

SKRIPSI

**PENGARUH SUBSTITUSI PENGGUNAAN ABU BUNGA PINUS PADA
CAMPURAN ASPAL LASTON AC-WC TERHADAP STABILITAS**

*Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menempuh Ujian Sarjana Pada Program Studi
Teknik Sipil Fakultas Teknik*



Oleh:

FIRZA RISKI AMELIA

20180036

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT
TAHUN 2023**

HALAMAN PENGESAHAN

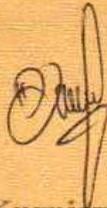
PENGARUH SUBSTITUSI PENGGUNAAN ABU BUNGA PINUS PADA
CAMPURAN ASPAL LASTON AC-WC TERHADAP STABILITAS

Oleh:

FIRZA RISKI AMELIA

NIM.20180036

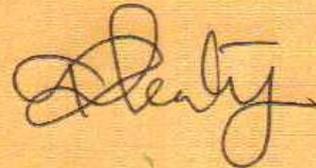
Dosen Pembimbing I



Ir. Deddy Kurniawan, S.T., M.T.

NIDN. 1022018303

Dosen Pembimbing II



Ana Susanti Yusman, S.T., M.Eng

NIDN. 1017016901

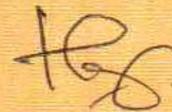
Dekan Fakultas Teknik UM
Sumatera Barat



Dr. Eng. Ir. Masril, S.T., M.T.

NIDN. 1005057407

Ketua Program Studi



Helga Yermadona, S.Pd., M.T.

NIDN. 1013098502

LEMBAR PERSETUJUAN TIM PENGUJI

Skripsi ini telah di pertahankan dan disempurnakan berdasarkan masukan dan koreksi Tim Penguji pada ujian tertutup tanggal 20 Agustus 2024 di Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

Bukitinggi 20 Agustus 2024

Mahasiswa,

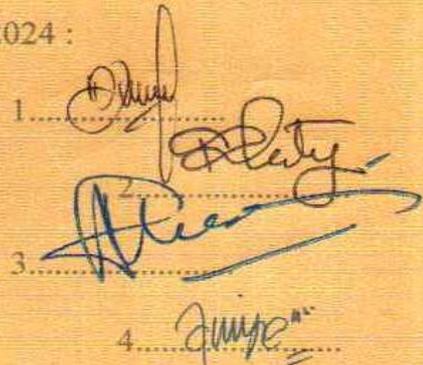
Firza Riski Amelia

NIM. 20180036

Disetujui Tim Penguji Skripsi Tanggal 20 Agustus 2024 :

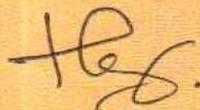
1. Ir. Deddy Kurniawan, S.T.,M.T.
2. Ana Susanti Yusman, S.T., M.Eng
3. Ishak, S.T.,M.T.
4. Asiya Nurhasanah Habirun S.S.T.,M.T.

1.....
2.....
3.....
4.....



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Helga Yermadona, S.Pd.,M.T.

NIDN. 1013098502

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa : Firza Riski Amelia
Tempat Dan Tanggal Lahir : Bukittinggi 08 April 2001
NIM : 20180036
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Penggunaan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Aspal Laston Ac-Wc Terhadap Stabilitas

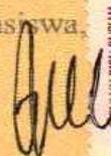
Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan Skripsi ini bedasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan yang tercantum sebagai bagian dari Skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di UM Sumatera Barat

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar tanpa paksaan pihak manapun.

Bukittinggi 20 Agustus 2024

Mahasiswa,



Firza Riski Amelia

NIM. 20180036

ABSTRAK

Pertumbuhan infrastruktur di Indonesia sangat pesat, khususnya di bidang konstruksi jalan, Kerusakan konstruksi jalan di Sumatera Barat menjadai hambatan untuk pertumbuhan ekonomi. Untuk itu, diperlukannya inovasi baru dalam campuran perkerasan jalan, contohnya menambah substitusi filler dan lainnya. Penambahan abu bunga pinus menjadi alternatif yang digunakan sebagai substitusi filler. Bunga pinus untuk penelitian ini diambil dari Taman Margasatwa dan Budaya Kinantan. Peneliti menambah bunga pinus ke campuran aspal AC–WC. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pengujian (Eksperimental) dan dengan Presentase campuran abu bunga pinus pada campuran filler 0%, 15%, 20%, dan 25%. Data yang didapat selama Pengujian diuji menggunakan metode Marshall. Berdasarkan hasil pengujian Marshall, persentase filler paling optimal adalah campuran filler 20% dengan nilai kepadatan 2.29gr/cc, stabilitas 1323,84 kg, flow 3,58mm, VMA 16,72%, VFWA 85,26%, VIM 3,99%, dan MQ 369,64 kg/mm³.

Kata Kunci: Aspal, Marshall, Campuran, Filler Abu bunga Pinus



ABSTRACT

The growth of infrastructure in Indonesia is very rapid, especially in the field of road construction. Damage to road construction in West Sumatra is an obstacle to economic growth. For this reason, new innovations are needed in road pavement mixtures, for example adding filler substitutes and others. The addition of pine flower ash is an alternative used as a filler substitute. Pine flowers for this study were taken from the Kinantan Wildlife and Cultural Park. Researchers added pine flowers to the AC-WC asphalt mixture. The method used in this study is the testing method (Experimental) and with a percentage of pine flower ash mixture in the filler mixture of 0%, 15%, 20%, and 25%. Data obtained during the Test were tested using the Marshall method. Based on the Marshall test results, the most optimal filler percentage is a 20% filler mixture with a density value of 2.29gr/cc, stability of 1323.84 kg, flow of 3.58mm, VMA of 16.72%, VFWA of 85.26%, VIM of 3.99%, and MQ of 369.64 kg/mm³.

Keywords: Asphalt, Marshall, Mixture, Pine Flower Ash Filler



KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT atas segala berkat yang telah diberikan-Nya, sehingga skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi ini merupakan salah satu kewajiban yang harus diselesaikan untuk memenuhi sebagian persyaratan akademik untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Sipil di Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat (UM Sumatera Barat).

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, Skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pengerjaan skripsi ini, yaitu kepada:

1. Orang tua, kakak, dan adik serta seluruh keluarga yang telah memberikan dukungan moril, doa, dan kasih sayang;
2. Bapak Masril ST., MT. selaku Dekan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
3. Ibu Helga Yermadona, S.Pd., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil
4. Bapak Ishak, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Akademik;
5. Bapak Deddy Kurniawan ST., MT selaku Dosen Pembimbing I skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
6. Ibu Ir. Ana Susanti Yusman M.Eng selaku Dosen Pembimbing II skripsi yang telah memberikan bimbingan dan banyak memberikan masukan kepada penulis;
7. Bapak/Ibu Tenaga Kependidikan Fakultas Teknik UM Sumatera Barat;
8. Semua pihak yang namanya tidak dapat disebutkan satu per satu.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa mungkin masih terdapat banyak kekurangan dalam skripsi ini. Oleh karena itu, saran dari pembaca akan sangat bermanfaat bagi

penulis. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya, khususnya mahasiswa teknik sipil.

Bukittinggi, 22 Februari 2024

Penulis



DAFTAR ISI

Halaman

HALAMAN JUDUL

HALAMAN PENGESAHAN

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

ABSTRAK

KATA PENGANTAR..... iii

DAFTAR ISIv

DAFTAR GAMBAR..... vii

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR NOTASI xi

BAB I PENDAHULUAN1

1.1 Latar Belakang.....1

1.2 Rumusan Masalah.....2

1.3 Batasan Masalah2

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian2

1.5 Sistematika Penulisan3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA4

2.1 *Asphalt*4

2.2 Agregat7

2.3 *Filler*10

2.4 Campuran Aspal Laston.....11

2.5	Bunga Pinus	12
2.6	Parameter <i>Marshall</i>	15
2.7	Jurnal Terkait	19
BAB III	METODE PENELITIAN	20
3.1	Lokasi Penelitian	20
3.2	Data Penelitian.....	20
3.3	Metode Penelitian	21
3.4	Bagan Alir Penelitian	28
BAB IV	DATA PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	29
4.1	Hasil Pengujian Material	29
4.2	Penentuan kadar Aspal.....	33
4.3	Data Uji Karakteristik <i>Marshall</i>	37
BAB V	PENUTUP	44
5.1	Kesimpulan	44
5.2	Saran	44

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

No. Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Bunga Pinus	14
Gambar 3.1 Lokasi Laboratorium Unversitas Muhammadiyah	20
Gambar 3.2 <i>Termometer</i>	21
Gambar 3.3 Timbangan	21
Gambar 3.4 Saringan	22
Gambar 3.5 Kompor	22
Gambar 3.6 Spatula.....	22
Gambar 3.7 Wajan.....	23
Gambar 3.8 Cetakan Benda Uji	23
Gambar 3.9 <i>Water Bath</i>	23
Gambar 3.10 Alat Penumbuk.....	24
Gambar 3.11 <i>Los Angeles</i>	24
Gambar 3.12 Alat <i>Marshall</i>	24
Gamabr 3.13 Bagan alir Penelitian.....	28
Gambar 4.1 Grafik Rancangan Aspal dan Gabungan Agregat.....	34
Gambar 4.2 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum	36
Gambar 4.3 Grafik Nilai Stabilitas.....	37
Gambar 4.4 Grafik Nilai Kelelehan	38
Gambar 4.5 Grafik Nilai Kepadatan	39
Gambar 4.6 Grafik Nilai <i>Marshall Quotient</i>	40

Gambar 4.7 Grafik Nilai VMA40

Gambar 4.8 Grafik Nilai VFWA41

Gambar 4.9 Grafik Nilai VIM.....42



DAFTAR TABEL

No. Tabel	Halaman
Tabel 2.1	ketentuan agregat kasar9
Tabel 2.2	Ketentuan Agregat Halus10
Tabel 2.3	Syarat Gradasi untuk <i>Filler</i> 11
Tabel 2.4	Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON).....11
Tabel 2.5	Jurnal yang Terkait dengan Penelitian.....18
Tabel 4.1	Data Pengujian Aspal29
Tabel 4.2	Data Pengujian Abrasi.....33
Tabel 4.3	Data Hasil Penggabungan Agregat.....34
Tabel 4.4	Data Hasil Pengujian Penentuan KAO.....36
Tabel 4.5	Data Rancangan Aspal dan Agregat.....37
Tabel 4.6	Data <i>Filler</i> dan Substitusi Abu Bunga Pinus.....37
Tabel 4.7	Data Hasil Perhitungan <i>Marshall</i>43

DAFTAR NOTASI

AASTHO = American Association Of State Highway and Transportation Officials

AC – Base = Asphalt Concrete Base

AC – BC = Asphalt Concrete Bearing Course

AC - WC = Asphalt Concrete Wearing Course

AC = Asphalt Concrete

ASBUTON = Aspal Batu Buton

Bj = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven

cP = Centipoise

DMF = Design Mix Formula

EVA = Ethylene Vinyle Acetate

Filler = Berupa Abu batu Bahan Perkerasan Yang Lolos Saringan 200

Flow = Pelelehan

Ga = Berat Jenis Aspal

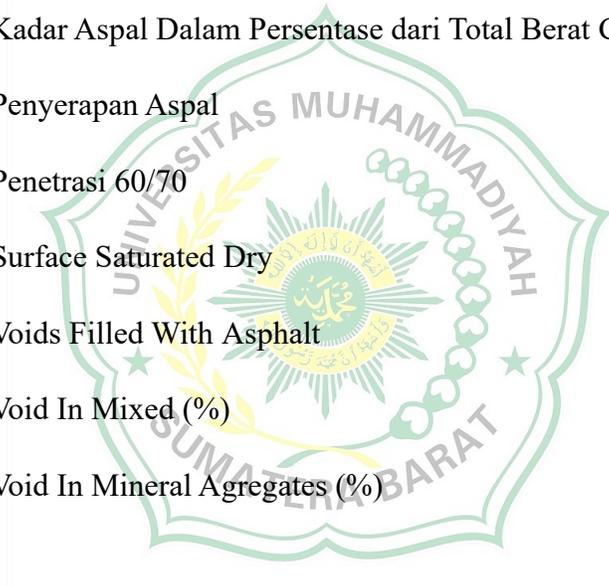
Gsa = Berat Jenis Semu

Gsb = Berat Jenis curah dari total Agregat

Gse = Berat Jenis Efekti

IKS = Indeks Kekuatan Sisa

JMF	= Job Mix Formula
KAO	= Kadar Aspal Optimum
LASTON	= Lapisan Aspal Beton
LPA	= Lapis Pondasi Atas
LPB	= Lapis Pondasi Bawah
LTD	= Lapis Tanah Dasar
MQ	= Marshall Quetiont(kg / mm)
Pb	= Kadar Aspal Dalam Persentase dari Total Berat Campuran
Pba	= Penyerapan Aspal
Pen 60/70	= Penetrasi 60/70
SSD	= Surface Saturated Dry
VFWA	= Voids Filled With Asphalt
VIM	= Void In Mixed (%)
VMA	= Void In Mineral Agregates (%)



BAB 1

BENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Di Indonesia, pertumbuhan infrastruktur sangat pesat, khususnya di bidang konstruksi jalan. Meskipun pembangunan jalan sangat penting untuk pertumbuhan ekonomi, kerusakan yang terjadi di Provinsi Sumatra Barat dapat menghambat pertumbuhan ekonomi. Oleh karena itu, inovasi baru diperlukan untuk mengatasi masalah yang muncul selama pembangunan jalan. (A. Gunarto dan A. Candra).

Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) merupakan lapisan keausan yang bersentuhan langsung dengan kendaraan yang melintas. Perencanaan campuran aspal, seperti perencanaan bahan teknik lainnya, melibatkan meninjau karakteristik material sebelum menggunakannya. Ini biasanya berkaitan dengan bagaimana menggunakan material untuk mendapatkan sifat yang diharapkan.

Pinus adalah salah satu tanaman yang sangat menguntungkan. Tujuh komponen morfologi penyusun tumbuhan pinus: akar, batang, tangkai, daun, bunga, buah, dan biji. Agregat halus dapat dibuat dari sisa tanaman seperti daun dan bunga (Purnama, D.A., Putri, B.A.D., Aliafari, N., Wahyudi, F., & Ananda, D., 2018). Bunga pohon pinus terkadang dibuang demi batang dan daunnya.

Bunga pinus untuk penelitian ini diambil dari Taman Margasatwa dan Budaya Kinantan karena hanya bunga pinus yang diolah menjadi sampah organik di Bukittinggi. Dalam penelitian ini, Untuk penelitian ini, Peneliti menambah bunga pinus ke campuran stabilitas aspal AC–WC. Untuk melakukannya, di bakar didalam kaleng bekas.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut rumusan masalah penelitian:

1. Bagaimana kestabilan campuran aspal AC-WC dipengaruhi oleh campuran bahan pengisi abu bunga pinus?
2. Berapa proporsi abu bunga pinus yang harus ditambahkan ke dalam campuran aspal AC-WC?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa masalah dalam penelitian penulis dibatasi agar tidak terlalu luas; berikut adalah batasan masalah tersebut:

1. Tipe lapisan yang digunakan untuk permukaan tanah adalah lapisan aspal AC-WC.
2. Bahan penelitian utama adalah aspal beton pen 60/70.
3. Abu bunga pinus yang dibakar dan lolos saringan no. 200 (0,074 mm) digunakan sebagai penambah dalam penelitian ini.
4. Campuran pengganti digunakan untuk membuat bahan tes penelitian ini, dengan persentase 0 (nol), 15 (lima belas), 20 (dua puluh), dan 25 (dua puluh lima) persen.
5. Investigasi stabilitas kombinasi aspal AC-WC, yang menggunakan abu bunga pinus sebagai bahan pengisi (*filler*), untuk menunjukkan adanya masalah.
6. SNI 06-2484-1991 digunakan dalam teknik pengujian Marshall.
7. Metode campuran aspal basah digunakan untuk melakukan pengujian.
8. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui pengaruh abu bunga pinus sebagai filler terhadap stabilitas campuran aspal AC-WC;
2. Menganalisis presentase campuran filler dari abu bunga pinus mana yang paling cocok untuk campuran aspal AC-WC;

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk meningkatkan pengetahuan kita tentang cara menambah abu bunga pinus sebagai *filler* untuk meningkatkan stabilitas campuran aspal AC-WC.

1.5 Sistematika Penulisan

Bab I Bendahuluan

Latar belakang, tujuan, keuntungan, dan manfaat penelitian dibahas dalam bab ini. Ini juga membahas rumusan masalah, kendala, dan alasan penelitian.

Bab II Tinjauan Pustaka

Tinjauan pustaka membantu peneliti memahami batas-batas penelitian dan memberikan petunjuk untuk menentukan apa yang relevan dan tidak relevan untuk dipelajari dalam penelitian mereka. Tinjauan pustaka juga membantu mereka memahami asumsi dasar dan batas penelitian.

Bab III Metodologi Penelitian

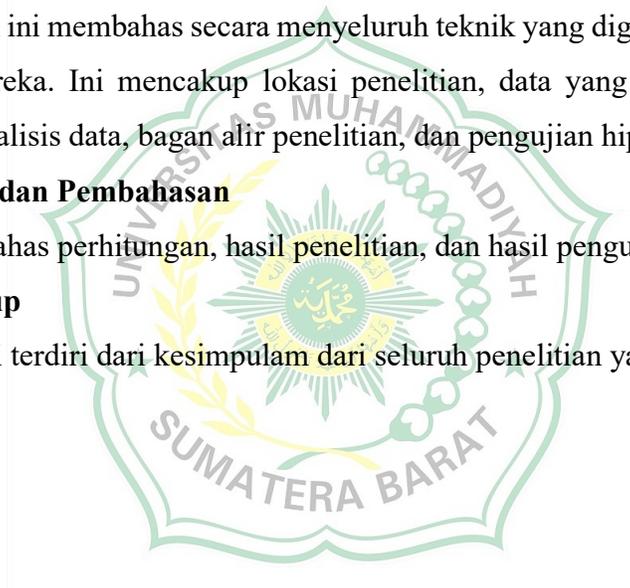
Bagian ini membahas secara menyeluruh teknik yang digunakan peneliti dalam penelitian mereka. Ini mencakup lokasi penelitian, data yang dikumpulkan, teknik untuk menganalisis data, bagan alir penelitian, dan pengujian hipotesis.

Bab IV Hasil dan Pembahasan

Membahas perhitungan, hasil penelitian, dan hasil pengujian hipotesis.

Bab V Penutup

Bab ini terdiri dari kesimpulan dari seluruh penelitian yang telah dilakukan.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Asphalt*

Aspal atau juga disebut bitumen sebagai bahan pengikat adalah senyawa campuran hidrokarbon berwarna hitam pekat atau coklat gelap yang tersusun dari unsur “*asphaltenes*”, “*resins*” dan “*oils*”. *Asphaltenes* merupakan bagian yang memiliki berat jenis terbesar, *resins* mempunyai berat jenis sedang dan *oils* mempunyai berat jenis paling kecil. Aspal pada lapis keras jalan memiliki fungsi sebagai bahan ikat antar agregat untuk membentuk suatu campuran kompak, sehingga akan memberikan kekuatan yang lebih besar dari pada kekuatan masing-masing agregat. Aspal keras atau aspal semen (AC) adalah aspal yang dibuat dengan kekentalan dan kualitas khusus (Kerbs And Walker, 1971)

Aspal berfungsi sebagai campuran bahan pengikat agregat, karena memiliki daya rekat yang kuat, mempunyai sifat adhesive, kedap air dan mudah dikerjakan. Aspal adalah bahan yang kelenturannya mudah diawasi untuk campuran agregat, aspal juga tahan terhadap asam, alkali dan garam. Aspal pada suhu ruang berbentuk pada sampai agak padat, jika dipanaskan sampai temperatur tertentu aspal dapat menjadi lunak atau cair, sehingga dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan beton aspal. Dan jika temperatur mulai diturunkan aspal mulai mengeras dan mengikat agregat (sifat termoplastis).

Secara garis besar komposisi aspal :

- Carbon :82-88%
- Hydrogen :8-11%
- Sulfur :0-16%
- Nitrogen :0-1%
- Oksigen :0-1,5%

Asphalt yang digunakan untuk materil jalan terdiri dari beberapa jenis, berdasarkan asalnya yaitu :

1. *Asphalt* Alam

Aspal alam yang diperoleh digunung-gunung seperti aspal pulau Buton dan ada pula yang dari danau *La Brea Pitch* seperti di Trinidad yang disebut juga *Trinidad Lake Asphalt*. Indonesian juga memiliki aspal alam yaitu di pulau Buton, dikenal dengan Asbuton (Aspal Batu Buton). Asbuton adalah campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena asbuton adalah material yang ditemukan secara tidak sengaja, maka kadar bitumen yang dikandung sangat bervariasi macamnya dari rendah samapi tinggi. Agar masalah ini teratasi asbuton mulai diolah dalam berbagai bentuk dipabrik produksi asbuton. Produk asbuton dibagi menjadi dua kelompok, yaitu:

- Produk asbuton yang masih mengandung material filler, seperti asbuton kasar, asbuton halus, asbuton mikro, dan butonite mastic asphalt.
- Produk asbuton yang telah dimurnikan menjadi aspal murni melalui proses ekstraksi atau proses kimiawi.

2. Aspal Minyak

Aspal minyak merupakan aspal dari residu destilasi minyak bumi, setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang mengandung parafin atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran aspal dan parafin. Residu aspal berbentuk padat, tetapi residu ini dengan proses pengolahan lebih lanjut dapat berbentuk cair atau emulsi pada suhu ruang. Jadi pada suhu ruang, aspal dibedakan atas:

a. Aspal Padat

Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*), yang harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat. Terdapat beberapa persyaratan aspal keras antara lain:

- Berasal dari hasil minyak bumi.
- Mempunyai sifat jenis
- Kadar parafin tidak melebihi 7%
- Tidak mengandung air dan tidak berbusa jika dipanaskan sampai 175°C

b. Aspal Cair (*Cutback asphalt*)

Aspal cair yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Menurut laboratorium bahan jurusan sipil universitas indonesia (2009) terdapat beberapa persyaratan aspal cair, antara lain:

- Kadar parafin tidak lebih dari 2%
- Tidak mengandung air dan jika dipakai tidak menunjukkan pemisahan maupun penggumpalan

Aspal cair juga dibedakan berdasarkan pengencerannya, antara lain:

- Bila ditambah benzene dinamakan *Rapid Curing* (RC)
- Bila ditambahkan Kerosene dinamakan *Medium Curing* (MC)
- Bila ditambahkan minyak berat diberi nama *Slow Curing* (SC)

c. Aspal Emulsi (*Emulsified Asphalt*)

Aspal emulsi adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair dari pada aspal cair. Didalam aspal emulsi, butir-butir aspal larut dalam air. Aspal emulsi dibedakan dalam beberapa jenis antara lain :

- Emulsi Cathionic, terdiri dari aspal keras, air, dan larutan basa sehingga akan bermuatan positif (+)
- Emulsi Anionic, terdiri dari aspal keras, air, dan larutan aspal sehingga akan bermuatan negatif (-)

3. Aspal Modifikasi

Aspal modifikasi dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah. Polymer adalah jenis bahan tambah yang sering digunakan saat ini, sehingga

aspal modifikasi sering disebut juga aspal polymer. Antara lain berdasarkan sifatnya, ada dua jenis bahan polymer yang biasanya digunakan untuk tujuan ini, yaitu:

a. Aspal Polymer Elastomer dan karet

Aspal polymer adalah jenis-jenis polyer elastomer yang SBS (*Styrene Butadine Sterene*), SBR (*Styrene Butadine Rubber*), SIS (*Styrene Isoprene Styrene*), dan karet adalah jenis polymer elastoner yang biasanya digunakan sebagai bahan pencampur aspal keras. Penambahan polymer jenis ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat rheologi aspal, antara lain penetrasi, kekentalan, titik lembek, dan elastisitas aspal keras. Campuran beraspal yang dibuat dengan aspal polymer elastomer akan memiliki tingkat elastisitas yang lebih tinggi dari campuran beraspal yang dibuat dengan aspal keras. Presentase penambahan bahan tambah (*additive*) pada pembuatan aspal polymer harus ditentukan berdasarkan pengujian labolatorium, karena penambahan bahan tambah sampai dengan batas tertentu memang dapat memperbaiki sifat-sifat rheologi aspal dan campuran tetapi penambahan yang berlebihan justru akan memberikan pengaruh yang negatif.

b. Aspal Polymer Plastomer

aspal polymer elastomer, penambahan bahan polymer plastomer pada aspal keras juga dimaksudkan untuk meningkatkan sifat rheologi baik pada aspal keras dan sifat fisik campuran beraspal. Jenis polymer plastomer yang telah banyak digunakan antara lain adalah EVA (*Ethylene Vinyle Acetate*), 8 Polypropilane, dan Polyethylene. Presentase penambahan polymer ini kedalam aspal keras juga harus ditentukan berdasarkan pengujian labolatorium, karena penambahan bahan tambah sampai dengan batas tertentu penambahan ini dapat memperbaiki sifat-sifat rheologi aspal dan campuran tetapi penambahan yang berlebihan justru akan memberikan pengaruh yang negatif.

2.2 Agregat

Agregat merupakan butir-butir batu pecag, pasir, atau mineral lainnya baik dari alam maupun hasil dari pengolahan (penyaringan, pemecahan) yang digunakan sebagai

penyusun utama perkerasan jalan. Pemilihan jenis agregat yang dipakai untuk konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya adalah tekstur permukaan, porositas, kelekatan terhadap aspal dan kebersihan (Widodo, 1996).

Agregat bentuk pecah akan memiliki gaya gesek dalam (*internal friction*) yang tinggi dan saling mengunci (*interlock*) sehingga menambah kestabilan konstruksi lapis keras. Untuk menghasilkan stabilitas yang tinggi disyaratkan bahwa minimum 40 % dari agregat tertahan saringan no.4 mempunyai paling sedikit satu bidang pecah (Widodo, 1996). Agregat sendiri terbagi menjadi dua yaitu agregat kasar dan agregat halus.

2.2.1 Agregat Kasar

Agregat kasar sendiri agregat yang tertahan pada saringan no.08 (2,36) dan agregat kasar sendiri berfungsi dalam campuran panas aspal adalah selain memberikan stabilitas dalam campuran juga sebagai pengisi sehingga campuran menjadi ekonomis. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan yang cukup terhadap abrasi, terutama untuk penggunaan agregat sebagai lapis permukaan perkerasan, selain itu agregat harus bersih dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat kasar harus awet, mempunyai kekekalan bentuk dan mempunyai muka bidang pecah (*angularitas*) yang cukup untuk memberikan daya dukung/stabilitas kepada campuran beraspal. (Widodo, 1996).

Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari bahan lainnya yang mengganggu serta memenuhi persyaratan yaitu:

- Keausan pada 500 putaran maksimum 40%
- Kelekatan dengan aspal minimum 95%
- Jumlah berat butiran tertahan saringan no.4 yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah (*visual*) minimum 50% (untuk kerikil pecah)
- Indeks kepipihan /kelonjongan butiran tertahan 9,5 mm atau 3/8 maksimum 25%
- Penyerapan air maksimum 3%

- Berat jenis curah (*bulk*) minimum 2,5
- Bagian lunak maksimum 5%

Tabel 2.1 ketentuan agregat kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekealan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	Maks. 12%
		Magnesium sulfat	Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modivikasi	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439-2011	Min. 95 %
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619-2012	95 / 90
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D491 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Material lolos ayakan No. 200		SNI 03-4142-1996	Maks. 2%

Sumber : Bina Marga, 2018 Revisi I

2.2.2 Agregat Halus

Agregat didefinisikan sebagai material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah, dan kerak tungku besi yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk mortar atau beton semen hidrolis atau adukan. Agregat halus disebut pasir, baik berupa pasir alami yang diperoleh langsung dari sungai atau tanah galian, atau dari hasil pemecahan batu. Agregat yang butir-butirnya lebih kecil dari 1,2 mm disebut pasir halus, sedangkan butir-butir yang lebih kecil dari 0,075 mm disebut silt, dan yang lebih kecil dari 0,002 mm disebut *clay*. (Bintoro, 2018).

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran 5 mm (RSNI, 2002). Agregat halus harus bersih dari bahan yang berbidang kasar, berujung tajam dan bersih dari kotoran atau bahan lainnya yang mengganggu, untuk itu agregat halus harus memenuhi syarat antara lain:

- Nilai *sand equivalent* minimum 50%
- Berat jenis curah (*bulk*) minimum 2,5%
- Peresapan agregat terhadap air maksimum 3%
- Pemeriksaan *Atterberg Limit* harus menunjukkan bahan non plastis

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50% untuk SS, HRS dan AC bergradasi Halus Min. 70% untuk AC bergradasi kasar
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks. 1%
Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	AASHTO TP-33	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan >10 cm)	atau ASTM C1252-93	Min. 40

Sumber : Bina Marga ,2018 Revisi I

2.3 Filler

Filler atau yang disebut juga bahan pengisi adalah agregat yang dalam analisis gradasi yang lolos saringan No. 200 (diameter 0.0075mm), yang terdiri dari debu batu, kapur padam dan semen portland, atau bahan non plastis lainnya. *Filler* harus dalam keadaan kering dan terhindar dari bahan yang mennganggu. Bahan pengisi dalam penelitian ini menggunakan abu bunga pinus. Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk bambu. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastis dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan lolos ayakan no.200. Fungsi bahan pengisi dalam campuran yaitu:

1. Sebagai pengisi antara agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan tahan gesek juga pengucian terhadap butiran yang tinggi, untuk meningkatkan stabilitas campuran.

2. Bahan pengisi akan menjadi suspensi, sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan laston mengikat partikel agregat. Dengan penambahan bahan pengisi, laston menjadi lebih kental, dan campuran agregat laston menjadi bertambah kekuatannya.

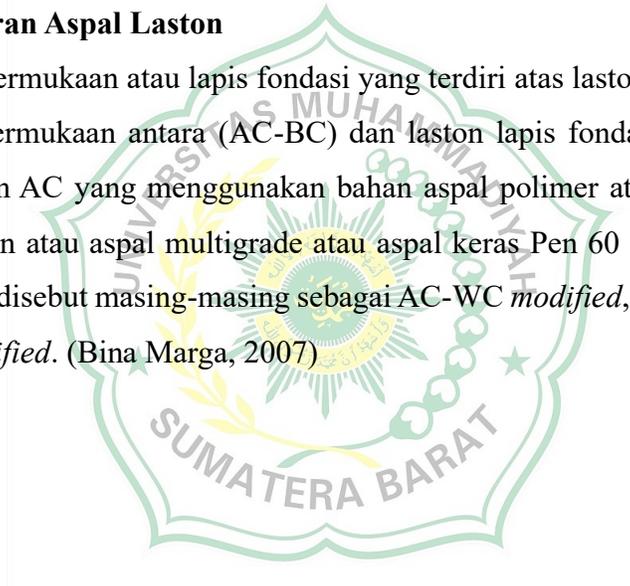
Tabel 2.3 Syarat Gradasi untuk *Filler*

Ukuran Saringan	Persen Lolos
No. 30	100
No. 50	95-100
No. 100	90-100
No. 200	65-100

Sumber : Laboratorium Teknik Sipil UM Sumbar (2022)

2.4 Campuran Aspal Laston

Laston lapis permukaan atau lapis fondasi yang terdiri atas laston lapis aus (AC-WC), laston lapis permukaan antara (AC-BC) dan laston lapis fondasi (AC-Base). Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan aspal polimer atau aspal dimodifikasi dengan asbuton atau aspal multigrade atau aspal keras Pen 60 dengan menggunakan Asbuton butir disebut masing-masing sebagai AC-WC *modified*, AC-BC *modified*, dan AC-Base *modified*. (Bina Marga, 2007)



Tabel 2.4 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)

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 perBidang		75				112	
Rongga dalam Campuran (VMA)(%)	Min.	3,0					
	Maks.				5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15		14		13	
Rongga Terisi Aspal (VFB) (%)	Min.	65		65		65	
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800				1800	
Pelelehan (<i>FLOW</i>) (mm)	Min.	2,0				3	
	Maks.	4,0				6	
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)		250				300	
Stabilitas Marshall sisa setelah Perendaman 24 jam 60°C(%)	Min.	90					
Rongga dalam Campuran pada Kepadatan Membal (%)	Min.	2					

Sumber : Bina Marga , 2018 Revisi I

2.5 Bunga Pinus

Pinus merkusii Jungh et de Vriese merupakan jenis primadona (60%) yang ditanam dalam Program Penyelamatan Hutan, Tanah dan Air khususnya kegiatan reboisasi dan penghijauan oleh pemerintah melalui Kementerian Kehutanan yang telah dilaksanakan sejak era tahun 60-an (PELITA I,1969). Pemilihan jenis pinus tersebut disebabkan oleh beberapa faktor yaitu: tersedianya benih cukup banyak, laju pertumbuhannya cepat bahkan dapat menjadi jenis pionir dan dapat tumbuh pada lahan-lahan yang marginal (Mangundikoro, 1983; Alrasjid et al., 1983). Penanaman Pinus secara luas tidak menjadi penyesalan karena hasil dari kegiatan baik reboisasi maupun penghijauan tersebut tergolong sukses membentuk tegakan pinus yang banyak menambah devisa negara dan meningkatkan kondisi ekonomi masyarakat baik di Pulau Jawa maupun di luar Pulau Jawa sampai sekarang.

Pinus yang tumbuh asli di Sumatera terbagi menjadi tiga galur, yaitu: Aceh, Kerinci, dan Tapanuli. Pinus Sumatera ini pertama kali ditemukan oleh seorang ahli

botani Jerman di daerah Sipirok di Tapanuli Selatan pada tahun 1841 (Siregar, 2005), sering disebut sebagai pohon 'tusam' dalam bahasa Indonesia. Dari ketiga galur yang ada di Sumatera, galur Aceh dikenal sebagai populasi terbesar di antara ketiganya dan tumbuh secara alami dan umumnya di dataran tinggi atau lebih dari 1.000 (mdpl) (Orwa et al. 2009)

Di Indonesia puncak pembuahan pinus pada bulan Mei sampai bulan Juli, bervariasi menurut pohon maupun antar tegakan. Pohon mulai menghasilkan benih setelah umur 10-15 tahun. Benih disebarkan oleh angin. Pinus merkusii tersebar di Asia Tenggara antara lain Burma, Thailand, Vietnam, Laos, Kamboja dan Filipina (Harahap dan Izudin, 2002). Pinus merkusii atau tusam merupakan satu-satunya jenis pinus asli Indonesia.

Tanaman pinus adalah bunga berkelamin tunggal (*unisexualis*), bunga pinus terbagi dua yaitu bunga jantan dan bunga betina. Bunga jantan berbentuk silinder dengan panjang 2-4 cm, jika bunga betina memiliki bentuk kerucut dengan ujung yang runcing, mempunyai sisik, berwarna cokelat, dan setiap bakal biji terdapat sayap, serta terletak disepertiga bagian atas tajuk di ujung dahan. Bunga pinus pada umumnya berwarna kuning saat muda dan cokelat saat tua (Sondakh, 2022).

Curah hujan tahunan rata-rata 3.800 mm di Filipina dan 1.000 sampai 1.200 mm di Thailand dan Myanmar. Di tegakan alam Sumatera (Aceh, Tapanuli dan Kerinci), tidak satu bulan pun curah hujan kurang dari 50 mm, artinya tidak ada bulan kering. Suhu tahunan rata-rata 19-28° C. Adapun klasifikasinya mulai dari kingdom hingga spesies, yaitu:

- 1) Kingdom : *Plantae* (Tumbuhan)
- 2) Subkingdom : *Tracheobionta* (Tumbuhan berpembuluh)
- 3) Divisi : *Spermatophyta* (Menghasilkan biji)
- 4) Subdivisi : *Gymnospermae*
- 5) Kelas : *Coniferinae*
- 6) Subkelas : *Dilleniidae*
- 7) Ordo : *Coniferales*
- 8) Famili : *Pinaceae*

9) Genus : *Pinus*

10) Species : *Pinus merkusii* Jungh dan De Vriese

Pohon pinus banyak memiliki manfaat dibidang konstruksi ringan kayunya digunakan mebel, pulp, korek api dan sumpit Hasil non kayu berupa getah (*resin*) yang menghasilkan produk gondorukem dan terpentin yang bernilai jual tinggi. Pohon pinus yang sudah tua, dapat menghasilkan buah antara 200-300 buah, resin murni antara 20-40 kg dan terpening antara 7-14 kg per tahun. Selain itu tanaman pinus sangat cocok untuk rehabilitasi lahan kritis, tahan kebakaran dan dibudidayakan di tanah yang tidak subur (Hidayat dan Hansen, 2001). Bagian kulitnya dapat dijadikan sebagai bahan bakar. Bunga pinus mengandung karbon dan lignin dan abu bunga pinus mengandung kalsium karbonat dan berfungsi sebagai perekat (*tobermorite*) yang ketika bereaksi dengan semen akan semakin merekatkan butir-butir agregat sehingga terbentuk massa yang kompak dan padat (Nurwati,2006). Dengan demikian abu bunga pinus potensial digunakan sebagai bahan penambah semen secara substitusi. Bunga pinus yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari taman margasatwa dan budaya Kinantan Kota Bukittinggi.



Gambar 2.1 Bunga Pinus
Sumber :5 november 2023, 14:44

2.6 Parameter marshall

2.6.1 Stabilitas

Pemeriksaan Stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, dan *Flow* meter mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban. Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis atau dengan arti lain yaitu kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*). (Sukirman 2003)

Nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dengan rumus (1) di bawah ini:

$$S = p \times q \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = angka koreksi benda uji

2.6.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan plastis (*Flow*) menyatakan besar deformasi lapisan perkerasan akibat beban lalulintas. Suatu campuran dengan *Flow* yang tinggi, melampaui batas maksimum maka campuran cenderung menjadi plastis, sehingga mudah berubah bentuk jika terlalu banyak menerima beban. Sebaliknya bila nilai *Flow* yang rendah, maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika beban melampaui daya dukungnya. Besarnya nilai *Flow* diakibatkan oleh bertambahnya nilai kadar aspal, semakin tinggi kadar aspal semakin tinggi pula nilai *Flow*. (Sukirman, 2003:102).

2.6.3 *Void In The Mix* (VITM)

VITM adalah persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Nilai VITM akan semakin kecil apabila kadar kadar aspal semakin besar. VITM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak. Nilai VITM dihitung dengan rumus (2) – (5) di bawah ini :

$$VIM = (100 - i - j) \dots\dots\dots(2)$$

$$b = \frac{aa}{100+a} \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

$$i = \frac{b \times g}{Bj \text{ agregat}} \dots\dots\dots(4)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{Bj \text{ agregat}} \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan :

A = Persentase aspal terhadap batuan

b = Persentase aspal terhadap campuran

g = Persen rongga terisi aspal

i dan j = rumus substitusi

2.6.4 Void In The Mineral Aggregate (VMA)

Menurut Sukirman (2003) rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis bulk (Gsb) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan.

Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kekedenan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan nilai stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai VMA yang disyaratkan adalah 14%.

2.6.5 Void Filled With Asphalt (VFWA)

Void Filled With Asphalt (VFWA) adalah prosentase rongga campuran yang terisi aspal yang terdapat di antara pertikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal. Hasil pengujian VFWA pada aspal AC-WC dengan penggunaan Abu Bunga Pinus sebagai bahan pengganti filler secara umum memperlihatkan peningkatan dan penurunan pada nilai VFWA.

2.6.6 Marshall Quotient

Marshall Quotient adalah 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 nilai stabilitas dan *Flow*. Nilai *Marshall Quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm. Nilai *Marshall Quotient* di bawah 250 kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami *washboarding*, *rutting* dan *bleeding*, sedangkan nilai *Marshall Quotient* yang tinggi mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan mudah mengalami retak. Nilai dari *Marshall Quotient* (MQ) diperoleh dengan rumus (6) di bawah ini :

$$MQ = S / F \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :

S = Nilai stabilitas

F = Nilai *Flow*

MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

Setelah dilakukan analisis dari pengujian *Marshall*, dan didapat nilai-nilai karakteristik *Marshall*, dibuat grafik hubungan antara kadar aspal terhadap nilai karakteristik tersebut. Berdasarkan grafik dan perbandingan terhadap spesifikasi yang diisyaratkan oleh Bina Marga, ditentukan kadar aspal optimum campuran.

Rancangan campuran berdasarkan Metode *Marshall* ditemukan oleh *Bruce Marshall*, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245- 90. Prinsip dasar Metode *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*Flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (5000 lbs) dan *Flow* meter. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *Flow* meter untuk mengukur kelelahan plastis atau *Flow*. Benda uji *Marshall* berbentuk silinder berdiameter 4 *inchi* (10,2 cm) dan tinggi 2,5 *inchi* (6,35 cm). Prosedur

pengujian *Marshall* mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559- 76. Secara garis besar pengujian *Marshall* meliputi: persiapan benda uji, 16 penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *Flow*, dan perhitungan sifat *volumetric* benda uji.

Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

- 1) Jumlah benda uji yang disiapkan.
- 2) Persiapan agregat yang akan digunakan.
- 3) Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
- 4) Persiapan campuran aspal beton.
- 5) Pemadatan benda uji.
- 6) Persiapan untuk pengujian Marshall.

Jumlah benda uji yang disiapkan ditentukan dari tujuan dilakukannya uji Marshall tersebut. AASHTO menetapkan minimal 3 buah benda uji untuk setiap kadar filler abu bunga pinus yang digunakan. Agregat yang akan digunakan dalam campuran dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105-110°C.



2.7 Jurnal Terkait

Tabel 2.5 Jurnal yang Terkait dengan Penelitian

No.	Nama Pengarang	Tahun	Kesimpulan
1	1. Illiyyuna Diazshafa Marwatia 2. Nia Indriaa 3. Lulusi 4. Alfi Salmannur	2021	pada nilai durabilitas juga didapatkan nilai tertinggi pada metode pencampuran kering dengan nilai sebesar 91,55%, sedangkan untuk metode pencampuran basah didapatkan nilai sebesar 90,87%. Kedua nilai tersebut menunjukkan bahwa campuran beraspal memiliki nilai keawetan dengan syarat $\geq 90\%$.
2.	Askar Al-Fatah Rochman	2023	1. Nilai stabilitas pada benda uji semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar filler abu bunga pinus dengan nilai stabilitas tertinggi pada campuran filler 8% yaitu 1812.55 kg. Sebaliknya nilai Flow mengalami penurunan dengan bertambahnya kadar abu bunga pinus yang menyebabkan benda uji memiliki kepadatan yang lebih tinggi, nilai Flow terendah pada campuran filler 0% yaitu 2.72%. Namun nilai stabilitas dan Flow dari benda uji masih berada dalam batas spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 1.
3.	Sally Patricia Sondakh	2022	1. Nilai Stabilitas pada variasi semakin menurun seiring bertambahnya kadar abu bunga pinus juga disertai dengan lama perendaman. Sebaliknya, Nilai Flow mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar abu bunga pinus yang mengurangi fungsi aspal. Namun dari semua perlakuan masih dalam nilainya dalam batas-batas spesifikasi Binamarga 2018.

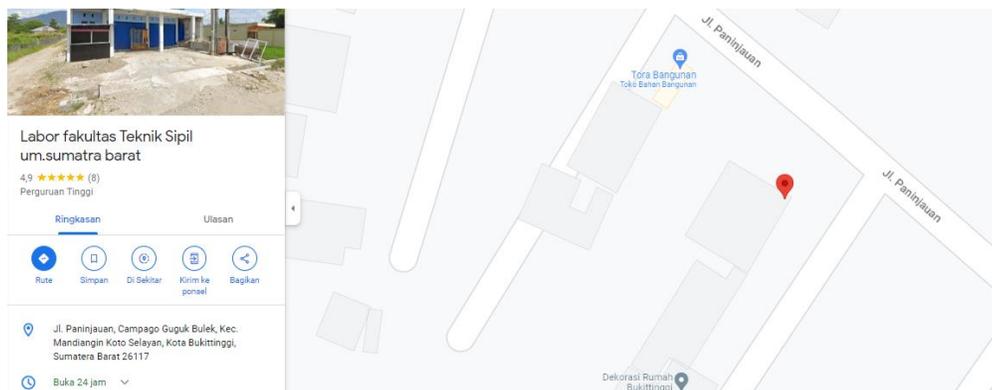
Sumber : Illiyyuna Diazshafa Marwatia,Nia Indriaa ,Lulusi,Alfi Salmannur (2021)/ Askar Al-Fatah Rochman(2023)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di laboratorium Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat. Berlokasi di Jalan Paninjauan, Campago Guguk Bulek, Desa Mandiangin Koto Selayan, Kota Bukittinggi, Provinsi Sumatera Barat.



Gambar 3.1 Lokasi Laboratorium Universitas Muhammadiyah
Sumber : google maps (14 november 2023,/15:49)

3.2 Data Penelitian

3.2.1 Jenis dan Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari uji laboratorium yang akan dilakukan di laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat.

3.2.2 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan yaitu pencarian, penyidikan, percobaan dan pengujian secara ilmiah, dan juga mendokumentasikan kegiatan pengujian, membaca jurnal, buku dan *website* yang berkaitan dengan pengujian. Penelitian yang dilakukan menggunakan abu bunga pinus sebagai tambahan secara substitusi dalam *filler* yang telah disaring menggunakan saringan no. 200. bunga pinus diambil dari daerah sekitar taman margasatwa dan budaya Kinantan atau disebut juga Benteng. Kemudian dibakar menggunakan minyak tanah dan dilakukan penyaringan.

3.3 Metode Penelitian

Penelitian dilakukan dengan campuran Laston dengan aspal pen 60/70. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental dengan menggunakan alat *marshall*, dan penelitian dimulai dengan mengumpulkan data tentang bahan dan material yang digunakan serta melakukan pengujian di Laboratorium.

3.3.1 Alat

Dalam penelitian ini, alat yang digunakan adalah

1. *Termometer*



Gambar 3.2 *Termometer*
Sumber : google (14 november 2023,/15:49)

2. Timbangan



Gambar 3.3 Timbangan
Sumber : google (14 november 2023,/15:49)

3. Saringan



Gambar 3.4 Saringan
Sumber : Dokumentasi Lapangan

4. Kompor



Gambar 3.5 Kompor
Sumber : google (14 november 2023,/15:49)

5. Spatula



Gambar 3.6 Spatula
Sumber : google (14 november 2023,/15:49)

6. Wajan



Gambar 3.7 Wajan
Sumber : Dokumentasi Lapangan

7. Cetakan benda uji



Gambar 3.8 Cetakan Benda Uji
Sumber : Dokumentasi Lapangan

8. *Water bath*



Gambar 3.9 *Water Bath*
Sumber : google (14 november 2023,/15:49)

9. Alat penumbuk



Gambar 3.10 Alat Penumbuk
Sumber : google (14 november 2023,/15:49)

10. *Los angeles*



Gambar 3.11 *Los Angeles*
Sumber : Dokumentasi Lapangan

11. Alat *marshall*



Gambar 3.12 Alat *Marshall*
Sumber : Dokumentasi Lapangan

3.3.2 Bahan

Bahan pengujian yang digunakan adalah :

1. Aspal pen 60/70
2. Abu bunga pinus
3. Pasir
4. Kerikil
5. *Split*
6. Semen
7. Air

3.3.3 Langkah –Langkah Pembuatan Benda uji

1. Pembuatan *filler* abu bunga Pinus

Dalam proses ini, bunga pinus yang telah dikumpulkan akan dimasukkan kedalam wajan dan akan dibakar menggunakan minyak tanah hingga menjadi abu. Setelah itu abu bunga pinus disaring menggunakan ayakan no.200.

2. Pengujian analisis saringan agregat kasar dan agregat halus.

Pengujian dilakukan untuk menentukan butiran yang bagi dalam agregat kasar dan agregat halus

3. Pengukuran berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Analisis ini bertujuan untuk memahami hal-hal sebagai berikut: berat jenis curah, berat jenis permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis tampak, dan perbandingan air yang terserap terhadap berat agregat kasar.

4. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus

Tujuan analisis ini adalah untuk mengetahui serapan agregat halus, berat jenis semu, berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), dan berat jenis curah.

5. Pemeriksaan abrasi

Dengan membandingkan berat bahan aus yang melewati saringan no. 12 (1,7 mm) dengan berat asli dalam persen, tujuan pemeriksaan adalah untuk memastikan tingkat keausan yang terlihat.

6. Pemeriksaan kadar lumpur agregat kasar dan Agregat halus

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kandungan lumpur/lempung dalam agregat

7. Pemeriksaan berat jenis aspal

Percobaan piknometer ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis aspal. Hal ini dapat dipastikan dengan membandingkan berat aspal dan air suling pada suhu dan konsentrasi tertentu. Lakukan percobaan data dengan desain campuran aspal Laston.

8. Setelah itu timbang agregat sesuai dengan berat yang dibutuhkan.

9. Campurkan semua bahan dan panaskan sampai suhu 160°C

10. Lakukan pengadukan sampai campuran aspal berada disuhu homogen.

11. Siapkan cetakan benda uji dan alat penumbuk yang telas dialas menggunakan kertas agar mencegah lengketnya benda uji.

12. Campuran aspal yang telah mencapai suhu homogen aduk untuk menurunkan suhu hingga mencapai suhu 130°C

13. Setelah itu tuang campuran aspal kedalam cetakaan.

14. Lakukan pemadatan aspal sebanyak 75 kali tumbukan dibagian tengah dan disamping.

15. Setelah pemadatan selesai, tunggu hingga campuran aspal mencapai suhu tubuh.

16. Keluarkan campuran atau disebut juga benda uji dari dalam cetakan

17. Lakukan pencatatan data yaitu menimbang berat, ukur diameter, dan beri tanda.

18. Rendam benda uji selama 24 jam

19. Keluarkan benda uji, lakukan penimbangan ssd dan timbang benda uji menggunakan timbangan air.

20. Rendamlah benda uji pada suhu 60°C

3.3.4 Pengujian *Marshall*

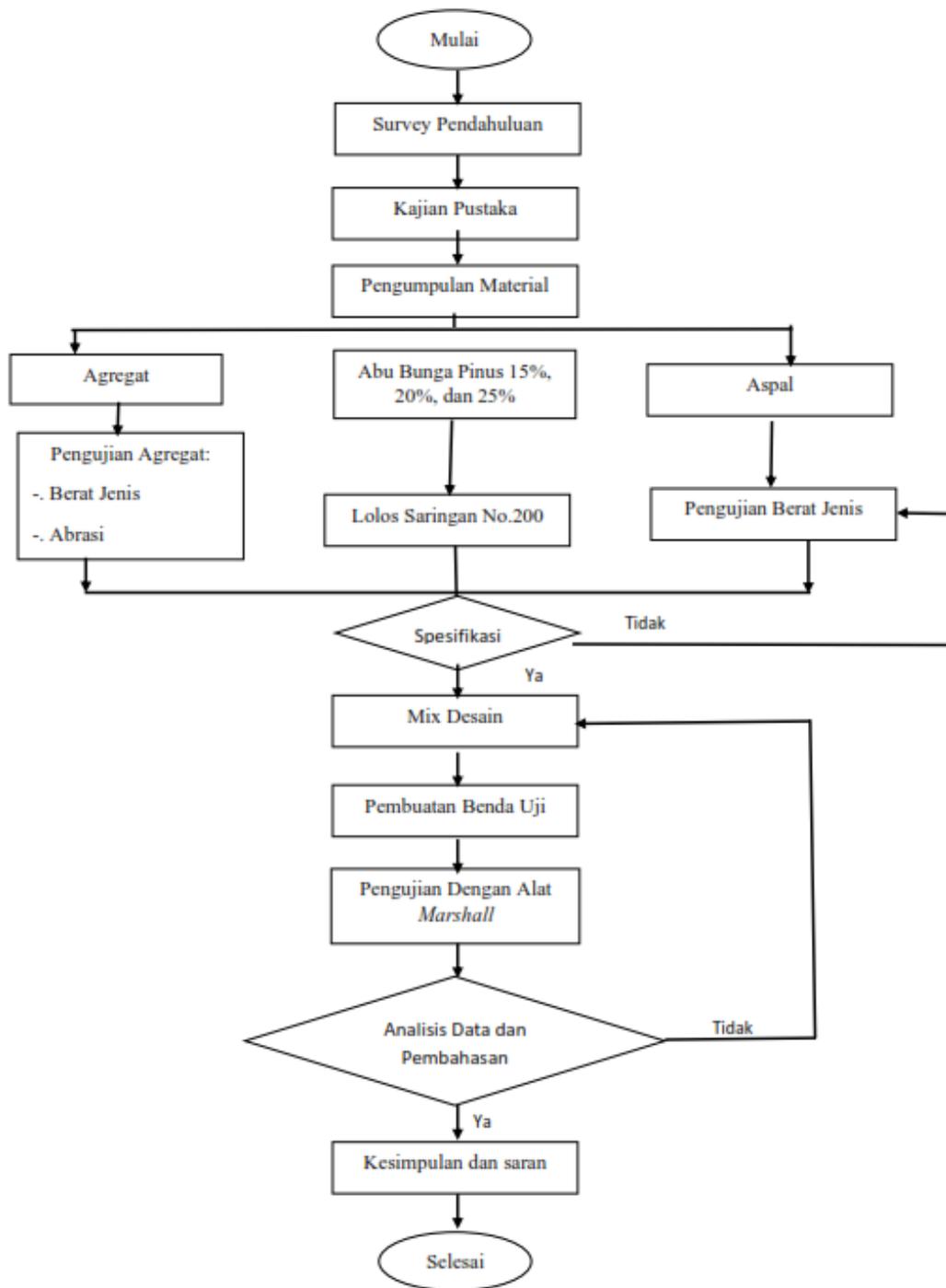
Pengujian *marshall* pada benda uji dilakuakn sebagai berikut:

- a. Timbang item uji dalam konfigurasi SSD.
- b. Tekan alat tes dengan benda tes berada pada tempatnya.
- c. Pasangkan alat pengepres pada alat penguji agar dapat menampung benda uji.
- d. Pastikan jarum dan arloji pengukur berada pada angka nol.
- e. Sesuaikan seperlunya.
- f. Lanjutkan pengujian dengan kecepatan yang sama hingga beban maksimum tercapai.
- g. Pada jam pengukur lelehan, catat beban uji maksimum dan nilai lelehan.

3.3.5 Jumlah Benda Uji

Hasil penelitian Sondakh S P. (2022) dan Rocman A A. (2023) menunjukkan bahwa kadar *filler* bunga pinus dekat dengan persentase di atas. Perhitungan menunjukkan bahwa kadar aspal yang digunakan dalam penelitian adalah 6 %. Dua belas benda uji akan dibuat, terdiri dari tiga benda uji kadar *filler* 0%, tiga benda uji kadar *filler* 15%, tiga benda uji kadar *filler* 20%, dan tiga benda uji kadar *filler* 25%.

3.4 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.13 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

DATA PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Material

Untuk mengetahui apakah bahan yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga Revisi I Tahun 2018 merupakan tujuan dari pengujian bahan ini. Pengujian abrasi, berat jenis, penyerapan udara pada agregat, dan pengujian aspal merupakan beberapa pengujian yang dilakukan.

4.3.1 Pengujian Aspal

Aspal beton penetrasi 60/70 telah diperiksa menggunakan metode pengujian dan spesifikasi yang memenuhi standar Bina Marga 2020.

Tabel 4.1 Data Pengujian Aspal

No	Pengujian	Satuan	Aspal		Hasil	Keterangan
			Min	Max		
1	Penetrasi	0,1 mm	60	70	65.9	Memenuhi
2	Berat Jenis	gr/cm ³	1	-	1.08	Memenuhi
3	Titik Lembek	°C	48	58	51.3	Memenuhi
4	Daktilitas	cm	100	-	137	Memenuhi
5	Titik Nyala	°C	232	-	242	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023

4.3.2 Pengujian Agregat

a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

- Pengujian *spilt* (diameter 1 - 2 cm)

Data Percobaan: 1

1	Berat Benda Uji SSD	=	7975	Gram (W1)
2	Berat Benda Uji SSD Di Dalam Air	=	4812	Gram (W2)
3	Berat Benda Uji Kering Oven	=	7836	Gram (W3)

Data Percobaan: 2

- 1 Berat Benda Uji SSD = 8010 Gram (W1)
- 2 Berat Benda Uji SSD Di Dalam Air = 4847 Gram (W2)
- 3 Berat Benda Uji Kering Oven = 7836 Gram (W3)

1 Berat jenis kering oven (Bulk Specific Gravity)

Data Pengujian Agregat Kasar	Satuan	Percobaan	
		1	2
BJ Bulk kering W3 / (W1-W2)	Gram	2,48	2,48
BJ Bulk kering Rata-Rata	Gram	2,48	

2 Berat Jenis Jenuh Air Kering Permukaan (SSD)

Data Pengujian Agregat Kasar	Satuan	Percobaan	
		1	2
BJ Bulk SSD W1 / (W1-W2)	Gram	2,52	2,53
BJ Bulk SSD Rata-Rata	Gram	2,53	

3 Berat Jenis Apparent (semu)

Data Pengujian Agregat Kasar	Satuan	Percobaan	
		1	2
BJ Bulk Apparent W3 / (W3-W2)	Gram	2,59	2,62
BJ Bulk Apparent Rata-Rata	Gram	2,61	

4 Berat Jenis Penyerapan air

Data Pengujian Agregat Kasar	Satuan	Percobaan	
		1	2
Penyerapan Air (W1-W3) / W1 x 100 %	Gram	1,74	2,17
Penyerapan Air Rata-Rata	Gram	1,96	

Penyerapan air pada abu batu memenuhi syarat < 3%

- Pengujian screen (diameter 0,5 – 1 cm)

Data Percobaan 1

- 1 Berat Benda Uji SSD = 7762 Gram (W1)
- 2 Berat Benda Uji SSD Di Dalam Air = 4713 Gram (W2)
- 3 Berat Benda Uji Kering Oven = 7609 Gram (W3)

Data Percobaan 2

- 1 Berat Benda Uji SSD = 8544 Gram (W1)
- 2 Berat Benda Uji SSD Di Dalam Air = 5240 Gram (W2)
- 3 Berat Benda Uji Kering Oven = 8411 Gram (W3)

1 Berat jenis kering oven (Bulk Specific Gravity)

Data Pengujian Agregat Screen	Satuan	Percobaan	
		1	2
BJ Bulk kering W3 / (W1-W2)	Gram	2,50	2,55
BJ Bulk kering Rata-Rata	Gram	2,52	

2 Berat Jenis Jenuh Air Kering Permukaan (SSD)

Data Pengujian Agregat Screen	Satuan	Percobaan	
		1	2
BJ Bulk SSD W1 / (W1-W2)	Gram	2,55	2,59
BJ Bulk SSD Rata-Rata	Gram	2,57	

3 Berat Jenis Apparent (semu)

Data Pengujian Agregat Screen	Satuan	Percobaan	
		1	2
BJ Bulk Apparent W3 / (W3-W2)	Gram	2,63	2,65
BJ Bulk Apparent Rata-Rata	Gram	2,64	

4 Berat Jenis Penyerapan air

Data Pengujian Agregat Screen	Satuan	Percobaan	
		1	2
Penyerapan Air (W1-W3) / W1 x 100 %	Gram	1,97	1,56
Penyerapan Air Rata-Rata	Gram	1,76	

Penyerapan air pada abu batu memenuhi syarat < 3%

b. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Data Percobaan : 1

- 1 Berat Benda Uji SSD = 250 Gram (W1)
- 2 Berat Benda Uji SSD Di Dalam Air = 160 Gram (W2)
- 3 Berat Benda Uji Kering Oven = 248 Gram (W3)

Data Percobaan : 2

- 1 Berat Benda Uji SSD = 250 Gram (W1)
- 2 Berat Benda Uji SSD Di Dalam Air = 152 Gram (W2)
- 3 Berat Benda Uji Kering Oven = 239 Gram (W3)

1 Berat jenis kering oven (Bulk Specific Gravity)

Data Pengujian Agregat Halus (Abu Batu)	Satuan	Percobaan	
		1	2
BJ Bulk kering W3 / (W1-W2)	Gram	2,76	2,44
BJ Bulk kering Rata-Rata	Gram	2,60	

2 Berat Jenis Jenuh Air Kering Permukaan (SSD)

Data Pengujian Agregat Halus (Abu Batu)	Satuan	Percobaan	
		1	2
BJ Bulk SSD W1 / (W1-W2)	Gram	2,78	2,55
BJ Bulk SSD Rata-Rata	Gram	2,66	

3 Berat Jenis Apparent (semu)

Data Pengujian Agregat Halus (Abu Batu)	Satuan	Percobaan	
		1	2
BJ Bulk Apparent W3 / (W3-W2)	Gram	2,82	2,75
BJ Bulk Apparent Rata-Rata	Gram	2,78	

4 Berat Jenis Penyerapan air

Data Pengujian Agregat Halus (Abu Batu)	Satuan	Percobaan	
		1	2
Penyerapan Air (W1-W3) / W1 x 100 %	Gram	0,80	4,40
Penyerapan Air Rata-Rata	Gram	2,60	

<i>Penyerapan air pada abu batu memenuhi syarat < 3%</i>
--

4.3.3 Pengujian Abrasi

Pengujian abrasi dilakukan pada agregat *spilt* atau batu yang pecah. Material yang lolos dari saringan nomor setengah dan tertahan di saringan nomor setengah diuji untuk mengukur kausan material, yang diukur dengan membandingkan berat aus yang lolos dari saringan nomor 12 dengan berat awal.

Uji abrasi dilakukan 100 kali dengan nilai maksimum 6%. Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut: uji abrasi memenuhi syarat.

Tabel 4.2 Data Pengujian Abrasi

Pengujian	Satuan	Sampel 1	Sampel 2
Berat Sampel Semula (a)	Gram	5000	5000
Tertahan saringan No.12 (b)	Gram	3959	3990
Keausan (c) = ((a-b)/a) x 100 %	%	20,82	20,20
Keausan Rata-Rata	%	20,51	

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2023

4.2 Penentuan Kadar Aspal

4.2.1 Penentuan Komposisi Agregat Gabungan

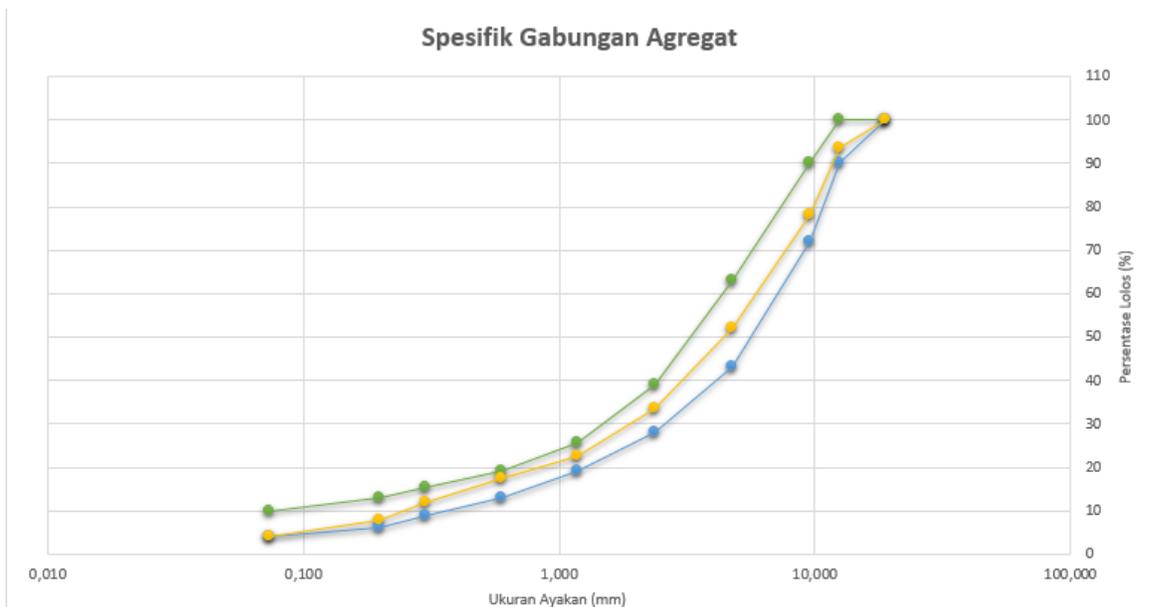
Untuk mengetahui presentase dari masing-masing agregat dalam campuran agregat gabungan, metode *Trial and Error* digunakan. Presentase agregat gabungan diperoleh dengan perkalian persentase dengan persen agregat yang lolos. Kemudian, presentase dari masing-masing agregat dijumlahkan untuk menghasilkan presentase agregat gabungan.

Menurut perkiraan penulis, nilai persentase total agregat campuran aspal AC-WC adalah:

Tabel 4.3 Data Hasil Penggabungan Agregat

PENGABUNGAN								
NO AYAKAN	Ukuran Ayakan (MM)	LOLOS KUMULATIF (%) GABUNGAN AGREGAT				LOLOS KUMULATIF (%)		
		Split	Screen	Abu Batu	Filler	JUMLAH GAB	SPESIFIKASI BM-2010	
		A	B	C	D	A+B+C+D	GH, AC - WC, BATAS	
						100,00	BAWAH	ATAS
3/4"	19,000	96,60	100,00	100,00	100,00	100,00	100	100
1/2"	12,500	47,80	100,00	100,00	100,00	93,74	90	100
3/8"	9,500	25,48	71,70	100,00	100,00	78,04	72	90
4	4,750	4,48	21,57	98,80	100,00	51,98	43	63
8	2,360	1,68	12,79	64,00	100,00	33,69	28	39,1
16	1,180	2,32	13,87	34,60	100,00	22,50	19	25,6
30	0,600	2,56	14,69	21,20	100,00	17,54	13	19,1
50	0,300	2,44	11,08	11,20	100,00	11,87	9	15,5
100	0,200	1,60	9,36	3,20	100,00	7,78	6	13
200	0,074	0,92	1,31	3,84	95,05	4,15	4	10
Perbandingan Campuran Dari Presentase Berat Total Agregat		a. Split (10-20 mm)				12,00 %		
		b. Screen (5-10 mm)				46,00 %		
		c. Abu Batu (0 - 5 mm)				40,00 %		
		d. Semen (< 5 mm)				2,00 %		
		Total				100,00 %		

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2023



Gambar 4.1 Grafik rancangan Aspal dan Gabungan Agregat
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023

4.2.2 Perkiraan Kadar Aspal Rencana

Penentuan kadar aspal AC- Wc menggunakan rumus:

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0.035(\text{Ag. Kasar}) + 0.045 (\text{Ag.Halus}) + 0.18 (\text{ Filler}) + K \\
 &= 0.035 (66,31) + 0.045 (29,54) + 0.18 (4,15) + 0,75 \\
 &= 5,14 \% \sim 5,5 \%
 \end{aligned}$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat Kasar} &= \#3/4 - \# \text{ No.8} \\
 &= 100 - 33,69 \\
 &= 66,31
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Agregat Halus} &= \# \text{ No.8} - \# \text{ No.200} \\
 &= 33,69 - 4,15 \\
 &= 29,54
 \end{aligned}$$

Filler = # No.200
= 4,15

Dengan mengambil kadar aspal dengan interval 0,5%, nilai aspal akan mencapai 5,5 %, 6 %, 6,5 %, dan 7%.

4.2.3 Kadar Aspal Optimum Rencana

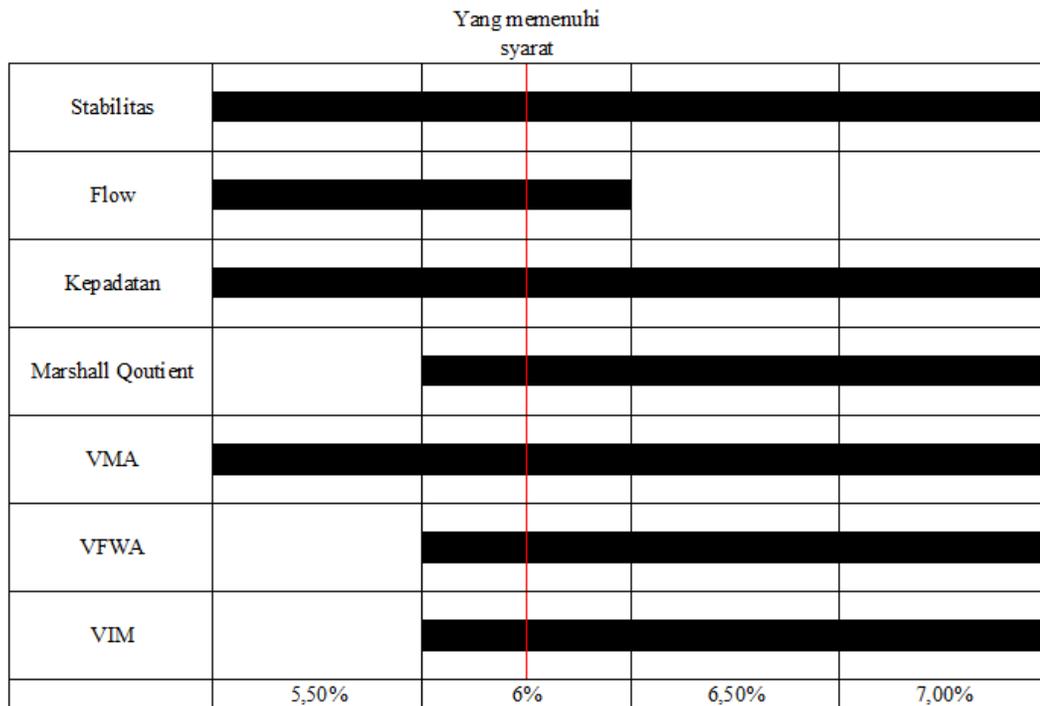
Setelah nilai rencana aspal yang ditentukan, maka benda uji diambil dari kadar aspal rencana dengan tambahan tiga diatas nilai PB: (5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%), dengan pengujian masing – masing kadar menggunakan 3 benda uji untuk menghasilkan kadar aspal yang optimum digunakan. Dari hasil pengujian menggunakan alat *Marshall Test* didapatkan data yang ada ditabel berikut:

Tabel 4.4 Data Hasil Pengujian Penentuan KAO

Kadar Filler Abu Bunga Pinus	Stabilitas	Flow	Kepadatan	Marshall Qoutient	VMA	VFMA	VIM
5,5%	1167,83	3,99	2,38	245,79	16,74	63,24	4,35
6%	1285,60	4,00	2,27	285,38	16,98	67,89	3,88
6,5%	1159,39	4,23	2,51	265,78	16,34	68,99	3,23
7%	1352,87	4,72	2,43	296,04	16,37	76,23	2,99

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023

Dari hasil pengujian yang dilakukan diperoleh data kandungan aspal yang memenuhi syarat karakteristik yang mencakupi *Density* (Kepadatan), *Flow* (Kelelehan), *Stabilitas*, *VMA*, *VFMA*, *VIM* dan *Marshall Qoutient* yang memenuhi syarat adalah kadar di 6%. Jadi dapat dijelaskan bahwa kadar aspal optimum (KAO) adalah 6%.



Gambar 4.2. Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023

4.2.4 Berat Agregat Dan Aspal dalam Rencana

Dengan menggunakan penetrasi 60/70 pada tabel, hitung campuran beton aspal AC-Wc setelah menyelesaikan perhitungan agregat dan % aspal.

Tabel 4.5 Data Rancangan Aspal Dan Agregat

Kadar Aspal = 6 %							
Hasil Kombinasi							
Split (10-20 mm)	=	12	%	x	1100	=	132 gram
Screen (5-10 mm)	=	46	%	x	1100	=	506 gram
Abu Batu (0 - 5 mm)	=	40	%	x	1100	=	440 gram
Semen (< 5 mm)	=	2	%	x	1100	=	22 gram
Aspal	=	6	%	x	1100	=	66 gram

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023

Untuk campuran aspal dengan campuran abu bunga pinus adalah melakukan pencampuran substitusi yang dilakukan sebagai pengganti *filler* dengan persentase 15%, 20%, dan 25% yang diuraikan pada tabel berikut:

Tabel 4.6 Data Fille dan Substitusi Abu Bunga Pinus

Semen (< 5 mm)	=	2	%					
Hasil Kombinasi								
Abu Bunga Pinus	=	15	%	x	22	=	3,3	gram
Abu Bunga Pinus	=	20	%	x	22	=	4,4	gram
Abu Bunga Pinus	=	25	%	x	22	=	5,5	gram

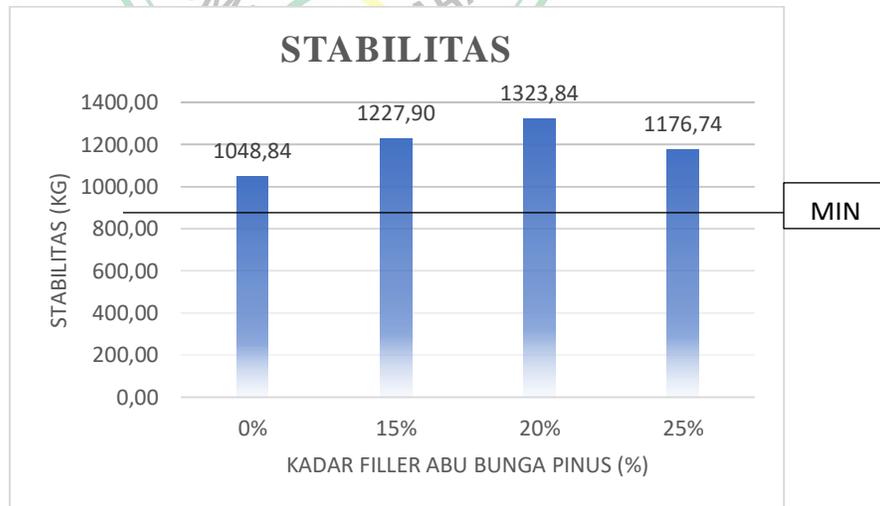
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2023

4.3 Data Uji Karakteristik Marshall

Uji *Marshall* selama 30 menit digunakan untuk mengukur sifat campuran aspal yang dipanaskan. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan stabilitas dan ketahanan terhadap kelelahan atau hasil plastis.

4.3.1 Stabilitas

Nilai stabilitas menunjukkan gaya terbesar yang dapat diterapkan seseorang tanpa mengalami pendinginan atau deformasi permanen. Perkerasan dengan stabilitas tinggi dapat menahan beban lalu lintas yang berat, namun perkerasan dengan stabilitas rendah akan menimbulkan alur akibat beban lalu lintas.

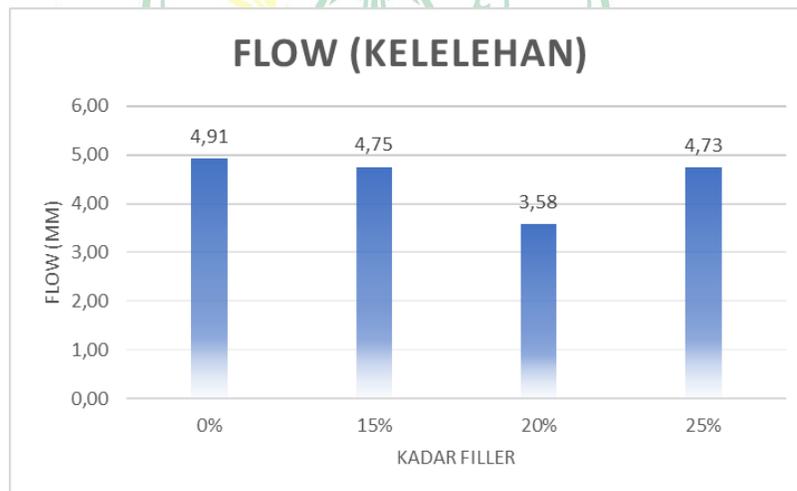


Gambar 4.3 Grafik Nilai Stabilitas
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2024

Pada gambar grafik diatas terlihat stabilitas dari kadar filler abu bunga pinus mengalami peningkatan, akan tetapi pada persentase kadar 25% mengalami penurunan yang cukup signifikan. Uraian dari presentase adalah pada presentase kadar 0% stabilitasnya bernilai 1048,84 kg, selanjutnya pada presentas kadar 15% stabilitasnya memiliki nilai 1227,9 kg, untuk kadar 20% bernilai 1323,84 kg dan pada kadar 25 % memiliki nilai 1176,74 kg. semua benda uji memenuhi syarat sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I yang memiliki minimal 800kg.

4.3.2 Kelelahan (Flow)

Besarnya deformasi lapisan perkerasan akibat beban lalu lintas ditunjukkan dengan ukuran hasil plastis (*Flow*). Ketika suatu kombinasi memiliki nilai aliran yang tinggi, maka dapat dengan cepat berubah bentuk dan menjadi plastis ketika beban diterapkan melebihi batas maksimumnya. Namun, jika gaya lebih besar dari kemampuan menahan campuran, kombinasi nilai *flow* rendah lebih mudah menjadi kaku dan patah. Konsentrasi aspal yang semakin besar menghasilkan nilai aliran yang semakin besar (Sukirman, 2003:102



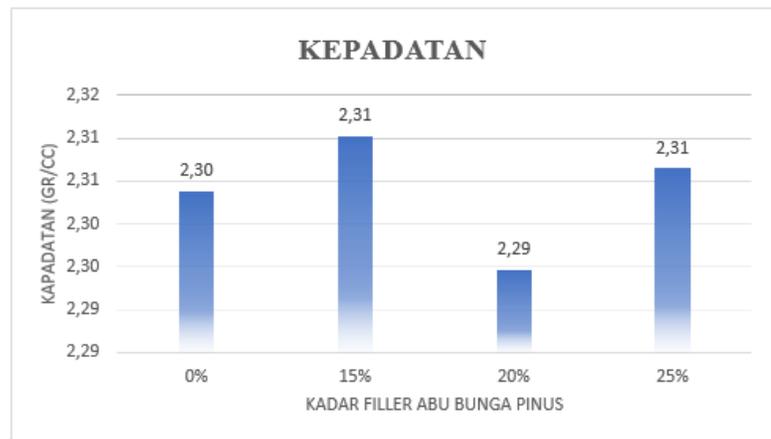
Gambar 4.4 Grafik Nilai Kelelahan
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024

Dalam gambar garfik di atas, semua presentase nilai kelelahan (*flow*) tidak memenuhi syarat. Ini karena, menurut Spesifikasi Bina Marga 2018

Revisi I, nilai kelelahan harus berada di antara 2 mm dan 4 mm, tetapi pada benda uji penulis, nilai kelelahan (*flow*) terlalu tinggi, dengan nilai 0% 4,91 mm, 15% 4,75 mm, 20% 3,58 mm, dan 25% 4,73 mm. Jadi, disimpulkan bahwa nilai kelelahan (*flow*)

4.3.3 Kepadatan (*Density*)

Tujuan dari uji kepadatan campuran adalah untuk mengevaluasi komposisi, kualitas, dan teknik pemadatan bahan uji. Beban yang berat dapat ditopang oleh bahan uji yang bentuknya tidak seragam dan porositas butirnya rendah.



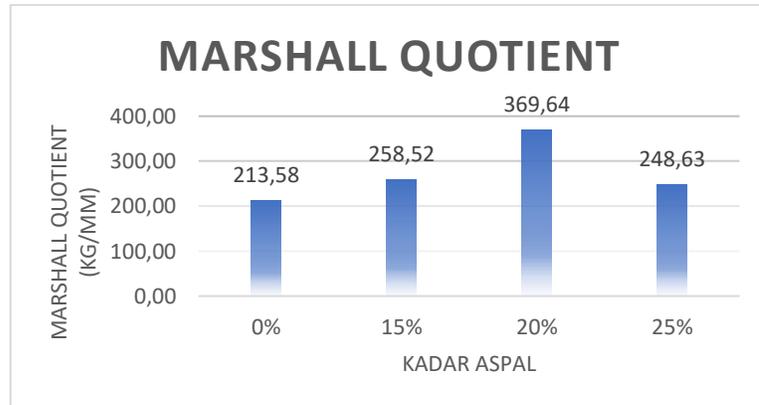
Gambar 4.5 Grafik Nilai Kepadatan
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2024

Pada grafik diatas terlihat semua kadar persentase memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I yang memiliki syarat minimal 2 gr/cc. walaupun terjadi penurunan pada kadar 20%, pada tiga kadar persentase memiliki nilai kepadatan (*density*) yang stabil. Uraian dari nilai kadar kepadatan (*density*) adalah pada kadar 0% nilai dari kepadatan adalah 2,30 gr/cc, selanjutnya kadar 15% memiliki nilai 2,31 gr/cc, untuk kadar 20% bernilai 2,29 gr/cc dan pada kadar 25% bernilai 2,31 gr/cc.

4.3.4 *Marshall Quotient*

Perbandingan Stabilitas dengan *flow* adalah hasil nilai *Marshall Quotient*. Nilai *MQ* yang terlalu tinggi akan membuat kombinasi menjadi terlalu kaku dan

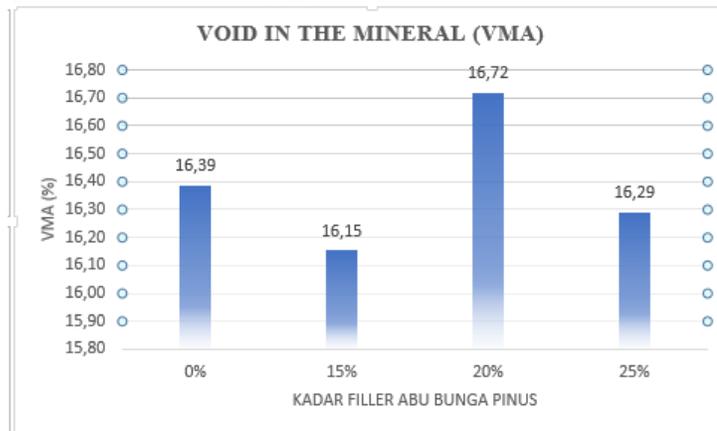
keras, sehingga rapuh dan mudah retak. Gambar di bawah menunjukkan bahwa hanya kadar 15% yang memenuhi syarat untuk Spesifikasi Biana Marga 2018 Revisi I, yaitu 250,00 kg/mm. Kadar 0% bernilai 213,58 kg/mm, kadar 15% bernilai 258,52 kg/mm, kadar 20% bernilai 369,64 kg/mm, dan kadar 25% bernilai 248,63 kg/mm.



Gambar 4.6 Grafik Nilai *Marshall Quotient*
 Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024

4.3.5 *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

Nilai persentase rongga, termasuk rongga berisi udara dan aspal efektif, antar agregat disebut VMA. Angka VMA yang tinggi dapat menyebabkan terjadinya *bleeding*, namun nilai VMA yang kecil dapat menyebabkan lapisan agregat menjadi tipis dan lapisan aspal mudah teroksidasi.

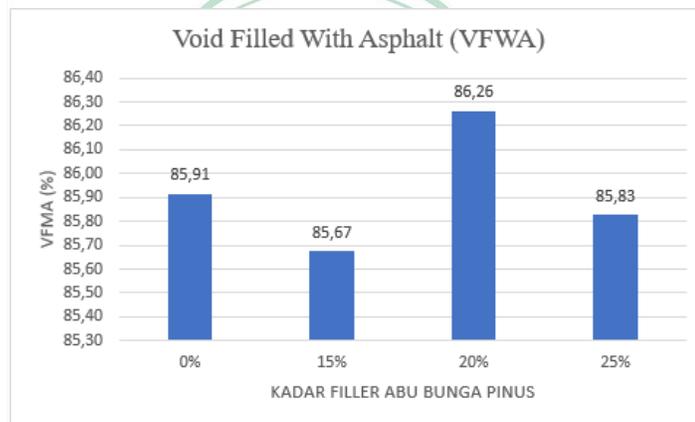


Gambar 4.7 Grafik Nilai VMA
 Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2024

Pada grafik diatas terlihat nilai dari VMA memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I yang memiliki syarat mininal diatas 15 %. Yang diuraikan sebagai berikut ; pada kadar 0% nilai dari VMA adalah 16,39 % , dikadar 15 % nilai VMA adalah 16,15%, selanjutnya pada kadar 20% memiliki nilai VMA yaitu 16,72 % dan Kadar 25% bernilai 16,29%, jadi disimpulkan pada pengujian ini semua presentase memenuhi syarat dari Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I.

4.3.6 Void Filled With Asphalt (VFWA)

Diukur persentase rongga campuran (VFWA) pada sisi campuran aspal yang mengandung partikel agregat (VMA). Campuran alternatif abu bunga pinus menunjukkan peningkatan yang konsisten.

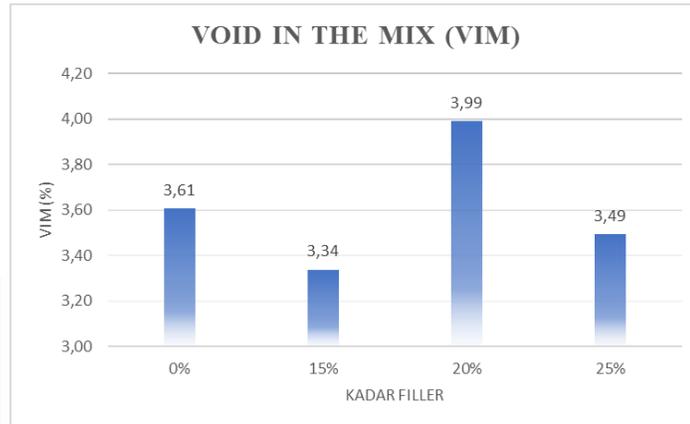


Gambar 4.8 Grafik Nilai VFWA
Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium 2024

Pada grafik diatas terlihat (VFWA) nilai yang meningkat dan menurun yang tidak terlalu signifikan, yang ditunjukkan pada kadar 0% dengan nilai VFWA 85,91 %, pada kadar 15% nilai VFWA adalah 85,67%, selanjutnya kadar 20% memiliki nilai VFWA 86,26 %, dan kadar 25% nilai VFWA 85,83%. Disimpulkan pada pengujian ini semua benda uji memenuhi Spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi I yaitu diatas 65,00%.

4.3.7 Void In Mix (VIM)

Rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah pemadatan digambarkan sebagai VITM (*Void In Mix*). Parameter ini biasanya dikaitkan dengan kekuatan dan durabilitas campuran.



Gambar 4.9 Grafik Nilai VIM
Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2024

Nilai VIM pada grafik diatas memiliki tiga kadar yang memenuhi nilai Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi I yaitu memiliki nilai diantara 3 % - 5%, akan tetapi pada kadar 15 % tidak memenuhi syarat. Yang dapat ditunjukkan sebagai berikut: kadar 0% memiliki nilai VIM 3,61 %, selanjutnya pada kadar 15% memiliki nilai VIM 3,34%, kadar 20% nilai VIM 3,99% dan pada kadar 25% memiliki nilai VIM 3,49%. Jadi dapat disimpulkan pada kadar 15% memiliki kekurangan 0,16% jadi tidak terlalu bahaya.

4.3.8 Hasil Perhitungan *Marshall Test*

Berdasarkan hasil uji *Marshall*, campuran aspal AC-WC yang mengandung bahan pengisi pengganti abu bunga pinus 0%, 15%, 20%, dan 25% dengan kadar aspal 6%, disimpan selama tiga puluh menit pada suhu 60 derajat Celcius dalam *waterbath* berisi air. Pengujian ini menghasilkan hasil stabilitas, *flow*, *density*, *marshall quotient*, VMA, VFWA, dan VIM seperti terlihat pada tabel berikut :

Tabel 4.7 Data Hasil Perhitungan *Marshall*

Kadar Filler Abu Bunga Pinus	Stabilitas	Flow	Marshall Qoutient	Kepadatan	VMA	VFWA	VIM
Min	800kg	2mm	250kg/mm	2	15%	65%	3%
Max	-	4mm		-	-	-	5%
0%	1048,84	4,91	213,58	2,30	16,39	85,91	3,61
15%	1227,90	4,75	258,52	2,31	16,15	85,67	3,34
20%	1323,84	3,58	369,64	2,29	16,72	86,26	3,99
25%	1176,74	4,73	248,63	2,31	16,29	85,83	3,49

Ket :

 = Memenuhi Syarat

Sumber: Hasil Pengujian Laboratorium 2023



BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Nilai stabilitas benda uji meningkat seiring dengan peningkatan kadar *filler* abu bunga pinus, yang menghasilkan kepadatan yang lebih tinggi. Nilai aliran turun seiring dengan peningkatan kadar abu bunga pinus, dengan nilai *filler* terendah 15%, atau 4,74%, pada campuran *filler*. Namun, kedua nilai aliran dan stabilitas benda uji masih berada di bawah batas spesifik.
2. Berdasarkan hasil pengujian Marshall, semua benda uji memenuhi semua spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 1, kecuali pada *Flow* atau kelelahan. Benda uji dengan kadar *filler* abu bunga pinus 20% memiliki nilai memenuhi syarat Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 1 dengan kepadatan 2.29, stabilitas 1323,84 kg, *flow* 3,58mm, VMA 16,72 %, VFWA 85,26%, VIM 3,99%, dan MQ 369,64 kg/mm³.

5.2 Saran

1. Untuk memastikan konsistensi dari berat setiap benda uji maka penelitian selanjutnya, disarankan untuk menggunakan timbangan digital dengan ketelitian yang tinggi.
2. Untuk memberikan hasil pengujian yang lebih akurat dan sempurna, peralatan laboratorium harus dikalibrasi atau diservis lebih berkala.
3. Penelitian ini memberikan harapan untuk diteliti lebih lanjut mengenai penggunaan abu bunga pinus sebagai bahan pengisi (*filler*) selain campuran aspal beton AC-WC.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2022. Bahan Kuliah Rekayasa Tanah Dan Perkerasan Jalan Raya. Bukittinggi, Universitas Muhammadiyah Sumatra Barat
- Bina Marga, Spesifikasi Teknis Campuran Beraspal dengan Asbuton, 2013.
- Bina Marga, Spesifikasi Umum 2018 Revisi 1 Divisi 6 Perkerasan Aspal.
- Bintoro, Agnes Yuanita, Arthur Daniel Limantara, and Sigit Winarto. "Evaluasi Kekuatan ConcBlock Dengan Agregat Halus dan Agregat Kasar dari Tempurung Kelapa." *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil 1.1* (2018): 160-171.
- Gunarto, April, and Agata Iwan Candra. "Penelitian Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan Filler Bunga Pinus." *UKaRsT 3.1* (2019): 37-47
- <http://usitani.marulamsimarmata.wordpress.com/2009/02/05>. Pemanfaatan Buah Tusam (Pinus merkusii Jungh.et de Vries) dan Buah Anturmangan (Casuarina sumatrana. JUNGH) Sebagai Bahan Baku Arang Briket. Fakultas Pertanian Universitas
- <https://depokbebassampah.wordpress.com/acuan/briket-arang/>. (Diakses pada tanggal 09 November 2023).
- Marwati, Illiyyuna Diazshafa, et al. "Pengaruh Substitusi Pet Dan Abu Bunga Pinus Menggunakan Metode Pencampuran Basah Dan Metode Pencampuran Kering Pada Campuran Laston Ac-Wc Terhadap Stabilitas." *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan 4.3* (2021).
- Orwa, C., Mutua, A., dan Kindt, R. 2009. Pinus merkusii Junghuhn & de Vriese Pinaceae Pinus merkusii Junghuhn & de Vriese. Nairobi. Kenya. vol 4
- Rochman, Askar AL-Fatah "Pengaruh Filler Bunga Pinus pada Perkerasan AC – WC dengan Menggunakan Aspal Karet" Diss. Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, 2023

Sallata, M, Kudeng “Pinus (Pinus Merkusii Jungh Et De Vriese) Dan Keberadaannya Di Kabupaten Tana Toraja, Sulawesi Selatan” ,(2013)

Sallolo Suluh , Petrus Sampelawang. “Studi Eksperimen Limbah Buah Pinus Sebagai Sumber Energi Alternatif Ditinjau Dari Variasi Butiran” (2017)

Sondakh, Sally Patricia. “Analisis Campuran Aspal Beton dengan Mengganti Sebagian Filler Menggunakan Abu Dari Bunga Pinus Pada Perendaman Berulang.” Diss. UNIVERSITAS BOSOWA, 2022

Sukirman, Silvia. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Penerbit Granit, Jakarta.

Vera Melinda, Rita Andini, Lola Adres Yanti “Analisis Morfologi Pinus (Pinus Merkusii Jungh. Et De Vriese) Studi Kasus: Lut Tawar dan Linge, Aceh Tengah” Diss. Universitas Syaiah Kuala, 2022

Widodo, Zaenal Arifin Joko, and Nur Susanto. "Penelitian Laboratorium Penggunaan Filler dari Batu Kapur dan Batu Cadas untuk Campuran Beton Aspal." (1996)



LAMPIRAN

1. Pengujian Penetrasi Aspal



2. Perendaman Agregat Halus Untuk Pengujian Berat Jenis



3. Material Abu Bunga Pinus Yang Belum Dihaluskan



4. Penghalusan Abu Bunga Pinus



5. Pengadukan Agregat dan Aspal



6. Campuran Aspal Yang Telah Dipanaskan



7. Pengukuran Suhu Campuran Aspal



8. Pencetakan Benda Uji



9. Benda Uji Yang Telah Dicetak



10. Perendaman Benda Uji



11. Alat *Marshall Test*



12. Pengujian Benda Uji dengan Alat *Marshall Test*



13. Pengecekan Arlogi *Flow Meter*



SKRIPSI

**PENGARUH SUBSTITUSI PENGGUNAAN ABU BUNGA PINUS PADA
CAMPURAN ASPAL LASTON AC-WC TERHADAP STABILITAS**

*Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menempuh Ujian Sarjana Pada Program Studi
Teknik Sipil Fakultas Teknik*



*Ace Sidang
22/01/2024
Dedy*

Oleh:

FIRZA RISKI AMELIA

20180036

*Ace / Rany
21/4/2024
Dedy*

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT

TAHUN 2023

*Ace / Fikri
21/8/2024
Dedy*

SKRIPSI

**PENGARUH SUBSTITUSI PENGGUNAAN ABU BUNGA PINUS PADA
CAMPURAN ASPAL LASTON AC-WC TERHADAP STABILITAS**

*Disusun Sebagai Salah Satu Syarat Menempuh Ujian Sarjana Pada Program Studi
Teknik Sipil Fakultas Teknik*



Oleh:

FIRZA RISKLAMELIA

20180036

*Ace Jilid
24
08 2024.
Dikub*

*ace jilid
07/8/2024 Aenty*

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA BARAT**

2024



KARTU KONSULTASI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa	:	Firza Riski Amelia
NIM	:	20180036
Program Studi	:	Teknik Sipil
Pembimbing I	:	Deddy Kurniawan, S.T., M.T.
Judul	:	Pengaruh Penggunaan Bunga Pinus Sebagai Agregat Halus Pada Aspal AC-WC

No.	Tanggal Konsultasi	Materi dan Catatan Pembimbing	Paraf Pembimbing I
1.	8/11-2023	- cari jurnal terkait	di
2.		- lengkapi cover dsb.	
3.		"Pengaruh substitusi Abu bunga	J.
4.		pinus pd campuran beton	
5.		AC - WC thd stabilitas"	
6.	15/11-2023	- tambah dasar teor.	J.
7.		- layout.	
8.		Acc semua prepared.	
9.	22/11-2023		
10.			

Catatan :

1. Kartu Konsultasi ini dilampirkan saat pendaftaran seminar.
2. Dapat diperbanyak bila diperlukan.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik 8 November 2024

Helga Yermadana S.pd, M.T.

NIDN.



KARTU KONSULTASI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa	:	Firza Riski Amelia
NIM	:	20180036
Program Studi	:	Teknik Sipil
Pembimbing I	:	Deddy Kurniawan, S.T., M.T.
Judul	:	Pengaruh Penggunaan Bunga Pinus Sebagai Agregat Halus Pada Aspal AC-WC

No.	Tanggal Konsultasi	Materi dan Catatan Pembimbing	Paraf Pembimbing I
1.	17/02.2024	Ace Seminar 'han' 	
2.			
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Catatan :

1. Kartu Konsultasi ini dilampirkan saat pendaftaran seminar.
2. Dapat diperbanyak bila diperlukan.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik

.....

NIDN.



KARTU KONSULTASI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa	:	Firza Riski Amelia
NIM	:	20180036
Program Studi	:	Teknik Sipil
Pembimbing II	:	Ir. Ana Susanti Yusman, M.ENG
Judul	:	Pengaruh Substitusi Abu Bunga Pinus Pada Campuran laston AC-WC Terhadap Stabilitas

No.	Tanggal Konsultasi	Materi dan Catatan Pembimbing	Paraf Pembimbing II
1.		Cari kembali kandungan dlm bunga pinus, Perbaiki ejaan Penulisan	
2.	19/11/23	Ace.	
3.			
4.			
5.			
6.			
7.			
8.			
9.			
10.			

Catatan :

3. Kartu Konsultasi ini dilampirkan saat pendaftaran seminar.
4. Dapat diperbanyak bila diperlukan.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik..... ,

.....
NIDN.



KARTU KONSULTASI BIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa	:	Firza Riski Amelia
NIM	:	20180036
Program Studi	:	Teknik Sipil
Pembimbing II	:	Ir. Ana Susanti Yusman, M.ENG
Judul	:	Pengaruh Substitusi Abu Bunga Pinus Pada Campuran laston AC-WC Terhadap Stabilitas

No.	Tanggal Konsultasi	Materi dan Catatan Pembimbing	Paraf Pembimbing II
1.		Cari kembali kandungan dlm bunga pinus, Perbaiki gaya Penulisan	
2.	19/11/23	Acc.	
3.			
4.			
5.	19/11/23	Acc Sendy	
6.	24/29		
7.			
8.			
9.			
10.			

Catatan:
3. Kartu Konsultasi ini dilampirkan saat pendaftaran seminar.
4. Dapat diperbanyak bila diperlukan.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik.....,

.....

NIDN.

REVISI SEMINAR HASIL SKRIPSI

Tanggal Ujian: 27 Februari 2024

Nama : **Firza Riski Amelia**
NIM : 20180036
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Penggunaan Abu Bunga Pinus Pada Campuran
Aspal Laston AC-WC Terhadap Stabilitas
Catatan Perbaikan :

OK.
Acc sidan ko-pm
22/01 - 2024
Deddy

Ketua Penguji,



Deddy Kurniawan, S.T., M.T.

NIDN. 1022018303

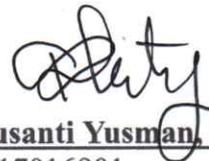
REVISI SEMINAR HASIL SKRIPSI

Tanggal Ujian: 27 Februari 2024

Nama : **Firza Riski Amelia**
NIM : 20180036
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Penggunaan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Aspal Laston AC-WC Terhadap Stabilitas
Catatan Perbaikan : *- Perbaiki pembahasan.*
- Tambahkan lokal penelitian
.....
.....
.....
.....
.....

Ace U/ Kompro
2/4/2024
Ana Susanti

Sekretaris/Penguji,



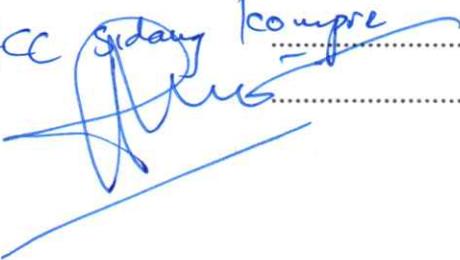
Ir. Ana Susanti Yusman, M.Eng.
NIDN. 1017016901

REVISI SEMINAR HASIL SKRIPSI

Tanggal Ujian: 27 Februari 2024

Nama : **Firza Riski Amelia**
NIM : 20180036
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Penggunaan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Aspal Laston AC-WC Terhadap Stabilitas

Catatan Perbaikan :
- Hasil pemeriksaan Aspal ditambahkan
- KAO
- Bagan Alir

20/3-24 ACC Sidang kompre


Penguji,



Ishak, S.T., M.T.
NIDN. 1010047301



REVISI SEMINAR HASIL SKRIPSI

Tanggal Ujian: 27 Februari 2024

Nama : **Firza Riski Amelia**
NIM : 20180036
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Penggunaan Abu Bunga Pinus Pada Campuran
Aspal Laston AC-WC Terhadap Stabilitas

Catatan Perbaikan :
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

iengkapi gambar pada
bab III
ACc kompre !

Penguji,

Asiya Nurhasanah Habirun, S.ST., M.Eng.
NIDN. 1022119101



REVISI SIDANG SKRIPSI

Tanggal Ujian: 20 Agustus 2024

Nama : **Firza Riski Amelia**
NIM : 20180036
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Penggunaan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Aspal Laston AC-WC Terhadap Stabilitas

Catatan Perbaikan :
.....
cek penduan.
.....
Ace sited
.....
22-08-2024 
.....
.....

Ketua Penguji,

Ir. Deddy Kurniawan, S.T., M.T.
NIDN. 1022018303



REVISI SIDANG SKRIPSI

Tanggal Ujian: 20 Agustus 2024

Nama : **Firza Riski Amelia**
NIM : 20180036
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Penggunaan Abu Bunga Pinus Pada Campuran
Aspal Laston AC-WC Terhadap Stabilitas

Catatan Perbaikan : *Belajar lagi!*
see u/Ana Susanti
20/8/2024

Sekretaris/Penguji,

Ana Susanti Yusman, S.T., M.Eng.
NIDN. 1017016901



REVISI SIDANG SKRIPSI
Tanggal Ujian: 20 Agustus 2024

Nama : **Firza Riski Amelia**
NIM : 20180036
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Penggunaan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Aspal Laston AC-WC Terhadap Stabilitas
Catatan Perbaikan :

ACC Judo

22 / 08 / 24

Penguji,

Asiya Nurhasanah Habirun, S.ST., M.Eng.
NIDN. 1022119101



REVISI SIDANG SKRIPSI
Tanggal Ujian: 20 Agustus 2024

Nama : **Firza Riski Amelia**
NIM : 20180036
Judul Skripsi : Pengaruh Substitusi Penggunaan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Aspal Laston AC-WC Terhadap Stabilitas

Catatan Perbaikan :
- Cek lg perhitungan Marshall (Flow)
- Tabel Hasil Marshall (4.3.8)
Memenuhi / tidak memenuhi

22/8-24
Ace Revisi

Penguji,

Ishak, S.T., M.T.
NIDN. 1010047301