

No. Inventaris: 314.S.01.2024



SKRIPSI

**PENGARUH PENAMBAHAN LATEKS PADA CAMPURAN
ASPAL AC-WC DENGAN ABU VULKANIK SEBAGAI
FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL***

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil
Universitas Malikussaleh

Disusun oleh,

**Sukron Guru Mangaloksa
180110141**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
2024**

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Sukron Guru Mangaloksa

Nim : 180110141

Dengan ini menyatakan bahwa sesungguhnya di dalam skripsi ini tidak terdapat bagian atau satu kesatuan yang utuh dari skripsi, tesis, buku atau bentuk lain yang saya kutip dari karya orang lain tanpa saya sebutkan sumbernya yang dapat dipandang sebagai tindakan penjiplakan. Sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat reproduksi karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain yang dijadikan seolah-olah karya asli saya sendiri. Apabila ternyata terdapat dalam Skripsi saya bagian-bagian yang memenuhi standar penjiplakan maka saya menyatakan kesediaan untuk dibatalkan sebahagian atau seluruh hak gelar kesarjanaannya saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya untuk dapat dipergunakan seperlunya.

Lhokseumawe, 01 Februari 2024

Saya yang membuat pernyataan



Sukron Guru Mangaloksa
NIM. 180110141

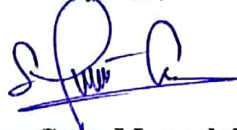
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

Judul Skripsi : Pengaruh Penambahan Lateks Pada Campuran Aspal
AC-WC Dengan Abu Vulkanik Sebagai *Filler*
Terhadap Karakteristik *Marshall*

Nama Mahasiswa : Sukron Guru Mangaloksa
Nomor Induk Mahasiswa : 180110141
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Jurusan : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
Perguruan Tinggi : Universitas Malikussaleh
Pembimbing Utama : Lis Ayu Widari, ST., MT
Pembimbing Pendamping : Nura Usrina, ST., MT
Ketua Penguji : Dr. Hamzani, ST., MT
Anggota Penguji : Syibral Malasyi, ST., MT

Lhokseumawe, Februari 2024

Penyusun,



Sukron Guru Mangaloksa
NIM. 180110141

Menyetujui:

Pembimbing Utama,



Lis Ayu Widari, ST., MT
NIP. 196703192003122001

Pembimbing Pendamping,



Nura Usrina, ST., MT
NIP. 199004042023212058

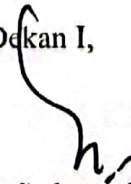
Mengetahui:

Koordinator Program Studi



Nura Usrina, ST., MT
NIP. 199004042023212058

Wakil Dekan I,



Dr. Ing. Sofyan, ST., MT
NIP. 197508182002121003

KATA PENGANTAR

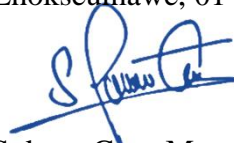
Puji syukur kepada Allah *Subhanahu wa ta'ala* yang telah melimpahkan berkat dan rahmat-Nya, sehingga proposal skripsi dapat terselesaikan dengan tepat waktu. Shalawat dan salam disanjung sajikan kepada Nabi besar Muhammad *Shallallahu alaihi wassalam* yang telah menuntun kita menuju alam yang penuh dengan ilmu penlateksuan seperti yang kita rasakan sekarang ini.

Pada kesempatan ini tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Herman Fithra, ST., MT., IPM, ASEAN, Eng selaku Rektor Universitas Malikussaleh.
2. Bapak Dr. Muhammad Daud, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
3. Bapak Dr. Ing. Sofyan, ST., MT selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh.
4. Ibu Nura Usrina, ST., MT selaku Koordinator Program Studi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, sekaligus sebagai Dosen Pembimbing Pendamping.
5. Ibu Lis Ayu Widari, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Utama.
6. Bapak Dr. Hamzani, ST., MT selaku Ketua Penguji.
7. Bapak Syibril Malasyi, ST., MT selaku Anggota Penguji.
8. Keluarga yang memberi dukungan dan doa untuk menyelesaikan skripsi ini.
9. Teman-teman dan seluruh tenaga pengajar Prodi Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.

Penulis menyadari bahwa proposal skripsi ini masih memiliki banyak kekurangan dan keterbatasan. Karena itu kritik dan saran yang membangun sangat dibutuhkan untuk dapat melakukan perbaikan karya ilmiah lainnya.

Lhokseumawe, 01 Februari 2024



Sukron Guru Mangaloksa
NIM. 180110141

LEMBAR PERSEMBAHAN

Bismillaahirrahmaanirrahiim

Sembah sujud serta syukur kepada Allah SWT.

Taburan cinta dan kasih sayang-Mu telah memberikanku kekuatan, membekaliku dengan ilmu serta memperkenalkanku dengan cinta. Atas karunia serta kemudahan yang Engkau berikan akhirnya skripsi yang sederhana ini dapat terselesaikan. Shalawat dan salam selalu terlimpahkan keharibaan Rasulullah Muhammad SAW

Kupersembahkan karya sederhana ini kepada orang yang sangat kusayangi;

Keluarga Besar

Terimakasih untuk (Keluarga Besar) selalu memberikan motivasi, nasihat, waktu, pikiran, tenaga serta dukungan yang membuatku semangat untuk menyelesaikan skripsi. Semoga doa dan semua hal yang terbaik yang kalian berikan menjadikanku orang yang baik pula.

Dosen Pembimbing dan Dosen Penguji

Izinkan saya mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing Ibu Lis Ayu Widari, ST., MT dan Ibu Nura Usrina, ST., MT yang sudah banyak membantu saya selama ini, atas nasehat, ilmu dan arahnya kepada saya hingga skripsi ini dapat terselesaikan, dan terimakasih saya ucapkan juga kepada Ketua Penguji Bapak Dr. Hamzani ST., MT dan Bapak Syibral Malasyi, ST., MT yang telah memberikan kritik dan sarannya dalam penulisan skripsi ini.

Teman-Teman

Teman seperjuanganku Teknik Sipil angkatan 2018 yang banyak memberikan dukungan pada penulis dalam menjalani masa-masa sulit dan senang perkuliahan

PENGARUH PENAMBAHAN LATEKS PADA CAMPURAN ASPAL AC-WC DENGAN ABU VULKANIK SEBAGAI FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL*

Nama : Sukron Guru Mangaloksa

Nim : 180110141

Pembimbing Utama : Lis Ayu Widari, ST., MT
Pembimbing Pendamping : Nura Usrina, ST., MT
Ketua Penguji : Dr. Hamzani, ST., MT
Anggota Penguji : Syibral Malasyi, ST., MT

ABSTRAK

Saat ini lalu lintas mengalami pertumbuhan yang pesat dan mengakibatkan kelebihan beban pada perkerasan, sehingga dibutuhkan struktur lapisan perkerasan yang tangguh dalam menopang beban lalu lintas, termasuk lapisan aus *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*. Solusi alternatif untuk meningkatkan daya aus lapisan perkerasan AC-WC adalah dengan mencampurkan lateks dan abu sinabung pada campuran. Tujuan penelitian adalah untuk mengetahui pengaruh dan variasi dengan kinerja terbaik dari bahan tambah lateks dan pemanfaatan abu sinabung sebagai *filler* terhadap karakteristik *marshall* pada campuran AC-WC. Menggunakan metode eksperimental pada variasi kadar aspal 4,3%; 4,8%; 5,3%; 5,8%; dan 6,3% dengan *filler* abu sinabung sebesar 50% pada seluruh benda uji. Kadar Aspal Optimum (KAO) diperoleh sebesar 6%, yang divariasikan dengan bahan tambah lateks sebesar 1,5%; 3%; dan 4,5% terhadap KAO. Dari hasil pengujian diperoleh: variasi 0% menghasilkan nilai VMA 15,65%, VIM 4,82%, VFA 69,18%, stabilitas 1386 kg, dan *flow* 3,03 mm; variasi 1,5% menghasilkan nilai VMA 15,59%, VIM 4,55%, VFA 70,79%, stabilitas 1538 kg, dan *flow* 3,47 mm; variasi 3% menghasilkan nilai VMA 15,54%, VIM 4,3%, VFA 72,3%, stabilitas 1659 kg, dan *flow* 3,82 mm; dan variasi lateks 4,5% menghasilkan nilai VMA 15,52%, VIM 4,09%, VFA 73,7%, stabilitas 1816 kg, dan *flow* 4,2 mm. Maka dapat disimpulkan seiring penambahan lateks menghasilkan rongga campuran yang semakin kecil namun memperkuat daya ikat agregat yang membuat kepadatan dan kestabilan meningkat, sehingga menghasilkan perkerasan dengan daya aus tinggi namun plastis. Maka dari itu, diperoleh variasi dengan kinerja terbaik dan layak diaplikasikan pada lapisan perkerasan AC-WC, yaitu variasi 1,5% dan 3%.

Kata Kunci: *abu sinabung, AC-WC, lateks, marshall*

DAFTAR ISI

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS	i
LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	ii
KATA PENGANTAR	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian	3
1.6 Metode Penelitian	3
BAB II TINJAUAN KEPUSTAKAAN	4
2.1 Aspal (Asphalt)	4
2.2 Aspal Beton	6
2.3 Agregat	7
2.4 Bahan Pengisi Abu Sinabung (<i>Filler</i>)	11
2.5 Zat Aditif Lateks (Bahan Tambah)	11
2.6 Pengujian Sifat Fisis Material	13
2.6.1 Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat	13
2.6.2 Pengujian berat isi saringan	14

2.6.3 Pengujian analisa saringan	15
2.7 Pengujian Marshall (Marshall Test).....	15
2.7.1 Kerapatan (<i>Density</i>)	15
2.7.2 <i>Void in Mineral Aggregate</i> (VMA)	16
2.7.3 <i>Void In Mix</i> (VIM)	16
2.7.4 <i>Void Filled with Asphalt</i> (VFA).....	17
2.7.5 Nilai stabilitas	17
2.7.6 Kelelehan (<i>flow</i>).....	17
2.7.7 <i>Marshall quotient</i>	18
2.8 Landasan Teori.....	18
BAB III METODE PENELITIAN	22
3.1 Gambaran Umum Penelitian	22
3.2 Lokasi Penelitian	22
3.3 Pengumpulan Data.....	22
3.3.1 Data Primer	22
3.3.2 Data Sekunder	23
3.4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian.....	23
3.4.1 Pemeriksaan sifat fisis material	23
3.4.2 Perencanaan pembuatan <i>mix design</i>	25
3.4.3 Persiapan bahan	25
3.4.4 Persiapan peralatan	26
3.4.5 Benda uji.....	27
3.4.6 Pembuatan benda uji.....	28
3.4.7 Pengujian benda uji	29
3.4.8 Analisis dan Pengolahan Data	30
3.5 Bagan Alir Penelitian.....	30
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	33
4.1 Gambaran Umum	33
4.2 Hasil Penelitian.....	34

4.2.1 Pemeriksaan sifat fisis material.....	34
4.2.2 Pemeriksaan kadar kimia abu vulkanik	39
4.2.3 Benda uji	40
4.2.4 Karakteristik <i>marshall</i>	41
4.2.5 Kadar Aspal Optimum (KAO).....	45
4.2.6 Karakteristik <i>marshall</i> dengan bahan tambah lateks	46
4.2.7 Kadar lateks optimum	51
4.3 Pembahasan	52
4.3.1 Kadar aspal optimum (KAO).....	52
4.3.2 Karakteristik <i>marshall</i> campuran AC-WC dengan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai <i>filler</i>	52
4.3.3 Kadar lateks optimum	57
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	58
5.1 Kesimpulan	58
5.2 Saran.....	58
DAFTAR PUSTAKA	59
LAMPIRAN A PERHITUNGAN.....	61
LAMPIRAN B TABEL	88
LAMPIRAN C DOKUMENTASI.....	96
LAMPIRAN D BIODATA PENULIS.....	101
LAMPIRAN E BERKAS ADMINISTRASI.....	103

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC).....	6
Tabel 2.2	Ketentuan agregat kasar	8
Tabel 2.3	Ketentuan agregat halus	9
Tabel 2.4	Agregat untuk campuran aspal	10
Tabel 2.5	Persyaratan <i>filler</i> berdasarkan SNI 03-6723-2002	11
Tabel 3.1	Jumlah benda uji untuk penentuan KAO	27
Tabel 3.2	Jumlah benda uji dengan campuran lateks dan <i>filler</i> abu sinabung ...	27
Tabel 4.1	Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat 3/4"	34
Tabel 4.2	Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat 3/8"	35
Tabel 4.3	Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air pasir	35
Tabel 4.4	Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air <i>dust</i>	36
Tabel 4.5	Hasil pemeriksaan berat isi agregat	36
Tabel 4.6	Hasil analisa saringan <i>filler</i> abu sinabung	37
Tabel 4.7	Penentuan gradasi campuran	38
Tabel 4.8	Hasil pengujian kadar lateks kering	39
Tabel 4.9	Kandungan kimia abu sinabung	40
Tabel 4.10	Berat material penyusun campuran AC-WC.....	41
Tabel 4.11	Hasil pengujian <i>marshall</i> dengan <i>filler</i> abu sinabung.....	45
Tabel 4.12	Hasil KAO dari karakteristik <i>marshall</i> dengan <i>filler</i> abu sinabung...	46
Tabel 4.13	Komposisi campuran AC-WC dengan bahan tambah getah lateks dan abu sinabung sebagai <i>filler</i>	46
Tabel 4.14	Hasil pengujian <i>marshall</i> dengan menggunakan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai <i>filler</i>	51
Tabel 4.15	Kadar lateks optimum dari hasil karakteristik <i>marshall</i> dengan menggunakan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai <i>filler</i> ...	51
Tabel 4.16	Hasil pengujian karakteristik <i>marshall</i> dengan menggunakan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai <i>filler</i>	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Grafik gradasi agregat campuran AC-WC	10
Gambar 3.1	Bagan alir penelitian.....	32
Gambar 4.1	Gradasi setiap fraksi agregat	38
Gambar 4.2	Gradasi campuran agregat	39
Gambar 4.3	<i>Density</i> dengan <i>filler</i> abu sinabung	42
Gambar 4.4	VMA dengan <i>filler</i> abu sinabung	42
Gambar 4.5	VIM dengan <i>filler</i> abu sinabung.....	43
Gambar 4.6	VFA dengan <i>filler</i> abu sinabung.....	43
Gambar 4.7	Stabilitas dengan <i>filler</i> abu sinabung.....	44
Gambar 4.8	<i>Flow</i> dengan <i>filler</i> abu sinabung	44
Gambar 4.9	MQ dengan <i>filler</i> abu sinabung	45
Gambar 4.10	<i>Density</i> dengan bahan tambah lateks dan <i>filler</i> abu sinabung.....	47
Gambar 4.11	VMA dengan bahan tambah lateks dan <i>filler</i> abu sinabung.....	48
Gambar 4.12	VIM dengan bahan tambah lateks dan <i>filler</i> abu sinabung	48
Gambar 4.13	VFA dengan bahan tambah lateks dan <i>filler</i> abu sinabung	49
Gambar 4.14	Stabilitas dengan bahan tambah lateks dan <i>filler</i> abu sinabung	49
Gambar 4.15	<i>Flow</i> dengan bahan tambah lateks dan <i>filler</i> abu sinabung.....	50
Gambar 4.16	MQ dengan bahan tambah lateks dan <i>filler</i> abu sinabung.....	50

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

AC-WC	: <i>Asphal Concrete Wearing Course</i> merupakan lapisan aus aspal beton yang berada paling luar lapisan jalan.
Agregat	: formasi kulit bumi yang keras dan padat
Agregat halus	: Agregat dengan butiran lolos saringan No.4
Agregat kasar	: Agregat dengan butiran tertahan saringan No.4
Aspal	: Lapisan perekat dengan unsur utama bitumen
<i>Filler</i>	: Partikel halus yang lolos saringan No.200
<i>Density</i>	: Tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan
Gradasi	: Susunan butir agregat sesuai saringan.
<i>Absorpsi</i>	: Penyerapan
Bitumen	: Zat perekat yang mengandung senyawa hidrokarbon
CA	: <i>Course Aggregate</i> yaitu agregat kasar yang tertahan saringan No.4
Deformasi	: Perubahan bentuk disebabkan karena beban berlebih
<i>Density</i>	: Tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan
Durabilitas	: Kemampuan beton aspal menahan beban lalu lintas
FA	: <i>Fine Aggregate</i> yaitu agregat halus yang lolos saringan No.4 dan tertahan saringan No.200
<i>Filler</i>	: Bahan pengisi (agregat halus yang lolos saringan No. 200)
Fleksibilitas	: Kemampuan beton aspal menyesuaikan diri dari penurunan
<i>Flow</i>	: Kelelehan plastis adalah perubahan suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh (diperoleh dari pengujian <i>marshall</i>)
Gb	: Berat jenis aspal
Gradasi	: Susunan butir agregat sesuai saringan
Gsa	: Berat jenis apparent dari total agregat
Gsb	: Berat jenis <i>bulk</i> total agregat

Gse	: Berat jenis efektif dari total agregat
<i>Hot Mix</i>	: Campuran beraspal panas
KAO	: Kadar Aspal Optimum
<i>Marshall test</i>	: Pengujian <i>marshall</i> dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan kelelahan (<i>flow</i>)
<i>Marshall Qoutient</i>	: Perbandingan antara stabilitas dan <i>flow</i>
<i>Mix Design</i>	: Perencanaan campuran
Pen	: Penetrasi
<i>Quartering</i>	: Membagi <i>sample</i> menjadi empat bagian yang sama
SNI	: Standar Nasional Indonesia
<i>Stability</i>	: Kemampuan lapisan perkerasan menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis
VIM	: <i>Void In the Mix</i> (rongga dalam campuran) adalah bagian ruang yang kosong sari seluruh campuran
VFA	: <i>Void Filler by Asphalt</i> (rongga yang terisi aspal) adalah bagian dari pori agregat yang terisi aspal
VMA	: <i>Void In Mineral Aggregate</i> (rongga antar butiran agregat) adalah besarnya rongga yang terdapat pada susunan butir
<i>Waterbath</i>	: Wadah untuk merendam benda uji pada suhu 60°C

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan volume lalu lintas di Indonesia saat ini semakin meningkat sehingga memberikan dampak terhadap pembangunan sarana dan prasarana transportasi darat. Peningkatan tersebut akan membuat beban pada perkerasan melebihi beban rencana, dan dapat mengakibatkan kerusakan terhadap lapis permukaan jalan. Selain itu, faktor cuaca dan suhu juga mempengaruhi keawetan lapis perkerasan aspal. Di Indonesia terdapat banyak kerusakan jalan, bahkan kerusakan terjadi sebelum mencapai umur rencana yang ditentukan. Kerusakan jalan disebabkan oleh berbagai hal, seperti tingginya temperatur permukaan jalan, curah hujan yang tinggi, serta volume dan beban lalu lintas yang berlebih. Oleh karena itu, dibutuhkan campuran lapisan perkerasan dengan bahan pengikat yang memiliki titik leleh yang tinggi, bersifat keras, dan elastis namun melekat dengan baik dan tahan lama (Sitorus, 2020). Alternatif untuk meningkatkan mutu campuran aspal tersebut adalah dengan menggunakan bahan tambah.

Salah satu alternatif bahan tambah adalah lateks, yang merupakan bahan alami yang banyak dihasilkan di Indonesia dan merupakan salah satu hasil perkebunan unggulan. Lateks dapat digunakan sebagai bahan tambah karena termasuk dalam kategori polimer, selain itu lateks juga memiliki daya aus yang tinggi dan ketahanan yang tinggi terhadap keretakan. Maka dari itu, penambahan lateks pada kadar tertentu terhadap campuran beton aspal dapat memberikan keuntungan seperti tahan terhadap cuaca dan tahan terhadap retakan lendutan yang berlebihan serta deformasi beton aspal (Aminsyah & Syahid, 2019). Penambahan lateks pada campuran aspal dapat meningkatkan nilai karakteristik *marshall*, meliputi nilai stabilitas dan nilai *flow*.

Hasil erupsi gunung Sinabung menghasilkan banyak abu vulkanik di sekitar gunung. Sehingga banyak pemanfaatan abu vulkanik yang dilakukan untuk mengurangi limbah abu vulkanik tersebut, mulai dari sektor pertanian hingga

konstruksi. Salah satunya pemanfaatannya dapat digunakan sebagai pengganti semen pada bahan bangunan, hal ini dikarenakan abu vulkanik mengandung unsur silika dan alumina. Menurut (Pratama et al., 2016), abu vulkanik sinabung memenuhi syarat untuk dijadikan alternatif penggunaan *filler* pada campuran beton aspal dan dapat meningkatkan nilai kadar rongga yang terisi aspal pada campuran.

Berdasarkan uraian di atas, perlu adanya penelitian tentang pengaruh penambahan lateks (getah pohon karet) dan menggunakan abu vulkanik sebagai *filler* terhadap campuran perkerasan AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*), dengan tujuan mengetahui nilai karakteristik *marshall* berdasarkan syarat yang ditentukan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan ditinjau adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh bahan tambah lateks pada aspal dan abu sinabung sebagai *filler* terhadap karakteristik *marshall* pada campuran AC-WC?
2. Berapakah variasi lateks dalam aspal dan abu sinabung sebagai *filler* yang menghasilkan kinerja terbaik campuran AC-WC?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengetahui pengaruh bahan tambah lateks pada aspal dan abu sinabung sebagai *filler* terhadap karakteristik *marshall* pada campuran AC-WC.
2. Untuk mengetahui variasi lateks dalam aspal dan abu sinabung sebagai *filler* yang menghasilkan kinerja terbaik campuran AC-WC.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka manfaat dari hasil penelitian adalah sebagai berikut:

1. Memberikan masukan tentang pengaruh lateks sebagai bahan tambah dengan abu sinabung sebagai *filler* terhadap lapisan perkerasan AC-WC.

2. Menambah alternatif penggunaan bahan tambah dan *filler* pada campuran lapisan perkerasan, khususnya perkerasan AC-WC.

1.5 Ruang Lingkup dan Batasan Penelitian

Ruang lingkup dan batasan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. Lateks yang digunakan adalah getah cair pohon karet dari salah satu perkebunan karet di Kabupaten Aceh Utara.
2. Lateks digunakan sebagai bahan tambah pada aspal.
3. Variasi penambahan lateks sebesar 0%; 1,5%; 3%; dan 4,5% dari kadar aspal optimum.
4. Abu vulkanik yang digunakan berasal dari gunung Sinabung, Kabupaten Karo, Sumatera Utara, dan selanjutnya disebut sebagai abu sinabung.
5. *Filler* yang digunakan terdiri dari 50% abu sinabung dan 50% semen.
6. Agregat kasar, agregat halus, dan aspal 60/70 diperoleh dari PT. Abad Jaya Abadi Sentosa Krueng Geukeuh.
7. Penelitian dilaksanakan di laboratorim Teknik Sipil Universitas Malikussaleh.
8. Penelitian mengacu pada standar yang ditetapkan di Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) Tahun 2020.

1.6 Metode Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan studi literatur dan persiapan bahan campuran aspal AC-WC berupa agregat, aspal penetrasi 60/70, lateks, dan abu sinabung sebagai *filler*. Kemudian dilakukan pengujian sifat fisis material, perencanaan *mix design* AC-WC, pembuatan benda uji dengan menentukan kadar aspal tengah (Pb) untuk mencari nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) disertai dengan pengujian *marshall*. Setelah KAO diperoleh, dilakukan pembuatan benda uji untuk setiap variasi pencampuran yang menggunakan lateks sebagai bahan tambah dengan abu sinabung sebagai substitusi parsial *filler* terhadap campuran AC-WC, kemudian dilakukan pengujian *marshall* terhadap benda uji. Variasi campuran lateks sebagai bahan tambah adalah 0%; 1,5%; 3%; dan 4,5% dari berat aspal optimum.

BAB II

TINJAUAN KEPUSTAKAAN

2.1 Aspal (Asphalt)

Aspal disebut sebagai bahan *bituminous materia*, yang merupakan suatu materi yang berperan sebagai perekat dan biasanya memiliki warna hitam atau coklat gelap. Ini karena aspal dibentuk dari elemen hidrokarbon yang dikenal sebagai bitumen (Sitorus, 2020).

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibagi menjadi aspal alam dan aspal minyak. Aspal alam adalah aspal yang dihasilkan oleh alam dan dapat dimanfaatkan langsung atau dengan mengolahnya terlebih dahulu, sedangkan aspal minyak adalah aspal hasil residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal minyak banyak digunakan untuk konstruksi perkerasan lentur (*flexible pavement*), salah satu yang sering digunakan adalah aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*. Menurut (Sukirman, 2016), berdasarkan bentuk aspal pada suhu ruang, aspal diklasifikasikan menjadi bentuk aspal padat hingga semi padat, aspal cair dan aspal emulsi.

- A. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*). Di Amerika disebut *asphalt cement*, sedangkan di Eropa dikenal dengan sebutan bitumen. Pemakaian semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat campuran perkerasan.
- B. Aspal cair (*cutback asphalt*) merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang kemudian dicairkan dengan bahan pencair. Bahan pencair tersebut juga membedakan aspal cair menjadi:
- 1) *Rapid curing cut back asphalt* (RC), yang merupakan aspal cair yang dicairkan menggunakan bensin. Jenis ini memiliki kecepatan penguapan paling cepat di antara yang lain.
 - 2) *Medium curing cut back asphalt* (MC), yang merupakan aspal cair yang dicairkan menggunakan minyak tanah.
 - 3) *Slow curing cut back asphalt* (SC), yang merupakan aspal cair yang dicairkan dengan menggunakan solar (minyak diesel). Jenis ini memiliki penguapan yang paling lama di antara yang lain.

C. Aspal emulsi (*emulsified asphalt*) adalah aspal yang dicampur dengan air dan bahan pengemulsi di pabrik pencampur, sehingga aspal emulsi ini lebih cair dibandingkan aspal cair. Untuk menghindari butiran aspal saling menarik membentuk butir-butir yang lebih besar, maka butiran tersebut diberi muatan listrik positif (*kationik*), negatif (*anionik*), ataupun yang tidak mengantarkan listrik (*nonionik*). Menurut (Sukirman, 2016), berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dibagi atas:

- 1) *Rapid Setting* (RS), aspal emulsi yang paling cepat padat atau keras kembali, karena kandungan bahan pengemulsi yang sedikit,
- 2) *Medium Setting* (MS), dan
- 3) *Slow Setting* (SS), aspal emulsi yang sering digunakan, kecepatan pengerasannya paling lambat di antara yang lain.

Dalam membuat campuran aspal, perlu adanya komposisi material yang tepat untuk menghasilkan campuran yang ekonomis dan memenuhi ketentuan *marshall*, termasuk aspal. Kadar aspal yang terdapat pada campuran berbeda-beda tergantung komposisi campuran tersebut. Maka dari itu, perlu perencanaan Kadar Aspal Optimum (KAO) dalam campuran untuk campuran aspal yang efektif. Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan sebagai nilai tengah dari rentang kadar minimum dan maksimum yang memenuhi persyaratan karakteristik campuran. Menurut (Sukirman, 2016), menentukan kadar aspal tengah (Pb) pada perencanaan pembuatan benda uji dapat menggunakan persamaan 2.1 berikut.

$$Pb = 0,035(\%CA) + 0,045(\%FA) + 0,18(\%FF) + K \dots\dots\dots(2.1)$$

keterangan: Pb = Persentase kadar aspal terhadap campuran (%)

CA = Persentase berat gregat kasar tertahan saringan No.4 (%)

FA = Persentase berat agregat halus lolos saringan No.4 dan tertahan saringan No.200 (%)

FF = Persentase berat agregat min. 75% lolos saringan No.200 (%)

K = Konstanta (0,5 untuk penyerapan agregat yang rendah, dan 1,0 untuk penyerapan agregat yang tinggi)

2.2 Aspal Beton

Aspal beton (*asphaltic concrete*) adalah gabungan dari agregat yang memiliki gradasi menerus dengan bahan bitumen, baik dengan atau tanpa penggunaan zat tambahan. Beton aspal telah menjadi bahan utama dalam konstruksi jalan selama beberapa waktu, dan penggunaannya terus meningkat, khususnya di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh kemampuan beton aspal untuk menahan beban kendaraan berat dan ketahanannya terhadap kondisi cuaca (Senolinggi, 2018).

Material pembentuk aspal beton dicampur dan dipanaskan terlebih dahulu pada suhu tertentu (berdasarkan jenis aspal yang digunakan), lalu diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Jika campuran aspal beton menggunakan semen, maka suhu pada saat pencampuran biasanya berkisar antara 145°-155°C, sehingga disebut aspal beton campuran panas atau disebut juga dengan *hotmix*.

Menurut (Sukirman, 2016), aspal beton terdiri dari tiga jenis berdasarkan fungsinya, yaitu:

- A. *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) merupakan lapisan aspal beton (Laston) sebagai lapis aus dengan ketebalan minimum adalah 4 cm.
- B. *Asphalt Concrete-Binder Course* (AC-BC) merupakan lapisan aspal beton (Laston) sebagai lapis pengikat dengan ketebalan minimum adalah 6 cm.
- C. *Asphalt Concrete-Base* (AC-Base) merupakan Lapisan tipis aspal beton (Lataston) sebagai lapis pondasi dengan ketebalan minimum adalah 7,5 cm. Seperti ditunjukkan oleh Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Ketentuan sifat-sifat campuran laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapisan Aus	Lapisan Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,6		
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min.	3		
	Maks.	5		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapisan Aus	Lapisan Antara	Pondasi
Rongga terisi aspal (VFA) (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas <i>marshall</i> (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas <i>marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min.	2		

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2)

2.3 Agregat

Agregat merupakan material paling utama dan dominan dalam campuran perkerasan. Oleh karena itu, kandungan agregat berpengaruh besar terhadap karakteristik suatu campuran lapisan perkerasan. Dalam struktur perkerasan, berat agregat mencakup 90-95% dan volume agregat mencakup 75-85% dari volume perkerasan total (Sukirman, 2016).

Agregat adalah butiran batu pecah, baik dari hasil alam atau atau hasil pengolahan yang digunakan sebagai bahan utama konstruksi perkerasan. Agregat berbentuk pecahan memiliki koefisien gesek yang tinggi dan dapat saling mengunci satu sama lain, yang menghasilkan stabilitas tinggi pada perkerasan. Untuk agregat yang tertahan oleh saringan No.4, minimal 40% dari agregat tersebut memiliki satu permukaan pecahan per butiran (Aminsyah & Syahid, 2019).

A. Agregat kasar

Menurut Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) Tahun 2020, agregat kasar yang digunakan harus memenuhi ketentuan-ketentuan yang dibawah ini:

1. Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.
2. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran

nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan.

3. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam tabel 2.2 Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) Tahun 2020. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu sama atau lebih.
4. Agregat kasar untuk latasir boleh menggunakan agregat kelas A dan B boleh dari kerikil yang bersih, harus memenuhi persyaratan yang diberikan pada tabel 2.2 Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) Tahun 2020.

Tabel 2.2 Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%
	magnesium sulfat		Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90
	Lainnya		95/90
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	SNI 8287:2016 Perbandingan 1:5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2)

B. Agregat halus

Berdasarkan standar Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) Tahun 2020, ketentuan agregat halus yang digunakan harus memenuhi standar berikut.

1. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm).
2. Fraksi agregat pecah halus dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar dan *filler*.
3. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran *Asphalt Cement* (AC) sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Agregat halus harus memenuhi ketentuan pada Tabel 2.3.
4. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, dan bebas dari lempung. Apabila agregat halus didapat dari hasil pemecahan batu, maka mutu agregat halus harus dijaga dengan mencuci bahan baku secara mekanis sebelum dipecah, kemudian melakukan proses *scalping screen*.

Tabel 2.3 Ketentuan agregat halus

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

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2)

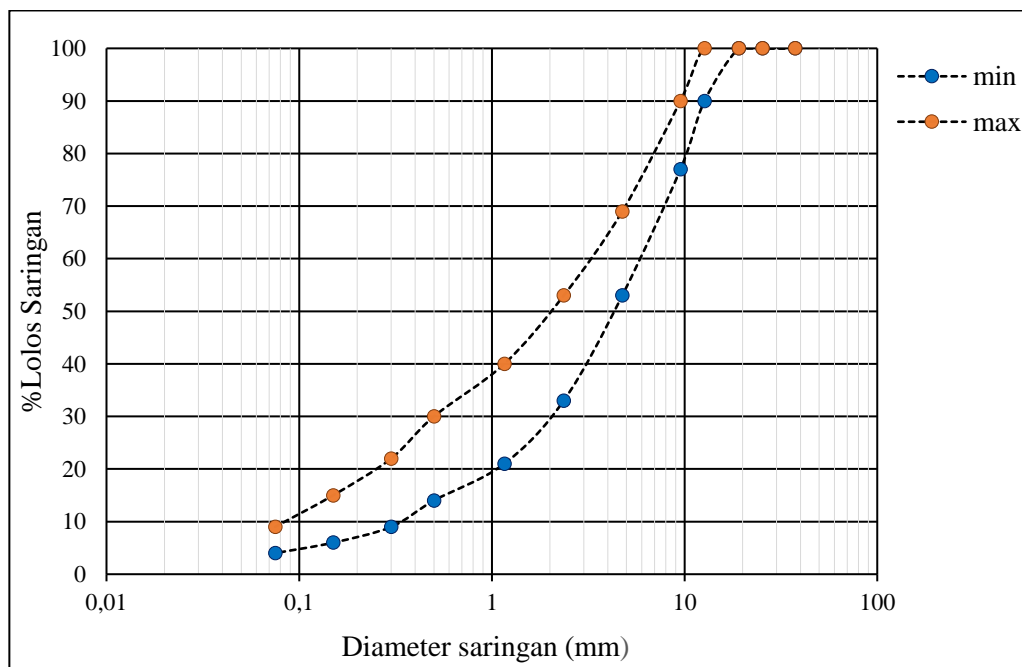
C. Gradasi Agregat

Menurut (Rezi, 2021) gradasi agregat adalah susunan butiran agregat berdasarkan ukurannya dan memiliki pengaruh besar terhadap kualitas karakteristik perkerasan terutama nilai *stabilitas*. Ukuran butiran agregat didapatkan melalui pengujian analisis ayakan. Gradasi agregat untuk campuran beraspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi. Rancangan dan Perbandingan Campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.4 berdasarkan Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) Tahun 2020.

Tabel 2.4 Agregat untuk campuran aspal

Ukuran ayakan		% Berat yang lolos terhadap total agregat dalam campuran		
		Laston		
ASTM	(mm)	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5			100
1"	25		100	90-100
3/4"	19	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	9-22	7-20	6-15
No.100	0,150	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2)

**Gambar 2.1** Gradasi agregat campuran AC-WC

2.4 Bahan Pengisi Abu Sinabung (*Filler*)

Menurut (Rezi, 2021), *filler* merupakan bahan berbutir halus, pada konstruksi perkerasan berfungsi sebagai pengisi ruang kosong di antara agregat kasar sehingga rongga udara menjadi terisi dan meningkatkan stabilitas pada perkerasan.

Berdasarkan standar Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (Revisi 2) Tahun 2020 bahan pengisi yang menggunakan semen harus dalam rentang 1% sampai dengan 2% terhadap berat total agregat, dan untuk bahan pengisi lainnya seperti abu batu atau *flyash* harus berada dalam rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat keseluruhan. *Filler* merupakan bahan yang lolos saringan no.30 (0,59 mm) dan paling sedikit 70% lolos saringan no.200 (0.075 mm). Seperti diperlihatkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Persyaratan *filler* berdasarkan SNI 03-6723-2002

Ukuran Saringan	Persentase Lolos (%)
No.30 (600 mikron)	100
No.50 (300 mikron)	95-100
No.200 (75 mikron)	70-100

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2)

Abu vulkanik dapat digunakan sebagai alternatif pengganti *filler* yang bisa diaplikasikan dalam pembangunan perkerasan jalan, dan kadar optimal penggunaan abu vulkanik adalah 50% terhadap *filler* (Syahputra, 2019). Abu vulkanik memiliki porositas yang tinggi dan ukurannya berkisar di antara 0,001 mm hingga 2 mm, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi campuran dan meningkatkan stabilitas karena memiliki kekerasan yang tinggi (Subono, 2011).

Menurut (Simatupang & Devi, 2016), abu sinabung mengandung senyawa utama 58,10% SiO₂; 18,30% Al₂O₃; 7,09% Fe₂O₃; dan 8,05% CaO, hal tersebut menunjukkan bahwa abu sinabung termasuk material pozzolan.

2.5 Zat Aditif Lateks (Bahan Tambah)

Zat aditif adalah bahan yang digunakan untuk meningkatkan ikatan antar campuran lapis perkerasan (Aminsyah & Syahid, 2019). Selain itu, menurut (Sitorus, 2020), bahan tambah harus memenuhi ketentuan berikut:

1. sifat baik dari aspal semula harus dipertahankan, termasuk pada saat penyimpanan, pengeringan dan masa pelayanan,
2. mudah diproses meskipun dengan peralatan konvensional, dan
3. secara fisik dan kimia tetap baik pada saat penyimpanan, pengerjaan, maupun masa pelayanan.

Lateks merupakan getah cair pohon *Hevea Brasiliensis* yang berwarna putih seperti susu, dan memiliki sifat koloid. Fasa terurai pada lateks berupa molekul hidrokarbon terdiri dari satuan *isoprena* (C₅H₈) membentuk *poliisoprena* (C₅H₈) (partikel karet) yang terurai apabila diberi serum (partikel non karet), sehingga mengubah lateks menjadi lateks yang kental. Menurut (Nursandah & Zaenuri, 2019), lateks yang berkualitas harus memenuhi ketentuan sebagai berikut:

1. tidak terdapat kotoran atau benda-benda lain, seperti serangga, daun, ranting kayu, pasir ataupun kerikil,
2. tidak tercampur dengan bubur lateks, air ataupun serum lateks,
3. berwarna putih dan memiliki bau karet segar, dan
4. memiliki kadar karet kering 20% sampai dengan 28%.

Kadar karet kering adalah pemeriksaan berat karet alam cair, kemudian dipanaskan/dikeringkan sehingga tidak terdapat perubahan berat pada karet. Kadar karet kering merupakan berat kering karet dibagi berat karet alam cair semula seperti ditunjukkan pada persamaan 2.2.

$$\text{Kadar kering lateks} = \frac{\text{berat kering oven}}{\text{berat semula}} \times 100 \dots\dots\dots(2.2)$$

Penambahan lateks mampu mencegah terjadinya retak-retak, mencegah *bleeding*, menghindari pelepasan butir di permukaan dan mereduksi deformasi permanen pada lapis permukaan perkerasan jalan (Ferdilla et al., 2018). Selain itu, penambahan lateks dibatasi hingga 7%, penambahan lateks cair mampu mempercepat pemulihan akibat deformasi, hal ini dikarenakan oleh lateks yang tersebar secara merata dan seragam di dalam aspal saat pencampuran, sehingga menghasilkan nilai regangan yang lebih rendah dibanding tanpa penambahan lateks. (Wen et al., 2015)

2.6 Pengujian Sifat Fisis Material

Menurut (Sukirman, 2016), tujuan pengujian sifat fisis material dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari bahan-bahan yang digunakan sebagai penyusun aspal AC-WC. Pengujian meliputi berat isi agregat, berat jenis agregat kasar dan agregat halus serta analisa saringan untuk mendapatkan nilai kualitas gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya ikat aspal dengan agregat.

2.6.1 Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat

Berat jenis merupakan perbandingan antara volume agregat dengan berat volume air. Hubungan berat jenis dan daya penyerapan adalah semakin tinggi nilai berat jenis agregat maka semakin kecil daya serap agregat. Pengujian ini dilakukan berdasarkan SNI 1969-2016 terhadap agregat kasar dan SNI 1970-2016 terhadap agregat halus, yang bertujuan mendapatkan nilai berat jenis agregat. Berat jenis terbagi menjadi 3 yaitu: berat jenis *bulk*, berat jenis SSD, dan berat jenis semu.

A. Berat jenis *Bulk* (*bulk spesifikasi gravity*), adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering dan seluruh volume agregat. Perhitungan menggunakan persamaan 2.3 dan 2.4 berikut.

$$\text{agregat kasar} = \frac{Bk}{(Bj - Ba)} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$\text{agregat halus} = \frac{Bk}{(B + Bj - BT)} \dots\dots\dots(2.4)$$

B. Berat jenis kering permukaan (*saturated surface dry*), adalah perbandingan antara berat agregat kering permukaan jenuh dan berat air suling yang isinya sama dengan isi agregat dalam keadaan jenuh pada suhu tertentu. Perhitungan menggunakan persamaan 2.5 dan 2.6 berikut.

$$\text{agregat kasar} = \frac{Bj}{(Bj - Ba)} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$\text{agregat halus} = \frac{Bj}{(B + Bj - BT)} \dots\dots\dots(2.6)$$

C. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) adalah berat jenis dengan memperhitungkan berat agregat dalam keadaan kering, dan agregat volume yang dapat diserap oleh air. Perhitungan menggunakan persamaan 2.7 dan 2.8 berikut:

$$\text{agregat kasar} = \frac{B_k}{(B_k - B_a)} \dots\dots\dots (2.7)$$

$$\text{agregat halus} = \frac{B_k}{(B + B_k - B_T)} \dots\dots\dots (2.8)$$

Agregat yang berpori dapat menyerap aspal, sehingga membentuk ikatan yang baik antara aspal dan agregat. Namun pori yang terlalu besar akan membuat aspal cepat pecah serta memungkinkan terjadi degradasi. Penyerapan dibatasi sebesar $\leq 3\%$ untuk lapis permukaan. Nilai pori diperkirakan dari banyaknya air yang terserap agregat dengan menggunakan persamaan 2.9 berikut.

$$\text{Penyerapan air} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \dots\dots\dots (2.9)$$

keterangan: B_k = berat benda uji kering oven (gr)

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

B_a = berat benda uji dalam air (gr)

B_T = berat piknometer + air + plat kaca + benda uji (gr)

B = berat piknometer + air + plat kaca (gr)

2.6.2 Pengujian berat isi saringan

Berat isi agregat merupakan perbandingan berat isi dalam wadah, semakin berat isi agregat akan menghasilkan stabilitas yang tinggi dan memberikan rongga antara butiran yang kecil. Perhitungan menggunakan rumus yang ditetapkan pada SNI 1970-2016 dengan persamaan 2.10 berikut.

$$\text{Berat isi agregat} = \frac{W}{V} \dots\dots\dots (2.10)$$

keterangan: W = berat sampel ((berat wadah + berat agregat) – berat wadah) (kg)

V = volume wadah (cm^3)

2.6.3 Pengujian analisa saringan

Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh distribusi butiran atau jumlah persentase butiran baik agregat halus maupun agregat kasar sesuai gradasi yang dipersyaratkan menurut SNI ASTM C136-2012.

$$\text{Persentase tertahan} = \frac{\text{Berat tertahan}}{\text{Jumlah berat tertahan}} \times 100 \dots \dots (2.11)$$

$$\text{Persentase lolos kumulatif} = \frac{100 - \text{Persentase tertahan}}{100} \times 100 \dots \dots (2.12)$$

2.7 Pengujian Marshall (*Marshall Test*)

Menurut (Sukirman, 2016), *marshall test* bertujuan guna mengukur daya tahan campuran agregat dan aspal terhadap stabilitas dan kelelahan plastis (*flow*) campuran. Sifat-sifat campuran beton aspal dapat dilihat dari karakteristik *marshall*, yaitu sebagai berikut.

2.7.1 Kerapatan (*Density*)

Kerapatan (*density*) merupakan tingkat kerapatan campuran setelah didapatkan. Nilai *density* dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan penyusun, faktor pemadatan baik dalam jumlah pemadatan maupun temperature pemadatan, penggunaan kadar aspal dan penambahan bahan additif pada campuran aspal. Lapisan perkerasan dengan kepadatan yang tinggi akan sulit ditembus oleh air dan udara. Ini menyebabkan lapisan perkerasan akan semakin awet dan tahan lama (Saputra, 2020). Perhitungan *density* menggunakan persamaan berikut.

$$g = c / f \dots \dots \dots (2.13)$$

$$f = d - e \dots \dots \dots (2.14)$$

keterangan: g = Nilai kepadatan (gr/cm³)

c = Berat kering / sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cm³)

2.7.2 Void in Mineral Aggregate (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) merupakan persentase rongga yang tersedia untuk menampung volume efektif aspal (seluruh aspal kecuali yang diserap oleh agregat) dan volume rongga udara yang dibutuhkan untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air atau beban lalu lintas. Dengan semakin bertambahnya nilai VMA dari campuran, maka semakin besar rongga yang tersedia untuk aspal (Saputra, 2020). Perhitungan menggunakan persamaan 2.15 berikut.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots(2.15)$$

keterangan: VMA = Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

Gsb = Berat jenis curah agregat

Ps = Agregat, persen terhadap berat total campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat (ASTM D 2726)

2.7.3 Void In Mix (VIM)

Menurut (Ilhamsyah, 2017), *Void In the Mix* (VIM) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM maka semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous (berongga). Hal tersebut membuat campuran kurang rapat yang berakibat air dan udara mudah masuk ke dalam rongga campuran, sehingga aspal mudah teroksidasi yang membuat lekatan antara butiran berkurang dan terjadi pelepasan butiran (*reveling*) serta pengelupasan lapisan permukaan. Perhitungan menggunakan persamaan 2.16 berikut.

$$VIM = 100 \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots(2.16)$$

keterangan: VIM = Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

Gmm = Berat jenis maksimum campuran

Gmb = Berat jenis curah campuran padat

2.7.4 *Void Filled with Asphalt (VFA)*

Menurut (Saputra, 2020), *Void Filled With Asphalt (VFA)* merupakan persentase rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Untuk mendapatkan suatu campuran yang awet dan mempunyai tingkat oksidasi yang rendah, maka rongga diantara agregat harus cukup untuk terisi aspal agar membentuk lapisan aspal yang tebal. Perhitungan menggunakan persamaan 2.17 berikut.

$$VFA = 100 \frac{VMA - VIM}{VMA} \dots\dots\dots(2.17)$$

keterangan: VFA = rongga udara yang terisi aspal, persentase dari VMA (%)

VMA= rongga udara pada agregat, presentase volume total (%)

VIM = rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

2.7.5 *Nilai stabilitas*

Menurut (Sukirman, 2016), salah satu tujuan pengujian *marshall* untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap pembebanan yang disebut stabilitas. Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban yang bekerja tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang, alur ataupun *bleeding* yang dinyatakan dalam satuan kg atau lb. Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan dial pada alat pengujian *marshall*. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi menghasilkan perkerasan yang kaku dan tingkat keawetan yang kurang. Perhitungan menggunakan persamaan 2.18 berikut.

$$s = (p \ x \ q \ x \ r) \dots\dots\dots(2.18)$$

keterangan: s = Nilai stabilitas.

p = Pembacaan jarum dial.

q = Kalibrasi alat *marshall*.

r = Angka koreksi benda uji

2.7.6 *Kelelehan (flow)*

Menurut (Subono, 2011), *flow* adalah besarnya deformasi vertikal sampel yang terjadi mulai saat awal pembebanan sampai kondisi kestabilan maksimum sehingga

sampel hancur. Nilai *flow* adalah nilai yang ditunjukkan oleh dial. Jarum dial *flow* menggunakan satuan 0,01 mm. Campuran dengan keelehan yang rendah akan lebih kaku dan cenderung mengalami retak dini pada usia pelayanannya. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal dan *viskositas* aspal, gradasi, suhu dan jumlah pemadatan. Semakin tinggi nilai *flow*, maka campuran akan semakin elastis. Sedangkan nilai *flow* yang rendah sangat berpotensi terjadi retakan. Nilai keelehan (*flow*) merupakan nilai hasil pembacaan arloji pada alat uji *marshall*.

2.7.7 Marshall quotient

Menurut (Subono, 2011), *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan keelehan. *Marshall Quotient* merupakan indikator dari kelenturan campuran yang potensial terhadap keretakan. Semakin tinggi nilai *Marshall Quotient*, maka semakin rentan terhadap keretakan. Perhitungan menggunakan persamaan 2.19 berikut:

$$\text{Marshall quotient} = \frac{\text{stabilitas}}{\text{flow}} \dots\dots\dots(2.19)$$

2.8 Landasan Teori

Landasan teori pada penelitian ini mengacu kepada penelitian terdahulu terhadap campuran aspal dengan beberapa jenis material alternatif. Penelitian terdahulu merupakan literatur yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Beberapa penelitian yang berhubungan dengan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penelitian Afriaziz et al., 2019 yang berjudul “Pengaruh Penambahan Karet Alam Pada Campuran Aspal Beton Lapis Aus Dengan *Filler Fly Ash*”. Penelitian ini menggunakan uji *marshall* dengan menggunakan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%. Sampel benda uji yang dibuat berjumlah 5 benda uji tiap kadar aspal dan didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6% kemudian divariasikan dengan kadar karet alam sebesar 6%, 7%, 8%, 9%, dan 10%. Hasil pengujian mendapatkan Kadar Karet Alam Optimum (KKAO) sebesar 8%. Dari KKAO tersebut didapatkan nilai Stabilitas 1191,2

kg, *Flow* 3,55%, VIM 3,98%, VMA 17,61%, *Marshall Quotient* 335,8 kg/mm, VFA 77,35%. Penambahan lateks tidak disarankan lebih dari 9%.

2. Penelitian Nursandah & Zaenuri, 2019 yang berjudul “Penelitian Penambahan Karet Alam (Lateks) Pada Campuran Laston AC-WC Terhadap Karakteristik *Marshall*”. Penelitian ini menggunakan uji *marshall* dengan penambahan variasi lateks 3%, 5%, 7%, 9%, dan 11% dari total berat aspal pada benda uji. Nilai KAO sebesar 6,2% dari campuran laston AC-WC dengan variasi lateks 7% terhadap total berat aspal. Didapat nilai stabilitas 1349,63 kg, nilai *Flow* 3,49 mm, nilai MQ 397,78 kg/mm, nilai VIM 4,35%, nilai VMA 16,39%, nilai VFA 72,62%.
3. Penelitian Thanaya et al., 2016 yang berjudul “Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks”. Penelitian menggunakan *marshall test* dengan variasi lateks 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% terhadap berat total perekat. Kadar aspal optimum campuran didapat 5,7% dimana semua karakteristik *marshall* dipenuhi. Dipilih campuran AC-WC dengan variasi lateks 4% terhadap total perekat dimana semua ketentuan sifat perekat aspal masih dipenuhi. Diperoleh Stabilitas = 1439,26 kg (≥ 800 kg), *Flow* = 3,84 mm (2 - 4 mm), *Marshall Quotient* = 379,66 kg/mm (≥ 250 kg/mm), VIM = 4,437 % (3 - 5 %), VMA = 15,280 % (≥ 15 %), VFB = 70,961 (≥ 65 %). Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada campuran dengan kadar lateks sampai 8% terhadap total perekat, adapun nilai stabilitas yang diperoleh sebesar 1658 kg.
4. Penelitian Syahputra, 2019 yang berjudul “Analisa Penggunaan Abu Vulkanik Sinabung Sebagai Bahan *Filler* Pada Campuran Panas AC-WC Menggunakan Aspal Buton”. Penelitian menggunakan uji *marshall*. Variasi abu vulkanik Gunung Sinabung yang digunakan adalah sebesar, 25%, 50%, 75% dan 100% dari bahan *filler* yang terdapat didalam agregat halus. Dari data hasil *marshall test* yang didapatkan, kadar *filler* yang memenuhi seluruh persyaratan Spek Khusus Campuran Panas Dengan Asbuton 2006 adalah *filler* abu vulkanik pada persentase 50%. Dimana nilai karakteristik *marshall*

yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi. Stabilitasnya sebesar 2225 kg, *flow* sebesar 4,2 mm, MQ sebesar 592,8 kg/mm, VIM sebesar 4,16% dan VFA sebesar 74,83%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pengantian *filler* dengan abu vulkanik gunung sinabung maksimal sebesar 50%.

5. Penelitian Tombeg, 2019 yang berjudul “Pemanfaatan Sedimen Transport Abu Vulkanik (Gunung Soputan) Sebagai Bahan Substitusi Pada Abu Batu Dalam Campuran Aspal HRS-WC Gradasi Semi Senjang”. Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dilakukan di laboratorium dengan variasi kadar aspal 5%, 6%, 7%, 8%, dan 9% serta kadar abu Soputan 0%, 50%, dan 100% terhadap abu batu pada setiap variasi kadar aspal. Hasil dari keseluruhan perhitungan bahwa penggantian Abu Soputan pada kadar aspal optimum 7,3%, 7,5%, 7,95% merupakan campuran HRS-WC yang memenuhi persyaratan karakteristik Marshall sesuai Spesifikasi teknik 2010 revisi 3. Dari hasil perhitungan dengan kadar aspal optimum diperoleh substitusi 0% dengan nilai stabilitas 1675 kg, *Flow* 3,3 mm, VIM 4,4%, VMA 18%, VFB 75,2%, *Density* 2,33 gr/cc, *Marshall Quotient* 520 kg/mm. Untuk substitusi 50% dengan nilai stabilitas 1601 kg, *Flow* 3,6 mm, VIM 4,9%, VMA 18,4%, VFB 74,9%, *Density* 2,32 gr/cc, *Marshall Qoutient* 441 kg/mm. Substitusi 100% dengan nilai stabilitas 1500 kg, *Flow* 4,2 mm, VIM 4,2 %, VMA 19,2%, VFB 70%, *Density* 2,3 gr/cc, *Marshall Qoutient* 360 kg/mm. Penggantian sediment transport Abu Soputan memenuhi syarat Spesifikasi teknik 2010 revisi 3 devisi 6, sehingga dapat di gunakan dalam perkerasan campuran beraspal panas dan dengan membuat benda uji berdasarkan gradasi yang sesuai dengan ketentuan untuk campuran HRS-WC gradasi semi senjang. Penggunaan sediment transport abu vulkanik gunung Soputan bisa digunakan sampai 100% tapi untuk hasil yang ideal disarankan menggunakan Substitusi 50%.

Dari beberapa penelitian di atas, penambahan variasi lateks dapat mempengaruhi nilai *marshall*, terutama peningkatan nilai stabilitas dan *flow*. Hasil penelitian memperoleh kadar lateks optimum, yaitu 4% hingga 8%, namun

penggunaan lateks lebih dari 9% tidak disarankan karena dapat mengakibatkan campuran menjadi sangat fleksibel dan tidak stabil.

Penggunaan abu vulkanik sebagai bahan alternatif *filler* memenuhi ketentuan yang disyaratkan dalam SNI 03-6723-2002 dan Spesifikasi Bina Marga 2010 (revisi 2) dengan kadar abu vulkanik 50% dan semen 50%, hasil variasi tersebut menunjukkan bahwa pemanfaatan abu vulkanik dapat memberikan rongga tambahan pada campuran perkerasan.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Gambaran Umum Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh. Pada Bab ini, akan dijelaskan tentang langkah-langkah penelitian tentang “Pengaruh Penambahan Lateks Pada Campuran Aspal AC-WC Dengan Abu Vulkanik Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik *Marshall*”. Penelitian ini menggunakan lateks sebagai bahan tambah dan menggunakan abu sinabung sebagai *filler* untuk mengetahui pengaruh dari lateks dan abu sinabung terhadap campuran AC-WC berdasarkan uji *marshall*. Penelitian mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2).

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh. Material yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 dari laboratorium Teknik Sipil, agregat berupa batu pecah berasal dari PT. Abad Jaya Abadi Sentosa, Jl. Banda Aceh – Medan Km.260, Krueng Geukeuh, Kab. Aceh Utara, Aceh, lateks yang digunakan adalah getah cair pohon karet yang diperoleh dari salah satu perkebunan karet warga di Aceh Utara, dan abu vulkanik yang diperoleh dari sekitaran gunung Sinabung, Kabupaten Karo, Sumatera Utara.

3.3 Pengumpulan Data

3.3.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh secara langsung dari hasil pengujian laboratorium dan dapat dipergunakan sebagai bahan untuk pengolahan data penelitian. Data dari hasil penelitian laboratorium adalah sebagai berikut:

- a. Sifat fisis agregat,
- b. Analisa saringan abu sinabung,
- c. Berat kering lateks,
- d. Nilai karakteristik *marshall*,
- e. Kadar aspal optimum, dan

- f. Kadar lateks optimum.

3.3.2 Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang didapat dari beberapa sumber berupa buku serta jurnal yang berhubungan dengan konstruksi jalan dan konsultasi langsung dengan staf di laboratorium serta dosen pembimbing di Universitas Malikussaleh. Selain itu, penelitian juga menggunakan data teknis Standar Nasional Indonesia serta literatur sebagai penunjang guna memperkuat penelitian yang akan dilakukan.

3.4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian dimulai dengan mempersiapkan material yang digunakan seperti aspal dengan penetrasi 60/70, agregat kasar berupa batu pecah ukuran 3/4 dan 3/8, agregat halus berupa pasir, *filler* abu sinabung dan semen serta lateks. Berikutnya melakukan pengujian fisis pada agregat hingga agregat yang digunakan memenuhi ketentuan campuran AC-WC pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Berikutnya mencari nilai kadar aspal tengah (Pb) dan membuat benda uji dengan variasi Pb - 1%; Pb - 0,5%; Pb; Pb + 0,5%; Pb + 1%, kemudian dilakukan *marshall test* untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji dengan kadar aspal menggunakan nilai KAO yang diperoleh dan ditambah lateks dengan variasi 0%; 1,5%; 3%; dan 4,5% dari KAO. Setelahnya benda uji direndam dalam bak selama 24 jam, dan direndam kembali selama 30 menit di dalam *waterbath* pada suhu 60°C. Terakhir mengeluarkan dan melakukan *marshall test* pada benda uji untuk memperoleh nilai-nilai karakteristik *marshall* dengan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai *filler*.

3.4.1 Pemeriksaan sifat fisis material

Pemeriksaan sifat fisis material dilakukan sebelum memasuki tahapan pembuatan benda uji *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*. Pengujian-pengujian tersebut antara lain sebagai berikut.

A. Berat jenis agregat kasar

Pengujian berat jenis agregat kasar (batu pecah) mengacu pada SNI 1969-2016 yang digunakan sebanyak 3 benda uji dengan berat benda uji

5 kg yang diambil dengan cara *quartering* (dibagi empat bagian). Agregat kasar diayak dengan saringan nomor 4. Cuci benda uji untuk menghilangkan debu-debu yang menempel setelah itu keringkan menggunakan oven dengan suhu 110°C, setelah itu keluarkan dari oven dan dinginkan benda uji, kemudian rendam benda uji selama 24 jam, setelah itu keringkan benda uji dengan cara dilap menggunakan kain, kemudian timbang benda uji sebanyak 2500 gr. Gantungkan dunagen di bawah timbangan dan atur timbangan menjadi 0 (nol), masukkan benda uji, naikkan bejana, dan goyangkan keranjang untuk mengeluarkan gelembung udara yang tertangkap dan catat beratnya. Setelah itu keringkan benda uji, dan lakukan hal yang sama terhadap benda uji lainnya

B. Berat jenis agregat halus

Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat halus mengacu pada SNI 1970-2016 untuk mendapatkan nilai jenuh kering permukaan, material yang digunakan sebanyak 3 sampel, siapkan pasir sebanyak 5 kg kemudian lakukan *quartering* untuk memperoleh benda uji sebanyak 2 kg. keringkan benda uji kedalam oven dengan suhu 110°C. Setelah itu merendam benda uji selama 24 jam, lalu membuang air perendaman, kemudian letakkan benda uji kedalam talam dan jemur menggunakan panas matahari, selanjutnya lakukan pengujian kerucut untuk memeriksa keadaan kering permukaan. Untuk menentukan berat jenis agregat halus, timbang benda uji 500 gr sebanyak 3 sampel, masukkan benda uji kedalam piknometer, tambahkan air sekitar 90% kedalam piknometer, lalu putar dan guncang piknometer untuk menghilangkan gelembung, setelah itu rendam piknometer ke dalam air dan ukur suhu air rendaman untuk perhitungan terhadap suhu air standar 23°C. Penuhi piknometer, tutup dengan plat kaca hingga tidak ada gelembung, kemudian timbang piknometer, benda uji, air dan plat kaca. Keluarkan benda uji dan keringkan dengan oven. Setelah kering, timbang untuk memperoleh berat kering oven.

C. Berat isi agregat

Pengujian ini mengacu pada SNI 1970-2016, material yang digunakan sebanyak 3 sampel. Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C, untuk pengujian berat volume padat, siapkan silinder kemudian letakkan silinder di tempat yang datar, dan masukkan benda uji ke dalam silinder dengan 3 lapisan, setiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali dengan alat penumbuk. Pengujian berat volume gembur, benda uji dimasukkan ke dalam silinder hingga penuh lalu ratakan, lalu timbang berat silinder berisi dengan benda uji, lakukan hal yang sama terhadap benda uji lainnya.

D. Analisa saringan agregat

Pengujian mengacu pada SNI ASTM C136-2012, digunakan sebanyak 3 sampel dengan berat masing-masing benda uji 1500 gram, kemudian benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C, selanjutnya saringan disusun dari ukuran yang paling besar diletakkan di tempat paling atas, saringan diguncang selama 15 menit, setelah itu biarkan selama 5 menit agar debu mengendap, setelah itu timbang untuk mengetahui berat material yang tertahan di masing-masing saringan. Lakukan hal yang sama terhadap benda uji lainnya. Gradasi saringan yang disyaratkan harus memenuhi nilai yang terdapat pada Tabel 2.4 dan Gambar 2.1.

3.4.2 Perencanaan pembuatan *mix design*

Perencanaan dan perhitungan campuran aspal mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Perencanaan campuran merupakan perpaduan antara material-material penyusun aspal untuk mengetahui komposisi dalam pembuatan campuran aspal. Komposisi campuran material penyusun aspal ditentukan oleh perencanaan campuran (*mix design*) agar campuran dapat memenuhi standar.

3.4.3 Persiapan bahan

Bahan yang perlu disiapkan yaitu, aspal penetrasi 60/70, agregat kasar, agregat halus, lateks sebagai bahan tambah, dan *filler* yang digunakan adalah abu vulkanik sinabung dan semen. Bahan ditempatkan pada tempat yang aman dan tidak

mengalami perubahan fisik dan kimia serta bebas dari benda asing, material dimasukkan ke dalam kantong plastik agar terjaga kelembapannya.

A. Persiapan lateks

Lateks berasal dari salah satu perkebunan warga Aceh Utara dan bersih dari zat yang tidak diinginkan. Lateks harus memiliki kadar karet kering pada rentang 20%-28% terhadap berat semula.

B. Persiapan abu sinabung

Abu sinabung berasal dari hasil erupsi gunung Sinabung yang bersih dari zat yang tidak diinginkan dan lolos saringan no. 200 minimal 70% yang disaring secara manual.

3.4.4 Persiapan peralatan

Peralatan yang digunakan untuk penelitian ini merupakan peralatan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh, yaitu:

A. Alat pengujian sifat fisis

1. Satu set saringan untuk analisa gradasi agregat.
2. *Shieve shaker* untuk memisahkan agregat sesuai dengan ukuran butiran.
3. Oven untuk mengeringkan material.
4. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram untuk menimbang berat material.
5. Kerucut dan penumbuk digunakan untuk mengetahui nilai kering agregat halus yang telah dikeringkan dalam oven.
6. Tabung silinder dan batang besi pemadat digunakan untuk memadatkan agregat agar dapat menentukan berat isi padat agregat.
7. Dunagan untuk mengetahui absorpsi dan berat jenis agregat kasar
8. Piknometer dan plat kaca untuk uji absorpsi dan berat jenis agregat halus.

B. Alat untuk pembuatan dan pengujian *marshall*

1. Cetakan benda (*Mold*) uji berbentuk silinder berdiameter 101,6 mm (4") dan tinggi 75 mm (3") digunakan untuk mencetak benda uji.
2. *Marshall hammer* atau alat penumbuk, berdiameter 98,4 mm (3 7/8"), berat 4,5 kg dengan tinggi jatuh 457 mm (18") untuk memadatkan benda uji.
3. *Ejector* untuk mengeluarkan benda uji yang telah dicetak.

4. *Waterbath* atau bak untuk merendam benda uji selama 30 menit dan 24 jam.
5. *Thermometer* untuk mengukur suhu material ketika dipanaskan.
6. Wajan dan sendok.
7. Kompor gas guna memanaskan material campuran pada wajan.
8. *Extruder* untuk mengeluarkan benda uji campuran aspal dari cetakan.
9. Alat uji *Marshal test* yang dilengkapi dengan kepala penekan (*breaking head*), cincin penguji (*proving ring*) dan arloji (*dial*).

3.4.5 Benda uji

Untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), terlebih dahulu menentukan nilai Pb, kemudian membuat campuran dengan variasi Pb - 1%; Pb - 0,5%; Pb; Pb + 0,5%; Pb + 1% yang masing-masing memiliki 3 benda uji serta menggunakan abu sinabung sebagai *filler*. Kemudian membuat benda uji dengan kadar aspal sesuai KAO, lateks sebagai bahan tambah dengan variasi 0%; 1,5%; 3%; dan 4,5% dari berat aspal, dan abu sinabung sebagai *filler* yang masing-masing variasi memiliki 3 benda uji.

Tabel 3.1 Jumlah benda uji untuk penentuan KAO

No	Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
1	Pb - 1%	3
2	Pb - 0,5%	3
3	Pb	3
4	Pb + 0,5%	3
5	Pb + 1%	3
Total benda uji untuk KAO		15

Tabel 3.2 Jumlah benda uji dengan campuran lateks dan *filler* abu sinabung

No	Kadar Lateks	Jumlah Benda Uji
1	0%	3
2	1,5%	3
3	3%	3
4	4,5%	3
Total benda uji		12

3.4.6 Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dilakukan dalam dua tahap, tahap pertama membuat benda uji tanpa lateks untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), dan tahap kedua membuat benda uji dengan campuran lateks sesuai tujuan penelitian. Pembuatan benda uji mengacu pada SNI 06-2489-1991 seperti berikut.

- A. Mengeringkan agregat dalam oven pada suhu 105°C - 110°C sekitar 4 jam.
- B. Mengeluarkan agregat dari oven dan tunggu hingga beratnya tetap.
- C. Memisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang ditetapkan dengan cara penyaringan dan melakukan penimbangan secara kumulatif.
- D. Memanaskan aspal hingga mencapai kekentalan (*viskositas*) yang ditentukan untuk pekerjaan pencampuran dan pemadatan.
- E. Pencampuran benda uji
 1. Masing-masing benda uji diperlukan seberat 1200 gram yang terdiri dari agregat kasar (tertahan saringan No. 4), agregat halus (lolos saringan No. 4), serta abu sinabung dan semen sebagai *filler* (minimal 70 % lolos saringan No. 200), sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$ ($2,5 \pm 0,05 \text{ inch}$).
 2. Memanaskan wadah pencampur, agregat, dan *filler* abu sinabung hingga 28°C di atas suhu pencampuran aspal padat ($(85^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}) + 28^{\circ}\text{C}$).
 3. Pada saat yang sama panaskan aspal penetrasi 60/70 dan lateks pada wadah pencampur yang berbeda dengan agregat, hingga mencapai suhu $85^{\circ}\text{C} \pm 10^{\circ}\text{C}$ untuk mendapatkan kekentalan aspal padat yang digunakan.
 4. Menuangkan agregat dan *filler* yang sudah dipanaskan ke dalam wadah pencampur aspal dan lateks, kemudian diaduk dengan cepat sampai agregat dan *filler* abu sinabung terselimuti aspal dan bahan tambah lateks secara merata. Pastikan suhu pencampuran berada pada suhu $140 \pm 15^{\circ}\text{C}$. Hal ini untuk mendapatkan suhu yang disyaratkan saat melakukan pemadatan.
- F. Pemadatan benda uji
 1. Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji dan bagian muka penumbuk dengan seksama serta panaskan sampai suhu antara $93,3^{\circ}\text{C}$ - $148,9^{\circ}\text{C}$.

2. Letakkan cetakan di atas landasan pematik dan ditahan dengan pemegang cetakan.
3. Meletakkan kertas penghisap sesuai ukuran dan bentuk dasar cetakan.
4. Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk campuran 15 kali pada sekeliling pinggiran cetakan, dan 10 kali di bagian tengah cetakan.
5. Meletakkan kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran dan bentuk sesuai cetakan.
6. Memadatkan campuran dengan temperatur yang disesuaikan dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk sisi atas dan 75 kali untuk sisi bawah.
7. Sesudah dilakukan pemadatan campuran, lepaskan pelat alas dan pasang alat pengeluar yaitu *Extruder* pada permukaan ujung benda uji tersebut, keluarkan benda uji dengan perlahan dan letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan biarkan selama 24 jam pada suhu ruang.

3.4.7 Pengujian benda uji

Pengujian mengacu pada SNI 06-2489-1991 dengan tahapan sebagai berikut.

1. Setelah 24 jam, bersihkan benda uji dan berikan tanda pengenal.
2. Ukur dimensi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm kemudian timbang.
3. Kemudian rendam benda uji selama 24 jam dalam *water bath* pada suhu ruang.
4. Setelah perendaman timbang benda uji di dalam air (tes dunagan) untuk mendapatkan volume/berat isi benda uji.
5. Keringkan dan lap hingga permukaan benda uji kering, selanjutnya timbang untuk mengetahui berat dalam kondisi kering permukaan jenuh atau SSD.
6. Sebelum *marshall test*, rendam benda uji di dalam *water bath* pada suhu 60°C selama 30 menit.
7. Keluarkan benda uji dari *water bath* dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan.
8. Pasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan seluruhnya di dalam mesin alat uji *marshall*.
9. Memasang arloji pengukur pelelehan (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol,

sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan.

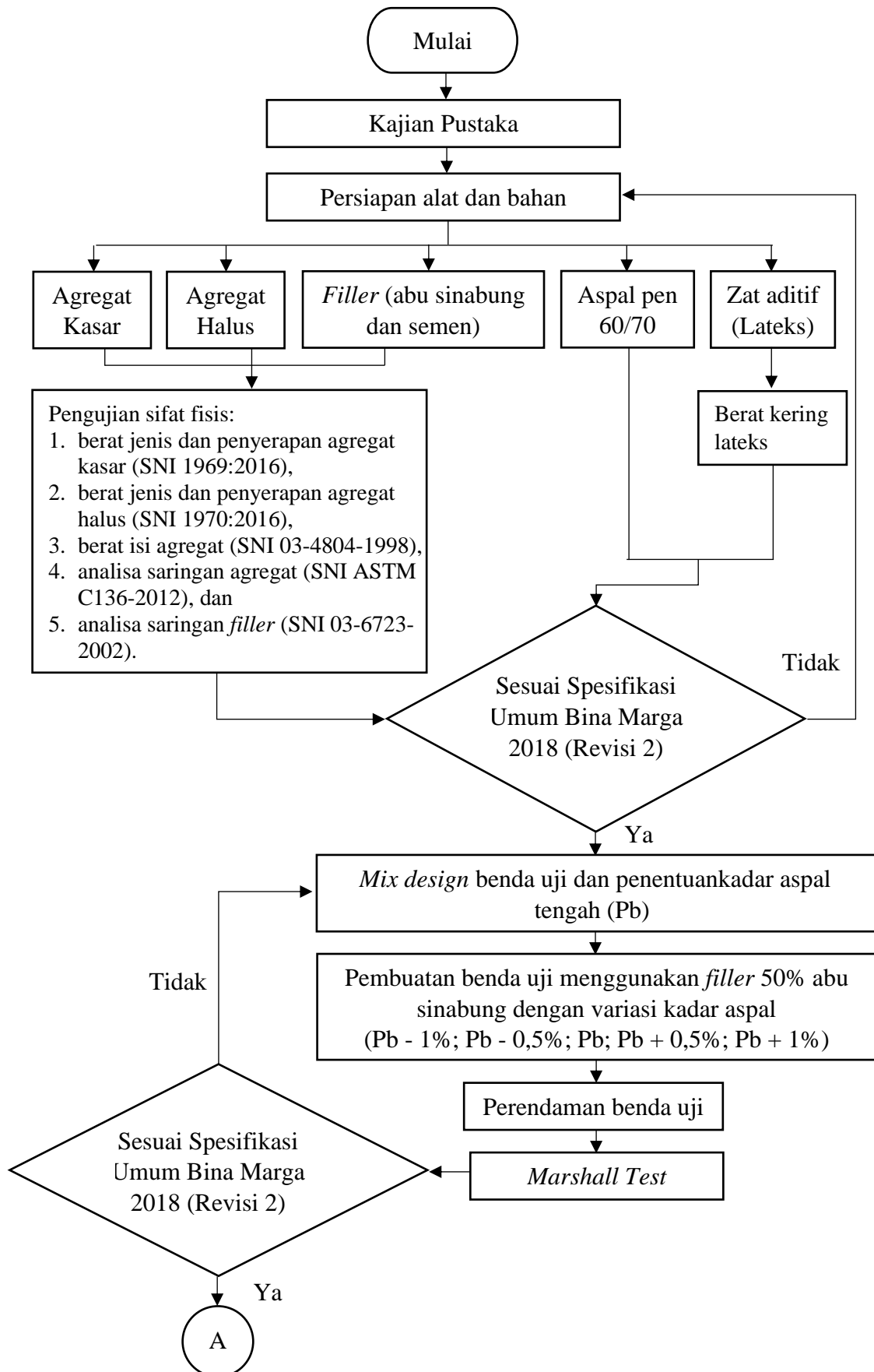
10. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
11. Mengatur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
12. Memberikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50,8 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, untuk pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (stabilitas) yang dicapai. Untuk benda uji dengan tebal tidak sama dengan 63,5 mm, beban harus dikoreksi dengan faktor pengali.
13. Mencatat nilai pelelehan (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.
14. Lakukan langkah yang sama pada benda uji lainnya, setelah itu lanjutkan dengan analisa perhitungan.

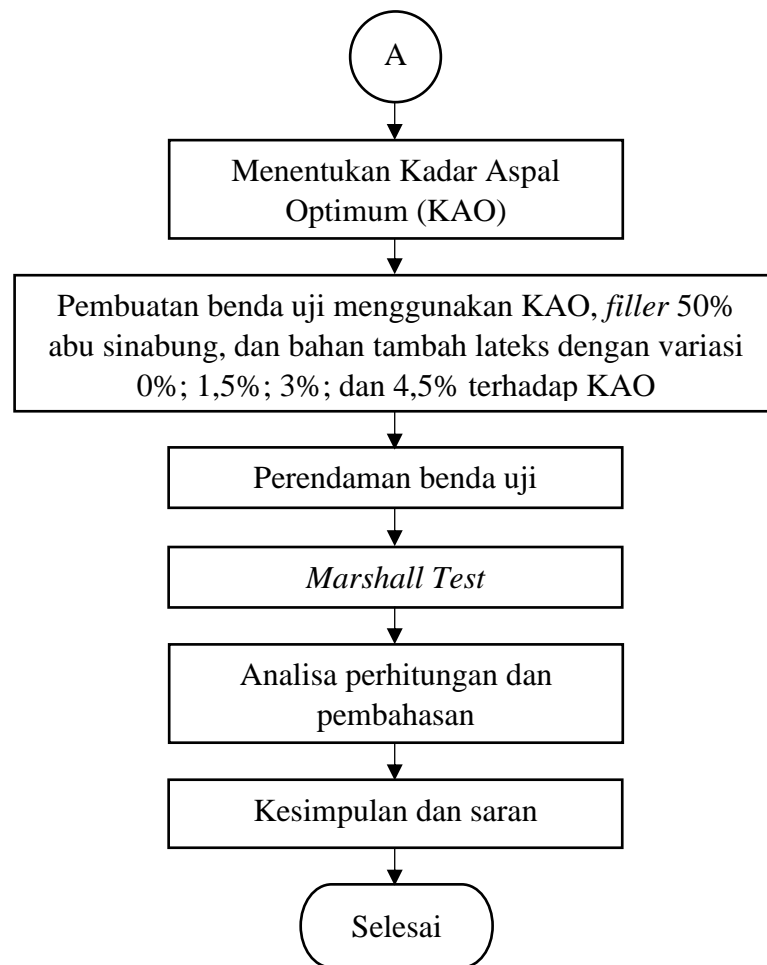
3.4.8 Analisis dan Pengolahan Data

Setelah dilakukan seluruh pengujian, mulai dari pengujian sifat fisis hingga *marshall test*, selanjutnya melakukan pengolahan data. Data diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh. Data tersebut akan dianalisis lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik dan pengaruh penambahan lateks dengan abu sinabung sebagai *filler* pada campuran AC-WC terhadap karakteristik *marshall* serta hasil pengolahan akan diuraikan dalam bentuk tabel dan grafik.

3.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian merupakan susunan proses pelaksanaan penelitian secara berurutan untuk mempermudah penelitian yang dikerjakan. Bagan alir penelitian seperti ditunjukkan pada Gambar 3.1 berikut:





Gambar 3.1 Bagan alir penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Malikussaleh. Bahan yang disiapkan meliputi aspal 60/70, agregat kasar berupa batu pecah ukuran 3/4" dan 3/8", agregat halus berupa pasir dan *dust, filler* (abu sinabung 50% dan semen 50% pada seluruh benda uji), serta lateks sebagai bahan tambah. Pengujian mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), yaitu pengujian sifat fisis agregat, penentuan *mix design*, dan *marshall test*.

Langkah awal pengujian *marshall* adalah menentukan kadar aspal tengah (Pb) yang dihasilkan dari pengujian sifat fisis agregat dan pembuatan *mix design* yang divariasikan menjadi Pb - 1%; Pb - 0,5%; Pb; Pb + 0,5%; Pb + 1% terhadap benda uji. Pembuatan benda uji terdiri dari pencampuran dan pemadatan, setelahnya benda uji dibiarkan selama 24 jam pada suhu ruang, dan diikuti perendaman selama 24 jam. Benda uji kemudian direndam lagi dalam *waterbath* pada suhu 60°C selama 30 menit untuk uji *marshall*. Uji *marshall* bertujuan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO), yang diperoleh sebesar 6%.

KAO yang diperoleh diuji kembali dengan variasi penambahan lateks 0%; 1,5%; 3%; dan 4,5% terhadap KAO pada benda uji, sehingga diperoleh nilai karakteristik *marshall* penambahan lateks dan abu sinabung sebagai *filler*. Hasil pengujian variasi 0% menghasilkan nilai *density* 2,304 gr/cm³, VMA 15,65%, VIM 4,82%, VFA 69,18%, stabilitas 1385,94 kg, *flow* 3,03 mm, dan *Marshall Quotient* 462,71 kg/mm. Penambahan lateks 1,5% menghasilkan nilai *density* 2,308 gr/cm³, VMA 15,59%, VIM 4,55%, VFA 70,79%, stabilitas 1538,41 kg, *flow* 3,47 mm, dan *Marshall Quotient* 446,34 kg/mm. Penambahan lateks 3% menghasilkan nilai *density* 2,311 gr/cm³, VMA 15,54%, VIM 4,3%, VFA 72,3%, stabilitas 1659,35 kg, *flow* 3,82 mm, dan *Marshall Quotient* 439,57 kg/mm. Penambahan lateks 4,5% menghasilkan nilai *density* 2,314 gr/cm³, VMA 15,52%, VIM 4,09%, VFA 73,7%, stabilitas 1816,35 kg, *flow* 4,2 mm, dan *Marshall Quotient* 435,9 kg/mm.

4.2 Hasil Penelitian

Berdasarkan hasil dan nilai pengolahan data yang meliputi beberapa tahapan dimulai dari pemeriksaan sifat fisis material, pembuatan benda uji dan pengujian benda uji sehingga didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO), dan kemudian melakukan pembuatan dan pengujian benda uji menggunakan variasi penambahan lateks untuk memperoleh Kadar Lateks Optimum dari hasil uji *marshall* terhadap campuran AC-WC sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2).

4.2.1 Pemeriksaan sifat fisis material

Pemeriksaan sifat fisis material bertujuan untuk mengetahui dan memastikan kelayakan kualitas material sebelum digunakan sebagai bahan campuran perkerasan AC-WC.

A. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan

1) Fraksi agregat kasar 3/4"

Setelah dilakukan pemeriksaan terhadap agregat kasar batu pecah 3/4", diperoleh hasil pemeriksaan yang menunjukkan bahwa batu pecah 3/4" memenuhi spesifikasi, sehingga agregat dapat digunakan pada campuran AC-WC. Perhitungan berat jenis dan penyerapan air yang diperlihatkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat 3/4"

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	-	2,598	-
2	Berat Jenis SSD	-	-	2,632	-
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	-	-	2,690	-
4	Penyerapan Air (<i>Absorpsi</i>) (%)		3	1,32	M

keterangan:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

2) Fraksi 3/8"

Pada pemeriksaan batu pecah 3/8", menunjukkan batu pecah 3/8" memenuhi spesifikasi, sehingga agregat tersebut dapat digunakan dalam campuran aspal. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat 3/8"

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	-	2,577	-
2	Berat Jenis SSD	-	-	2,617	-
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	-	-	2,685	-
4	Penyerapan Air (<i>Absorpsi</i>) (%)		3	1,55	M

keterangan:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

3) Fraksi agregat halus (pasir)

Material untuk pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air pasir diharuskan bermutu baik dan bersih dari tanah dan kotoran lainnya. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa pasir memenuhi spesifikasi dan layak digunakan untuk campuran aspal beton. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air pasir

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	-	2,458	-
2	Berat Jenis SSD	-	-	2,530	-
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	-	-	2,649	-
4	Penyerapan Air (<i>Absorpsi</i>) (%)		3	2,92	M

keterangan:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

4) Fraksi agregat halus (*dust*)

Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air terhadap *dust* menunjukkan bahwa *dust* memenuhi spesifikasi, sehingga *dust* layak digunakan. Hasil pemeriksaan dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air *dust*

No	Sifat Agregat	Persyaratan		Hasil	
		Min	Max		
1	Berat Jenis <i>Bulk</i>	-	-	2,435	-
2	Berat Jenis SSD	-	-	2,507	-
3	Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	-	-	2,624	-
4	Penyerapan Air (<i>Absorpsi</i>) (%)		3	2,95	M

keterangan:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

B. Pemeriksaan berat isi.

Pengujian ini dilakukan dengan mengambil rata-rata dari tiga sampel setiap jenis agregat. Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan berat isi dalam wadah, serta mengetahui nilai rongga pada agregat. Hasil pengujian diperlihatkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil pemeriksaan berat isi agregat

No	Jenis Agregat	Gembur	Padat	Satuan
1	Agregat Kasar (3/4")	1,294	1,434	gram/cm ³
2	Agregat Sedang (3/8")	1,242	1,367	gram/cm ³
3	Agregat Halus Pasir	1,466	1,627	gram/cm ³
4	Agregat Halus (<i>Dust</i>)	1,520	1,625	gram/cm ³

C. Penentuan gradasi campuran

Penentuan gradasi campuran adalah proses pembuatan *mix design*. Dari hasil pengujian analisa saringan diperoleh hasil gradasi agregat kasar batu pecah

3/4" dan 3/8", agregat halus pasir dan *dust* memenuhi standar Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) dan layak digunakan sebagai agregat pada campuran. Sementara pemanfaatan abu sinabung sebagai *filler* diharuskan lolos lebih dari 70% saringan No. 200. Hasil analisa saringan abu sinabung dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil analisa saringan *filler* abu sinabung

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan	Berat saringan + <i>filler</i>	Tertahan (gr)	Lolos (%)	Ket
No. 30	0,50	379,1	379,1	0,0	100	M
No. 50	0,30	370,0	370,0	0,0	100	M
No.100	0,15	384,4	384,4	0,0	100	M
No. 200	0,075	387,2	387,2	0,0	100	M
Pan	-	329,9	529,9	200		
Jumlah				200		

keterangan:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

Hasil analisa saringan pada abu sinabung menunjukkan bahwa abu sinabung lolos 100% saringan No. 200, sehingga layak digunakan sebagai *filler* pada campuran. Setelah setiap agregat dilakukan pengujian analisa saringan, berikutnya melakukan desain gradasi agregat gabungan untuk campuran perkerasan AC-WC. Untuk hasil analisa saringan dan tabel penentuan gradasi gabungan untuk campuran menggunakan agregat kasar batu pecah 3/4" dan 3/8", agregat halus pasir dan *dust* serta *filler* diperlihatkan pada Tabel 4.7 dan grafik hasil analisa saringan masing-masing agregat pada campuran diperlihatkan pada Gambar 4.1. Proporsi masing-masing fraksi yang diperoleh untuk agregat kasar (CA) sebesar 21%, agregat sedang (MA) sebesar 31%, *dust* sebesar 31%, pasir sebesar 15%, dan *filler* sebesar 2% (50% abu sinabung dan 50% semen), sehingga menghasilkan gradasi menerus dan ditunjukkan pada Gambar 4.2.

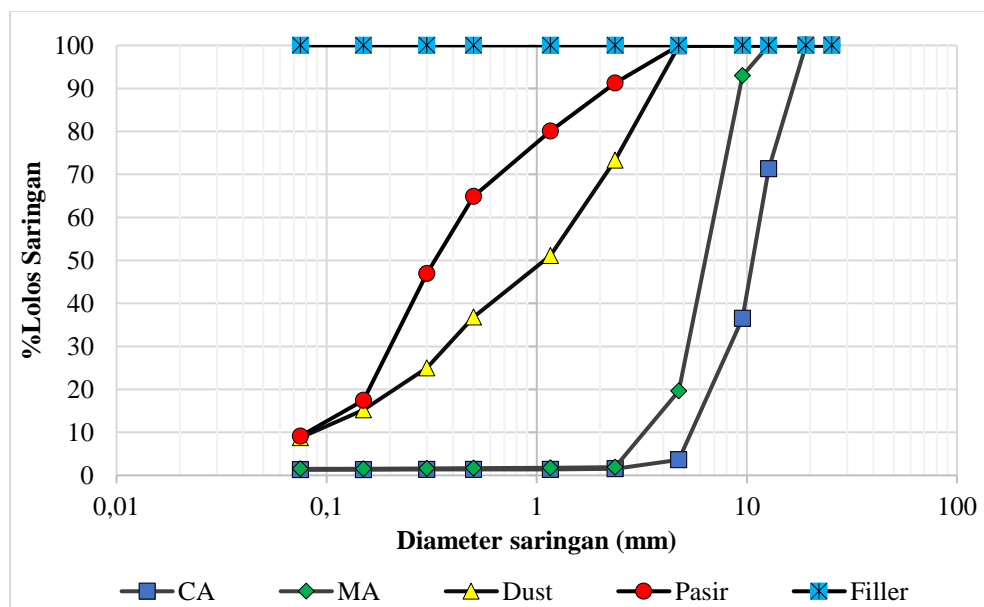
Tabel 4.7 Penentuan gradasi campuran

Ayakan No	% Lolos					% Mix Design					Total mix	Spek Bina Marga 2018 Rev 2		
	CA	MA	Dust	Pasir	Filler	CA	MA	Dust	Pasir	Filler		Min	Max	Ket
						21	31	31	15	2		100		
1"	100	100	100	100	100	21	31	31	15	2	100	100	100	M
3/4"	100	100	100	100	100	21	31	31	15	2	100	100	100	M
1/2"	71,3	100	100	100	100	15	31	31	15	2	94,0	90	100	M
3/8"	36,5	93	100	100	100	7,7	29	31	15	2	84,5	77	90	M
No. 4	3,6	19,6	99,9	100	100	0,8	6,1	31	15	2	54,8	53	69	M
No. 8	1,6	1,9	73,3	91,2	100	0,3	0,6	22,7	13,7	2	39,3	33	53	M
No. 16	1,4	1,8	51,1	80,1	100	0,3	0,5	15,8	12,0	2	30,7	21	40	M
No. 30	1,4	1,7	36,8	64,9	100	0,3	0,5	11,4	9,7	2	24,0	14	30	M
No. 50	1,4	1,6	25,0	47,0	100	0,3	0,5	7,8	7,0	2	17,6	9	22	M
No.100	1,3	1,6	15,2	17,5	100	0,3	0,5	4,7	2,6	2	10,1	6	15	M
No. 200	1,3	1,5	8,8	9,1	100	0,3	0,5	2,7	1,4	2	6,8	4	9	M

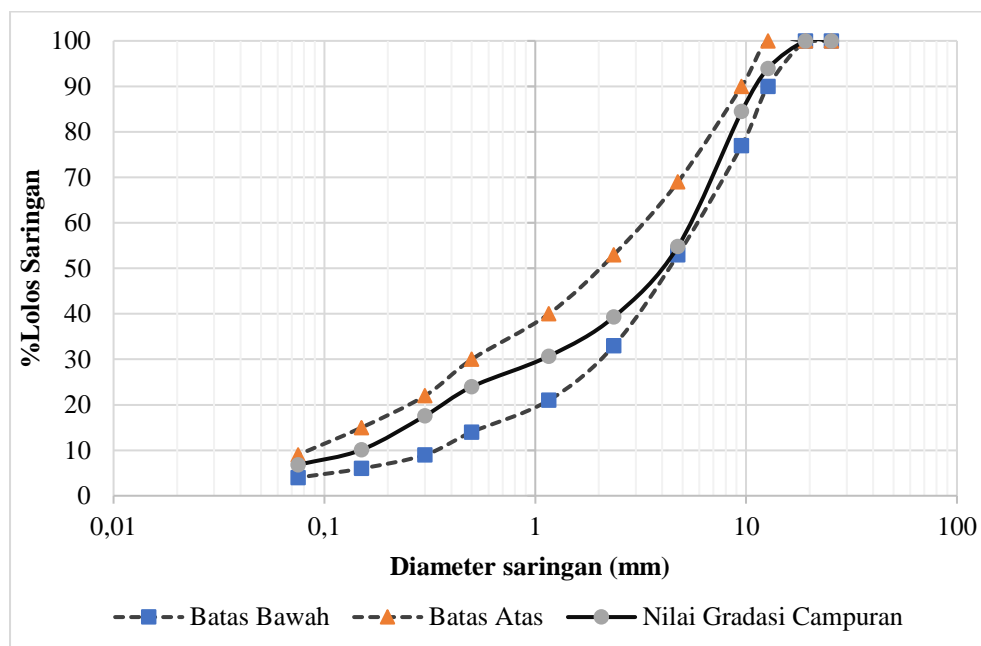
keterangan:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi



Gambar 4.1 Gradasi setiap fraksi agregat



Gambar 4.2 Gradasi campuran agregat

D. Kadar lateks kering

Lateks yang ideal memiliki kadar lateks kering pada rentang 20% hingga 28% (Nursandah, 2019). Pengujian berat lateks kering memenuhi ketentuan tersebut. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Hasil pengujian kadar lateks kering

Uraian	I	II	III	Rata-rata
Berat Benda Uji (gr)	50	50	50	50
Berat Benda Uji Kering Oven (gr)	12,8	13,2	13,2	11,80
Berat Kering (%)	25,6	26,4	26,4	26,13

keterangan

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

4.2.2 Pemeriksaan kadar kimia abu vulkanik

Berdasarkan hasil analisis komposisi kimia abu sinabung, abu sinabung terdiri dari komponen yang beragam dengan komponen utama yaitu Silikat Dioksida

(SiO₂) sebanyak 58,10%, Aluminium Oksida (Al₂O₃) sebanyak 18,30%, Besi (III) Oksida (Fe₂O₃) sebanyak 7,09%, dan Kalsium Oksida (CaO) sebanyak 8,05% (Simatupang & Devi, 2016).

Tabel 4.9 Kandungan kimia abu sinabung

Kandungan Abu Vulkanik Sinabung		Jumlah (%)		
Silikon	Si	91,4	±	0,1
Kalium	K	3,09	±	0,02
Kalsium	Ca	2,6	±	0,02
Kromium	Cr	0,086	±	0,003
Mangan	Mn	0,19	±	0,03
Besi	Fe	0,54	±	0,01
Nikel	Ni	1,09	±	0,02
Tembaga	Cu	0,18	±	0,003
Seng	Zn	0,32	±	0,01
Galium	Ga	0,09	±	0,003
Europium	Eu	0,2	±	0,02
Rhenium	Re	0,3	±	0,03

Sumber: (Simatupang & Devi, 2016)

Dari hasil tersebut, komposisi abu vulkanik sinabung mengindikasikan bahwa bahan ini merupakan bahan pozzolan, yang ditandai dengan kandungan Silikon Dioksida (SiO₂) dan Aluminium Oksida (Al₂O₃) yang cukup tinggi.

4.2.3 Benda uji

Setelah proses pembuatan *mix design*, berikutnya tahap pembuatan benda uji yang berfokus pada kadar aspal tengah (Pb). Proses ini dijalankan sesuai dengan petunjuk dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2). Berdasarkan hasil analisis persentase lolos saringan pada gradasi butiran pada masing-masing fraksi, ditemukan bahwa agregat kasar memiliki porsi sebesar 52%, sedangkan agregat halus dan *filler* masing-masing memiliki porsi sebesar 46% dan 2%. Dari komposisi tersebut, kemudian dilakukan penentuan kadar aspal tengah (Pb) menggunakan

persamaan 2.1. Penentuan nilai P_b bertujuan untuk mendapatkan kadar aspal yang tepat pada campuran.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K$$

$$P_b = 0,035 (52\%) + 0,045 (46\%) + 0,18 (2\%) + 1$$

$$P_b = 5,3\%$$

Nilai P_b yang telah diperoleh digunakan untuk membuat campuran variasi pada benda uji. Variasi yang digunakan antara lain $P_b - 1\%$; $P_b - 0,5\%$; P_b ; $P_b + 0,5\%$; dan $P_b + 1\%$. Masing-masing variasi dibuat dalam tiga benda uji dan menggunakan *filler* sebesar 50% dari abu sinabung, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Berat material penyusun campuran AC-WC

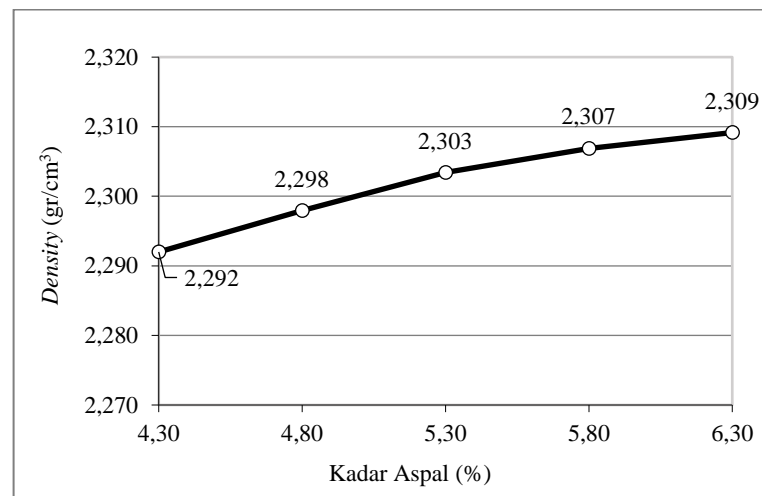
Kadar aspal (%)	Berat Material (gr)						Berat Total
	Aspal	CA 21%	MA 31%	Dust 31%	Pasir 15%	Filler 2%	
4,3	51,6	241,2	356,0	356,0	172,3	23,0	1200
4,8	57,6	239,9	354,1	354,1	171,4	22,8	1200
5,3	63,6	238,6	352,3	352,3	170,5	22,7	1200
5,8	69,6	237,4	350,4	350,4	169,6	22,6	1200
6,3	75,6	236,1	348,6	348,6	168,7	22,5	1200

4.2.4 Karakteristik *marshall*

Berdasarkan nilai kadar aspal tengah (P_b) yang dilakukan untuk menentukan proporsi campuran aspal beton, diperoleh komposisi campuran setiap variasinya seperti ditunjukkan pada Tabel 4.10. Penjelasan secara rinci untuk seluruh hasil karakteristik *marshall* adalah sebagai berikut.

A. *Density*

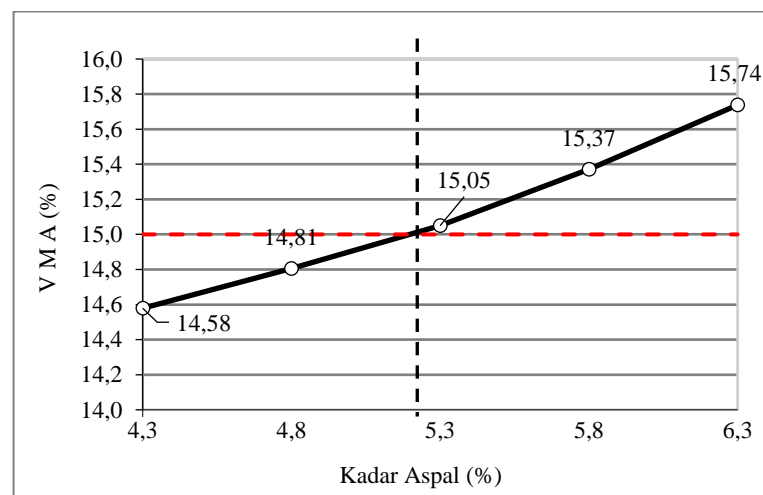
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, hasil *density* diperlihatkan pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Density dengan filler abu sinabung

B. Void mineral aggregate (VMA)

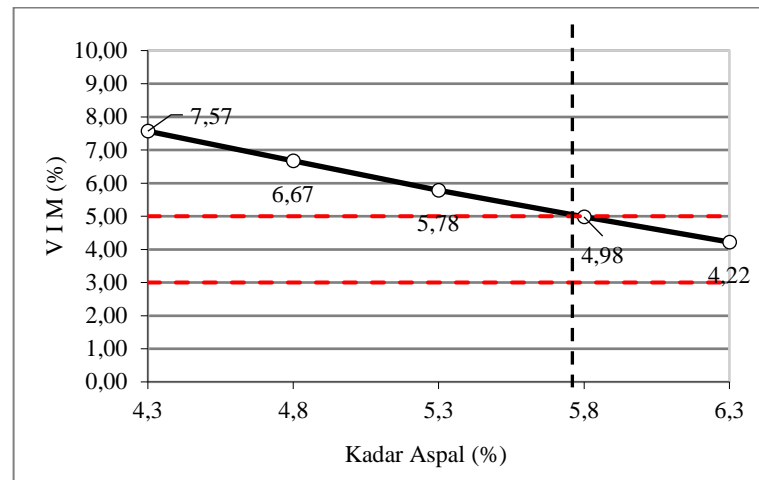
Nilai minimum untuk karakteristik *marshall* VMA adalah 15%. Kadar aspal 4,3% dan 4,8%; tidak memenuhi syarat minimum spesifikasi, dan kadar aspal 5,3%; 5,8%; dan 6% memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2), seperti yang diperlihatkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 VMA dengan filler abu sinabung

C. Void in the mix (VIM)

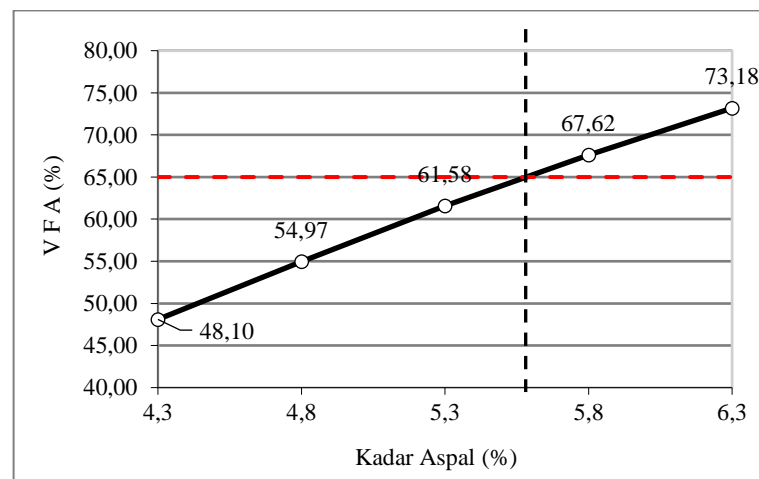
Nilai VIM adalah di antara 3% hingga 5%. Kadar aspal 4,3%; 4,8%; dan 5,3% tidak memenuhi standar, dan kadar aspal 5,8% dan 6% memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2), seperti diperlihatkan Gambar 4.5.



Gambar 4.5 VIM dengan *filler* abu sinabung

D. Void filled with asphalt (VFA)

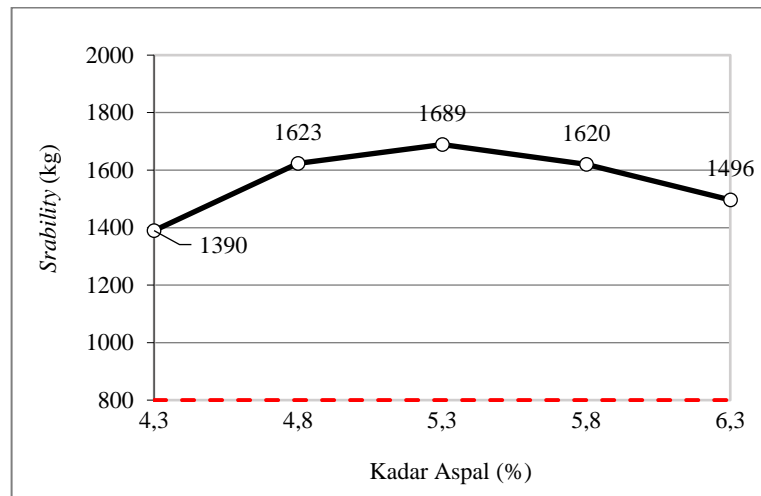
Nilai minimal untuk karakteristik VFA adalah 65%. Kadar aspal 4,3%; 4,8%; dan 5,3% tidak memenuhi syarat minimal berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Hasil VFA yang memenuhi standar hanya kadar aspal 5,8% dan 6,3%. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 VFA dengan *filler* abu sinabung

E. Stabilitas

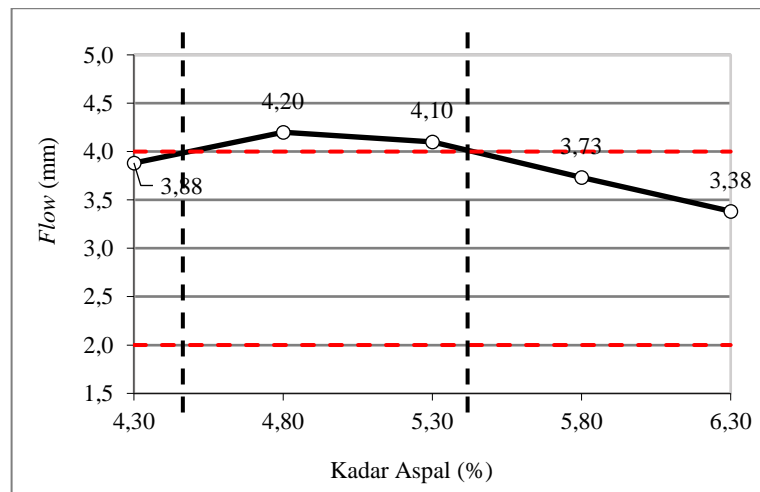
Nilai stabilitas memiliki nilai minimum sebesar 800 kg dan nilai maksimumnya tidak dibatasi. Nilai stabilitas pada aspal beton dengan kadar aspal 4,3%; 4,8%; 5,3%; 5,8%; dan 6,3% memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2). Nilai dari stabilitas dapat ditunjukkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Stabilitas dengan *filler* abu sinabung

F. *Flow*

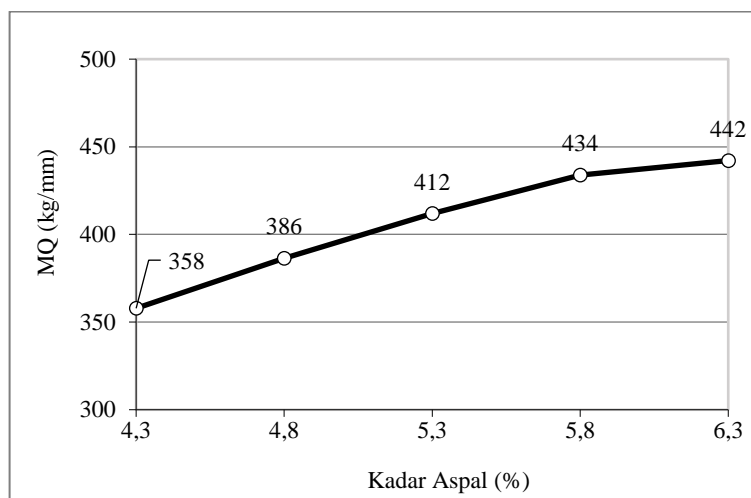
Nilai yang disyaratkan untuk karakteristik *flow* adalah 2 mm sampai 4 mm. Kadar aspal 4,3%; 5,8%; dan 6,3% memenuhi spesifikasi, namun 4,8% dan 5,3% tidak memenuhi spesifikasi. Hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 *Flow* dengan *filler* abu sinabung

G. *Marshall quotient* (MQ)

Nilai karakteristik MQ masing-masing variasi kadar aspal ditunjukkan dalam Gambar 4.9.



Gambar 4.9 MQ dengan *filler* abu sinabung

4.2.5 Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setelah dilakukan pencampuran dan pemadatan benda uji, benda uji didinginkan selama 24 jam, berikutnya dilakukan perendaman selama 24 jam, kemudian dilakukan tes dunagen, dan terakhir dilakukan uji *marshall*. Hasil pengujian *marshall* adalah sebagai berikut.

Tabel 4.11 Hasil pengujian *marshall* dengan *filler* abu sinabung

Kadar Aspal (%)	Density (gr/cm ³)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stability (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
4,3	2,292	14,58	7,57	48,10	1390	3,88	358
4,8	2,298	14,81	6,67	54,97	1623	4,20	386
5,3	2,303	15,05	5,78	61,58	1689	4,10	412
5,8	2,307	15,37	4,98	67,62	1620	3,73	434
6,3	2,309	15,74	4,22	73,18	1496	3,38	442

Kadar aspal 4,3 % dan 4,8% memiliki nilai VMA, VIM, VFA yang tidak memenuhi spesifikasi, sedangkan nilai stabilitas dan *flow*-nya memenuhi spesifikasi. Pada kadar aspal 5,3% nilai VFA dan *flow* tidak memenuhi spesifikasi, sedangkan nilai stabilitas memenuhi spesifikasi. Pada kadar aspal 5,8% dan 6,3% nilai VMA, VIM, VFA, stabilitas, dan *flow* memenuhi spesifikasi. Karakteristik *marshall* diperlihatkan pada Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil KAO dari karakteristik *marshall* dengan *filler* abu sinabung

Kriteria	Spesifikasi	Satuan	Kadar Aspal (%)					
			4,3	4,8	5,3	5,8	6,3	
<i>Density</i>	-	gr/cm ³						
VMA	Min 15	%						
VIM	3,0 – 5,0	%						
VFA	Min 65	%						
<i>Stability</i>	Min 800	kg						
<i>Flow</i>	2,0 – 4,0	mm						
MQ	-	kg/mm						

Nilai dari hasil karakteristik *marshall* untuk benda uji penentuan kadar aspal optimum yang memenuhi spesifikasi dan yang tidak memenuhi spesifikasi diperlihatkan pada Tabel 4.12. Kadar aspal optimum (KAO) didapatkan dari kadar aspal terbaik yang memenuhi semua spesifikasi karakteristik *marshall*, sehingga nilai KAO adalah 6%.

4.2.6 Karakteristik *marshall* dengan bahan tambah lateks

Komposisi campuran aspal beton dengan bahan tambah aspal lateks dan dengan *filler* abu sinabung ditunjukkan pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Komposisi campuran AC-WC dengan bahan tambah getah lateks dan abu sinabung sebagai *filler*

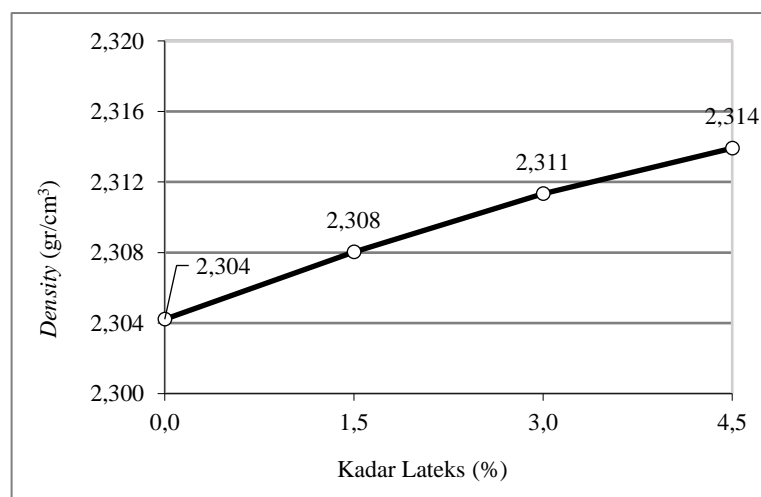
Kadar Lateks (%)	Berat Material (gr)							Berat Total (gr)
	Lateks	KAO 6%	CA 21%	MA 31%	Dust 31%	Pasir 15%	Filler 2%	
0	0	72	236,9	349,7	349,7	169,2	22,6	1200
1,5	1,1	72	236,9	349,7	349,7	169,2	22,6	1201,1
3	2,7	72	236,9	349,7	349,7	169,2	22,6	1202,7
4,5	3,2	72	236,9	349,7	349,7	169,2	22,6	1203,2

Dari hasil pengujian untuk Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan substitusi *filler* menggunakan abu sinabung sebesar 50% diperoleh nilai KAO sebesar 6%. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan bahan tambah lateks menggunakan variasi 0% (sebagai variasi kontrol); 1,5%; 3%; dan 4,5% terhadap KAO, serta *filler*

dengan 50% abu sinabung untuk semua variasi. Setelah pengujian *marshall*, didapatkan hasil nilai *density*, VMA, VIM, VFA, stabilitas, *flow*, dan MQ. Berikut penjelasan secara rinci untuk karakteristik *marshall*.

A. *Density*

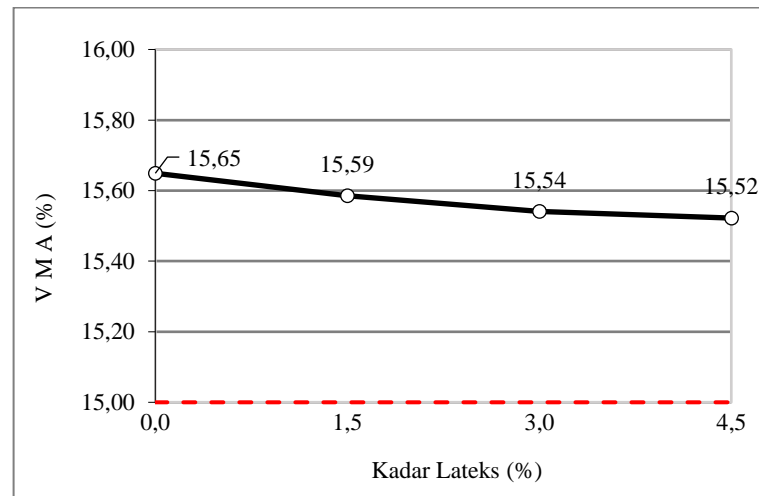
Hasil nilai *density* yang diperoleh diperlihatkan pada Gambar 4.10. Grafik menunjukkan bahwa pada penambahan lateks 1,5%; 3%; dan 4,5% mengalami kenaikan dibandingkan dengan variasi kontrol (penambahan lateks 0% dari KAO). Faktor pemadatan sangat mempengaruhi nilai *density*, seperti penumbukan yang lurus, temperatur pemadatan, penyimpanan aspal, ataupun penambahan bahan tambah pada campuran aspal.



Gambar 4.10 *Density* dengan bahan tambah lateks dan *filler* abu sinabung

B. *Void mineral aggregate* (VMA)

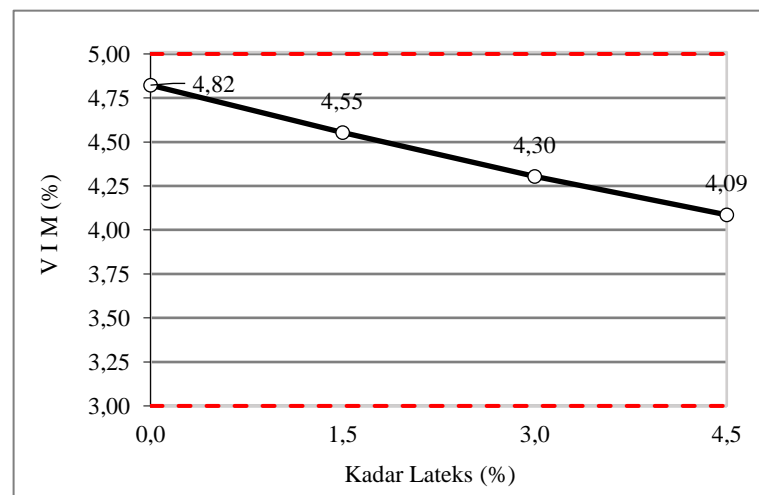
Nilai minimum untuk karakteristik *marshall* VMA adalah 15%, dan untuk maksimumnya tidak dibatasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan lateks 1,5%; 3%; dan 4,5% mengalami penurunan nilai VMA dari variasi kontrol, namun masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 VMA dengan bahan tambah lateks dan *filler* abu sinabung

C. *Void in the mix* (VIM)

Nilai VIM disyaratkan berada di rentang 3% hingga 5%. Hasil perhitungan nilai VIM menunjukkan bahwa pada variasi 1,5%; 3%; dan 4,5% mengalami penurunan nilai VIM dari variasi kontrol, akan tetapi tetap memenuhi ketentuan spesifikasi. Besarnya nilai VIM pada variasi dipengaruhi oleh penambahan lateks. Hasil pengujian VIM dapat dilihat pada Gambar 4.12.

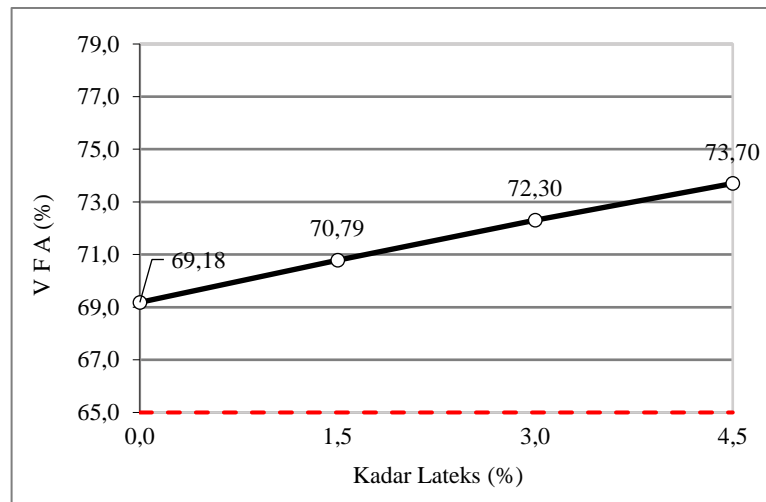


Gambar 4.12 VIM dengan bahan tambah lateks dan *filler* abu sinabung

D. *Void filled with asphalt* (VFA)

Nilai VFA minimal 65%. Variasi lateks 0%; 1,5%; 3%; dan 4,5% memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2). Hasil pengujian

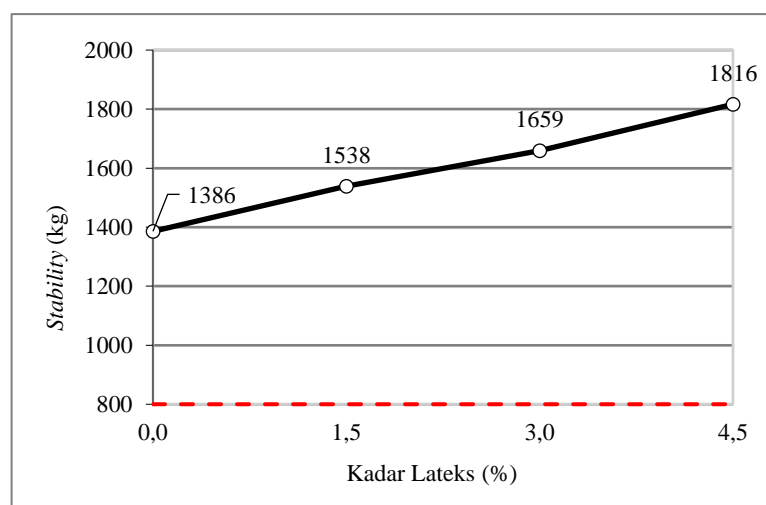
menunjukkan bahwa pada nilai variasi 1,5%; 3%; dan 4,5% mengalami kenaikan nilai VFA dari variasi kontrol. Hasil VFA ditunjukkan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.13 VFA dengan bahan tambah lateks dan *filler* abu sinabung

E. Stabilitas

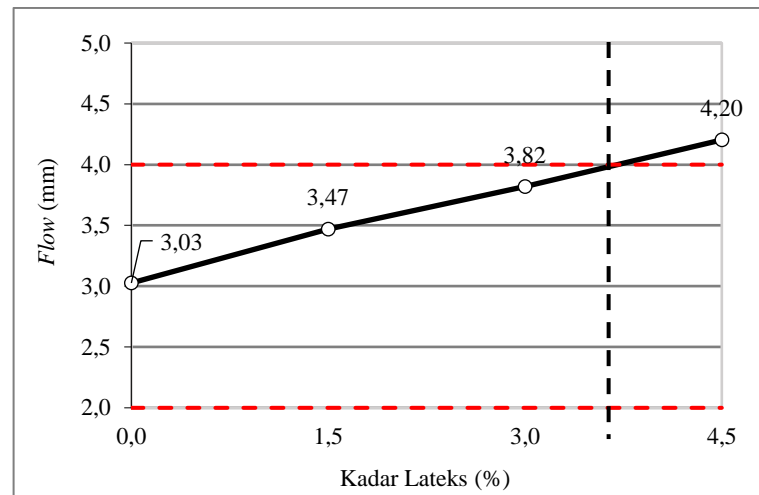
Nilai stabilitas memiliki nilai minimum sebesar 800 kg dan nilai maksimumnya tidak dibatasi. Hasil pengujian stabilitas lateks pada variasi 0%; 1,5%; 3%; dan 4,5% menunjukkan peningkatan stabilitas seiring penambahan lateks hingga 4,5%. Hasil pengujian stabilitas juga memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2), dan dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 Stabilitas dengan bahan tambah lateks dan *filler* abu sinabung

F. Flow

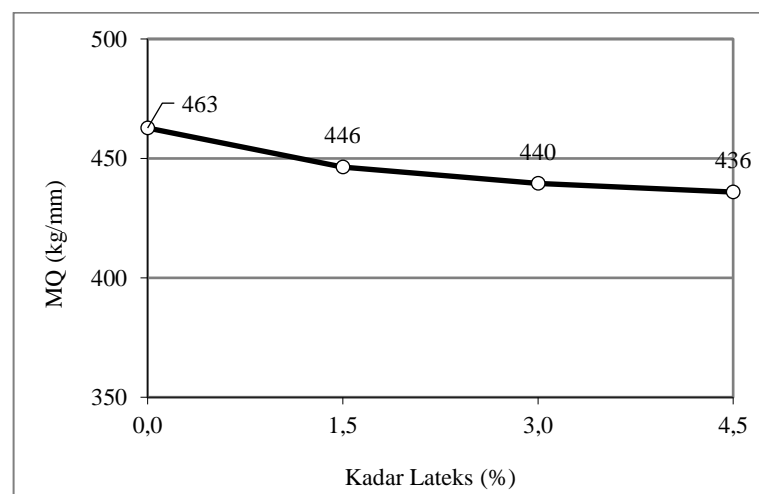
Karakteristik *marshall flow* yang disyaratkan adalah 2 mm hingga 4 mm. Variasi 0%; 1,5%; dan 3% memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Namun, penambahan lateks 4,5% menghasilkan *flow* berlebih dan tidak sesuai spesifikasi. Lihat Gambar 4.15 untuk hasil pengujian *flow*.



Gambar 4.15 Flow dengan bahan tambah lateks dan *filler* abu sinabung

G. Marshall quotient (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) mengalami penurunan seiring penambahan lateks, dari penambahan variasi 1,5%; 3%; hingga 4,5%. Hasil pengujian MQ dapat dilihat pada Gambar 4.16.



Gambar 4.16 MQ dengan bahan tambah lateks dan *filler* abu sinabung

4.2.7 Kadar lateks optimum

Dalam penelitian ini, karakteristik *marshall* diuji pada semua kadar aspal dengan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai *filler*. Variasi yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) adalah variasi yang dapat diimplementasikan dalam campuran AC-WC. Hasil yang diperoleh dengan variasi bahan tambah lateks dan *filler* abu sinabung menunjukkan bahwa variasi lateks 0%; 1,5%; dan 3% memenuhi spesifikasi pada seluruh karakteristik, namun variasi 4,5% tidak memenuhi spesifikasi pada karakteristik *flow*. Dengan demikian, penelitian ini membantu dalam menentukan campuran aspal yang optimal dengan mempertimbangkan bahan dan spesifikasi. Hasil pengujian *marshall* dengan bahan tambah lateks dan abu sinabung sebagai *filler* diperlihatkan pada Tabel 4.14 dan grafik vektor karakteristik *marshall* pada Tabel 4.15.

Tabel 4.14 Hasil pengujian *marshall* dengan menggunakan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai *filler*

Lateks (%)	Density (gr/cm ³)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Stability (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0	2,304	15,65	4,82	69,18	1386	3,03	463
1,5	2,308	15,59	4,55	70,79	1538	3,47	446
3	2,311	15,54	4,3	72,3	1659	3,82	440
4,5	2,314	15,52	4,09	73,7	1816	4,2	436

Tabel 4.15 Kadar lateks optimum dari hasil karakteristik *marshall* dengan menggunakan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai *filler*

Kriteria	Spesifikasi	Kadar Lateks (%)			
		0	1,5	3	4,5
Density	gr/cm ³				
VMA	Min 15				
VIM	3,0 - 5,0				
VFA	min 65				
Stability	min 800				
Flow	2,0 - 4,0				
MQ	min 250				

4.3 Pembahasan

Pembahasan terhadap hasil karakteristik *marshall* yang telah diperoleh bertujuan untuk membahas secara rinci antara karakteristik setiap variasi. Hasil karakteristik *marshall* tersebut diperlihatkan pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Hasil pengujian karakteristik *marshall* dengan menggunakan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai *filler*

Kriteria	Spesifikasi	Satuan	Kadar Lateks (%)							
			0		1,5		3		4,5	
<i>Density</i>	-		2,304	M	2,308	M	2,311	M	2,314	M
VMA	Min 15	%	15,65	M	15,59	M	15,54	M	15,52	M
VIM	3,0 - 5,0	%	4,82	M	4,55	M	4,3	M	4,09	M
VFA	min 65	%	69,18	M	70,79	M	72,3	M	73,7	M
<i>Stability</i>	min 800	kg	1386	M	1538	M	1659	M	1816	M
<i>Flow</i>	2,0 - 4,0	mm	3,03	M	3,47	M	3,82	M	4,20	TM
MQ	min 250	kg/mm	463	M	446	M	440	M	436	M

4.3.1 Kadar aspal optimum (KAO)

Kadar Aspal Optimum adalah kadar yang memenuhi seluruh karakteristik *marshall* berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2). Berdasarkan *mix design*, diperoleh kadar aspal tengah (Pb) sebesar 5,3%. Hasil pengujian *marshall* menunjukkan bahwa variasi Pb yang memenuhi spesifikasi adalah kadar 5,8% hingga 6,3%, sehingga ditetapkan nilai KAO sebesar 6% yang merupakan nilai tengah dari kadar tersebut.

4.3.2 Karakteristik *marshall* campuran AC-WC dengan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai *filler*

Kadar aspal optimum (KAO) yang digunakan pada benda uji variasi sebesar 6%, kadar tersebut dijadikan sebagai variasi kontrol terhadap variasi penambahan lateks 1,5%; 3%; dan 4,5% dari KAO pada campuran AC-WC. Berdasarkan hasil karakteristik *marshall* yang diperoleh, maka dilakukan pembahasan sebagai berikut.

A. *Density*

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa nilai *density* mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar lateks, yaitu pada variasi penambahan 0% (kontrol) sebesar 2,304 gr/cm³; 1,5% sebesar 2,308 gr/cm³; 3% sebesar 2,311 gr/cm³; dan 4,5% sebesar 2,314 gr/cm³. Peningkatan nilai *density* dikarenakan penambahan kadar lateks pada campuran, yang mengakibatkan kepadatan campuran semakin meningkat dan menghasilkan struktur yang lebih kokoh dan tahan lama, sehingga daya tahan terhadap lalu lintas meningkat. Hal ini terjadi karena fungsi bahan tambah lateks mampu meningkatkan dan menjaga efisiensi aspal saat pengikatan agregat. Abu sinabung yang berbutir halus dan kekerasan yang tinggi berperan dalam mengisi rongga kosong dalam campuran, sehingga campuran menjadi lebih padat dan kuat. Campuran yang memiliki kepadatan tinggi efektif terhadap paparan air, sehingga dapat memperpanjang umur jalan. Namun jika terlalu rendah, perkerasan menjadi rapuh dan rentan mengalami kerusakan.

B. *Void in mineral aggregate (VMA)*

Void in Mineral Aggregate (VMA) merupakan persen rongga udara yang ada di antara partikel-partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. VMA dinyatakan sebagai ruang yang tersedia untuk menampung aspal dan rongga yang diperlukan dalam campuran agregat aspal. Dari hasil penelitian dengan penambahan lateks 1,5%; 3%; dan 4,5% dari berat KAO diketahui bahwa nilai VMA mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar lateks, yaitu variasi penambahan 0% sebesar 15,65%; 1,5% sebesar 15,59%; 3% sebesar 15,54%; dan 4,5% sebesar 15,52%. Penurunan nilai VMA menunjukkan bahwa seiring penambahan lateks menghasilkan rongga antar agregat dalam campuran semakin berkurang, hal ini diakibatkan semakin banyaknya kadar aspal yang digunakan. Nilai VMA yang rendah menyebabkan kekurangan rongga saat aspal mengisi rongga dan menghasilkan campuran yang terlalu padat, sehingga berpotensi menyulitkan air melewati campuran dan akan mempercepat kerusakan. Penggunaan abu sinabung sebagai *filler* berperan

dalam mempertahankan rongga antar agregat dan struktur porositas campuran. Butiran halus abu sinabung sulit diselimuti oleh aspal saat mengisi ruang antara partikel agregat, dan membantu menjaga sejumlah rongga saat pencampuran perkerasan.

C. *Void in the total mix* (VIM)

Void in the Total Mix (VIM) adalah persentase rongga udara dalam campuran terhadap total volume campuran agregat dan aspal. Nilai VIM dibutuhkan untuk mengetahui persentase volume pori yang masih tersisa setelah campuran aspal tersebut dipadatkan, dan berfungsi sebagai ruang bergesernya agregat akibat beban lalu lintas atau ruang bagi aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. Nilai VIM yang besar menunjukkan bahwa sedikit rongga dan kurangnya kedekatan suatu benda uji terhadap air. Dari hasil penelitian diketahui bahwa campuran AC-WC dengan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai *filler* mengalami perubahan pada nilai VIM. Hasil pengujian pada variasi penambahan 0% sebesar 4,82%; 1,5% sebesar 4,5%; 3% sebesar 4,3%; dan 4,5% sebesar 4,09%. Seluruh variasi penambahan lateks memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2). Penambahan variasi lateks pada campuran yang diuji menunjukkan sifat elastis lateks mampu mengisi rongga dengan baik, dan memperkuat ikatan agregat dalam campuran, sehingga nilai VIM berkurang dibanding variasi kontrol. Namun nilai VIM yang terlalu rendah atau di bawah 3% rentan mengalami *bleeding* karena campuran terlalu padat yang membuat agregat tidak memiliki ruang untuk bergerak dan memaksa agregat bergerak ke luar campuran. Oleh karena itu, abu sinabung berperan mengisi rongga dan saat yang bersamaan mempertahankan kadar rongga campuran agar tidak terjadi penyusutan berlebih saat pemadatan, hal ini dikarenakan abu sinabung memiliki butiran yang halus, berporositas tinggi, dan tahan terhadap suhu tinggi, sehingga sulit diselimuti aspal saat pencampuran dan pemadatan. Sinergi dari lateks yang mudah mengisi rongga dan abu sinabung yang dapat mempertahankan kadar rongga campuran, menghasilkan campuran yang mempertahankan ruang gerak agregat saat menerima beban serta dapat mengalirkan air untuk mencegah genangan pada perkerasan.

D. *Void filled with asphalt (VFA)*

Void Filled With Asphalt (VFA) adalah volume rongga campuran yang terisi aspal atau yang biasa disebut dengan selimut aspal. VFA merupakan persentase volume aspal yang menyelimuti agregat setelah mengalami proses pemadatan. Sehingga, dapat dikatakan VFA merupakan persentase rongga yang terisi aspal pada campuran. Hasil yang diperoleh pada variasi penambahan 0% sebesar 69,18%; 1,5% sebesar 70,79%; 3% sebesar 72,3%; dan 4,5% sebesar 73,7%. Nilai VFA yang tinggi menunjukkan bahwa rongga pada campuran lebih terisi oleh aspal. Semakin besar nilai VFA menandakan semakin banyaknya rongga dalam campuran yang terisi aspal. Pada penelitian ini lateks difungsikan sebagai bahan tambah pada aspal, lateks merupakan polimer dan memiliki sifat elastis, yang dapat membantu aspal untuk mengisi rongga dengan lebih efisien. Sementara abu sinabung yang berbutir halus mengisi rongga yang sulit untuk diisi oleh aspal dan lateks. Oleh karena itu, pemanfaatan abu sinabung dan lateks menghasilkan campuran yang padat serta kedap air dan udara namun tetap menjaga kadar rongga sebab abu sinabung yang memiliki porositas tinggi. VFA akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal dalam campuran, karena rongga dalam campuran yang terisi aspal akan semakin banyak.

E. Stabilitas

Stabilitas adalah nilai ketahanan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk. Dari hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa nilai stabilitas meningkat setelah penambahan lateks, yaitu pada variasi penambahan 0% sebesar 1386 kg; 1,5% sebesar 1538 kg; 3% sebesar 1659 kg; dan 4,5% sebesar 1816 kg. Kenaikan nilai stabilitas disebabkan oleh penambahan lateks hingga 4,5% dari KAO. Sifat elastis lateks dapat memperkuat ikatan antara partikel aspal dan agregat, sehingga meningkatkan stabilitas dan area ikatan antar agregat campuran yang memperkuat daya aus perkerasan, serta meningkatkan daya tahan terhadap pengaruh suhu. Di sisi lain, abu sinabung yang memiliki kepadatan dan kekerasan yang tinggi berfungsi

sebagai pengisi yang meningkatkan kepadatan dan menjaga kekakuan campuran. Selain itu, abu sinabung juga merupakan bahan pozollan alami yang dapat meningkatkan kekuatan struktur dan daya tahan jalan saat bereaksi dengan air. Oleh karena itu, penambahan lateks dan penggunaan abu sinabung dapat menghasilkan campuran yang lebih stabil dan memiliki daya aus tinggi, sehingga mengurangi potensi kerusakan dini pada perkerasan.

F. *Flow*

Kelelehan (*flow*) merupakan karakteristik *marshall* yang menyatakan besarnya penurunan campuran akibat beban vertikal hingga batas runtuh. Dari hasil yang didapat bahwa nilai *flow* pada variasi penambahan 0% sebesar 3,03 mm; 1,5% sebesar 3,47 mm; 3% sebesar 3,82 mm; dan 4,5% sebesar 4,2 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan lateks menghasilkan kenaikan nilai *flow* dibanding variasi kontrol. Namun penambahan lateks 4,5% menghasilkan nilai *flow* yang terlalu tinggi hingga melebihi batas maksimal spesifikasi yang ditentukan. Maka diketahui kenaikan nilai *flow* menunjukkan bahwa lateks dapat meningkatkan fleksibilitas, yang menyebabkan campuran menjadi lebih mudah berubah bentuk apabila diberi beban, dan sangat bermasalah pada kondisi lalu lintas tinggi. Akan tetapi, lateks mampu mencegah retakan pada suhu yang rendah. Sementara itu, abu sinabung memiliki kekerasan dan ketahanan suhu yang tinggi, hal tersebut membatasi deformasi berlebih saat menerima beban dan tahan terhadap suhu yang tinggi. Maka dari itu, penambahan lateks dan penggunaan abu sinabung menghasilkan perkerasan yang fleksibel namun kuat, juga tahan terhadap perubahan suhu ekstrim.

G. *Marshall quotient* (MQ)

Nilai MQ merupakan rasio atau perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow* pada campuran beton aspal yang digunakan untuk menunjukkan tingkat fleksibilitas campuran. Stabilitas yang kecil dan *flow* yang besar menghasilkan campuran yang rentan mengalami deformasi saat kondisi lalu lintas dan suhu yang tinggi. Sebaliknya, nilai stabilitas yang besar dan *flow* yang kecil menghasilkan campuran yang lebih getas dan rentan terhadap keretakan. Dari

hasil yang didapat bahwa nilai MQ pada kadar variasi penambahan 0% sebesar 463 kg/mm; 1,5% sebesar 446 kg/mm; 3% sebesar 440 kg/mm; dan 4,5% sebesar 436 kg/mm. Hasil pengujian menunjukkan penurunan MQ seiring penambahan lateks. Hal tersebut diakibatkan oleh kenaikan *flow* yang lebih besar dibanding kenaikan stabilitas, sehingga perkerasan menjadi lebih plastis. Maka dari itu, penting untuk menjaga kadar lateks dan abu sinabung dalam campuran agar mendapatkan perkerasan yang optimal.

4.3.3 Kadar lateks optimum

Berdasarkan hasil pengujian *marshall*, variasi penambahan lateks 1,5%, 3%, dan 4,5% dari nilai KAO yang menghasilkan peningkatan kinerja campuran berada pada rentang 0% hingga 3,7%, sementara penambahan lateks 3,7% hingga 4,5% tidak memberikan kinerja yang optimal pada campuran AC-WC.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan analisis data yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pengaruh bahan tambah lateks dan abu sinabung sebagai *filler* pada lapisan perkerasan AC-WC adalah dapat meningkatkan kepadatan dan kestabilan seiring penambahan lateks dari 1,5%; 3%; hingga 4,5% terhadap KAO yang membuat kadar rongga campuran semakin kecil dan meningkatkan *adhesi* pada campuran, sehingga perkerasan lebih tahan terhadap keausan dan *cracking*. Namun penambahan lateks 4,5% menghasilkan perkerasan yang plastis akibat kenaikan nilai *flow* yang tinggi.
2. Variasi bahan tambah lateks dan abu sinabung sebagai *filler* pada lapisan perkerasan AC-WC yang menghasilkan kinerja terbaik dan memenuhi karakteristik *marshall* pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) adalah variasi lateks 1,5% dan 3% dari KAO.

5.2 Saran

Berdasarkan pengamatan penulis selama penelitian yang dilaksanakan, untuk penelitian yang lebih akurat diperlukan hal-hal sebagai berikut.

1. Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan pemanfaatan abu sinabung sebagai substitusi *filler* dan penambahan lateks menggunakan variasi di atas 4,5% untuk memperluas pengetahuan dalam pemanfaatan lateks pada campuran AC-WC.
2. Pengembangan penelitian dengan memanfaatkan lateks dan abu sinabung terhadap jenis lapisan perkerasan lain, misalnya AC-BC atau HRS-WC.

DAFTAR PUSTAKA

- Afriaziz, A., Sebayang, N., & Priskasari, E. (2019). *Pengaruh Penambahan Karet Alam Pada Campuran Aspal Beton Lapis Aus Dengan Filler Fly Ash* (Vol. 1, Issue 1).
- Aminsyah, M., & Syahid, R. S. (2019). *Pengaruh Penambahan Lateks Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2020). *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2)*. Kementerian Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, Oktober, 1036.
- Ferdilla, S. C., Wibisono, G., & Malik, A. (2018). *Pengaruh Penambahan Bahan Alami Lateks (Getah Karet) Terhadap Karakteristik Beton Aspal Lapis Pengikat Dengan Pengujian Marshall*. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Dan Sains, 5(Vol 5 (2018): Edisi 2 Juli s/d Desember 2018).
- Ilhamsyah, A. (2017). *Kinerja Penggunaan Bahan Tambah Material Alternatif (Serbuk Ban) Sebagai Campuran Agregat Halus Untuk Panas Ashpalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Perkerasan Jalan*.
- Nursandah, F. (2019). *Penelitian Penambahan Karet Alam (Lateks) Pada Campuran Laston AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall*. International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology, 4(2), 262–267.
- Pratama, A., Wiyono, S., & Harmiyati. (2016). *Pengaruh Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Bahan Pengganti Filler AC-WC Terhadap Karakteristik Marshall*.
- Rezi, L. S. F. (2021). *Pengaruh Penggunaan Abu Vulkanik Gunung Rinjani Sebagai Pengganti Filler Untuk Campuran Laston (AC-WC) Dalam Karakteristik Uji Marshall*.
- Saputra, E. (2020). *Pengaruh Penambahan Belerang Pada Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-BC*.
- Senolinggi, R. D. (2018). *Pengaruh Penambahan Serbuk Crumb Rubber Menggunakan Filler Abu Sekam Padi Pada Asphalt Concrete - Wearing Course Ditinjau Dari Karakteristik Marshall*.

- Simatupang, L., & Devi. (2016). *The preparation and characterization of Sinabung volcanic ash as silica based adsorbent*. Jurnal Pendidikan Kimia, 8(3).
- Sitorus, T. M. (2020). *Pengaruh Penambahan Getah Karet Pada Campuran AC-BC Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Marshall*.
- SNI 03-4804-1998. (1998). *SNI 1970-2016 Metode Pengujian Berat Isi dan Rongga udara dalam agregat*. www.bsn.go.id
- SNI 03-6723-2002. (2002). *SNI 03-6723-2002 Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Beraspal*. www.bsn.go.id
- SNI 06-2489-1991. (1991). *SNI 06-2489-1991 Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*. www.bsn.go.id
- SNI 1969-2016. (2016). *SNI 1969-2016 Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat kasar*. www.bsn.go.id
- SNI 1970-2016. (2016). *SNI 1970-2016 Metode uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. www.bsn.go.id
- SNI ASTM C136-2012. (2016). *SNI ASTM C136-2012 Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar*. www.bsn.go.id
- Subono, V. P. (2011). *Karakteristik Marshall Campuran Asphalt Concrete (AC) dengan Bahan Pengisi (Filler) Abu Vulkanik Gunung Merapi*.
- Sukirman, S. (2016). *Beton Aspal Campuran Panas*.
- Syahputra, M. T. (2019). *Analisa Penggunaan Abu Vulkanik Gunung Sinabung Sebagai Bahan Filler Pada Campuran Panas AC-WC Menggunakan Aspal Buton*.
- Thanaya, I. N. A., Puranto, I. G. R., & Nugraha, I. N. S. (2016). *Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks*. 22(2), 77–86.
- Tombeg, C. V., Manoppo, M. R. E., & Sendow, T. K. (2019). *Pemanfaatan Sedimen Transport Abu Vulkanik (Gunung Soputan) Sebagai Bahan Substitusi Pada Abu Batu Dalam Campuran Aspal HRS-WC Gradasi Semi Senjang*. 7(3).
- Wen, Y., Wang, Y., Zhao, K., & Sumalee, A. (2015). *The use of natural rubber latex as a renewable and sustainable modifier of asphalt binder*. July 2016.

LAMPIRAN A PERHITUNGAN

A.1 Sifat Fisis Material

Material yang digunakan sebagai bahan campuran dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Agregat kasar berupa batu pecah lolos saringan 3/4" dan tertahan saringan No. 4.
2. Agregat halus yang berupa pasir dan *dust* yang lolos saringan No. 4.
3. *Filler* yang digunakan terdiri dari 50% semen portland tipe 1 dan 50% abu sinabung yang lolos saringan No. 200.
4. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal dengan penetrasi 60/70.
5. Lateks (getah cair) digunakan sebagai bahan tambah.

A.1.1 Berat jenis dan absorpsi agregat

Berat jenis dan absorpsi agregat kasar 3/4" dan 3/8" dihitung dengan persamaan 2.3, persamaan 2.5, persamaan 2.7, dan persamaan 2.9, hasil pemeriksaan berat jenis agregat kasar ditunjukkan pada Tabel A.1 dan Tabel A.2. Untuk berat jenis dan absorpsi agregat halus pasir dan *dust* dihitung dengan persamaan 2.4, persamaan 2.6, persamaan 2.8, dan persamaan 2.9, hasil pemeriksaan berat jenis agregat halus dapat dilihat pada Tabel A.3 dan Tabel A.4.

- a. Berat jenis agregat fraksi kasar (3/4")

- Berat jenis kering (*bulk*)
$$\begin{aligned} &= \frac{BK}{BJ-BA} \\ &= \frac{1479,6 \text{ gr}}{1500 \text{ gr} - 929,1 \text{ gr}} \\ &= 2,592 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$
- Berat jenis kering jenuh permukaan (*ssd*)
$$\begin{aligned} &= \frac{BJ}{BJ-BA} \\ &= \frac{1500 \text{ gr}}{1500 \text{ gr} - 929,1 \text{ gr}} \\ &= 2,627 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$
- Berat jenis semu (*apparent*)
$$\begin{aligned} &= \frac{BK}{BK-BA} \\ &= \frac{1479,6}{1479,6 \text{ gr} - 929,1 \text{ gr}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2,688 \text{ gr/cm}^3 \\
 \bullet \text{ Penyerapan air (absorpsi)} &= \frac{BJ-BK}{BK} \times 100 \\
 &= \frac{1500 \text{ gr} - 1479,6 \text{ gr}}{1479,6 \text{ gr}} \times 100 \\
 &= 1,38\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.1.

Tabel A.1 Hasil pengujian berat jenis batu pecah 3/4"

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata	Ket
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh (Bj)	1500	1500	1500	1500,0	-
2	Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	1479,6	1482,6	1479,1	1480,43	-
3	Berat Benda Uji Dalam Air (Ba)	929,1	932,1	929,3	930,2	-
4	Berat Jenis <i>Bulk</i>	2,592	2,611	2,592	2,598	-
5	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,627	2,693	2,628	2,632	-
6	Berat Jenis Semu (<i>apparent</i>)	2,688	2,693	2,690	2,690	-
7	Penyerapan Air (absorpsi) (%)	1,38%	1,17%	1,41%	1,32%	M

keterangan:

M : Memenuhi

b. Berat jenis agregat fraksi kasar (3/8")

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Berat jenis kering (bulk)} &= \frac{BK}{BJ-BA} \\
 &= \frac{1476,1 \text{ gr}}{1500 \text{ gr} - 925,3 \text{ gr}} \\
 &= 2,568 \text{ gr/cm}^3 \\
 \bullet \text{ Berat jenis kering jenuh permukaan (ssd)} &= \frac{BJ}{BJ-BA} \\
 &= \frac{1500 \text{ gr}}{1500 \text{ gr} - 925,3 \text{ gr}} \\
 &= 2,610 \text{ gr/cm}^3 \\
 \bullet \text{ Berat jenis semu (apparent)} &= \frac{BK}{BK-BA} \\
 &= \frac{1476,1 \text{ gr}}{1476,1 \text{ gr} - 925,3 \text{ gr}}
 \end{aligned}$$

- Penyerapan air (*absorpsi*)

$$\begin{aligned}
 &= 2,680 \text{ gr/cm}^3 \\
 &= \frac{BJ-BK}{BK} \times 100 \\
 &= \frac{1500 \text{ gr} - 1476,1 \text{ gr}}{1476,1 \text{ gr}} \times 100 \\
 &= 1,62\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.2.

Tabel A.2 Hasil pengujian berat jenis batu pecah 3/8"

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata	Ket
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh (Bj)	1500	1500	1500	1500,0	-
2	Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	1476,1	1478,4	1476,6	1477,03	-
3	Berat Benda Uji Dalam Air (Ba)	925,3	928,8	926,6	926,9	-
4	Berat Jenis Bulk	2,568	2,588	2,575	2,577	-
5	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,610	2,626	2,616	2,617	-
6	Berat Jenis Semu (<i>apparent</i>)	2,680	2,690	2,685	2,685	-
7	Penyerapan Air (<i>absorpsi</i>) (%)	1,62%	1,46%	1,58%	1,55%	M

keterangan:

M : Memenuhi

- c. Agregat fraksi halus (pasir)

- Berat jenis kering (*bulk*)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{BK}{B+BJ-BT} \\
 &= \frac{486,4 \text{ gr}}{2010 \text{ gr} - 500 \text{ gr} - 2314,1 \text{ gr}} \\
 &= 2,483 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

- Berat jenis kering jenuh permukaan (ssd) =

$$\begin{aligned}
 &= \frac{BJ}{B+BJ-BT} \\
 &= \frac{500 \text{ gr}}{2010 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 2314,1 \text{ gr}} \\
 &= 2,552 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

- Berat jenis semu (*apparent*)

$$= \frac{BK}{B+Bk+BT}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{486,4 \text{ gr}}{2010 \text{ gr} + 486,4 \text{ gr} + 2314,1 \text{ gr}} \\
 &= 2,668 \text{ gr/cm}^3 \\
 \bullet \text{ Penyerapan air (absorpsi)} &= \frac{BJ - BK}{BK} \times 100 \\
 &= \frac{500 \text{ gr} - 486,4 \text{ gr}}{486,4 \text{ gr}} \times 100 \\
 &= 2,80\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.3.

Tabel A.3 Hasil pengujian berat jenis pasir

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata	Ket
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh (BJ)	500	500	500	500	-
2	Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	486,4	486,1	484,9	485,8	-
3	Berat Piknometer + air + plat kaca (B)	2010	2010	2010	2010	-
4	Berat Piknometer + benda uji + air + plat kaca (Bt)	2314,1	2313,2	2309,8	2312,4	-
5	Berat Jenis Bulk	2,483	2,470	2,422	2,458	-
6	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,552	2,541	2,498	2,530	-
7	Berat Jenis Semu (<i>apparent</i>)	2,668	2,658	2,620	2,649	-
8	Penyerapan Air (<i>absorpsi</i>) (%)	2,80%	2,86%	3,11%	2,92%	M

keterangan:

M : Memenuhi

d. Agregat fraksi halus (*dust*)

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Berat jenis kering (bulk)} &= \frac{BK}{B + BJ - BT} \\
 &= \frac{485,6 \text{ gr}}{2010 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 2310,6 \text{ gr}} \\
 &= 2,435 \text{ gr/cm}^3 \\
 \bullet \text{ Berat jenis kering jenuh permukaan (ssd)} &= \frac{BJ}{B + BJ - BT}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{500 \text{ gr}}{2010 \text{ gr} + 500 \text{ gr} - 2310,6 \text{ gr}}$$

$$= 2,508 \text{ gr/cm}^3$$

- Berat jenis semu (*apparent*)

$$= \frac{BK}{B+BK-BT}$$

$$= \frac{485,6 \text{ gr}}{2010 \text{ gr} + 485,6 \text{ gr} - 2310,6 \text{ gr}}$$

$$= 2,625 \text{ gr/cm}^3$$
- Penyerapan air (absorpsi)

$$= \frac{BJ-BK}{BK} \times 100$$

$$= \frac{500 \text{ gr} - 485,6 \text{ gr}}{485,6 \text{ gr}} \times 100$$

$$= 2,97\%$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.4.

Tabel A.4 Hasil pengujian berat jenis *dust*

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata	Ket
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh (BJ)	500	500	500	500	-
2	Berat Benda Uji Kering Oven (Bk)	485,6	486,8	484,6	485,67	-
3	Berat Piknometer + air + plat kaca (B)	2010	2010	2010	2010	-
4	Berat Piknometer + benda uji + air + plat kaca (Bt)	2310,6	2308,1	2312,9	2310,5	-
5	Berat Jenis Bulk	2,435	2,411	2,459	2,435	-
6	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,508	2,476	2,537	2,507	-
7	Berat Jenis Semu (<i>apparent</i>)	2,625	2,580	2,667	2,624	-
8	Penyerapan Air (<i>absorpsi</i>) (%)	2,97%	2,71%	3,18%	2,95%	M

keterangan:

M : Memenuhi

A.1.2 Berat isi

Menghitung berat isi agregat kasar menggunakan persamaan 2.11. Hasil pemeriksaan berat isi agregat kasar 3/4" dan 3/8" diperlihatkan pada Tabel A.5 dan

Tabel A.6. Untuk menghitung berat isi agregat halus dihitung dengan persamaan 2.10. Hasil pemeriksaan berat isi agregat halus pasir dan *dust* ditunjukkan pada Tabel A.7 dan Tabel A.8.

a. Agregat fraksi kasar (3/4")

- Berat isi gembur

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W)} &= C - A \\ &= 8050 \text{ gr} - 4095 \text{ gr} \\ &= 3955 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi} &= \frac{W}{V} \\ &= \frac{3955 \text{ gr}}{3050 \text{ cm}^3} \\ &= 1,297 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

- Berat isi padat

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W)} &= C - A \\ &= 8460 \text{ gr} - 4095 \text{ gr} \\ &= 4365 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi} &= \frac{W}{V} \\ &= \frac{4365 \text{ gr}}{3050 \text{ cm}^3} \\ &= 1,431 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.5.

Tabel A.5 Hasil pengujian berat isi batu pecah 3/4"

No	Uraian		Gembur			Padat		
			I	II	III	I	II	III
1	Berat silinder + agregat (C)	gram	8050	8035	8040	8460	8470	8475
2	Berat silinder (A)	gram	4095	4095	4095	4095	4095	4095
3	Berat agregat (W)	gram	3955	3940	3945	4365	4375	4380
4	Isi silinder (V)	cm ³	3050	3050	3050	3050	3050	3050
5	Berat isi	gram/cm ³	1,297	1,292	1,293	1,431	1,434	1,436
Berat isi rata rata		gram/cm ³	1,294			1,434		

b. Agregat fraksi sedang (3/8")

- Berat isi gembur

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W)} &= C - A \\ &= 7875 \text{ gr} - 4095 \text{ gr} \\ &= 3780 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi} &= \frac{W}{V} \\ &= \frac{3780 \text{ gr}}{3050 \text{ cm}^3} \\ &= 1,239 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

- Berat isi padat

$$\begin{aligned} \text{Berat agregat (W)} &= C - A \\ &= 8260 \text{ gr} - 4095 \text{ gr} \\ &= 4165 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat isi} &= \frac{W}{V} \\ &= \frac{4165 \text{ gr}}{3050 \text{ cm}^3} \\ &= 1,366 \text{ gr/cm}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.6.

Tabel A.6 Hasil pengujian berat isi batu pecah 3/8"

No	Uraian		Gembur			Padat		
			I	II	III	I	II	III
1	Berat silinder + agregat (C)	gram	7875	7890	7880	8260	8255	8275
2	Berat silinder (A)	gram	4095	4095	4095	4095	4095	4095
3	Berat agregat (W)	gram	3780	3795	3785	4165	4160	4180
4	Isi silinder (V)	cm ³	3050	3050	3050	3050	3050	3050
5	Berat isi	gram/cm ³	1,239	1,244	1,241	1,366	1,364	1,370
Berat isi rata rata		gram/cm ³	1,242			1,367		

c. Agregat fraksi halus (pasir)

- Berat isi gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W)} &= C - A \\
 &= 8730 \text{ gr} - 4095 \text{ gr} \\
 &= 4635 \text{ gr} \\
 \text{Berat isi} &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{4635 \text{ gr}}{3050 \text{ cm}^3} \\
 &= 1,520 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

- Berat isi padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W)} &= C - A \\
 &= 9060 \text{ gr} - 4095 \text{ gr} \\
 &= 4965 \text{ gr} \\
 \text{Berat isi} &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{4965 \text{ gr}}{3050 \text{ cm}^3} \\
 &= 1,628 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.7.

Tabel A.7 Hasil pengujian berat isi pasir

No	Uraian		Gembur			Padat		
			I	II	III	I	II	III
1	Berat silinder + agregat (C)	gram	8730	8735	8730	9060	9050	9045
2	Berat silinder (A)	gram	4095	4095	4095	4095	4095	4095
3	Berat agregat (W)	gram	4635	4640	4635	4965	4955	4950
4	Isi silinder (V)	cm ³	3050	3050	3050	3050	3050	3050
5	Berat isi	gram/cm ³	1,520	1,521	1,520	1,628	1,625	1,623
Berat isi rata rata		gram/cm ³	1,520			1,625		

d. Agregat fraksi halus (*dust*)

- Berat isi gembur

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W)} &= C - A \\
 &= 8580 \text{ gr} - 4095 \text{ gr}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4485 \text{ gr} \\
 \text{Berat isi} &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{4485 \text{ gr}}{3050 \text{ cm}^3} \\
 &= 1,470 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

- Berat isi padat

$$\begin{aligned}
 \text{Berat agregat (W)} &= C - A \\
 &= 9045 \text{ gr} - 4095 \text{ gr} \\
 &= 4950 \text{ gr} \\
 \text{Berat isi} &= \frac{W}{V} \\
 &= \frac{4950 \text{ gr}}{3050 \text{ cm}^3} \\
 &= 1,623 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.8.

Tabel A.8 Hasil pengujian berat isi *dust*

No	Uraian		Gembur			Padat		
			I	II	III	I	II	III
1	Berat silinder + agregat (C)	gram	8580	8560	8555	9045	9075	9050
2	Berat silinder (A)	gram	4095	4095	4095	4095	4095	4095
3	Berat agregat (W)	gram	4485	4465	4460	4950	4980	4955
4	Isi silinder (V)	cm ³	3050	3050	3050	3050	3050	3050
5	Berat isi	gram/cm ³	1,470	1,464	1,462	1,623	1,633	1,625
Berat isi rata rata		gram/cm ³	1,466			1,627		

A.1.3 Analisa Saringan

Untuk menghitung analisa saringan masing-masing ukuran agregat fraksi kasar, yaitu batu pecah 3/4 (*Coarse Aggregate*), batu pecah 3/8 (*Medium Aggregate*), pasir, *dust*, dan *filler* menggunakan persamaan 2.11 dan 2.12.

a. Analisa saringan agregat fraksi kasar (3/4") :

$$\text{Agregat} = 1500 \text{ gr}$$

No. Saringan = 1/2"

Berat Saringan = 438,5 gr

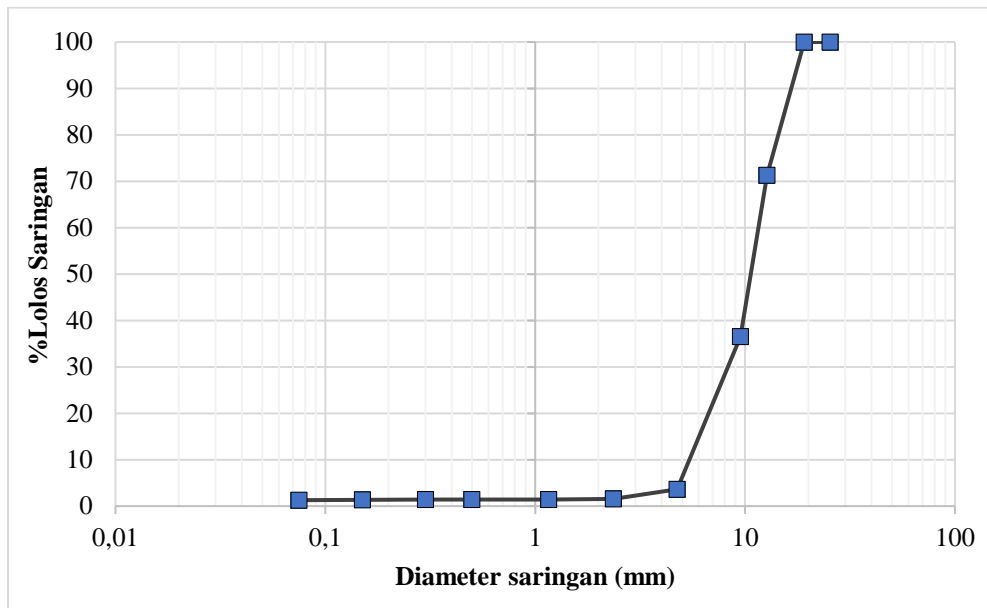
Berat saringan + agregat = 869,3gr

- Berat agregat tertahan = Berat saringan berisi agregat – berat saringan
 = 869,3 gr – 438,5 gr
 = 430,8 gr
- Persen tertahan = $\frac{\text{berat tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \times 100$
 = $\frac{430,8 \text{ gr}}{1500 \text{ gr}} \times 100$
 = 28,72 %
- Persen lolos kumulatif = $\frac{100 - \text{persen tertahan kumulatif}}{100} \times 100$
 = $\frac{100 - 28,72}{100} \times 100$
 = 71,28%

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.9.

Tabel A.9 Hasil pengujian analisa saringan batu pecah 3/4"

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
1"	25,4	489,1	489,1	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,10	511	511	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,70	438,5	869,3	430,8	28,72	28,72	71,28
3/8"	9,52	426,5	948,1	521,6	34,77	63,49	36,51
No. 4	4,75	412,7	905,9	493,2	32,88	96,37	3,63
No .8	2,36	397,6	428,8	31,2	2,08	98,45	1,55
No. 16	1,16	388,8	390,8	2,0	0,13	98,59	1,41
No. 30	0,50	379,1	379,3	0,2	0,01	98,60	1,40
No. 50	0,30	370	370,3	0,3	0,02	98,62	1,38
No.100	0,15	384,4	385,1	0,7	0,05	98,67	1,33
No. 200	0,075	387,2	388	0,80	0,05	98,72	1,28
Jumlah				1480,8			



Gambar A.1 Analisa saringan batu pecah 3/4"

b. Analisa saringan agregat fraksi sedang (3/8")

Agregat = 1500 gr

No. Saringan = 4

Berat Saringan = 412,7 gr

Berat saringan + agregat = 1512,8 gr

- Berat agregat tertahan = berat saringan berisi agregat - berat saringan
 = 1512,8 gr - 412,7 gr
 = 1100,1 gr

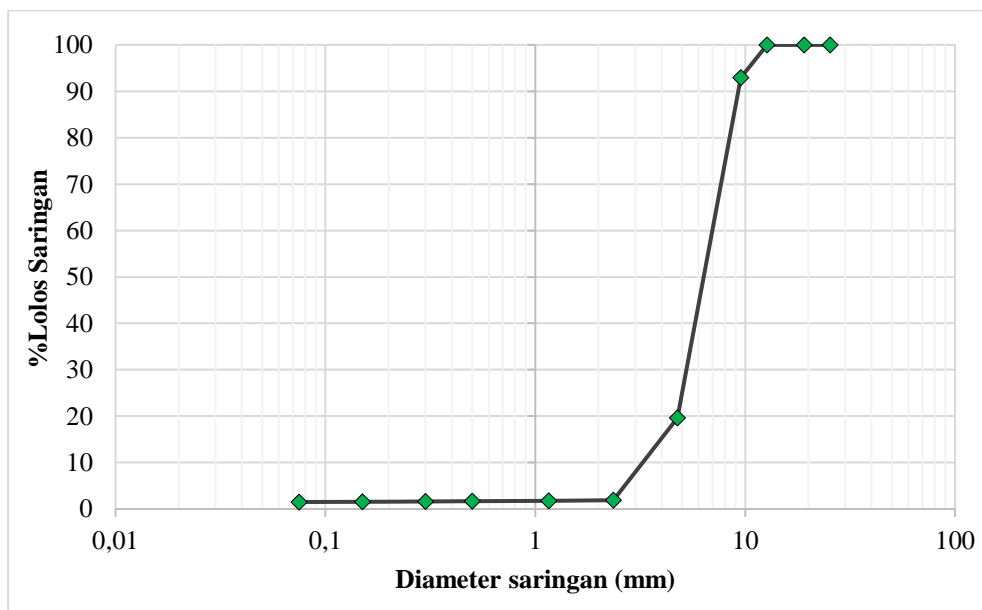
- Persen tertahan = $\frac{\text{berat tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \times 100$
 = $\frac{1100,1 \text{ gr}}{1500 \text{ gr}} \times 100$
 = 73,3%

- Persen lolos kumulatif = $\frac{100 - \text{persen tertahan kumulatif}}{100} \times 100$
 = $\frac{100 - 80,4}{100} \times 100$
 = 19,6 %

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.10.

Tabel A.2 Hasil pengujian analisa saringan batu pecah 3/8"

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
1"	25,4	489,1	489,1	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,10	511,0	511,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,70	438,5	438,5	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,52	426,5	532,2	105,7	7,0	7,0	92,95
No. 4	4,75	412,7	1512,8	1100,1	73,3	80,4	19,6
No. 8	2,36	397,6	663,2	265,6	17,7	98,09	1,91
No. 16	1,16	388,8	391,1	2,3	0,15	98,25	1,75
No. 30	0,50	379,1	380,4	1,3	0,09	98,33	1,67
No. 50	0,30	370,0	370,9	0,9	0,06	98,39	1,61
No.100	0,15	384,4	385,2	0,8	0,05	98,45	1,55
No. 200	0,075	387,2	387,2	0,7	0,05	98,49	1,51
Jumlah				1477,4			



Gambar A.2 Analisa saringan batu pecah 3/8"

c. Agregat fraksi halus (pasir)

Agregat = 1500 gr

No. Saringan = 8

Berat saringan = 397,6 gr

Berat saringan + agregat = 528,6 gr

- Berat agregat tertahan = berat saringan berisi agregat – berat saringan
 = 528,6 gr – 397,6 gr
 = 131,0 gr

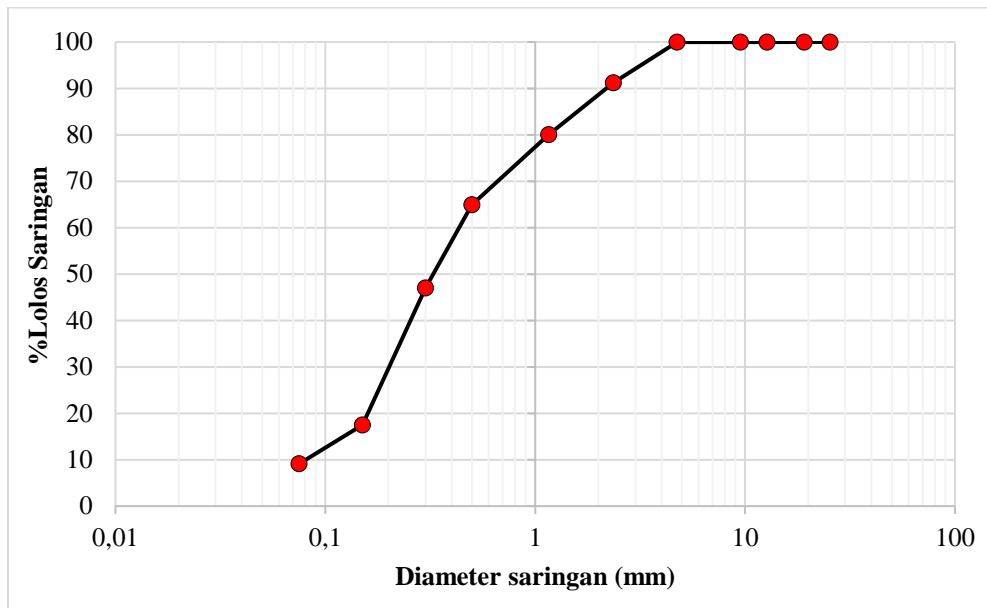
- Persen tertahan = $\frac{\text{berat tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \times 100$
 = $\frac{131 \text{ gr}}{1500 \text{ gr}} \times 100$
 = 8,73%

- Persen lolos kumulatif = $\frac{100 - \text{persen tertahan kumulatif}}{100} \times 100$
 = $\frac{100 - 8,76}{100} \times 100$
 = 91,24%

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.11.

Tabel A.11 Hasil pengujian analisa saringan pasir

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
1"	25,4	489,1	489,1	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,10	511	511	0,0	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,70	438,5	438,7	0,2	0,01	0,01	99,99
3/8"	9,52	426,5	426,6	0,1	0,01	0,02	99,98
No. 4	4,75	412,7	412,8	0,1	0,01	0,03	99,97
No. 8	2,36	397,6	528,6	131,0	8,73	8,76	91,24
No. 16	1,16	388,8	556,4	167,6	11,17	19,93	80,07
No. 30	0,50	379,1	606,3	227,2	15,15	35,08	64,92
No. 50	0,30	370	639,2	269,2	17,95	53,03	46,97
No.100	0,15	384,4	826,7	442,3	29,49	82,51	17,49
No. 200	0,075	387,2	512,8	125,6	8,37	90,89	9,11
Jumlah				1363,3			



Gambar A.3 Analisa saringan pasir

d. Agregat fraksi halus (*dust*)

Agregat = 1500 gr

No. Saringan = 100

Berat saringan = 384,4 gr

Berat saringan + agregat = 531 gr

- Berat agregat tertahan = berat saringan berisi agregat – berat saringan
 = 531 – 384,4 gr
 = 146,6 gr

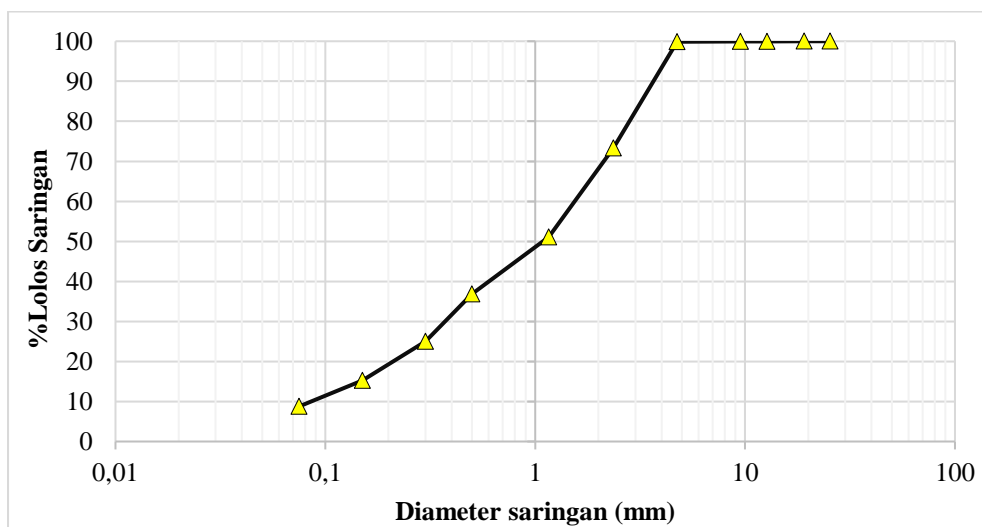
- Persen tertahan = $\frac{\text{berat tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \times 100$
 = $\frac{146,6 \text{ gr}}{1500 \text{ gr}} \times 100$
 = 9,77%

- Persen lolos kumulatif = $\frac{100 - \text{persen tertahan kumulatif}}{100} \times 100$
 = $\frac{100 - 84,77}{100} \times 100$
 = 15,23%

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.12.

Tabel A.12 Hasil pengujian analisa saringan *dust*

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
1"	25,4	489,1	489,1	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,10	511	511	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,70	438,5	438,8	0,3	0,02	0,02	99,98
3/8"	9,52	426,5	426,9	0,4	0,03	0,05	99,95
No. 4	4,75	412,7	413,7	1,0	0,07	0,11	99,89
No. 8	2,36	397,6	796,4	398,8	26,59	26,70	73,30
No. 16	1,16	388,8	721,6	332,8	22,19	48,89	51,11
No. 30	0,50	379,1	593,4	214,3	14,29	63,17	36,83
No. 50	0,30	370	547,3	177,3	11,82	74,99	25,01
No.100	0,15	384,4	531	146,6	9,77	84,77	15,23
No. 200	0,075	387,2	484,3	97,1	6,47	91,24	8,76
Jumlah				1368,6			



Gambar A.4 Analisa saringan *dust*

e. *Filler* semen

Agregat = 100 gr

No. Saringan = 200

Berat saringan = 387,2 gr

Berat saringan + agregat = 387,2 gr

• Berat agregat tertahan = berat saringan berisi agregat – berat saringan

$$= 387,2 - 387,2 \text{ gr}$$

$$= 0 \text{ gr}$$

- Persen tertahan
$$= \frac{\text{berat tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \times 100$$

$$= \frac{0 \text{ gr}}{100 \text{ gr}} \times 100$$

$$= 0\%$$

- Persen lolos kumulatif
$$= \frac{100 - \text{persen tertahan kumulatif}}{100} \times 100$$

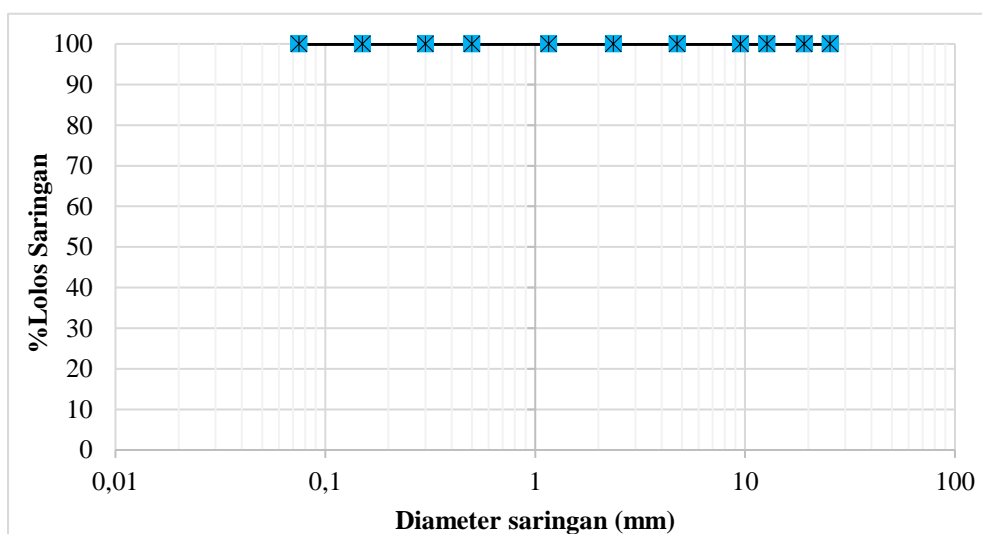
$$= \frac{100 - 0}{100} \times 100$$

$$= 100\%$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.13.

Tabel A.13 Hasil pengujian analisa saringan semen

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
No. 50	0,30	370	370	0,0	0,0	0,0	100
No.100	0,15	384,4	384,4	0,0	0,0	0,0	100
No. 200	0,075	387,2	387,2	0,0	0,0	0,0	100
Jumlah				100			



Gambar A.5 Analisa saringan semen

f. *Filler* abu sinabung

Agregat = 100 gr

No. Saringan = 200

Berat saringan = 387,2 gr

Berat saringan + agregat = 387,2 gr

- Berat agregat tertahan = berat saringan berisi agregat – berat saringan
 $= 387,2 - 387,2 \text{ gr}$
 $= 0 \text{ gr}$

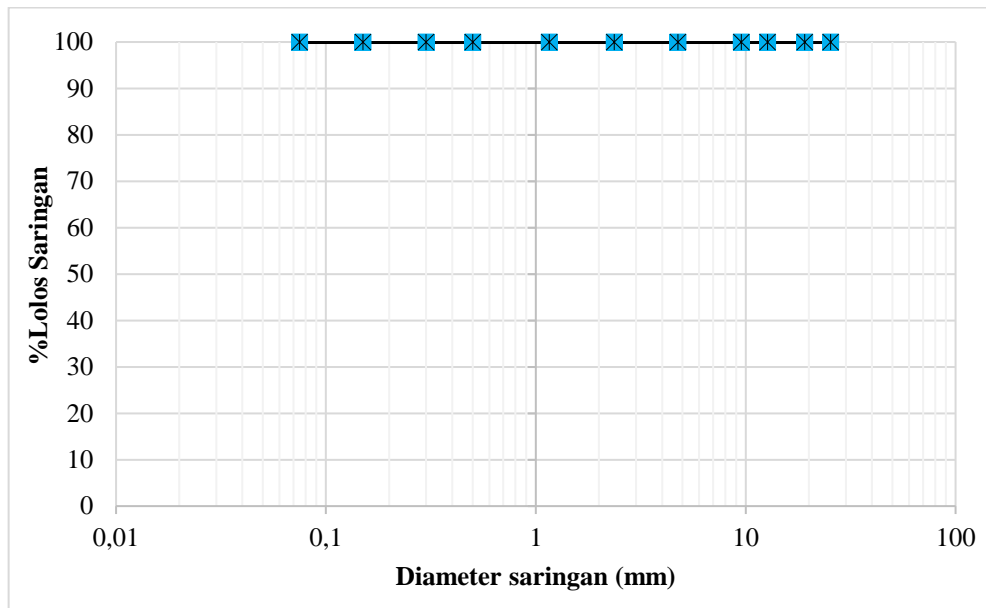
- Persen tertahan $= \frac{\text{berat tertahan}}{\text{jumlah berat tertahan}} \times 100$
 $= \frac{387,2 \text{ gr}}{1500 \text{ gr}} \times 100$
 $= 0\%$

- Persen lolos kumulatif $= \frac{100 - \text{persen tertahan kumulatif}}{100} \times 100$
 $= \frac{100 - 0}{100} \times 100$
 $= 100\%$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.14.

Tabel A.14 Hasil pengujian analisa saringan abu sinabung

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
No. 50	0,30	370	370	0,0	0,0	0,0	100
No.100	0,15	384,4	384,4	0,0	0,0	0,0	100
No. 200	0,075	387,2	387,2	0,0	0,0	0,0	100
Jumlah				200			



Gambar A.6 Analisa saringan abu sinabung

A.1.4 Kadar lateks kering

Lateks yang ideal memiliki kadar lateks kering pada rentang 20% hingga 28%. Untuk menghitung berat kering lateks dapat menggunakan persamaan 2.2.

- $$\begin{aligned} \text{Kadar lateks kering} &= \frac{\text{berat kering oven}}{\text{berat semula}} \times 100 \\ &= \frac{12,8}{50} \times 100 \\ &= 25,6\% \end{aligned}$$

Perhitungan pada sampel berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil sampel selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.15.

Tabel A.15 Hasil pengujian kadar lateks kering

Uraian	I	II	III	Rata-rata	Ket
Berat Benda Uji (gr)	50	50	50	50	-
Berat Benda Uji Kering Oven (gr)	12,8	13,2	13,2	11,80	-
Berat Kering (%)	25,6	26,4	26,4	26,13	M

keterangan:

M : Memenuhi

A.2 Pembuatan benda uji

Benda uji yang digunakan adalah benda uji berbentuk silinder dengan ukuran \varnothing 101,6 mm x 75 mm dengan jumlah benda uji KAO sebanyak 15 benda uji dan variasi berjumlah 12 benda uji. Jumlah total benda uji yang digunakan adalah sebanyak 27 benda uji.

A.2.1 Penentuan gradasi campuran

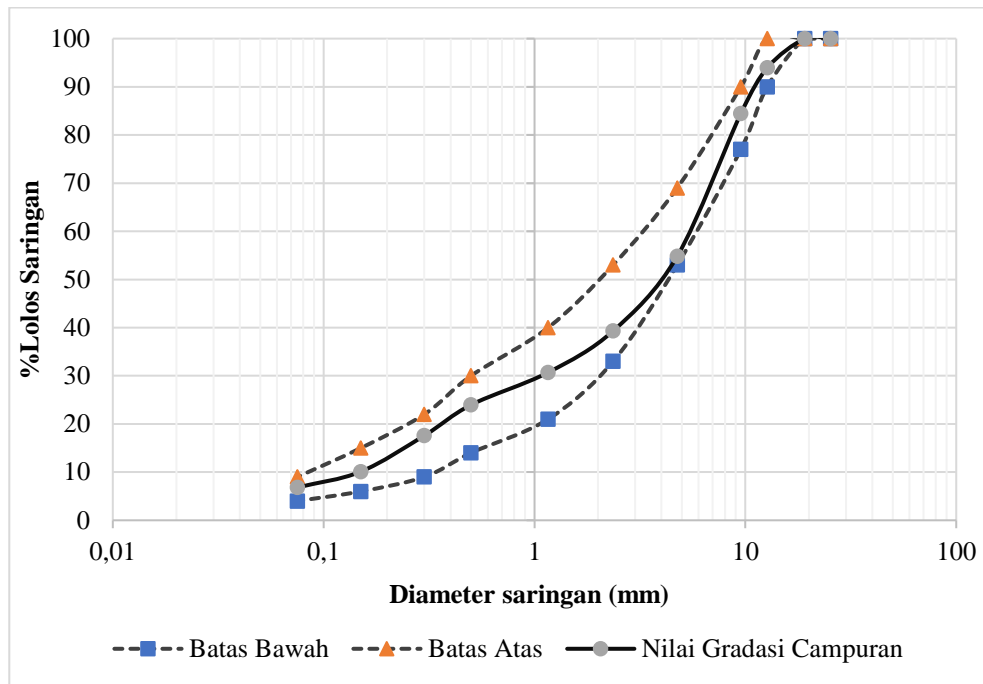
Gradasi agregat untuk campuran AC-WC sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) diperlihatkan pada Tabel A.16.

Tabel A.16 Proposi gradasi campuran

Ayakan No	% Lolos					% Mix Design					Total mix	Spek Bina Marga 2018 Rev. 2		
	CA	MA	Dust	Pasir	Filler	CA	MA	Dust	Pasir	Filler		Min	Max	Ket
						21	31	31	15	2		100		
1"	100	100	100	100	100	21	31	31	15	2	100	100	100	M
3/4"	100	100	100	100	100	21	31	31	15	2	100	100	100	M
1/2"	71,3	100	100	100	100	15	31	31	15	2	94,0	90	100	M
3/8"	36,5	93	100	100	100	7,7	29	31	15	2	84,5	77	90	M
No. 4	3,6	19,6	99,9	100	100	0,8	6,1	31	15	2	54,8	53	69	M
No. 8	1,6	1,9	73,3	91,2	100	0,3	0,6	22,7	13,7	2	39,3	33	53	M
No. 16	1,4	1,8	51,1	80,1	100	0,3	0,5	15,8	12,0	2	30,7	21	40	M
No. 30	1,4	1,7	36,8	64,9	100	0,3	0,5	11,4	9,7	2	24,0	14	30	M
No. 50	1,4	1,6	25,0	47,0	100	0,3	0,5	7,8	7,0	2	17,6	9	22	M
No.100	1,3	1,6	15,2	17,5	100	0,3	0,5	4,7	2,6	2	10,1	6	15	M
No. 200	1,3	1,5	8,8	9,1	100	0,3	0,5	2,7	1,4	2	6,8	4	9	M

keterangan:

M : Memenuhi



Gambar A.7 Gradasi campuran agregat

Berdasarkan Tabel A.15 diperoleh proporsi agregat fraksi kasar (CA) yaitu 21%, agregat fraksi sedang (MA) yaitu 31%, agregat fraksi halus (pasir) yaitu 15%, agregat fraksi halus (*dust*) yaitu 31% dan *filler* yaitu 2%, sehingga total *mix design* tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2).

A.2.2 Benda uji

Benda uji normal mengandung material berupa agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal dengan berat total 1200 gram. Pengujian terdiri dari dua tahap. Tahap pertama bertujuan untuk memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO). Namun sebelum itu, terlebih dahulu menentukan nilai kadar aspal tengah (Pb) yang diperoleh dari komposisi agregat gabungan dan menggunakan persamaan 2.1.

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ Pb} &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \\
 &= 0,035 (52\%) + 0,045 (46\%) + 0,18 (2\%) + 1 \\
 &= 5,3\%
 \end{aligned}$$

Variasi nilai Pb pada campuran, yaitu Pb - 1%; Pb - 0,5%; Pb; Pb + 0,5%; dan Pb + 1%. Setiap variasi terdiri dari tiga benda uji, seperti ditunjukkan Tabel A.17.

Tabel A.17 Berat material penyusun campuran AC-WC

Kadar aspal (%)	Berat Material (gr)						Berat Total
	Aspal	CA 21%	MA 31%	Dust 31%	Pasir 15%	Filler 2%	
4,3	51,6	241,2	356	356	172,3	23,0	1200
4,8	57,6	239,9	354,1	354,1	171,4	22,8	1200
5,3	63,6	238,6	352,3	352,3	170,5	22,7	1200
5,8	69,6	237,4	350,4	350,4	169,6	22,6	1200
6,3	75,6	236,1	348,6	348,6	168,7	22,5	1200

Setelah nilai KAO diperoleh, berikutnya memasuki tahap kedua dengan penambahan lateks 1,5%; 3%; dan 4,5% terhadap KAO pada benda uji. Setiap variasi terdiri dari tiga benda uji, seperti ditunjukkan Tabel A.18.

Tabel A.18 Komposisi campuran AC-WC dengan bahan tambah lateks dan abu sinabung sebagai *filler*

Bahan		Satuan	Variasi Lateks			
			0,0%	1,5%	3,0%	4,5%
Lateks		gr	0,0	1,1	2,2	3,24
Aspal		gr	72	72	72	72
CA		gr	236,9	236,9	236,9	236,9
MA		gr	349,7	349,7	349,7	349,7
Dust		gr	349,7	349,7	349,7	349,7
Pasir		gr	169,2	169,2	169,2	169,2
Filler	Semen PC	gr	11,3	11,3	11,3	11,3
	Abu Sinabung	gr	11,3	11,3	11,3	11,3
Total		gr	1200,0	1201,1	1202,2	1203,2
Jumlah Benda Uji		pcs	3	3	3	3

A.3 Karakteristik *Marshall*

Pengujian *marshall* bertujuan untuk mengetahui nilai VMA, VIM, VFA, stabilitas, dan *flow*.

A.3.1 *Density*

Untuk memperoleh nilai *density*, diharuskan menggunakan persamaan 2.13 dan persamaan 2.14. Perhitungan *density* adalah sebagai berikut.

- Volume = d - e

$$\begin{aligned}
 &= 1188,8 - 677,5 \\
 &= 511,3 \text{ cm}^3 \\
 \bullet \text{ Density} &= \frac{c}{f} \\
 &= \frac{1179,7}{511,3} \\
 &= 2,307 \text{ gr/cm}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada benda berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil benda uji selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.19.

Tabel A.19 Hasil *density* pada variasi 1,5%

No	t (mm)	a (%)	b (%)	c (gr)	d (gr)	e (gr)	f = (d - e) (cm ³)	g = (c: f) (gr/cm ³)
I	65,07	6,48	6,08	1179,7	1188,8	677,5	511,3	2,307
II	64,83	6,48	6,08	1162,9	1174,1	669,7	504,4	2,306
III	66,37	6,48	6,08	1180,4	1190,3	679,6	510,7	2,311
Rata-rata								2,308

keterangan:

t = Tebal benda uji

a = Kadar aspal terhadap agregat

b = Kadar aspal terhadap campuran

c = Berat kering benda uji

d = Berat kering permukaan jenuh (SSD)

e = Berat benda uji didalam air

f = Volume benda uji

g = *Density*

A.3.2 Void Mineral Aggregate (VMA)

Untuk memperoleh nilai VMA diharuskan menggunakan persamaan 2.15. Perhitungan VMA adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ } j_{\text{cur}} &= \frac{(100-b) \times \text{density}}{\text{BJ agregat curah}} \\
 &= \frac{(100-6) \times 2,307}{2,568} \\
 &= 84,39\%
 \end{aligned}$$

- $$\begin{aligned} \text{VMA} &= 100 - j_{\text{cur}} \\ &= 100 - 84,39 \\ &= 15,61\% \end{aligned}$$

Perhitungan pada benda berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil benda uji selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.20.

Tabel A.20 Hasil VMA pada variasi 1,5%

No	t (mm)	a (%)	b (%)	c (gr)	d (gr)	g = (c: f) (gr/cm ³)	j _{cur} (%)	VMA (%)	Ket
I	65,07	6,48	6,08	1179,7	1188,8	2,307	84,39	15,61	M
II	64,83	6,48	6,08	1162,9	1174,1	2,306	84,32	15,68	M
III	66,37	6,48	6,08	1180,4	1190,3	2,311	84,54	15,46	M
Rata-rata								15,59	M

keterangan:

- t = Tebal benda uji
- a = Kadar aspal terhadap agregat
- b = Kadar aspal terhadap campuran
- c = Berat kering benda uji
- d = Berat kering permukaan jenuh (SSD)
- g = *Density*
- j_{cur} = Volume terhadap benda uji
- M = Memenuhi

A.3.3 Void In The Mix (VIM)

Untuk memperoleh nilai VIM diharuskan menggunakan persamaan 2.16. Perhitungan VIM adalah sebagai berikut.

- $$\begin{aligned} \text{VIM} &= 100 \times \frac{\text{Bj Maks teoristis} - \text{density}}{\text{Bj Maks teoristis}} \\ &= 100 \times \frac{2,42 - 2,307}{2,42} \\ &= 4,59\% \end{aligned}$$

Perhitungan pada benda berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil benda uji selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.21.

Tabel A.21 Hasil VIM pada variasi 1,5%

No	t (mm)	a (%)	b (%)	g = (c: f) (gr/cm ³)	h (gr/cm ³)	VIM (%)	Ket
I	65,07	6,48	6,08	2,307	2,42	4,59	M
II	64,83	6,48	6,08	2,306	2,42	4,66	M
III	66,37	6,48	6,08	2,311	2,42	4,42	M
Rata-rata						4,55	M

keterangan:

t = Tebal benda uji

a = Kadar aspal terhadap agregat

b = kadar aspal terhadap campuran

g = *Density*

h = BJ. Maks teoritis

M = Memenuhi

A.3.4 Void filled With Asphalt (VFA)

Untuk memperoleh nilai VFA diharuskan menggunakan persamaan 2.17. Perhitungan VFA adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \bullet \text{ VFA} &= \frac{\text{VMA}-\text{VIM}}{\text{VMA}} \times 100 \\
 &= \frac{15,61-4,59}{15,61} \times 100 \\
 &= 70,63\%
 \end{aligned}$$

Perhitungan pada benda berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil benda uji selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.22.

Tabel A.22 Hasil VFA pada variasi 1,5%

No.	t (mm)	a (%)	b (%)	VMA (%)	VIM (%)	VFA (%)	Ket
I	65,07	6,48	6,08	15,61	4,59	70,63	M
II	64,83	6,48	6,08	15,68	4,66	70,29	M
III	66,37	6,48	6,08	15,46	4,42	71,44	M
Rata-rata						70,79	M

keterangan:

t = Tebal benda uji

a = Kadar aspal terhadap agregat

b = Kadar aspal terhadap campuran

M = Memenuhi

A.3.5 Stability

Untuk memperoleh nilai stabilitas diharuskan menggunakan persamaan 2.18. Perhitungan stabilitas adalah sebagai berikut.

- o = Dial stabilitas x kalibrasi proving ring
= 114 x 13,589
= 1549 kg
- Stability = o x Tebal koreksi benda uji
= 1549 x 0,961
= 1489 kg

Perhitungan pada benda berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil benda uji selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.23.

Tabel A.23 Hasil stabilitas pada variasi 1,5%

No.	t (mm)	a (%)	b (%)	n (units)	o (kg)	p	q (kg)	Ket
I	65,07	6,48	6,08	114	1549	0,961	1489	M
II	64,83	6,48	6,08	115	1563	0,967	1511	M
III	66,37	6,48	6,08	127	1726	0,936	1615	M
Rata-rata							1538	M

keterangan:

t = Tebal benda uji

a = Kadar aspal terhadap agregat

b = Kadar aspal terhadap campuran

n = Nilai pembacaan arloji stabilitas

o = n x kalibrasi proving ring

p = Tebal koreksi benda uji

q = *Stability*

M = Memenuhi

A.3.6 Kelelehan plastis (*flow*)

Untuk memperoleh nilai *flow* cukup dari pembacaan dial bawah pada alat uji *marshall*. Hasil *flow* pada benda uji lainnya ditunjukkan pada Tabel A.24.

Tabel A.24 Hasil *flow* pada variasi 1,5%

No.	t (mm)	b (%)	q (kg)	r (mm)	Ket
I	65,07	6,08	1489	3,23	M
II	64,83	6,08	1511	3,20	M
III	66,37	6,08	1615	3,98	M
Rata-rata				3,47	M

keterangan:

t = Tebal benda uji

b = Kadar aspal terhadap campuran

p = Tebal koreksi benda uji

q = *Stability*

r = *Flow*

M = Memenuhi

TM = Tidak Memenuhi

A.3.7 Marshall Quotient (MQ)

Untuk memperoleh nilai *marshall quotient* (MQ) diharuskan menggunakan persamaan 2.19. Perhitungan stabilitas adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \bullet \quad Q &= \frac{\textit{stabilitas}}{\textit{flow}} \\ &= \frac{1489}{3,23} \\ &= 460,9 \text{ kg/mm} \end{aligned}$$

Perhitungan pada benda berikutnya dapat menggunakan persamaan di atas, dan hasil benda uji selanjutnya diperlihatkan pada Tabel A.25.

Tabel A.25 Hasil MQ pada variasi 1,5%

No.	t (mm)	b (%)	q (kg)	r (mm)	s = (q/r) (kg/mm)
I	65,07	6,08	1489	3,23	460,9
II	64,83	6,08	1511	3,20	472,2
III	66,37	6,08	1615	3,98	405,9
Rata-rata					446,3

keterangan:

t = Tebal benda uji

b = Kadar aspal terhadap campuran

q = *Stability*

r = *Flow*

s = *Marshall Quotient*

Setelah dilakukan pengujian dan perhitungan *marshall* pada campuran AC-WC dengan penambahan lateks dan pemanfaatan abu sinabung sebagai *filler*, maka diperoleh hasil masing-masing karakteristik *marshall* sebagai berikut.

Tabel A.26 Hasil pengujian karakteristik *marshall* dengan menggunakan penambahan lateks dan abu sinabung sebagai *filler*

Kriteria	Spesifikasi	Satuan	Kadar Lateks (%)							
			0		1,5		3		4,5	
<i>Density</i>	-		2,304	M	2,308	M	2,311	M	2,314	M
VMA	Min 15	%	15,65	M	15,59	M	15,54	M	15,52	M
VIM	3,0 - 5,0	%	4,82	M	4,55	M	4,3	M	4,09	M
VFA	min 65	%	69,18	M	70,79	M	72,3	M	73,7	M
<i>Stability</i>	min 800	kg	1386	M	1538	M	1659	M	1816	M
<i>Flow</i>	2,0 - 4,0	mm	3,03	M	3,47	M	3,82	M	4,20	TM
MQ	min 250	kg/mm	463	M	446	M	440	M	436	M

keterangan:

M : Memenuhi

TM : Tidak Memenuhi

LAMPIRAN B

TABEL

Tabel B.1 Hasil pengujian berat jenis batu pecah 3/4"

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh	1500	1500	1500	1500,0
2	Berat Benda Uji Kering Oven	1479,6	1482,6	1479,1	1480,43
3	Berat Benda Uji Dalam Air	929,1	932,1	929,3	930,2
4	Berat Jenis Bulk	2,592	2,611	2,592	2,598
5	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,627	2,641	2,628	2,632
6	Berat Jenis Semu (<i>apparent</i>)	2,688	2,693	2,690	2,690
7	Penyerapan Air (<i>absorpsi</i>) (%)	1,38%	1,17%	1,41%	1,32%

Tabel B.2 Hasil pengujian berat jenis batu pecah 3/8"

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh	1500	1500	1500	1500,0
2	Berat Benda Uji Kering Oven	1476,1	1478,4	1476,6	1477,03
3	Berat Benda Uji Dalam Air	925,3	928,8	926,6	926,9
4	Berat Jenis Bulk	2,568	2,588	2,575	2,577
5	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,610	2,626	2,616	2,617
6	Berat Jenis Semu (<i>apparent</i>)	2,680	2,690	2,685	2,685
7	Penyerapan Air (<i>absorpsi</i>) (%)	1,62%	1,46%	1,58%	1,55%

Tabel B.3 Hasil pengujian berat jenis pasir

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh	500	500	500	500
2	Berat Benda Uji Kering Oven	486,4	486,1	484,9	485,8
3	Berat Piknometer + air + plat kaca	2010	2010	2010	2010
4	Berat Piknometer + benda uji + air + plat kaca	2314,1	2313,2	2309,8	2312,4
5	Berat Jenis Bulk	2,483	2,470	2,422	2,458
6	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,552	2,541	2,498	2,530
7	Berat Jenis Semu (<i>apparent</i>)	2,668	2,658	2,620	2,649
8	Penyerapan Air (<i>absorpsi</i>) (%)	2,80%	2,86%	3,11%	2,92%

Tabel B.4 Hasil pengujian berat isi batu pecah 3/4"

No	Uraian		Gembur			Padat		
			I	II	III	I	II	III
1	Berat Tempat + Agregat	Gram	8050	8035	8040	8460	8470	8475
2	Berat Tempat	Gram	4095	4095	4095	4095	4095	4095
3	Berat Agregat	Gram	3955	3940	3945	4365	4375	4380
4	Isi tempat	cm ³	3050	3050	3050	3050	3050	3050
5	Berat Isi	gram/cm ³	1,297	1,292	1,293	1,431	1,434	1,436
Berat isi rata-rata		gram/cm³	1,294			1,434		

Tabel B.5 Hasil pengujian berat isi batu pecah 3/8"

No	Uraian		Gembur			Padat		
			I	II	III	I	II	III
1	Berat Tempat + Agregat	Gram	7875	7890	7880	8260	8255	8275
2	Berat Tempat	Gram	4095	4095	4095	4095	4095	4095
3	Berat Agregat	Gram	3780	3795	3785	4165	4160	4180
4	Isi tempat	cm ³	3050	3050	3050	3050	3050	3050
5	Berat Isi	gram/cm ³	1,239	1,244	1,241	1,366	1,364	1,370
Berat isi rata-rata		gram/cm³	1,242			1,367		

Tabel B.6 Hasil pengujian berat isi pasir

No	Uraian		Gembur			Padat		
			I	II	III	I	II	III
1	Berat Tempal + Agregat	Gram	8730	8735	8730	9060	9050	9045
2	Berat Tempal	Gram	4095	4095	4095	4095	4095	4095
3	Berat Agregat	Gram	4635	4640	4635	4965	4955	4950
4	Isi tempal	cm ³	3050	3050	3050	3050	3050	3050
5	Berat Isi	gram/cm ³	1,520	1,521	1,520	1,628	1,625	1,623
Berat isi rata-rata		gram/cm³	1,520			1,625		

Tabel B.7 Hasil pengujian berat isi *dust*

No	Uraian		Gembur			Padat		
			I	II	III	I	II	III
1	Berat Tempal + Agregat	Gram	8580	8560	8555	9045	9075	9050
2	Berat Tempal	Gram	4095	4095	4095	4095	4095	4095
3	Berat Agregat	Gram	4485	4465	4460	4950	4980	4955
4	Isi tempal	cm ³	3050	3050	3050	3050	3050	3050
5	Berat Isi	gram/cm ³	1,470	1,464	1,462	1,623	1,633	1,625
Berat isi rata-rata		gram/cm³	1,466			1,627		

Tabel B.8 Hasil pengujian berat jenis *dust*

No	Uraian	I	II	III	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Kering Jenuh	500	500	500	500
2	Berat Benda Uji Kering Oven	485,6	486,8	484,6	485,67
3	Berat Pikhnometer + air + plat kaca	2010	2010	2010	2010
4	Berat Pikhnometer + benda uji + air + plat kaca	2310,6	2308,1	2312,9	2310,5
5	Berat Jenis Bulk	2,435	2,411	2,459	2,435
6	Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh	2,508	2,476	2,537	2,507
7	Berat Jenis Semu (<i>apparent</i>)	2,625	2,580	2,667	2,624
8	Penyerapan Air (<i>absorpsi</i>) (%)	2,97%	2,71%	3,18%	2,95%

Tabel B.9 Hasil pengujian analisa saringan batu pecah 3/4"

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
1"	25,4	489,1	489,1	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,10	511	511	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,70	438,5	869,3	430,8	28,72	28,72	71,28
3/8"	9,52	426,5	948,1	521,6	34,77	63,49	36,51
No. 4	4,75	412,7	905,9	493,2	32,88	96,37	3,63
No. 8	2,36	397,6	428,8	31,2	2,08	98,45	1,55
No. 16	1,16	388,8	390,8	2,0	0,13	98,59	1,41
No. 30	0,50	379,1	379,3	0,2	0,01	98,60	1,40
No. 50	0,30	370	370,3	0,3	0,02	98,62	1,38
No.100	0,15	384,4	385,1	0,7	0,05	98,67	1,33
No. 200	0,075	387,2	388	0,80	0,05	98,72	1,28
Jumlah				1480,8			

Tabel B.10 Hasil pengujian analisa saringan batu pecah 3/8"

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
1"	25,4	489,1	489,1	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,10	511,0	511,0	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,70	438,5	438,5	0,0	0,0	0,0	100,0
3/8"	9,52	426,5	532,2	105,7	7,0	7,0	92,95
No. 4	4,75	412,7	1512,8	1100,1	73,3	80,4	19,6
No. 8	2,36	397,6	663,2	265,6	17,7	98,09	1,91
No. 16	1,16	388,8	391,1	2,3	0,15	98,25	1,75
No. 30	0,50	379,1	380,4	1,3	0,09	98,33	1,67
No. 50	0,30	370,0	370,9	0,9	0,06	98,39	1,61
No.100	0,15	384,4	385,2	0,8	0,05	98,45	1,55
No. 200	0,075	387,2	387,2	0,7	0,05	98,49	1,51
Jumlah				1477,4			

Tabel B.11 Hasil pengujian analisa saringan pasir

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
1"	25,4	489,1	489,1	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,10	511	511	0,0	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,70	438,5	438,7	0,2	0,01	0,01	99,99
3/8"	9,52	426,5	426,6	0,1	0,01	0,02	99,98
No. 4	4,75	412,7	412,8	0,1	0,01	0,03	99,97
No. 8	2,36	397,6	528,6	131,0	8,73	8,76	91,24
No. 16	1,16	388,8	556,4	167,6	11,17	19,93	80,07
No. 30	0,50	379,1	606,3	227,2	15,15	35,08	64,92
No. 50	0,30	370	639,2	269,2	17,95	53,03	46,97
No.100	0,15	384,4	826,7	442,3	29,49	82,51	17,49
No. 200	0,075	387,2	512,8	125,6	8,37	90,89	9,11
Jumlah				1363,3			

Tabel B.12 Hasil pengujian analisa saringan *dust*

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
1"	25,4	489,1	489,1	0,0	0,0	0,0	100,0
3/4"	19,10	511	511	0,0	0,0	0,0	100,0
1/2"	12,70	438,5	438,8	0,3	0,02	0,02	99,98
3/8"	9,52	426,5	426,9	0,4	0,03	0,05	99,95
No. 4	4,75	412,7	413,7	1,0	0,07	0,11	99,89
No. 8	2,36	397,6	796,4	398,8	26,59	26,70	73,30
No. 16	1,16	388,8	721,6	332,8	22,19	48,89	51,11
No. 30	0,50	379,1	593,4	214,3	14,29	63,17	36,83
No. 50	0,30	370	547,3	177,3	11,82	74,99	25,01
No.100	0,15	384,4	531	146,6	9,77	84,77	15,23
No. 200	0,075	387,2	484,3	97,1	6,47	91,24	8,76
Jumlah				1368,6			

Tabel B.13 Hasil pengujian analisa saringan semen

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
No. 50	0,30	370	370	0,0	0,0	0,0	100
No.100	0,15	384,4	384,4	0,0	0,0	0,0	100
No. 200	0,075	387,2	387,2	0,0	0,0	0,0	100
Jumlah				200			

Tabel B.14 Hasil pengujian analisa saringan abu sinabung

Ayakan No	Ukuran (mm)	Berat saringan (gram)	Berat saringan + agregat (gram)	Berat tertahan		Persentase (%)	
				(gram)	%	Kumulatif	Lolos
No. 50	0,30	370	370	0,0	0,0	0,0	100
No.100	0,15	384,4	384,4	0,0	0,0	0,0	100
No. 200	0,075	387,2	387,2	0,0	0,0	0,0	100
Jumlah				200			

Tabel B.15 Proposi gradasi campuran

Ayakan No	% Lolos					% Mix Design					Total mix	Spek Bina Marga 2018 Rev. 2			
	CA	MA	Dust	Pasir	Filler	CA	MA	Dust	Pasir	Filler		100	Min	Max	Ket
1"	100	100	100	100	100	21	31	31	15	2	100	100	100	M	
3/4"	100	100	100	100	100	21	31	31	15	2	100	100	100	M	
1/2"	71,3	100	100	100	100	15	31	31	15	2	94,0	90	100	M	
3/8"	36,5	93	100	100	100	7,7	29	31	15	2	84,5	77	90	M	
No. 4	3,6	19,6	99,9	100	100	0,8	6,1	31	15	2	54,8	53	69	M	
No. 8	1,6	1,9	73,3	91,2	100	0,3	0,6	22,7	13,7	2	39,3	33	53	M	
No. 16	1,4	1,8	51,1	80,1	100	0,3	0,5	15,8	12,0	2	30,7	21	40	M	
No. 30	1,4	1,7	36,8	64,9	100	0,3	0,5	11,4	9,7	2	24,0	14	30	M	
No. 50	1,4	1,6	25,0	47,0	100	0,3	0,5	7,8	7,0	2	17,6	9	22	M	
No.100	1,3	1,6	15,2	17,5	100	0,3	0,5	4,7	2,6	2	10,1	6	15	M	
No. 200	1,3	1,5	8,8	9,1	100	0,3	0,5	2,7	1,4	2	6,8	4	9	M	

Tabel B.16 Hasil pengujian kadar lateks kering

Uraian	I	II	III	Rata-rata
Berat Benda Uji (gr)	50	50	50	50
Berat Benda Uji Kering Oven (gr)	12,8	13,2	13,2	11,80
Berat Kering (%)	25,6	26,4	26,4	26,13

Tabel B.17 Hasil pengujian dan perhitungan *marshall*

No	t	a	b	c	d	e	f = (d - e)	g = (c/f)	h	i	j _{eff}	j _{cur}	k	l	m	n	o	p	q	r	s = (q/r)
	(mm)	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(cm ³)	density (gr/cm ³)	(gr/cm ³)	(%)	(%)	(%)	(VMA) (%)	(VIM) (%)	(VFA) (%)	(Units)	(kg)		stability (kg)	flow (mm)	MQ (kg/mm)
0A	64,17	6,38	6,00	1177,6	1186,9	675,1	511,8	2,301	2,42	13,16	81,88	84,23	15,77	4,96	68,55	106	1440	0,983	1416	3,05	464,24
0B	64,13	6,38	6,00	1182,8	1192,2	679,5	512,7	2,307	2,42	13,20	82,10	84,45	15,55	4,71	69,72	108	1468	0,984	1444	3,48	414,98
0C	65,37	6,38	6,00	1169,2	1179,8	672,5	507,3	2,305	2,42	13,18	82,02	84,37	15,63	4,80	69,28	100	1359	0,955	1298	2,55	508,92
								2,304					15,65	4,82	69,18				1385,94	3,03	462,71
1,5A	65,07	6,48	6,08	1179,7	1188,8	677,5	511,3	2,307	2,42	13,38	82,03	84,39	15,61	4,59	70,63	114	1549	0,961	1489	3,23	460,91
1,5B	64,83	6,48	6,08	1162,9	1174,1	669,7	504,4	2,306	2,42	13,37	81,97	84,32	15,68	4,66	70,29	115	1563	0,967	1511	3,20	472,24
1,5C	66,37	6,48	6,08	1180,4	1190,3	679,6	510,7	2,311	2,42	13,41	82,18	84,54	15,46	4,42	71,44	127	1726	0,936	1615	3,98	405,87
								2,308					15,59	4,55	70,79				1538,41	3,47	446,34
3A	65,23	6,57	6,17	1180,5	1191,1	679,8	511,3	2,309	2,42	13,58	82,01	84,37	15,63	4,41	71,80	118	1603	0,958	1536	4,28	358,91
3B	65,77	6,57	6,17	1173,4	1184,7	677,0	507,7	2,311	2,42	13,59	82,10	84,45	15,55	4,31	72,28	127	1726	0,948	1636	3,65	448,23
3C	64,70	6,57	6,17	1175,5	1182,2	674,2	508,0	2,314	2,42	13,61	82,20	84,56	15,44	4,20	72,84	137	1862	0,970	1806	3,53	511,57
								2,311					15,54	4,30	72,30				1659,35	3,82	439,57
4,5A	66,13	6,67	6,25	1171,7	1179,9	674,3	505,6	2,317	2,41	13,81	82,25	84,61	15,39	3,94	74,41	132	1794	0,941	1688	4,63	364,56
4,5B	64,73	6,67	6,25	1180,7	1190,7	681,8	508,9	2,320	2,41	13,83	82,34	84,70	15,30	3,83	74,97	140	1902	0,969	1843	4,05	455,18
4,5C	64,30	6,67	6,25	1178,6	1190,3	678,8	511,5	2,304	2,41	13,74	81,78	84,12	15,88	4,49	71,73	144	1957	0,980	1918	3,93	487,96
								2,314					15,52	4,09	73,70				1816,35	4,20	435,90

keterangan:

t = tebal benda uji (BU) mm

a = kadar aspal terhadap agregat (agg), %

b = kadar aspal terhadap campuran, %

c = berat kering BU (sebelum direndam), gr

d = berat kering BU keadaan SSD, gr

e = berat BU didalam air, gr

f = volume/berat isi BU = d - e, gr

g = berat volume BU = c/f, gr/cm³h = BJ. maksimum teoritis, gr/cm³

$$= \left\{ \frac{100}{\left(\frac{\%Agg}{BJ Agg\ eff} + \frac{\%Aspal}{BJ Aspal} \right)} \right\}$$

i = volume aspal thdp BU

= (b x g) / BJ. Aspal, %

j_{eff} = vol agg thdp BU

= ((100 - b) x g) / BJ. agg eff, %

j_{cur} = vol agg thdp BU

= ((100 - b) x g) / BJ. agg curah, %

k = kadar rongga dalam agg (VMA)

= (100 - j_{cur}), %

l = rongga terhadap campuran (VITM)

= (100 x (h - g) / h), %

m = rongga yang terisi aspal (VFWA)

= (100 x (VMA - VITM) / VMA), %

n = nilai pembacaan arloji stabilitas

o = n x kalibrasi proving ring

p = tebal koreksi benda uji

q = stabilitas = o x p, kg

r = kelelahan plastis (*flow*), mms = marshall *quotient*, kg/mm

• Temperatur pencampuran = ± 160°C

• Temperatur pemadatan = ± 140°C

• Temperatur *waterbath* = ± 60°C• Berat jenis aspal = 1,049 gr/cm³• Berat jenis agregat curah = 2,568 gr/cm³• Berat jenis agregat semu = 2,715 gr/cm³• Berat jenis agregat efektif = 2,641 gr/cm³• Kalibrasi *proving ring* = 13,589 kg

LAMPIRAN C
DOKUMENTASI



Gambar A.1 Pemeriksaan berat jenis agregat halus



Gambar A.2 Pemeriksaan berat jenis agregat kasar



Gambar A.3 Pemeriksaan berat isi agregat



Gambar A.4 Analisa saringan abu sinabung



Gambar A.5 Penyadapan dan pengambilan lateks



Gambar A.6 Persiapan material campuran



Gambar A.7 Pemanasan material



Gambar A.8 Pencampuran material



Gambar A.9 Pemadatan campuran



Gambar A.10 Hasil pemadatan benda uji



Gambar A.11 Dunagan tes benda uji



Gambar A.12 Perendaman benda uji dalam *waterbath*



Gambar A.13 Uji *marshall* benda uji

LAMPIRAN D
BIODATA PENULIS



D.1 Personal

Nama : Sukron Guru Mangaloksa
Nim : 180110141
Bidang : Transportasi
Alamat : Sidadi I, Kecamatan Batang Angkola, Kabupaten Tapanuli Selatan, Sumatera Utara
No Hp/Telpon : 0821 1362 9144

D.2 Orang Tua

Nama Ayah : Idham Holid
Pekerjaan : Petani
Umur : 59 Tahun
Alamat : Sidadi I, Kecamatan Batang Angkola, Kabupaten Tapanuli Selatan, Sumatera Utara
Nama Ibu : Nurhayati
Pekerjaan : Ibu Rumah Tangga
Umur : 57 Tahun
Alamat : Sidadi I, Kecamatan Batang Angkola, Kabupaten Tapanuli Selatan, Sumatera Utara

D.3 Pendidikan Formal

Asal SLTA (Tahun) : SMA S Nurul Ilmi Padangsidimpuan (2015-2018)
Asal SLTP (Tahun) : SMP S Nurul Ilmi Padangsidimpuan (2012-2015)
Asal SD (Tahun) : SDN 100860 Sigalangan (2006-2012)

D.4 Pendidikan Non-Formal

Kursus/Penelitian : -
Institut Pelaksana : -
Tanggal Pelaksana : -

D.5 Software yang dikuasai

Jenis Software : Microsoft Office

Tingkat Penguasaan : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~

Jenis Software : AutoCAD

Tingkat Penguasaan : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~

Jenis Software : ArcGis

Tingkat Penguasaan : *) ~~Basic/Intermediate/Advance~~

Lhokseumawe, 01 Februari 2024

Mahasiswa yang bersangkutan

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Sukron Guru', written over a horizontal line.

Sukron Guru Mangaloksa

LAMPIRAN E
BERKAS ADMINISTRASI



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN
RISET, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jln. Batam, Blang Pulo, Muara Satu – Lhokseumawe – Aceh (24352)
Telepon: (0645) 41373-40915 Faks. 0645-44450
Laman: <http://teknik.unimal.ac.id> Email : ft@unimal.ac.id

PERSETUJUAN PEMBIMBING / PENGUJI SKRIPSI

Sehubungan dengan Skripsi Mahasiswa :

Nama : Sukron Guru Mangaloksa
Nim : 180110141
Judul : Pengaruh Penambahan Lateks Pada Campuran Aspal AC – WC dengan Abu Vulkanik
Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Marshall

Mohon persetujuan Bapak/Ibu sebagai Pembimbing / Penguji :

1. Lis Ayu Widari, ST., MT	(Pembimbing Utama)	Setuju / Tidak Setuju	1.
2. Nura Usrina, ST., MT	(Pembimbing Pendamping)	Setuju / Tidak Setuju	2.
3. Dr. Hamzani, ST., MT	(Ketua Penguji)	Setuju / Tidak Setuju	3.
4. Syibril Malasyi, ST., MT	(Anggota Penguji)	Setuju / Tidak Setuju	4.

Bukit Indah, 2023
Tim PPS
Ketua,

T. Mudi Hafli, ST., MT
NIPK. 201806199004211001



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL

Jl. Batam, Blang Pulo, Muara Satu-Lhokseumawe-Aceh (24352)
Telepon 0645-41373, 40915 Faks 0645-44450, Laman: <http://tekniksipil.unimal.ac.id>

**KARTU KEGIATAN KONSULTASI PENULISAN
SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

Nama : Sukron Guru Mangaloksa Pembimbing utama : Lis Ayu W., ST., MT
NIM : 180110141 Pembimbing pendamping : -

Lembar ke:]

Tanggal	Catatan Dosen Pembimbing	Paraf
	Penulisan di Bab 1 lagi]
	Cadangan layout optima di. Negas saja	
	Cadangan aspal tegak di bagian perhitungan & tampilan]
	Hitung lagi nilai parameter	
	Lanjutan Bab 5]
5/ 12-2023	Membaca Campiran lanjutan ke abstrak daftar natar]
	Perbaiki Abstrak dan kumpulan]
	Sudah di perbaiki, dan bisa kembali]
	Acc sudah bisa sesuai dgn pety 2]



KEMENTERIAN PENDIDIKAN DAN KEBUDAYAAN
UNIVERSITAS MALIKUSSALEH
FAKULTAS TEKNIK
JURUSAN TEKNIK SIPIL
Jl. Batam, Blang Pulo, Muara Satu-Lhokseumawe-Ach (24352)
Telepon 0645-41373, 40915 Faks 0645-44450, Laman: <http://tekniksipil.unimal.ac.id>

**KARTU KEGIATAN KONSULTASI PENULISAN
SKRIPSI
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

Nama : Sukron Guru Mangaloksa Pembimbing utama :-
NIM : 180110141 Pembimbing pendamping : Nura Usrina, ST., MT

Lembar ke: 1

Tanggal	Catatan Dosen Pembimbing	Paraf
23/11/23	• Perbaiki grafik • lengkapi pembahasan	Mura
8/Des'23	- Perbaiki format lengkapi lampiran kapitulum abstrak	Mura
2 Jan 24	Buku Skripsi & lengkapi Laporan Daplat & Daplat Seminar	Mura