.

I.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan-batasan masalah dari penelitian itu :

1. Penelitian ini dilakukan dengan skala laboratorium, tidak dilakukan dengan skala lapangan
2. Metode pengujian harus memerhatikan acuan spesifikasi Kementerian Umum Direktorat Jendral Bina Marga
3. Filler yang digunakan adalah Bata merah lolos saringan 200 atau tertahan PAN
4. Filler Bata merah dengan variasi campuran 2%; 4% dan 5%
5. Menggunakan kadar aspal minyak 6,75% dengan penetrasi 60/70 sesuai dengan hasil pengujian KAO

I.5 Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini diharapkan mampu memberikan wawasan yang lebih luas tentang penggunaan variasi *filler* bata merah sebagai bahan pengganti filler semen/ abu batu pada campuran aspal AC-BC yang ditinjau terhadap nilai

marshall. Penelitian ini juga diharapkan dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi, khususnya konstruksi jalan raya. Apabila penelitian ini mendapatkan hasil yang positif, semoga dapat digunakan pada konstruksi jalan raya di Indonesia.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama itu diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003). Pembangunan jalan adalah proses pembukaan ruang lalu lintas yang mengatasi berbagai rintangan geografi. Proses ini melibatkan pengalihan muka bumi, pembangunan jembatan dan terowongan, bahkan juga pengalihan tumbuh-tumbuhan (ini mungkin melibatkan penebasan hutan). Berbagai jenis mesin pembangunan jalan akan digunakan untuk proses ini, dalam proses pembuatan jalan itu disebut dengan perkerasan jalan.

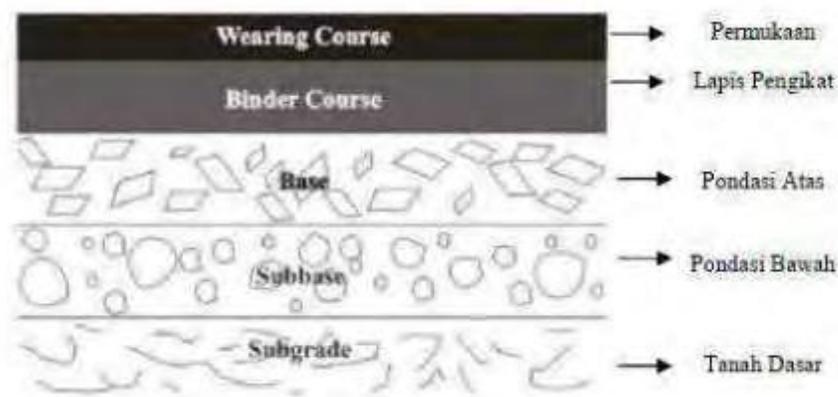
Menurut suprpto (2000), tanah saja biasanya tidak cukup kuat dan tahan, tanpa adanya deformasi yang berarti terhadap beban roda berulang. Untuk itu perlu lapis tambahan yang terletak antara tanah dan roda, atau lapis paling atas dari badan jalan. Lapisan tambahan ini dapat dibuat dari bahan khusus yang terpilih (yang lebih baik), yang selanjutnya di sebut *lapis keras/ perkerasan/ pavement*.

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang biasanya dipakai dalam perkerasan jalan adalah batu pecah, batu belah, batu kali dan hasil samping peleburan baja. Sedangkan bahan ikat yang dipakai antara lain semen, aspal dan tanah liat.

Sukirman (2010) mengungkapkan konstruksi perkerasan jalan dilihat dari bahan pengikatnya dibedakan atas:

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Konstruksi perkerasan lentur sendiri terdiri dari 5 lapisan yaitu lapisan permukaan, lapis pengikat lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah dan lapisan tanah dasar. Setiap lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Bagian-bagian dari lapisan perkerasan jalan dapat dilihat pada gambar II.1.



Gambar II. 1 Struktur perkerasan jalan lentur

Untuk konstruksi perkerasan lentur sendiri terdiri atas :

- 1) Lapis permukaan (*wearing course*), berfungsi sebagai :
 - a. Lapisan yang memberikan suatu permukaan yang rata dan tidak licin,
 - b. Lapisan yang mendukung dan menyebarkan beban vertical atau horizontal atau gaya geser dari kendaraan,
 - c. Lapisan kedap air untuk melindungi badan jalan,
 - d. Sebagai lapis aus
- 2) Lapis pondasi atas (*base course*), berfungsi sebagai :
 - a. Lapis pendukung lapis permukaan,
 - b. Pemikul beban vertical dan horizontal,
 - c. Lapisan peresapan bagi lapis pondasi bawah.
- 3) Lapis pondasi bawah (*sub base course*), berfungsi sebagai :
 - a. Lapisan yang menyebarkan beban roda,

- b. Lapisan peresapan,
 - c. Lapisan pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi,
 - d. Lapisan pertama pada pembuatan struktur perkerasan.
- 4) Tanah dasar (*sub grade*), tanah dasar merupakan tanah asli, permukaan tanah galian yang dipadatkan dan merupakan permukaan dasar untuk peletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

2. Konstruksi perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah, selanjutnya beban lalu lintas akan dipikul oleh pelat beton tersebut.

3. Konstruksi perkerasan komposit (*composite pavement*)

Perkerasan komposit yaitu perkerasan yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau sebaliknya perkerasan kaku di atas perkerasan lentur. Dapat dilihat pada table II.1, perbedaan perkerasan lentur dan kaku :

Tabel II. 1Perbedaan Perkerasan Lentur dan Kaku

No	Perbedaan	Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1	Bahan pengikat	aspal	Semen
2	Repetisi beban	Timbul Rutting (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
3	Penggunaan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok diatas perletakan

4	Perubahan temperatur	Modulus kekakuan berubah. Timbul tegangan dalam yang kecil	Modulus kekakuan tidak berubah. Timbul tegangan dalam yang besar
---	----------------------	--	--

Sumber: Sukirman, S., (1992), *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.

II.1.1 Lapis Aspal Beton (LASTON)

Lapis aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Material agregatnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, dan filler yang bergradasi baik yang dicampur dengan penetration grade aspal. Kekuatan yang didapat terutama berasal dari sifat mengunci (*interlocking*) agregat dan juga sedikit dari mortar pasir, filler, dan aspal. Pembuatan LASTON dimaksudkan untuk memberikan daya dukung dan memiliki sifat tahan terhadap keausan akibat lalu lintas, kedap air, mempunyai nilai struktural, mempunyai nilai stabilitas yang tinggi dan peka terhadap penyimpangan perencanaan dan pelaksanaan. Berdasarkan fungsinya aspal beton dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

1. Sebagai lapis permukaan (lapis aus) yang tahan terhadap cuaca, gaya geser dan tekanan roda serta memberikan lapis kedap air yang dapat melindungi lapis di bawahnya dari rembesan air dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).
2. Sebagai lapis pengikat dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Binder* (AC-BC). Jenis beton aspal yang ada di Indonesia saat ini adalah Laston atau dikenal dengan nama AC (*Asphalt Concrete*), yaitu beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat. Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas (Wani, 2013).

Pebuatan Laston/AC (*Asphalt Concrete*) dimaksudkan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapis antara pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air yang dapat melindungi konstruksi dibawahnya. Sebagai lapis permukaan, lapis aspal beton harus dapat memberikan kenyamanan dan keamanan yang tinggi (Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya, SKBI-2.4.26.1987).

3. Sebagai lapis pondasi, jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan meliharaan jalan, dikenal dengan nama *Asphalt Concrete-Base* (AC Base).

sifat-sifat campuran Ketentuan beraspal dikeluarkan oleh Dinas Permukiman dan Prasarana Wilayah bersama-sama dengan Bina Marga dapat dilihat pada Tabel II.2 berikut ini.

Tabel II. 2 sifat-sifat campuran ketentuan

Sifat-sifat campuran		LASTON					
		AC-WC		AC-BC		AC-BASE	
		Halus	Kasar	Halus	Kasar	Halus	Kasar
Kadar aspal efektif (%)	Min.	5,1	4,3	4,3	4,0	4,0	3,5
Penyerapan aspal (%)	Maks.	1,2					
Jumlah tumbukan per bidang		75				112	
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,5					
	Maks.	5,0					
Rongga dalam agregat (%)	Min.	15		14		13	
Rongga terisi aspal (%)	Maks.	65		63		60	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800	
Pelelehan (mm)	Min.	3,0				4,5	
Marshall Quotient (kg/mm)	Min.	250				300	

Stabilitas Marshall sisa setelah perendaman 24 jam, 60 C (%)	Min.	90
Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (%)	Min.	2,5

Berdasarkan spesifikasi kementerian pekerja umum direktorat jendral bina marga, 2010 Revisi I, setiap jenis lapisan memiliki ketebalan tersendiri yang ditunjukkan pada tabel II.3.

Tabel II. 3 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal Laston

Jenis campuran		Simbol	Tebal Nominal Maksimum (cm)
Lapis Aspal Beton	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Pondasi	AC-BASE	7,5

Sumber : Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga

II.2 Aspal (*Bitumen*)

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Bitumen adalah zat perekat (*cementitious*) berwarna hitam atau gelap, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi. Bitumen terutama mengandung senyawa hidrokarbon seperti aspal, tar, atau pitch. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Tar adalah material berwarna coklat atau hitam, berbentuk cair atau semipadat, dengan unsur utama bitumen sebagai hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batu bara, minyak bumi, atau mineral organik lainnya. Pitch didefinisikan sebagai material perekat (*cementitious*) padat, berwarna hitam atau coklat tua, yang berbentuk cair jika dipanaskan. Pitch diperoleh sebagai residu dari destilasi

fraksional tar. Pitch dan tar tidak diperoleh dari di alam, tetapi merupakan produk kimiawi. Dari ketiga material pengikat di atas, aspal merupakan material yang umum digunakan untuk bahan pengikat agregat, oleh karena itu seringkali bitumen disebut juga sebagai aspal.

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran.

II.2.1 Campuran Aspal Panas

Campuran aspal panas adalah suatu kombinasi pencampuran antar agregat bergradasi rapat yang berisi agregat kasar, halus, dan filler sebagai komposisi utama kemudian ditambahkan aspal sebagai bahan pengikat. Bahan-bahan tersebut kemudian dicampur serta dipadatkan dalam kondisi panas pada suhu tertentu sehingga membentuk suatu campuran yang bisa digunakan sebagai bahan lapis perkerasan pada jalan.

Jenis perkerasan dengan menggunakan campuran aspal panas adalah jenis perkerasan lentur. Dalam pembuatan campuran aspal panas, terlebih dahulu agregat dan aspal yang digunakan dipanaskan. Fungsi dari pemanasan ini adalah agar memudahkan dalam pelaksanaan pencampuran. Sebagaimana kitaketahui,, aspal dalam kondisi dingin memiliki sifat fisik yang relatif kaku, sehingga untuk mencairkan perlu dipanaskan terlebih dahulu pada suhu tertentu barulah dicampurkan dengan agregat. Kemampuan campuran beraspal dalam memperoleh daya dukung ditentukan dari friksi dan kohesi bahan-bahan yang digunakan dalam campuran beraspal tersebut.

Fraksi agregat diperoleh dari gaya gesek antara butiran dan gradasi kekuatan agregat itu sendiri. Jika suatu agregat memiliki sifat fisik yang kuat dan gradasi antar butir agregat semakin rapat, maka dengan sendirinya akan memiliki friksi yang baik.

Sedangkan untuk kohesi sendiri diperoleh dari sifat-sifat aspal yang digunakan. Oleh sebab itu kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh agregat dan aspal yang digunakan (Bina Marga, 2002). Bahan penyusun konstruksi perkerasan jalan terdiri dari agregat (agregat kasar dan agregat halus) filler, dan aspal. Berikut adalah bahan penyusun konstruksi perkerasan jalan yang digunakan, yaitu:

1. Aspal

Aspal adalah suatu unsur dari minyak bumi paling kasar yang bukan hasil proses utama dalam distilasi minyak bumi. Tetapi merupakan residu dari minyak mentah. Residu minyak bumi ini memiliki komponen yang bervariasi mulai dari 1 persen hingga 58 persen berat. (Colbert , 1984). Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya. Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen. Oleh sebab itu, aspal sering disebut material berbituminous. (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Buku 1: Petunjuk umum). Fungsi aspal adalah sebagai bahan pengikat aspal dan agregat atau antara aspal itu sendiri, juga sebagai pengisi rongga pada agregat. Daya tahannya (*durability*) berupa kemampuan aspal mempertahankan sifat aspal akibat pengaruh cuaca dan tergantung pada sifat campuran aspal dan agregat. Aspal adalah material termoplastik yang bersifat lunak / cair apabila temperaturnya bertambah. Adapun jenis aspal yang merupakan buatan hasil sulingan minyak bumi:

a. Aspal keras (*Asphalt Cemen*)

Aspal keras merupakan aspal hasil destilasi yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan akan mengeras pada saat penyimpanan (suhu kamar). Aspal keras/panas (*asphalt cement*, AC) adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas untuk pembuatan Asphalt concrete. Di Indonesia, aspal yang biasa digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 atau penetrasi 80/100. Adapun jenis penetrasinya adalah sebagai berikut:

- 1) Aspal penetrasi rendah 40/55, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan daerah dengan cuaca iklim panas.
- 2) Aspal penetrasi rendah 60/70, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas sedang atau tinggi, dan daerah dengan cuaca iklim panas.
- 3) Aspal penetrasi rendah 80/100, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas sedang/rendah dan daerah dengan cuaca iklim dingin.
- 4) Aspal penetrasi rendah 100/110, digunakan untuk kasus jalan dengan volume lalu lintas rendah dan daerah dengan cuaca iklim dingin.

Umumnya aspal keras yang digunakan untuk Campuran Aspal Panas di Indonesia untuk Aspal Beton adalah aspal jenis pen 60/70. Aspal jenis pen 60/70 yang baik harus memenuhi syarat yang telah ditetapkan Dirjen Bina Marga terdapat pada Aspal keras yang dipakai harus tidak mengandung air dan bila dipanaskan sampai dengan 175°C tidak mengeluarkan busa. Dapat dilihat pada tabel II.4 persyaratan dari aspal keras pen 60/70:

Tabel II. 4 Persyaratan Aspal keras Pen 60/70

Pemeriksaan	Cara Pemeriksaan	Pen 60/70		Satuan
		Min.	Maks.	
Penetrasi 25°C, 5 detik	SNI 06-2456-1991	60	79	0,1 cm
Titik lembek (<i>ring balk</i>)	SNI 06-2434-1991	48	58	°C
Titik nyala (<i>clew, oven cup</i>)	SNI 06-2433-1991	200	-	°C
Kehilangan berat 163°C, 5 cm jam	SNI 06-2440-1991	-	0,8	% berat
Dakulitas 25°C, 5 cm menit	SNI 06-2432-1991	100	-	Cm
Kelarutan (C;HC1;)	PA 0305-76	99	-	% berat
Penetrasi setelah kehilangan berat	SNI 06-2456-1991	54	-	% Semula
Dakulitas setelah kehilangan berat	SNI 06-2432-1991	50	-	Cm
Berat jenis 25°C	SNI 06-2441-1991	1	-	

Sumber : Manual Pemeriksaan Bahan Jalan, Dirjen Bina Marga

b. Aspal cair (*Cut Back Asphalt*)

Aspal cair adalah campuran antara aspal keras dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Maka cut back asphalt berbentuk cair dalam temperatur ruang. Aspal cair digunakan untuk keperluan lapis resap pengikat (*prime coat*).

c. Aspal emulsi

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi. Pada proses ini partikel-partikel aspal padat dipisahkan dan didispersikan dalam air.

2. Agregat

Agregat merupakan partikel utama dari lapisan perkerasan jalan dan merupakan partikel butiran mineral padat yang berbentuk kasar mauppun berbentuk fragmen-fragmen. Berdasarkan persentase berat, 90-95% dari lapis perkerasan jalan mengandung agregat. Jika ditinjau dari persentase volume, 75- 85% dari lapis perkerasan mengandung agregat. Oleh sebab itu, daya dukung serta mutu suatu lapis perkerasan jalan sebagian besar ditentukan berdasarkan sifat agregat itu sendiri dan juga hasil campuran dengan material lainnya. Agregat terdiri dari pasir, gravel, batu pecah, slag atau material lain dari bahan mineral alami atau buatan. Agregat merupakan bagian terbesar dari campuran aspal. Material agregat yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan tugas utamanya untuk menahan beban lalu lintas. Agregat dari bahan batuan pada umumnya masih diolah lagi dengan mesin pemecah batu (*stone crusher*) sehingga didapatkan ukuran sebagaimana dikehendaki dalam campuran. Agar dapat digunakan sebagai campuran aspal, agregat harus lolos dari berbagai uji yang telah ditetapkan.

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu:

- a. Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung, kekerasan dan ketahanan (*toughness and durability*) bentuk butir serta tekstur permukaan.
- b. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, yang dipengaruhi oleh porositas, kemungkinan basah dan jenis agregat yang digunakan.

- c. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, yang dipengaruhi oleh tahanan geser (*skid resistance*) serta campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminous mix workability*).

Secara umum agregat dapat dibedakan berdasarkan ukurannya, yaitu agregat kasar dan agregat halus. Batasan antara agregat halus dan agregat kasar yaitu 4.80 mm (*British Standard*) atau 4.76 mm (Standar ASTM). Agregat kasar adalah batuan yang ukuran butirnya lebih besar dari 4.80mm (4.75 mm) dan agregat halus adalah batuan yang ukuran butir nya lebih kecil dari 4.80 mm(4.75mm).

Menurut Bina Marga (2007), agregat dibedakan menjadi 2 yaitu:

1) Agregat Halus

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi secara alami dari batu atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir terbesar 5,00 mm. Persyaratan mutu berdasarkan ASTM C33- 86 dan berdasarkan SII 0052- 80 yang keduanya dicantumkan pada PBI 89 adalah sebagai berikut:

- a. Modulus halus butir 1,5 sampai 3,8
- b. Kadar lumpur atau bagian yang lebih kecil dari 70 mikron (0.074 mm) maksimum 5%.
- c. Kadar zat organik yang terkandung yang ditentukan dengan mencampur agregat halus dengan larutan natrium sulfat (NaSO_4) 3% jika dibandingkan dengan warna standar atau pembanding tidak lebih tua dari warna standar.
- d. Kekerasan butiran jika dibandingkan dengan kekerasan butir pasir pembanding yang berasal dari pasir kwarsa Bangka memberikan angka tidak lebih dari 2.20.
- e. kekekalan (jika diuji dengan natrium sulfat bagian yang hancur maksimum 10% dan dipakai magnesium sulfat, maksimum 15%).

Berikut ini adalah tabel yang berisi ketentuan agregat halus :

Tabel II. 5 Batas Gradiasi Agregat Halus

Lubang ayakan (mm)	Persen Berat Butir Yang Lewat Ayakan			
	Zona I	Zona II	Zona III	Zona IV
10	100	100	100	100
4,8	90-100	90-100	90-100	95-100
2,4	60-95	75-100	85-100	95-100
1,2	30-70	55-90	75-100	90-100
0,6	15-34	35-59	60-79	80-100
0,3	5-20	8-30	12-40	15-50
0,15	0-10	0-10	0-10	0-15

Keterangan :

Daerah gradiasi I = Pasir kasar

Daerah gradiasi II = Pasir agak kasar

Daerah gradiasi II I= Pasir halus

Daerah gradiasi IV = Pasir agak halus

2) Agregat Kasar

Menurut SNI 03-2834-2000, agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batu atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5-40 mm. Agregat dengan butiran-butiran tertinggal di atas ayakan dengan lubang 4,80mm. Agregat kasar dapat berupa batu kerikil (koral) yang sesuai dengan yang disyaratkan ataupun berupa batu pecah (split). Syarat- syarat agregat kasar berdasarkan Peraturan Beton Indonesia (PBI 71), adalah sebagai berikut:

- Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil (koral) sebagai hasil pembentukan alami dari batuan atau berupa batu pecah (split) yang diperoleh dari pecahan batu. Agregat kasar adalah agregat yang ukuran butiran lebih dari 5mm.

- Agregat kasar tidak boleh berpori dan terdiri atas batuan keras. Agregat kasar yang mengandung butir- butir pipih dapat dipakai asalkan jumlahnya tidak melebihi dari 20% dari berat total agregat.
- Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dari berat kering dan tidak boleh mengandung zat- zat yang merusak beton. Yang dimaksud dengan lumpur adalah bagian- bagian yang melewati ayakan No.200. apabila kadar lumpur lebih dari 1% maka agregat tersebut harus dicuci.
- Kekerasan dari butiran- butiran agregat kasar diperiksa dengan bejana penguji dan Rudeloff dengan beban penguji 20 ton,
- Besar butir agregat maksimum, tidak boleh lebih dari 1/5 jarak terkecil bidang- bidang samping cetakan, 1/3 tebal pelat atau 3/4 dari jarak bersih minimum dari tulangan- tulangan.

Penggunaan agregat kasar mempengaruhi kelecakan adukan beton. Jika agregat yang digunakan terlalu banyak, akan terjadi pemisahan karena pasta semen tidak cukup untuk butiran- butiran tersebut. Hal ini menyebabkan beton sulit dipadatkan mengakibatkan beton yang dihasilkan menjadi kropos. Oleh sebab itu diperlukan suatu pemakaian agregat yang optimal. Adapun spesifikasi gradasi agregat kasar yang sudah ditetapkan seperti terlihat pada tabel berikut ini:

Tabel II. 6 Gradasi Saringan Ideal Agregat Kasar

DIAMETER SARINGAN (MM)	PERSEN LOLOS (%)	GRADIASI IDEAL(%)
25,00	100	100
19,00	90-100	95
12,50	-	-
9,50	20-55	37,5
4,75	0-10	5
2,36	0-5	2,5

Sumber : ASTM C 33/ 03

Untuk mencapai kualifikasi gradasi agregat yang baik, maka harus mengikuti syarat spesifikasi yang sudah ditentukan. Dapat dilihat tabel berikut adalah spesifikasi gradasi campuran aspal AC-BC yang sudah ditetapkan dan menjadi acuan.

Tabel II. 7Spesifikasi Gradasi Campuran Beto Aspal AC- BC

Ayakan		Gradiasi Halus	Gradiasi Kasar
No. Saringan	Ukuran saringan (mm)	AC-BC	AC-BC
1 1/2 "	3,750	-	-
1"	25,000	100	100
3/4"	19,000	90-100	90-100
1/2 "	12,500	74-90	71-90
3/8 "	9,500	64-82	58-80
No. 4	4,750	47-64	37-56
No. 8	2,360	34,6-49	23-34,6
No. 16	1,180	28,3-38	15-22,3
No. 30	0,600	20,7-28	10-16,7
No. 50	0,300	13,7-20	7-13,7
No. 100	0,1500	4-13	5-11
No. 200	0,075	4-8	4-8

Sumber : Spesifikasi Umum Bidang Jalan, 2010

3. Filler

Filler merupakan material pengisi dalam lapisan aspal. Disamping itu, kadar dan jenis filler akan berpengaruh terhadap sifat elastisitas campuran dan sensifisitas campuran (Rahaditya, 2012). Menurut Hardiyatmo (2007), bahan pengisi *filler* yang merupakan material berbutir halus yang lolos saringan No. 200 (0,075mm), dapat terdiri dari debu batu, kapur padam, semen Portland, atau bahan non plastis lainnya. Bahan pengisi ini mempunyai fungsi:

- 1) Sebagai pengisi antara partikel- partikel agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek, serta penguncian antar butiran yang tinggi.

- 2) Jika ditambahkan kedalam aspal, bahan pengisi akan menjadi sespensi, sehingga terbentuk mastic yang bersama- sama dengan aspal mengikat partikel agregat. Dengan penambahan pengisi aspal menjadi lebih kental, dan campuran aspal akan bertambah kekuatannya.

Adapun ketentuan filler pada campuran aspal menurut Bina Marga 2010 revisi 1 adalah:

- 1) Bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur (*limestone dust*), kapur padam (*hydrated lime*), semen atau abu terbang yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan.
- 2) Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya.
- 3) Semuacampuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1% dan maksimum 2% dari berat total agregat. Terlalu tinggi kandungan bahan pengisi akan menyebabkan campuran menjadi getas dan mudah retak bila terkena beban lalu lintas, namun dilain pihak bila terlalu sedikit bahan pengisi akan menghasilkan campuran yang lembek pada cuaca panas.

II.3 Parameter Marshall Test

Pengujian dengan metode dan alat Marshall pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall, Mississippi State Highway Departement pada tahun 1948 dan selanjutnya dikembangkan oleh U.S Corps of Engineer. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (5000 lbf) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas dan flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Dengan pemeriksaan menggunakan alat Marshall diperoleh data-data stabilitas, kelelahan

plastis (flow), persen rongga dalam agregat, berat volume. Untuk memastikan suatu campuran aspal panas sudah memenuhi persyaratan-persyaratan yang sudah ditetapkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga atau Departemen Pekerjaan Umum, maka perlu dilakukan test dengan alat Marshall. Parameter-parameter yang diperoleh dari Marshall Test antara lain:

1) Berat Jenis Bulk Agregat Total

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda. Berat jenis Bulk agregat total (Gsb) dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$Gsb = \frac{P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{Gsb_1} + \frac{P_2}{Gsb_2} + \frac{P_3}{Gsb_3} + \dots + \frac{P_n}{Gsb_n}} \dots\dots\dots$$

Dimana :

Gsb = Berat jenis Bulk agregat total

P1,P2,...,Pn = Persentase berat masing-masing fraksi terhadap berat total agregat campuran

Gsb1, Gsb2,...,Gsbn = Berat jenis Bulk masing-masing fraksi agregat

2) Stabilitas (*stability*)

Stabilitas adalah kemampuan campuran beraspal dalam melawan defenisi deformasi plastis atau perubahan bentuk permanen akibat beban lalu lintas. Stabilitas ditentukan oleh tahanan gesek atau derajat penguncian yang dapat dikembangkan oleh semen aspal. Stabilitas akan maksimal, jika agregat mempunyai permukaan kasar/ tidak beraturan, dan volume aspal yang cukup, sehingga adhesi dengan permukaan agregat dapat disebarkan dengan merata.

3) Berat Jenis Efektif Agregat

Bila berat jenis maksimum campuran (Gmm) diukur dengan AASHTO T-209-90, maka berat jenis efektif agregat (Gse), kecuali rongga dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat ditentukan dengan rumus :

$$Gse = \frac{Pmm - Pa}{\frac{Pmm - Pa}{Gmm} + \frac{Pa}{Ga}} \dots\dots\dots$$

Dimana :

Gse = Berat jenis efektif agregat

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Pmm = Persen total campuran = 100

Pa = Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %

Ga = Berat jenis aspal

4) 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. Berat jenis maksimum campuran secara teoritis dapat dihitung dengan rumus :

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pa}{Ga}} \dots\dots\dots$$

Dimana :

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Pmm = Persen total campuran = 100

Pa = Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %

Ps = Kadar agregat terhadap berat aspal beton padat, %

Ga = Berat jenis aspal

Gse = Berat jenis efektif agregat

5) Rongga Udara dalam Campuran / Void In Mix (VIM)

Void In Mix atau disebut juga rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran, sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil (menimbulkan bleeding) atau terlalu besar (menimbulkan

oksidasi/penuaan aspal dengan masuknya udara dan sinar ultra violet) dan menurunkan sifat durabilitas aspal. Rongga udara dalam campuran (VIM) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VIM = 100 - 100 \times BJ \text{ Bulk} / Gmm$$

Dimana :

VIM = Rongga udara dalam campuran (%)

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

BJ Bulk = Berat jenis Bulk campuran

6) Rongga pada Campuran Agregat / Void Mineral Aggregate (VMA)

Rongga pada campuran agregat adalah rongga antar butiran agregat, terdiri dari rongga udara serta aspal efektif yang dinyatakan dalam persentase volume total campuran. Bila rongga udara serta kadar aspal telah diketahui, maka hanya tingkat absorpsi agregat yang belum terungkap. Dengan pertimbangan bahwa penilaian agregat sudah dilakukan pada tahap perencanaan, maka parameter VMA dapat dianggap tidak diperlukan lagi. Rongga diantara agregat (VMA) dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$VMA = 100 - \frac{(100) \times BJ \text{ Bulk}}{Gsb}$$

Dimana :

VMA = Rongga diantara agregat (%)

Pa = Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat, %

BJ Bulk = Berat jenis Bulk campuran

Gsb = Berat jenis Bulk agregat total

7) Rongga Terisi Aspal / Void Filled with Asphalt (VFA)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah volume pori aspal beton padat yang terisi oleh aspal, atau volume film/selimut aspal yang dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$VMA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA}$$

Dimana :

VFA = Rongga terisi aspal (%)

VMA = Rongga diantara agregat (%)

VIM = Rongga udara dalam campuran (%)

8) Stabilitas / Stability

Pengukuran stabilitas dengan Marshall Test diperlukan untuk mengetahui kekuatan tekan geser dari contoh/sampel yang ditahan dua sisi kepada penekan (porsi tahanan kohesi lebih dominan dari porsi tahanan penguncian butir) dengan nilai stabilitas yang cukup tinggi diharapkan perkerasan dapat menahan lalu lintas tanpa terjadi kehancuran geser.

9) Kelelehan / Flow

Parameter flow diperlukan untuk mengetahui deformasi vertikal campuran saat dibebani hingga hancur (pada stabilitas maksimum). Flow akan meningkat seiring dengan meningkatnya kadar aspal. Campuran berkadar aspal rendah lebih tahan terhadap deformasi jika ditempatkan di as jalan, sedangkan campuran berkadar aspal tinggi akan lebih kuat menahan deformasi jika ditempatkan dibagian tepi perkerasan (tanpa tahanan samping).

10) Hasil Bagi Marshall / Marshall Quotient (MQ)

Parameter Marshall Qoutient diperlukan untuk dapat mengetahui tingkat kekakuan (stiffness) campuran. Pada lapisan overlay = 5 cm, maka kekakuan yang tinggi dapat menahan deformasi dan mendistribusikan beban lalu lintas ke daerah yang lebih luas pada tanah dasar, sedangkan pada pelapisan tambahan tersebut tidak mudah retak. Batasan kekakuan lapis tipis lebih diperketat bila lendutan yang ada (kondisi jalan lama) cukup besar (= 2 mm).

II.4 Pengujian Cantabro

Cantabro adalah tes untuk menentukan kekuatan campuran aspal dengan analisis mesin Los Angeles. Mesin Los Angeles dimaksudkan untuk menentukan kehilangan berat spesimen setelah uji abrasi dilakukan pada specimen. Pada pengujian cantabro ini digunakan untuk mengetahui kekuatan ikatan dari bitumen dengan butiran-butiran pada campuran beraspal dengan mesin Los angeles tanpa menggunakan bola baja pada saat benda uji dimasukkan kedalam mesin tersebut. Dengan pengujian ini bermaksud untuk mensimulasi abrasi lalu lintas yang akan terjadi di lapangan serta penurunan yang terjadi pada nilai aspal. Pada saat pengujian putaran mesin Los Angeles minimal 300 putaran dengan kecepatan antara 30-33 rpm. Adapun rekomendasi batas kehilangan abrasi adalah 15%. Dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Nilai keausan} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

Dimana :

A = Berat benda uji awal (gram)

B = Berat benda uji setelah pengujian (gram).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1 Gambaran Umum Penelitian

Penelitian ini menggunakan bata merah yang lolos saringan 200 sebagai *filler* campuran aspal. Penelitian ini juga menggunakan pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai stabilitas, flow (kelelehan) density (kerapatan), VIM, VMA, VFA dan Marshall quotient.

Lokasi penelitian pada laboratorium teknik sipil universitas fajar Makassar jl. Prof. abdurahman basamalah (*ex racing centre*) no. 101, karampuang, panakukang kota Makassar, Sulawesi selatan 90231, Indonesia. Waktu penelitian 27 juli 2023 sampai dengan 30 agustus 2023.

III.2 Metode Penelitian

III.2.1 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui pemeriksaan terhadap sifat- sifat fisik agregat kasar, agregat halus, *filler* (bata merah) dan pengujian aspal. Pengujian ini meliputi pengujian gradasi saringan, berat jenis, dan penyerapan agregat kelekatan agregat terhadap aspal dan keausan agregat dengan menggunakan mesin abrasi los angeles. Pengujian aspal meliputi pengujian berat jenis, penetrasi. Pengujian tersebut merujuk pada beberapa SNI dan Modul buku yang digunakan sebagai referensi.

III.2.2 Metode Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran pada campuran beraspal terdiri dari perencanaan komposisi agregat, kadar aspal optimum, variasi kadar campuran aspal, serta variasi kadar bata merah sebagai pengganti filler. Agregat yang digunakan merupakan agregat yang sudah diuji dan memenuhi spesifikasi yang telah disesuaikan. Beberapa tahap

yang dilakukan dalam penelitian ini adalah seperti persiapan dan pengujian bahan, mix design atau job mix formula, pembuatan benda uji dan pengujian aspal.

III.2.3 Metode Marshall test

Pengujian dengan metode dan alat Marshall pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall, Mississippi State Highway Departement pada tahun 1948 dan selanjutnya dikembangkan oleh U.S Corps of Engineer. Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (5000 lbf) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas dan flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Dengan pemeriksaan menggunakan alat Marshall diperoleh data-data stabilitas, kelelahan plastis (flow), persen rongga dalam agregat, berat volume. Untuk memastikan suatu campuran aspal panas sudah memenuhi persyaratan-persyaratan yang sudah ditetapkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga atau Departemen Pekerjaan Umum, maka perlu dilakukan test dengan alat Marshall.

III.3 Persiapan Alat dan Bahan

III.3.1 Persiapan bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- 1) Agregat kasar.
- 2) Agregat halus.
- 3) Filler
- 4) Bata merah
- 5) Aspal

III.3.2 Persiapan alat

Peralatan yang digunakan adalah :

- 1) Ayakan dengan nomor saringan 3/4, 1/2, 3/8, #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200
- 2) Timbangan (kapasitas 50 kg)
- 3) Gelas ukur
- 4) Tabung silinder
- 5) Kertas Hisap (Karton)
- 6) Mistar
- 7) Cetakan benda uji (mold)
- 8) Talam atau pan
- 9) Oven
- 10) piknometer
- 11) Mesin uji Marshall
- 12) Mesin uji Los Angeles
- 13) Satu set alat dongkrak
- 14) Ember
- 15) Kuas
- 16) Spatula
- 17) Jangka sorong
- 18) Thermometer
- 19) Kompor
- 20) Bak perendam
- 21) Kualiti
- 22) Kaos tangan

III.4 Pengujian Bahan

Pengujian dimaksudkan untuk meneliti yang akan dipakai dan memenuhi persyaratan, pengujian bahan meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus dan agregat pengisi (bahan pengisi filler).

III.4.1 Pengujian Aspal

Aspal sangat menentukan dalam menyatukan dari semua komponen campuran. Adapun standar pengujiannya adalah:

- 1) Penetrasi SNI-06-2456-1991
- 2) Titik lembek SNI-06-2434-1991
- 3) Titik nyala SNI-06-2433-1991
- 4) Daktilitas SNI-06-2432-1991
- 5) Berat Jenis SNI-06-2441-1991

III.4.2 Pengujian Agregat

Pemeriksaan agregat kasar dan halus dilakukan untuk memenuhi standar agregat sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pemeriksaan agregat ini meliputi:

- 1) Pemeriksaan Gradasi Agregat (SNI-03-1968-1990)
- 2) Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar (SNI- 03-1959-1990)
- 3) Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus (SNI- 03-1970-1990)
- 4) Penentuan Berat Isi Agregat (SNI-03-4804-1998)
- 5) Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar Dengan Mesin Los Angeles.

III.4.3 Perencanaan Campuran (Job Mix Formula)

Sebelum pembuatan benda uji, diadakan perancangan campuran (mix design). Perencanaan campuran meliputi perencanaan gradasi agregat, penentuan aspal dan

pengukuran komposisi masing- masing fraksi baik agregat, aspal dan filler. Gradasi yang digunakan sesuai Standar Nasional Indonesia (SNI) dengan menggunakan Spesifikasi aspal porus yang dipakai.

Prosedur pembuatan benda uji dibagi beberapa tahap, yaitu :

- 1) Merupakan tahap persiapan untuk mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan. Menentukan persentase masing- masing butiran untuk mempermudah pencampuran dan melakukan penimbangan secara kumulatif untuk mendapatkan proporsi campuran yang lebih tepat.
- 2) Menentukan kadar aspal yang digunakan Dan menentukan variasi filler untuk setiap kadar aspal yaitu 2%; 4% dan 5%.
- 1) Menentukan berat aspal, berat filler dan berat agregat yang akan dicampur berdasarkan variasi kadar aspal.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh dari abu bata merah terhadap karakteristik aspal dengan menggunakan pengujian Marshall. Pengujian terakhir yang dilakukan pada proses ini adalah pengujian terhadap campuran aspal menggunakan *Marshall Test*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai dari tabel dibawah ini:

Tabel III. 1 Jenis Pengujian

NO	Jenis Pengujian
1	Kepadatan (density)
2	VIM (void in the mix)
3	VMA (void in mineral aggregate)
4	VFA (void filled with asphalt)
5	Kelelehan (flow)
6	Stabilitas
7	MQ (Marshall Quotient)

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 Divisi 6 Revisi 3)

III.5 Perencanaan penelitian

Menyiapkan benda uji test Marshall sesuai dengan tahapan yang akan diuraikan berikut:

- 1) semua agregat campuran yang sudah ditimbang tiap- tiap variasi campuran diletakkan dalam cawan atau plastic yang sudah disediakan dan dipisah sesuai variasi.
 - 2) Kemudian campuran agregat dipanaskan dalam suhu 150°
 - 3) Agregat ditimbang dalam keadaan berat tetap dan dicampur dengan aspal panas sesuai dengan perhitungan kadar aspal yang sudah ditentukan
 - 4) Setelah aspal dituang kedalam campuran agregat lalu letakkan diatas kompor menyala dan aduk merata benar- benar tercampur sampai campuran berwarna hitam dalam keadaan 150° dalam cawan
 - 5) Sesudah tercampur merata, kemudian masukkan kedalam alat cetak (mould) dan ditumbuk 75 x pada kedua sisinya
 - 6) Setelah itu benda uji disimpan sampai benda uji tercetak
 - 7) Setelah benda uji dicetak dalam keadaan dingin keluarkan benda uji dari cetakan (mould) menggunakan dongkrak hidrolik
 - 8) Setelah benda uji dikeluarkan dari mould, benda uji direndam dalam water bath (bak perendaman) selama 24 jam dalam suhu 60°C
 - 9) Selanjutnya benda uji dikeluarkan dan diletakkan pada alat uji marshall untuk dilakukan pengujian guna mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan (flow).
 - 10) Dan terakhir dilakukan analisa data untuk mengetahui karakteristik Marshall.
- Perincian perkiraan jumlah sampel yang akan digunakan dalam pengujian dapat dilihat dalam tabel berikut:

Tabel III. 2 Jumlah Sampel Pengujian

Pengujian	Kadar Variasi Filler Bata Merah			Jumlah
	2%	4%	5%	
Marshall	3	3	3	18
Cantabro	3	3	3	

III.6 Pengujian Marshall dan Cantabro

Setelah menyiapkan benda uji maka selanjutnya dilakukan pengujian Marshall yang akan mendapatkan rangkaian nilai dari Stabilitas, kelelahan, kepadatan, VIM, VMA, VFA dan Marshall quotient. Pengujian Marshall dilakukan mengikuti prosedur Spesifikasi Bina Marga yaitu:

- 1) penimbangan agregat kasar, agregat halus, aspal dan *filler* sesuai dengan komposisi yang sudah direncanakan
- 2) setelah itu mencampur agregat dengan aspal yang sudah dipanaskan dan dicampur merata dalam temperature 145°C- 150°C
- 3) Kemudian setelah merata dimasukkan kedalam mould atau cetakan yang berukuran 4inch dan di tumbuk sebanyak 75 kali dibagian atas dan bawah
- 4) Setelah itu didiamkan sampai dingin dan sampel dikeluarkan dengan ejektor atau dongkrak dan kemudian benda uji diberikan kode/ nama sesuai variasi
- 5) Setelah itu lakukan penimbangan tiap- tiap benda uji untuk mendapatkan berat kering dan rendam dalam bak air agar udara dalam pori- pori benda uji keluar
- 6) Setelah perendaman lakukan penimbangan didalam air untuk mendapatkan berat sampel dalam air
- 7) Setelah itu keringkan dengan kain lap dan timbang untuk mendapatkan nilai *saturated surface dry* (SSD)
- 8) Setelah itu rendam di waterbath selama 30 menit dengan suhu 61°C

- 9) keluarkan benda uji dari bak perendam setelah 30 menit kemudian letakkan benda uji tepat ditengah penekan benda uji bagian bawah kepala penekan dan bagian atas kepala penekan dengan baik
- 10) Setelah dipasang dengan baik, pasang arloji/ dial kelelahan dan stabilitas pada kedudukan jarum angka 0
- 11) Kemudian pengujian dilakukan pada saat pembacaan arloji stabilitas berhenti dan mulai kembali berputar menurun maka pada saat itu pula pembacaan arloji/ dial diberhentikan
- 12) Catatlah pembacaan arloji/ dial stabilitas dan pembacaan arloji kelelahan
- 13) Setelah selesai, angkat kembali kepala penekan lalu buka bagian atas fan lalu benda uji dikeluarkan, Lakukan seterusnya dengan langkah yang sama untuk semua benda uji.

Setelah menyiapkan benda uji maka selanjutnya kita akan melakukan pengujian cantabro dengan cara, Masukkan benda uji kedalam mesin Los Angeles, lalu nyalakan mesin Los Angeles dan pada saat pengujian mesin Los Angeles minimal 300 putaran dengan kecepatan 30-33 rpm, setelah itu keluarkan benda uji lalu dilakukan pengukuran berat setelah uji coba.

Maka setelah melakukan pengujian tersebut nilai yang didapat dari mesin akan diolah lagi untuk mendapatkan hasil parameter Marshall dan nilai cantabro.

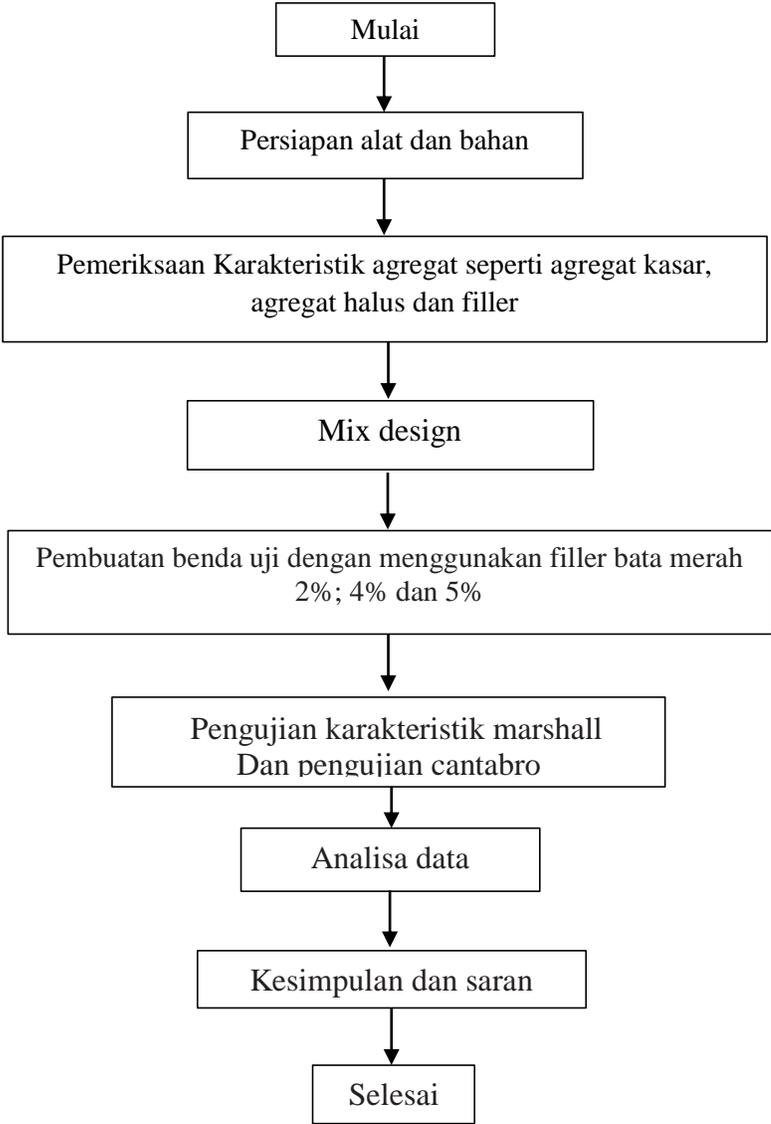
III.7 Analisa Data

Analisa data merupakan bagian yang sangat penting dalam metode penelitian, karena dengan analisa data tersebut dapat diberi arti dan makna yang makna yang berguna dalam memecahkan masalah penelitian. Menganalisa data merupakan tindakan peneliti untuk mempertemukan kesenjangan antara teori dan praktik.

Pada penelitian ini analisa data-data yang diperoleh dari hasil pengujian disajikan dalam bentuk table, gambar dan grafik yang kemudian akan dianalisa. Analisa

dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah bata merah.

III.8 Bagan Alur Penelitian



Gambar III. 1 Bagan Alur Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

IV.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material

Untuk mengetahui hasil dari pengujian sifat fisik agregat yang ada pada penelitian ini, memenuhi SNI pengujian agregat. Pengujian ini dilakukan di laboratorium teknik sipil fakultas teknik universitas fajar.

IV.1.1 Hasil pengujian sifat fisik agregat

A. Sifat fisik agregat kasar

Pengujian sifat agregat kasar dilakukan sesuai metode pengujian dari SNI dari hasil pengujian. Dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel IV. 1Sifat Fisik Agregat Kasar

No	Pengujian	Nilai Interval	Hasil	Status
1	Penyerapan air (%)	Maks.3	1,63	Memenuhi
2	Berat jenis spesifikasi (%)			Memenuhi
	1. Berat jenis Bulk	Maks.3	2,75	Memenuhi
	2. Berat jenis SSD	Maks.3	2,8	Memenuhi
	3. Berat Jenis Semu	Maks.3	2,88	Memenuhi
3	Keausan (%)	Maks.40	30,28	Memenuhi
4	Indeks Kepipihan	Maks.10	24,8	Memenuhi

Sumber : Pengujian dan perhitungan laboratorium teknik sipil unifa 2023

Dari tabel diatas menjelaskan bahwa hasil pengujian dari agregat kasar berupa batu pecah atau chipping memenuhi spesifikasi umum bina marga sehingga dapat digunakan pada pengujian campuran aspal ac-bc.

B. Sifat fisik agregat halus

Hasil pengujian dari sifat agregat halus, dari sifat fisik dilakukan sesuai dengan metode pengujian standar nasional (SNI). Dari hasil uji coba dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel IV. 2 Sifat Fisik Agregat Halus

No	Pengujian	Nilai Interval	Hasil	Status
1	Penyerapan air (%)	Maks.3	1,22	Memenuhi
2	Berat Jenis Spesifikasi (%)			Memenuhi
	1. Berat Jenis Bulk	Maks.3	2,58	Memenuhi
	2. Berat Jenis SSD	Maks.3	2,61	Memenuhi
	3. Berat Jenis Semu	Maks.3	2,67	Memenuhi
3	Kadar Lumpur (%)	Maks.3	1,5	Memenuhi

Sumber : Pengujian dan perhitungan laboratorium teknik sipil unifa 2023

IV.2 Pengujian Kadar Aspal Optimum

Pengujian kadar aspal optimum dilakukan dengan tujuan untuk memberikan kadar aspal yang bagus untuk digunakan dan memenuhi standar keseluruhan karakteristik dan merupakan kadar aspal yang memberikan stabilitas tertinggi pada lapisan perkerasan. Nilai variasi kadar aspal optimum yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 5%, 6,5% dan 7%.

Tabel IV. 3 Hasil Pengujian Kadar Aspal Optimum

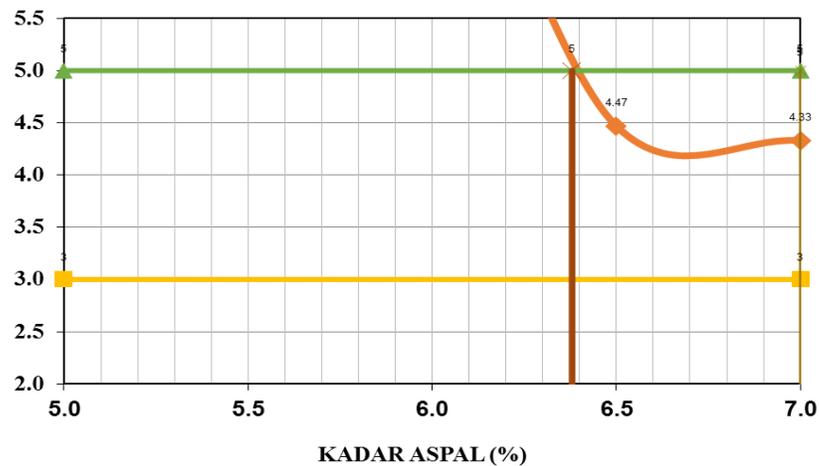
VARIASI KADAR ASPAL	5	5,5	6	6,5	7
VMA	17,46	18,8	19,04	17,03	17,81
VFB	54,35	55,32	59,16	73,81	75,74
VIM	8	8,51	7,79	4,47	4,33
STABILITAS	996,96	776,74	744	1220,07	1302,01
FLOW	3,65	2,85	2,73	3,03	3,85
MQ	273,43	272,49	273,05	272,61	288,24

Sumber : Pengujian dan perhitungan laboratorium teknik sipil unifa 2023

Dari tabel hasil uji KAO diatas, didapatkan nilai rata-rata dari variasi kadar aspal dari beberapa nilai marshall test, yaitu VIM, VFB, VMA, Stabilitas, flow dan MQ. Adapun untuk hubungan antara kadar aspal yaitu hubungan antara parameter marshall. Oleh karena itu kadar aspal yang di butuhkan dalam suatu campuran lapis perkerasan ialah kadar aspal yang memiliki nilai stabilitas tinggi pada lapis perkerasan. Dimana persyaratan yang lainnya harus memenuhi nilai VIM, FLOW, VMA, VFB, dan nilai MQ, dengan kadar aspal untuk penentuan maka di peroleh hasil seperti dibawah ini dalam bentuk grafik :

1. VIM

VIM (voids In Mixture) adalah banyaknya rongga yang terdapat pada campuran beraspal, dan dinyatakan dalam bentuk % terhadap total campuran. Berdasarkan spesifikasi, syarat nilai minimal VIM minimal 3 % dan maksimal 5% terhadap nilai VIM dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada gambar IV.1.



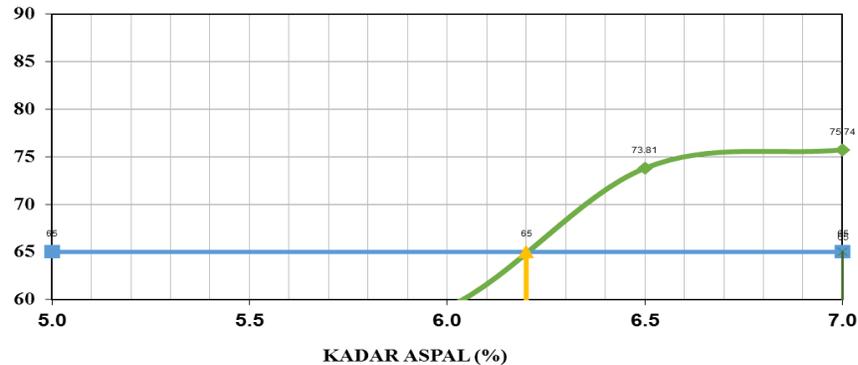
Gambar IV. 1 Grafik VIM penentuan kadar aspal optimum

Berdasarkan gambar IV.1 dapat di peroleh nilai VIM dengan kadar aspal 5%= 8.51, 5,5= 7,79, 6%= 7.79, 6,5%= 4.47, 7= 4,33. Berdasarkan dengan ketentuan variasi kadar aspal yang memenuhi standar spesifikasi adalah mulai dari kadar aspal 6.38% sampai 7%.

2. VFB

VFB adalah jumlah rongga yang terisi aspal, sehingga VFB adalah bagian VMA yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh masing-masing partikel agregat. Pengaruh dari nilai VFB ini adalah kekuatan ikatan komposit pada komposisi, jika semakin kecil maka akan membuat lapisan tersebut kurang permeabel terhadap air dan udara karena rongga yang ada lebih banyak. Hal ini akan menyebabkan air dan udara yang melarutkan aspal akan lebih mudah teroksidasi sehingga mengurangi kekuatan campuran, namun jika terlalu banyak, itu menandakan semakin banyak rongga yang di isi dengan “aspal”, sehingga impermeabilitas campuran aspal air dan udara menjadi kedap air lebih tinggi. Namun nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan aspal menjadi berair atau terapung ke permukaan, sehingga nilai kestabilitasnya akan menurun. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai VFB antara lain ukuran partikel agregat, kadar aspal, jumlah pemadatan dan suhu.

Berdasarkan spek bina marga, nilai spek VFB yang dibutuhkan minimal 65%, Berikut hasil tes VFB pada gambar IV.2.

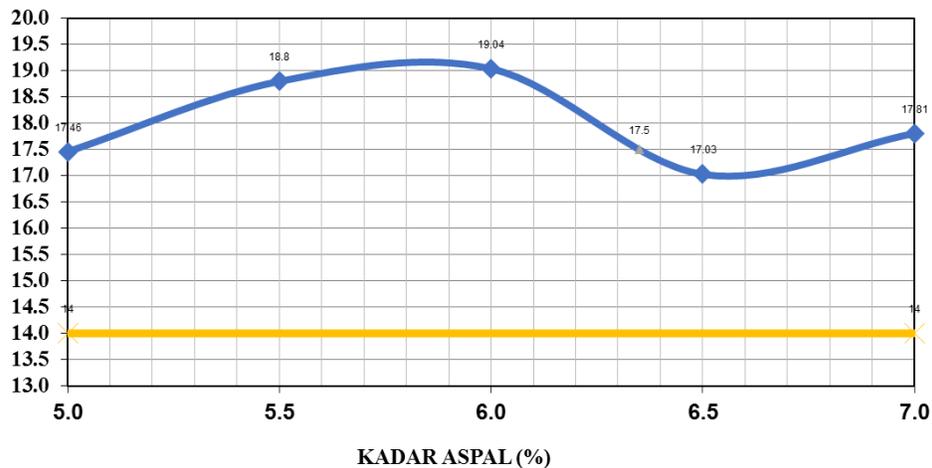


Gambar IV. 2 Grafik VFB penentuan kadar aspal optimum

Berdasarkan gambar nilai rata-rata VFB pada variasi kadar aspal 5%=54.35, 5,5%=55,32, 6%=59.16, 6,5%=73.81, 7%=75.74, dari data tersebut kadar aspal yang memenuhi spesifikasi mulai dari kadar aspal 6.2% dan 7%.

3. VMA

VMA, porositas dalam agregat adalah nilai pori dari indeks VMA agregat komposit rongga antara partikel agregat dalam aspal padat, yang dinyatakan dalam presentase, nilai VMA juga dapat dinyatakan sebagai rongga yang dapat di isi oleh volume aspal dan udara yang diperlukan dalam campuran agregat dan aspal. Nilai VMA dipengaruhi oleh ukuran partikel agregat, jumlah tumbukan dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai VMA maka semakin besar efek kedap air dan ketahanan campuran terhadap air dan udara, namun nilai VMA yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan resiko kebocoran air pada saat perkerasan dibebani dengan suhu yang tinggi. Nilai VMA yang terlalu rendah akan membuat lapisan aspal sulit melekat pada aspal sehingga mengakibatkan keretakan, lubang, dan lain-lain datang dengan mudah. Sesuai praturan teknis jalan, nilai indicator VMA yang diperoleh harus lebih besar dari 14%. Dilihat pada gambar IV.3.

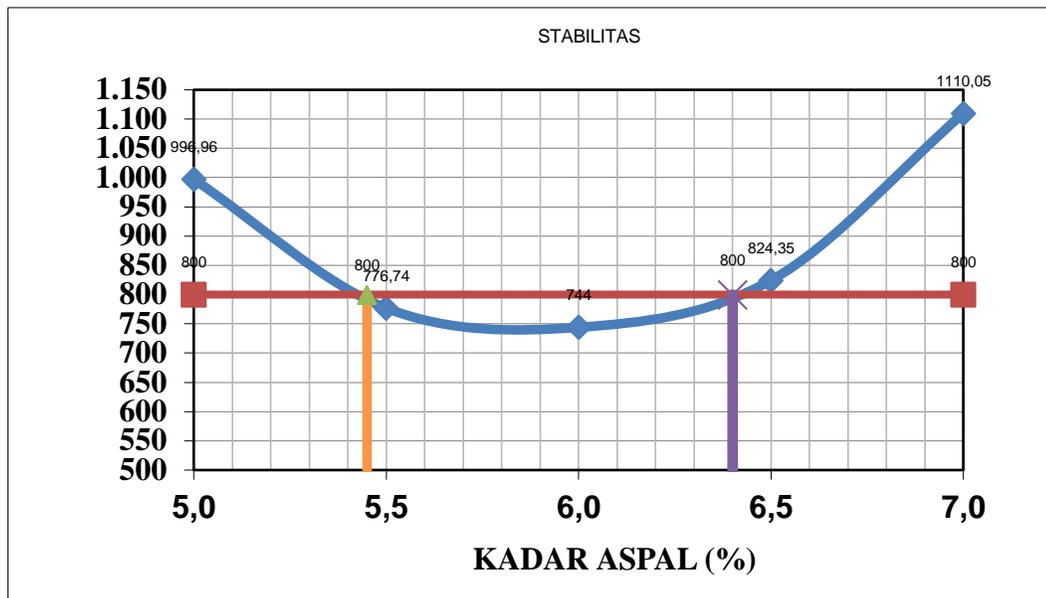


Gambar IV. 3 Grafik VMA penentuan kadar aspal optimum

Pada gambar IV.3 menunjukkan hasil VMA variasi kadar aspal yang dimana semua variasi telah memenuhi persyaratan bina marga dengan nilai minimal 14%.

4. Stabilitas

Mengacu pada kemampuan lapisan perkerasan dalam menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa adanya deformasi seperti gelombang atau alur. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa lapisan perkerasan tersebut mampu menahan beban lalu lintas yang berat. Dalam uji laboratorium dengan metode marshall, stabilitas mengacu pada kemampuan bitumen (bahan pengikat) dalam menahan beban hingga tercapai titik leleh plastic, dalam kilogram. Nilai kestabilan dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti daya cengkram batu (gesekan internal) dan kekuatan adhesinya. Gesekan internal berhubungan dengan teksrur permukaan, ukuran partikel agregat, kepadatan campuran dan kandungan aspal. Kestabilan yang terlalu tinggi akan menyebabkan perkerasan menjadi kaku dan rawan retak, sedangkan kestabilan yang terlalu rendah akan menyebabkan perkerasan menjadi lunak dan rawan retak. Sesuai spesifikasi SNI, nilai stabilisasi minimal yang dibutuhkan adalah 800 kg. Berikut adalah hasil uji stabilitas. Pada gambar IV.4.

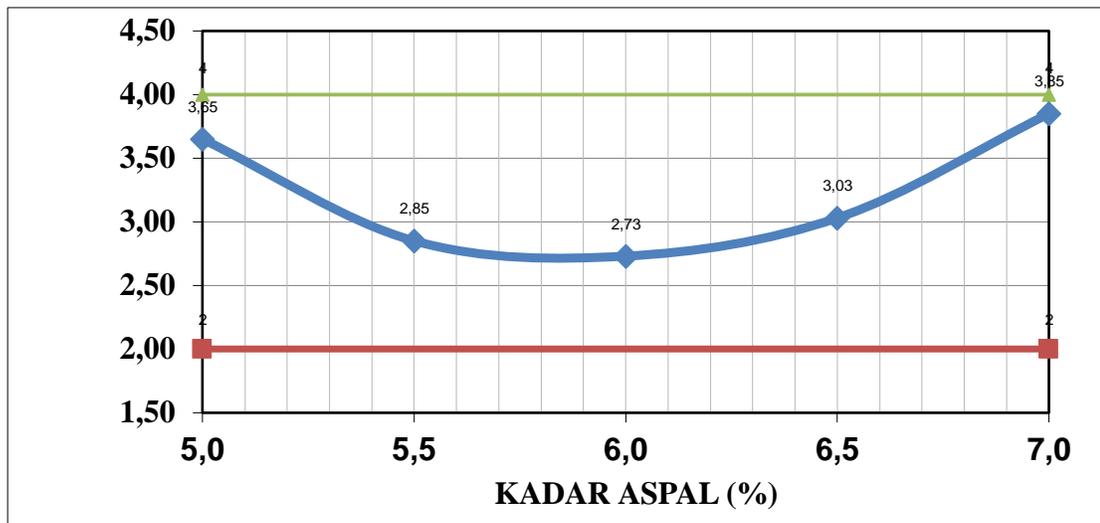


Gambar IV. 4 Grafik stabilitas penentuan kadar aspal optimum

Berdasarkan pada Gambar IV.4 menunjukkan hasil dari variasi kadar aspal 15%=996.96, 5.5=776.74, 6=744, 6.5=824.35, 7=1110.05 yang dimana variasi kadar aspal yang memenuhi spesifikasi adalah kadar 5%, 6.5% dan 7%.

5. FLOW

Flow atau kelelahan menunjukkan derajat deformasi yang terjadi pada lapisan kaku akibat tegangan yang diberikan padanya. Nilai elastisitas yang tinggi berarti campuran bersifat lentur, sedangkan nilai elastisitas yang rendah berarti campuran keras. Nilai saat ini tidak hanya menerima nilai kondisi lunak di atas, tetapi juga sesuai dengan nilai terkait yang ditampilkan oleh meteran. Hanya saja jarum pemeriksa meter biasanya dalam satuan millimeter (mm). Gambar IV.5 dapat dilihat sebagai berikut.

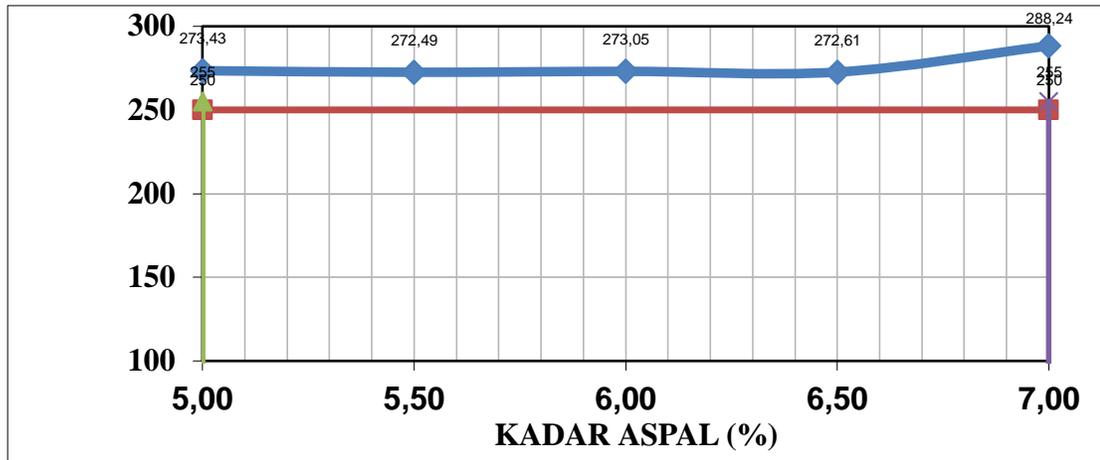


Gambar IV. 5 Grafik FLOW penentuan kadar aspal optimum

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 4.5 nilai flow pada variasi kadar aspal yaitu 5%= 3.65, 5.5%=2.85, 6%= 2.73, 6.5%=3.03, 7%=3.85 yang dimana semua variasi telah memenuhi spesifikasi bina marga.

6. MQ

Nilai Marshall Quotient merupakan nilai Marshall Quotient yang merupakan hasil bagi antara stabilitas dan flow. Penggunaan nilai Marshall Quotient dimaksudkan untuk memperkirakan ketangguhan perkerasan jalan. Ketika stabilitas tinggi dipadukan dengan aliran rendah, perkerasan menjadi keras dan rapuh. Sebaliknya stabilitas yang rendah dan aliran yang tinggi menunjukkan bahwa campuran tersebut lebih elastis dan bila terkena beban lalu lintas maka perkerasan akan mengalami deformasi. Nilai minimum hasil bagi Marshall seperti yang ditentukan adalah 250 kg/mm³. Informasi lebih lanjut dapat ditemukan pada Gambar 4.6. Dapat dilihat pada Gambar IV.6.



Gambar IV. 6 Grafik MQ penentuan kadar aspal optimum

Berdasarkan Gambar IV.6 nilai rata-rata variasi kadar aspal yaitu 5%=273,43 kg/mm, 5,5%=272,49 kg/mm, 6%=273,05 kg/mm, 6,5%=272,61 kg/mm, 7%=288,24 kg/mm. Menunjukkan semua kadar aspal telah memenuhi spesifikasi nilai minimalnya.

Dari beberapa gambar kurva hubungan antara parameter marshall dengan kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum diatas, maka diperoleh hasil seperti dibawah ini dapat dilihat pada gambar IV.4 :

Tabel IV. 4 Hasil pengujian kadar aspal optimum

KARAKTERISTIK	PRESENTASE SESUAI SPESIFIKASI	SPESIFIKASI
VIM	6,38%	3%-5%
VMA		MIN 14%
VFB	6,2%	MIN 65%
STABILITAS	6,4%	MIN 800 KG
FLOW		2-4 MM
MQ		MIN 250 KG/MM
	5% 5,5% 6% 6,5% 7%	

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan laboratorium teknik sipil UNIFA 2023

Dari tabel 4.4 dapat kita lihat bahwa hasil pengujian kadar aspal optimum dari parameter marshall namun ada beberapa karakteristik yang tidak masuk standar spesifikasi yang digunakan, seperti pada karakteristik nilai VIM hanya pada kadar aspal 6,5% dan 7% yang memenuhi, sedangkan pada kadar aspal 5%, 5,5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi. Pada karakteristik VMA semua kadar aspal yang digunakan memenuhi spesifikasi, pada karakteristik VFB hanya pada kadar aspal 6,5% dan 7% yang memenuhi spesifikasi, untuk karakteristik flow semua kadar aspal memenuhi spesifikasi, pada karakteristik stabilitas kadar aspal 5%, 6,5% dan 7% memenuhi spesifikasi, pada kadar aspal 5,5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi, sedangkan pada karakteristik MQ semua kadar aspal memenuhi nilai persyaratan sesuai spesifikasi.

Dan penentuan nilai tengah dari kadar aspal optimum dari pengujian yang kita lakukan dengan cara seperti yang ada pada rumus dibawah ini :

$$\text{KADAR ASPAL OPTIMUM} = \frac{6,5+7}{2} = 6,75$$

Seperti hasil perhitungan nilai tengah di atas, maka nilai kadar aspal optimum yang digunakan pada penelitian ini adalah 6,75%.

IV.3 Gradiasi Gabungan

Penentuan gradiasi gabungan agregat berdasarkan pada spesifikasi umum bina marga.

Tabel IV. 5 Gradiasi Gabungan Agregat

SIEVE NOMOR		3/4	1/2	3/8	No. 4	No. 8	NO.16	No. 30	No. 50	No. 100	No. 200
BATU PECAH	% PASS	98.00	65.07	49.07	17.33	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
65	% BATCH	63.7	42.29	31.89	11.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
PASIR	% PASS	100	100	100	100	100.00	81.00	65.20	48.20	34.00	15.50
30	% BATCH	30	30	30	30	30	24.3	19.56	14.46	10.2	4.65
DEBU BATU	% PASS	100	100	100	100	100.00	100.00	100.00	95.80	55.80	45.80
5	% BATCH	5	5	5	5	5	5	5	4.79	2.79	2.29
AGREGAT GABUNGAN		98.7	77.30	66.90	46.26	35.00	29.30	24.56	19.25	12.99	6.94
SPEKIFIKASI		98-100	75-90	66-82	46-64	30-49	18-38	12-28	7-20	5-13	4-8

Untuk analisis mix gabungan agregat dapat dilihat pada tabel yang berikut.

Tabel IV. 6 Mix Gabungan Agregat

Material Chipping	=	(	100%	-	6.75%	)	x	65%	x	1200	=	727.35
3/4	=	(	100%	-	98.00%	)	x	727.35	=	14.55	gram	
1/2	=	(	98.00%	-	64.93%	)	x	727.35	=	240.53	gram	
3/8	=	(	64.93%	-	48.73%	)	x	727.35	=	117.83	gram	
no. 4	=	(	48.73%	-	17.07%	)	x	727.35	=	230.28	gram	
no.8	=	(	17.07%	-	0.00%	)	x	727.35	=	124.16	gram	
no. 16	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	727.35	=	0.00	gram	
no. 30	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	727.35	=	0.00	gram	
no. 50	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	727.35	=	0.00	gram	
no. 100	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	727.35	=	0.00	gram	
no. 200	=	(	0.00%	-	0.00%	)	x	727.35	=	0.00	gram	
PAN	=	(	0.00%	-	0.00%	)	X	727.35	=	0.00	gram	
Material pasir	=	(	100%	-	6.75%	)	x	30%	x	1200	=	335.7
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	335.70	=	0.00	gram	
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	335.70	=	0.00	gram	
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	335.70	=	0.00	gram	
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	335.70	=	0.00	gram	
no.8	=	(	100%	-	100%	)	x	335.70	=	0.00	gram	
no. 16	=	(	100%	-	80.80%	)	x	335.70	=	64.45	gram	
no. 30	=	(	81%	-	64.70%	)	x	335.70	=	54.05	gram	
no. 50	=	(	64.70%	-	47.80%	)	x	335.70	=	56.73	gram	
no. 100	=	(	47.80%	-	33.60%	)	x	335.70	=	47.67	gram	
no. 200	=	(	33.60%	-	15.40%	)	x	335.70	=	61.10	gram	
PAN	=	(	15.40%	-	0.00%	)	X	335.70	=	51.70	gram	
Material Debu Abu	=	(	100%	-	6.75%	)	x	5%	x	1200	=	55.95
3/4	=	(	100%	-	100%	)	x	55.95	=	0.00	gram	
1/2	=	(	100%	-	100%	)	x	55.95	=	0.00	gram	
3/8	=	(	100%	-	100%	)	x	55.95	=	0.00	gram	
no. 4	=	(	100%	-	100%	)	x	55.95	=	0.00	gram	
no.8	=	(	100%	-	100%	)	x	55.95	=	0.00	gram	
no. 16	=	(	100%	-	100%	)	x	55.95	=	0.00	gram	
no. 30	=	(	100%	-	100%	)	x	55.95	=	0.00	gram	
no. 50	=	(	100%	-	93.90%	)	x	55.95	=	3.41	gram	
no. 100	=	(	93.90%	-	35.20%	)	x	55.95	=	32.84	gram	
no. 200	=	(	35.20%	-	15.60%	)	x	55.95	=	10.97	gram	
PAN	=	(	15.60%	-	0.00%	)	X	55.95	=	8.73	gram	

Sedangkan jumlah untuk substitusi filler bata merah dapat dilihat dari tabel IV.6.

Tabel IV. 7 Hasil perhitungan persentase substitusi pada limbah bata merah sebagai filler

VARIASI LIMBAH BATA MERAH	BERAT (GRAM)	
	ABU BATA MERAH	ABU BATU
2%	22,38	33,57
4%	44,76	11,19
5%	55,95	0

IV.4 Pengujian Marshall

Hasil pengkajian dilakukan untuk mengetahui nilai parameter Marshall berupa VIM, VMA, VFB, Stabilitas, Flow dan Marshall Question (MQ) menggunakan gradasi SNI. Berikut hasil pengujian Marshall menggunakan bata merah.

Tabel IV. 8 Pengujian Marshall Menggunakan Filler Bata Merah

Varasi Substitusi Bottom ash	No. Sampel	Nilai Hasil Pengujian Marshall					
		VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0%	1	3.47	20.95	87.42	1302.00	2.72	478.68
	2	3.35	21.22	81.33	1178.00	4.20	280.48
	3	3.39	22.74	85.02	1209.00	2.70	447.78
Rata-rata		3.4	21.64	84.59	1229.67	3.21	402.31
2.0%	1	3.29	21.89	85.41	1060.20	3.10	342.00
	2	3.13	22.42	81.21	1134.60	3.20	354.56
	3	4.59	21.57	81.9	1091.20	3.12	349.74
Rata-rata		3.67	21.96	82.84	1095.33	3.14	348.77
4.0%	1	3.37	22.26	77.27	868.00	2.10	413.33
	2	3.57	22.81	75.98	824.60	3.50	235.60
	3	6.09	21.75	79.12	849.40	4.60	184.65
Rata-rata		4.34	22.27	77.46	847.33	3.40	277.86
5%	1	4.09	23.88	79.61	812.20	4.80	169.21
	2	4.31	22.54	76.17	793.60	2.10	377.90
	3	5.55	23.32	74.83	775.00	4.78	162.13
Rata-rata		4.98	23.6	76.87	793.60	3.89	236.42

1. VIM

VIM (Void in the Total Mix) adalah persentase rongga udara dalam total volume campuran setelah kompresi. Nilai VIM sernakin rendah bila rasio aspal semakin tinggi. Nilai VIM mempengaruhi kekuatan lapisan perkerasan jalan, Semakin tinggi nilai VIM maka semakin besar pula porositas pada campuran tersebut, artinya campuran tersebut mempunyai porositas. Nilai VIM yang disyaratkan yaitu minimal 3% dan maksimal 5% berdasarkan hasil pengujian terhadap nilai VIM dengan variasi kadar aspal dapat dilihat pada gambar IV.7.



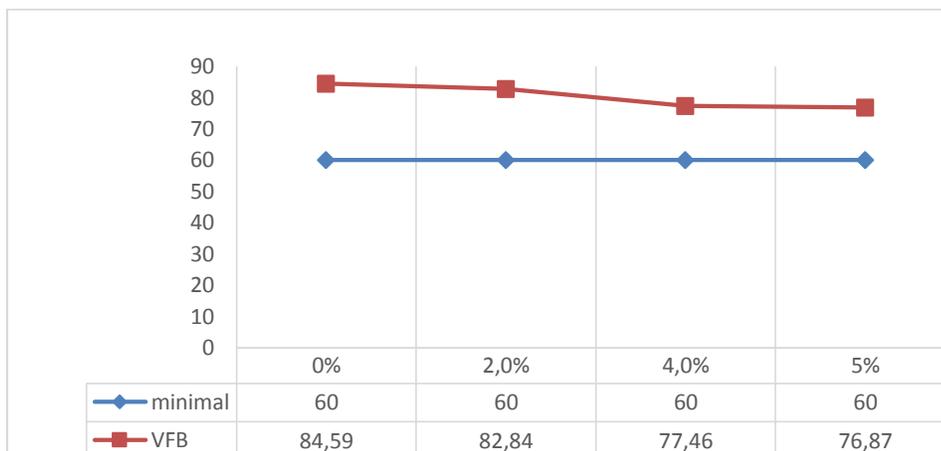
Gambar IV. 7 Hasil VIM Terhadap Variasi Filler Abu Bata Merah

Sumber : Pengujian dan perhitungan laboratorium teknik sipil unifa 2023

Berdasarkan grafik diatas merupakan hasil perhitungan menggunakan variasi substitusi filler bata merah yaitu 0%=3.40, 2%=3.67, 4%=4.34 dan 5%=4.98. Yang dimana data yang diperoleh memenuhi spesifikasi bina marga yang disyaratkan. Sehingga substitusi abu bata merah telah memenuhi syarat untuk VIM.

2. VFB

VFB adalah volume rongga antar partikel agregat yang diisi aspal dalam campuran padat, dinyatakan (%) relative terhadap volume total campuran. Instalasi VFB harus mempunyai kekuatan dan ketahanan air yang memadai.

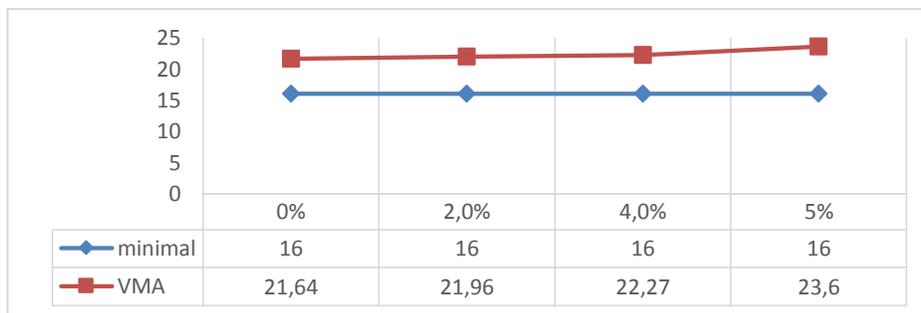


Gambar IV. 8 Variasi Bata Merah Terhadap Nilai VFB

Dapat dilihat pada grafis diatas menjelaskan bahwa nilai VFB pada variasi 0%=84.59, 2%=82.84, 4%=77.46, 5%=76.87. Berdasarkan spesifikasi bina marga yang disyaratkan ialah 60% dapat disimpulkan pada pengujian VFB memenuhi standar spesifikasi bina marga. Sehingga substitusi abu bata merah telah memenuhi syarat untuk VFB.

3. VMA

Nilai densitas menunjukkan seberapa padat campuran yang akan dikompres, semakin tinggi nilai kepadatannya, maka semakin baik juga kepadatannya. Semakin bertambahnya kadar aspal, maka jumlah aspal yang mampu mengisi ruang antar partikel semakin bertambah, sehingga campuran menjadi semakin padat. Dapat dilihat pada gambar berikut.

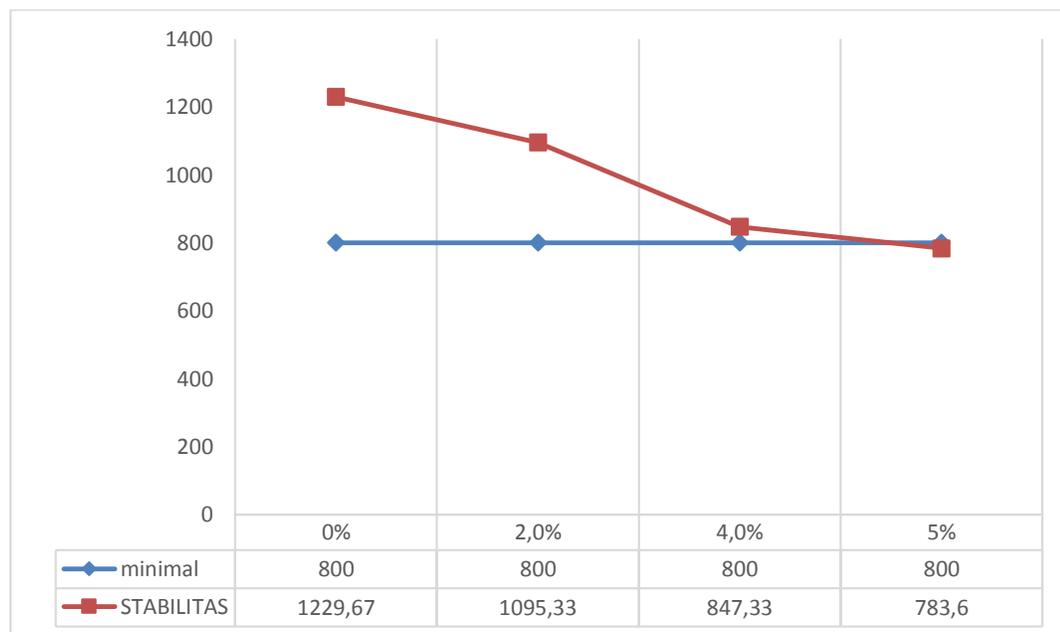


Gambar IV. 9 Variasi Bata Merah Terhadap Nilai VMA

Berdasarkan grafik diatas variasi abu bata merah yang diperoleh yaitu 0%=21.64, 2%=21.96, 4%=22.27, 5%=23.60. Dapat dilihat bahwa semua variasi substitusi abu bata merah telah memenuhi spesifikasi.

4. Stabilitas

Merupakan kemampuan suatu lapisan perkerasan jalan dalam menahan deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas yang bekerja padanya tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang dan alur. Kestabilan sendiri dipengaruhi oleh bentuk, mutu, tekstur permukaan dan ukuran partike, yaitu gesekan antar agregat serta kapasitas ikatan, daya lekat dan kandungan aspal pada agregat. Nilai tetap diperoleh sesuai dengan nilai terkait yang ditunjukkan oleh putaran.

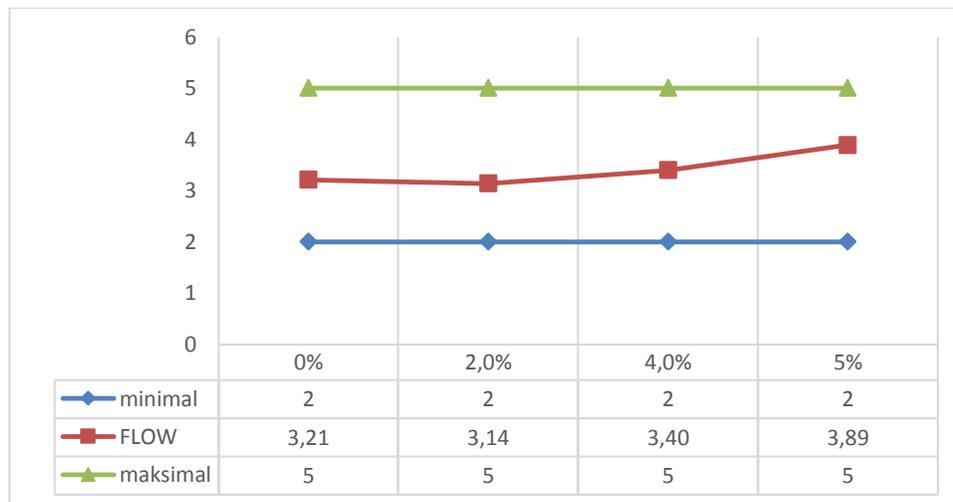


Gambar IV. 10 Variasi bata merah terhadap nilai stabilitas

Hasil dari grafik diatas dimana hasil rata-rata yang didapat pada variasi 0%=1229.67, 2%=1095.33, 4%=847.33 dan 5%=783.60. Nilai yang dicapai pada variasi 5% tidak memenuhi spesifikasi bina marga dan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi variasi campuran abu bata merah maka semakin melemah pula stabilitas yang didapatkan.

5. FLOW

Flow atau keelehan menunjukkan derajat deformasi yang terjadi pada lapisan kaku akibat tegangan yang diberikan padanya, Nilai elastisitas yang tinggi berarti campuran yang bersifat lentur, sedangkan nilai elastisitas yang rendah berarti campuran keras. Nilai saat ini tidak hanya menerima nilai kondisi lunak diatas, tetapi juga sesuai dengan nilai terkait yang ditampilkan oleh meteran. Hanya saja jarum pemeriksa meter biasanya dalam satuan millimeter (mm).



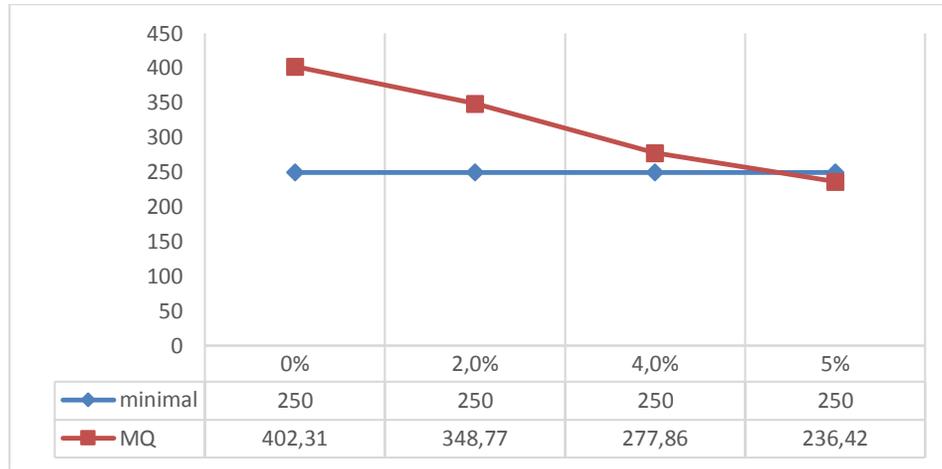
Gambar IV. 11 Variasi bata merah terhadap nilai flow

Berdasarkan spesifikasi bina marga nilai pada keelehan yang disyaratkan adalah 2 mm dan maksimum 5 mm, dapat diperhatikan pada tabel grafik flow dari tiap variasi abu bata merah tidak melebihi dari standar yang di tentukan. Berdasarkan grafik diatas bisa disimpulkan bahwa semakin banyak variasi abu bata merah maka semakin besar keelehan yang didapat.

6. MQ (Marshall Question)

Marshall question adalah perbandingan antara nilai kondisi tunak dan nilai aliran. Nilai marshall question (MQ) diperoleh dari hasil bagi antara nilai stabilitas dengan nilai laju aliran.. Semakin tinggi nilai marshall question maka semakin keras

campuran tersebut, sebaliknya semakin rendah nilainya maka semakin plastis campuran tersebut.



Gambar IV. 12 Variasi abu bata merah terhadap nilai MQ

Berdasarkan dari standar spesifikasi bina marga yang disyaratkan yaitu minimal 250 kg/mm, maka dapat dilihat dari grafik MQ menunjukkan bahwa nilai yang dihasilkan pada variasi 0%=402.31kg/mm, 2%=348.77 kg/mm, 4%=277.86 kg/mm dan 5%=236 kg/mm. Maka dapat disimpulkan bahwa yang hanya memenuhi spesifikasi bina marga yaitu 0%, 2% dan 4%. Sedangkan variasi 5% tidak memenuhi spesifikasi karena mengalami penurunan dibawah angka minimal yang ditentukan.

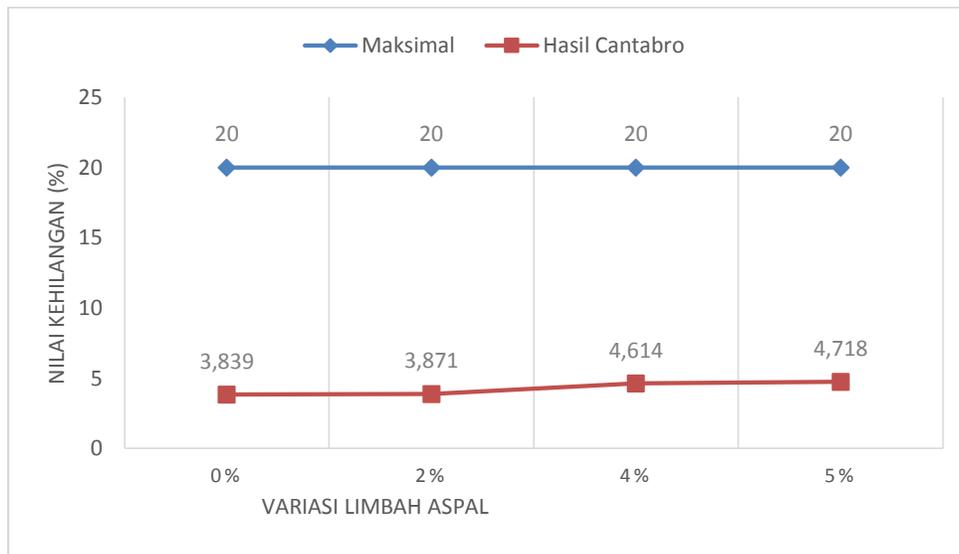
IV.5 Pengujian Cantabro

Uji cantabro dilakukan dengan memasukkan sampel satu per satu kedalam mesin LA tanpa bola baja. Kemudian diputar dengan kecepatan 300 rpm, pada kecepatan 30-33 rpm. Tes cantabro dilakukan untuk mengevaluasi efek partikel lepas yang disebabkan oleh gesekan berulang kali pada roda. Pengujian ini membantu menentukan persentase kehilangan berat campuran aspal, menentukan tingkat keausan campuran aspal dengan menerima beban.

Tabel IV. 9 Hasil pengujian cantabro

Variasi Limbah Aspal	No. Sample	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat	Spesifikasi BINA MARGA
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
0%	1	6.75	1133	1091	42	3.707	Maks.20
	2		1139	1089	50	4.390	
	3		1140	1101	39	3.421	
Rata-Rata			1137	1094	44	3.839	
2%	1	6.75	1129	1088	41	3.632	
	2		1125	1084	41	3.644	
	3		1130	1081	49	4.336	
Rata-Rata			1128	1084	44	3.871	
4%	1	6.75	1130	1082	48	4.248	
	2		1137	1078	59	5.189	
	3		1135	1085	50	4.405	
Rata-Rata			1134	1082	52	4.614	
5%	1	6.75	1115	1066	49	4.395	
	2		1120	1061	59	5.268	
	3		1113	1063	50	4.492	
Rata-Rata			1116	1063	53	4.718	

Sumber : pengujian dan perhitungan laboratorium teknik sipil unifa 2023



Gambar IV. 13 Variasi abu bata merah terhadap pengujian cantabro

Sumber : pengujian dan perhitungan laboratorium teknik sipil unifa 2023

Berdasarkan dari syarat standar spesifikasi bina marga yang disyaratkan adalah maksimal 20%. Dimana hasil pengujian yang dilakukan dapat dilihat dari tabel dan dapat dilihat dalam bentuk grafik yang menjelaskan bahwa rata-rata kehilangan berat pada variasi 0%=3.839%, 2%=3.871%, 4%=4.614% dan 5%=4.718%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa nilai yang didapat memenuhi standar spesifikasi bina marga yang telah ditentukan.

BAB V

PENUTUP

V.1 Kesimpulan

1. Pada pengujian karakteristik marshall pada pemakaian abu bata merah sebagai substitusi filler pada nilai VIM yaitu yaitu 0%=3.40, 2%=3.67, 4%=4.34 dan 5%=4.98, yang dimana data yang diperoleh memenuhi spesifikasi bina marga yang disyaratkan. Sehingga abu bata merah telah memenuhi syarat untuk VIM, karena nilai yang disyaratkan yaitu minimal 3 dan maksimal 5. Kemudian pada pengujian VFB pada variasi 0%=84.59, 2%=82.84, 4%=77.46, 5%=76.87. Berdasarkan persyaratan spesifikasi bina marga yang disyaratkan adalah 60% dapat disimpulkan bahwa pada pengujian VFB memenuhi standar spesifikasi bina marga, Sehingga abu bata merah telah memenuhi syarat untuk VFB.. Untuk variasi 0%=21.64, 2%=21.96, 4%=22.27 telah memenuhi standar spesifikasi dan dapat dikatakan bahwa semakin tinggi variasi abu bata merah sebagai substitusi filler maka semakin melemah pula stabilitas yang didapat.
2. Berdasarkan spesifikasi bina marga yang menjadi persyaratan cantabro yaitu yaitu maksimal 20% maka dapat disimpulkan bahwa pengujian cantabro pada substitusi abu bata merah sebagai filler memenuhi standar spesifikasi bina marga, karena rata-rata yang diperoleh tidak melewati 20% yang disyaratkan, dimana variasi 0%=3.839%, 2%=3.871%, 4%=4.614% dan 5%=4.718%.

V.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan memakai substitusi yang berbeda atau kadar aspal yang berbeda
2. Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi abu bata merah yang berbeda

DAFTAR PUSTAKA

- Mohammad Zainuddin (2018). campuran aspal beton dan bahan pengisi (*filler*) pada abu bata merah, *Jurnal Teknik Sipil*.
- Yusep Daiman dan Ida Farida. penggunaan filler serbuk bata merah dalam campuran laston lapis aus (AC-WC), *Jurnal Teknik Sipil*
- (Silvia Sukirman, 2003). pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan, bina marga (2018)
- suprpto (2000). *lapis keras/ perkerasan/ pavement*, *Jurnal Teknik Sipil*.
- Sukirman (2010). Bahan pengikat konstruksi perkerasan jalan, bina marga (2018)
- SNI 03-2417-1991. (n.d) Metode pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. *Balitbang PU*, 12(12), 1-5.
- SNI, S.N.I. (1991). Metode pengujian campuran aspal dengan alat marshall
- 06-2489-1991, S. (N.D.). *Metode pengujian campuran aspal dengan alat marshall. 1* , 7.
- Yuniarti, R., Hasyim, H., Hariyadi, H., & Handayani, T, (2019). Penggunaan limbah kaca sebagai filler pada campuran perkerasan aspal panas, *Jurnal Teknik Sipil*, 26(3), 265.
- kementrian pekerja umum direktorat jendral bina marga, (2010). Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal Laston
- Colbert , 1984. Residu minyak bumi, *Jurnal Teknik Sipil*
- SNI 03-2834-2000. Pengertian agregat kasar, bina marga (2018)
- PBI 71 (Peraturan Beton Indonesia), bina marga (2018)
- Rahaditya, 2012. terhadap sifat elastisitas campuran dan sensifisitas campuran, *Jurnal Teknik Sipil*

**L
A
M
P
I
R
A
N**



Lampiran 1. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

AGREGAT KASAR : CHIPPING

NO. CONTOH		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven (gr)	A	2000.0	2590.00	2295.00
Berat contoh kering permukaan (gr)	B	2262.0	2710.00	2486.00
Berat contoh dalam air (gr)	C	1139.00	1557.00	1348.00
Berat jenis bulk (atas dasar kering oven)	A	1.78	2.25	2.01
	B - C			
Berat jenis bulk (atas dasar kering permukaan)	B	2.01	2.35	2.18
	B - C			
Berat jenis semu	A	2.32	2.51	2.42
	A - C			
Penyerapan air	$\frac{B - A}{A} \times 100\%$	13.10	4.63	8.87

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST., MT
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Lampiran 2. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan Air Agregat Pasir

AGREGAT HALUS : PASIR

NO. CONTOH		I	II	Rata-rata	
Berat contoh kering oven	(gr)	A	473.00	490.0	481.50
Berat botol+air sampai batas kalibrasi	(gr)	B	690.00	750.0	720.00
Berat contoh+botol+air sampai batas kalibrasi	(gr)	C	945.00	1075	1010.00
Berat jenis bulk (atas dasar kering oven)		$\frac{A}{B+500-C}$	1.93	2.80	2.37
Berat jenis bulk (atas dasar kering permukaan)		$\frac{500}{B+500-C}$	2.04	2.86	2.45
Berat jenis semu		$\frac{A}{B+A-C}$	2.17	2.97	2.57
Penyerapan air		$\frac{500-A}{A} \times 100\%$	5.71	2.04	3.87

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



Dr. Erdawaty, ST., MT
KOORDINATOR PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Lampiran 3. Pemeriksaan Berat Jenis Dan Penyerapan air Agregat Halus

AGREGAT HALUS : DEBU BATU

NO. CONTOH		I	II	Rata-rata	
Berat contoh kering oven	(gr)	A	485.50	485.50	485.50
Berat botol+air sampai batas kalibrasi	(gr)	B	660.50	664.00	662.25
Berat contoh+botol+air sampai batas kalibrasi	(gr)	C	974.50	976.00	975.25
Berat jenis bulk (atas dasar kering oven)		$\frac{A}{B+500-C}$	2.61	2.58	2.60
Berat jenis bulk (atas dasar kering permukaan)		$\frac{500}{B+500-C}$	2.69	2.66	2.67
Berat jenis semu		$\frac{A}{B+A-C}$	2.83	2.80	2.81
Penyerapan air		$\frac{500-A}{A} \times 100\%$	2.99	2.99	2.99

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

KOORDINATOR
Dr. Erdawaty, ST., MT
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Lampiran 4. Pemeriksaan Keausan Agregat kasar

Gradasi Saringan		No. Sampel			
		I		II	
Lolos	Tertahan	A	B	C	D
		Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)	Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
3/4"	1/2"	2500	3050	2500	3770
1/2"	3/8"	2500		2500	
Jumlah Berat (gram)		5000		5000	
Berat Tertahan Saringan No. 12 (gram)		3050		3770	
Keausan					
$\frac{A - B}{A} \times 100\%$		$\frac{5000 - 3050}{5000} \times 100\% = 39.00\%$		$\frac{5000 - 3770}{5000} \times 100\% = 24.60\%$	
Rata - rata		31.80%			

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Laboratorium Jalan Raya dan Aspal
Jurusan Sipil Fakultas Teknik
Universitas Fajar

Lampiran 5. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

BERAT BAHAN : 1500 GRAM

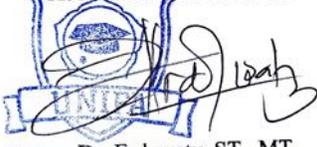
MATERIAL : CHIPPING

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	30.00	30.00	2.00	98.00
1/2"	496.00	526.00	35.07	64.93
3/8"	243.00	769.00	51.27	48.73
4	475.00	1244.00	82.93	17.07
8	256.00	1500.00	100.00	0.00
16	0.00	1500.00	100.00	0.00
30	0.00	1500.00	100.00	0.00
50	0.00	1500.00	100.00	0.00
100	0.00	1500.00	100.00	0.00
200	0.00	1500.00	100.00	0.00
PAN	0.00	1500.00	100.00	0.00

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



KOORDINATOR LABORATORIUM
Dr. Erdawaty, ST., MT
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Lampiran 6. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus

BERAT BAHAN : 1000 GRAM					
MATERIAL : PASIR					
Persen Lolos (%)	No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
98.00	3/4"	0.00	0.00	0.00	100.00
64.93	1/2"	0.00	0.00	0.00	100.00
48.73	3/8"	0.00	0.00	0.00	100.00
17.07	4	0.00	0.00	0.00	100.00
0.00	8	0.00	0.00	0.00	100.00
0.00	16	192.00	192.00	19.20	80.80
0.00	30	161.00	353.00	35.30	64.70
0.00	50	169.00	522.00	52.20	47.80
0.00	100	142.00	664.00	66.40	33.60
0.00	200	182.00	846.00	84.60	15.40
0.00	PAN	154.00	1000.00	100.00	0.00

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium



KOORDINATOR
Dr. Erdawaty, ST., MT
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Laboratorium Jalan Raya dan Aspal
Jurusan Sipil Fakultas Teknik
Universitas Fajar

Lampiran 7. Analisa Nilai Variasi Abu Bata Merah

VARIASI LIMBAH BATA MERAH	BERAT (GRAM)	
	ABU BATA MERAH	ABU BATU
2%	22,38	33,57
4%	44,76	11,19
5%	55,95	0

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

KOORDINATOR Dr. Erdawaty, ST., MT
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Lampiran 8. Analisa Data Pengujian Marshall

Varasi Subtitusi Bottom ash	No. Sampel	Nilai Hasil Pengujian Marshall					
		VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0%	1	3.47	20.95	87.42	1302.00	2.72	478.68
	2	3.35	21.22	81.33	1178.00	4.20	280.48
	3	3.39	22.74	85.02	1209.00	2.70	447.78
Rata-rata		3.4	21.64	84.59	1229.67	3.21	402.31
2.0%	1	3.29	21.89	85.41	1060.20	3.10	342.00
	2	3.13	22.42	81.21	1134.60	3.20	354.56
	3	4.59	21.57	81.9	1091.20	3.12	349.74
Rata-rata		3.67	21.96	82.84	1095.33	3.14	348.77
4.0%	1	3.37	22.26	77.27	868.00	2.10	413.33
	2	3.57	22.81	75.98	824.60	3.50	235.60
	3	6.09	21.75	79.12	849.40	4.60	184.65
Rata-rata		4.34	22.27	77.46	847.33	3.40	277.86
5%	1	4.09	23.88	79.61	812.20	4.80	169.21
	2	4.31	22.54	76.17	793.60	2.10	377.90
	3	5.55	23.32	74.83	775.00	4.78	162.13
Rata-rata		4.98	23.6	76.87	793.60	3.89	236.42

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL



Lampiran 9. Analisa Data Pengujian Cantabro

Variasi Limbah Aspal	No. Sample	Kadar Aspal	Berat Sebelum Pengujian (Mo)	Berat Setelah Pengujian (Mi)	Kehilangan Berat (Mo-Mi)	Rata-Rata Kehilangan Berat	Spesifikasi BINA MARGA
(%)		(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(%)	(%)
0%	1	6.75	1133	1091	42	3.707	Maks.20
	2		1139	1089	50	4.390	
	3		1140	1101	39	3.421	
Rata-Rata			1137	1094	44	3.839	
2%	1	6.75	1129	1088	41	3.632	
	2		1125	1084	41	3.644	
	3		1130	1081	49	4.336	
Rata-Rata			1128	1084	44	3.871	
4.0	1	6.75	1130	1082	48	4.248	
	2		1137	1078	59	5.189	
	3		1135	1085	50	4.405	
Rata-Rata			1134	1082	52	4.614	
0.1	1	6.75	1115	1066	49	4.395	
	2		1120	1061	59	5.268	
	3		1113	1063	50	4.492	
Rata-Rata			1116	1063	53	4.718	

Makassar, 16 Agustus 2023

Mengetahui,

Koordinator Laboratorium

Dr. Erdawaty, ST., MT
KOORDINATOR LABORATORIUM
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

DOKUMENTASI



Penyaringan Abu Bata Merah





Proses memanaskan campuran agregat dan aspal





Proses penumbukan sampel setelah pencampuran





Pengujian Marshall





Setelah pengujian cantabro