

PERILAKU ANALISIS
ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE
(AC-WC) *POROUS*
DENGAN BAHAN TAMBAH
SERAT BAJA DAN *RUBBER*

TESIS

Diajukan Sebagai Salah Satu Persyaratan Untuk Mencapai
Gelar Magister Teknik Sipil



Surasa

20202200063

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG
2024

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

PERILAKU ANALISIS
ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE (AC-WC) POROUS
DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT BAJA DAN RUBBER

Disusun oleh :

SURASA
NIM : 20202200063

Telah disetujui oleh :

Tanggal,

Pembimbing I,

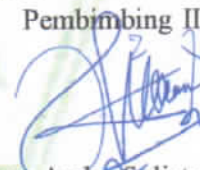


Ir. H. Rachmat Mudiwono, MT., Ph.D

NIK. 210293018

Tanggal,

Pembimbing II,



Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT

NIK. 210222097

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

PERILAKU ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE (AC-WC) POROUS DENGAN BAHAN TAMBAH SERAT BAJA DAN RUBBER

Disusun oleh :

SURASA

NIM : 20202200063

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :

24 Januari 2025

Tim Penguji:

1. Ketua


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

2. Anggota


Dr. Ir. Soedarsono, M. Si

3. Anggota


Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

Semarang, FEBRUARI 2025

Mengetahui,

Ketua Program Studi


Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

NIK/ 210202033

Mengesahkan,
Dekan Fakultas Teknik


Dr. Abdul Rochim, ST., MT

NIK/ 210200031

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas petunjuk dan kemampuan yang diberikan kepada hamba, Sholawat serta salam kepada junjungan kita nabi Muhammad SAW.

Tesis ini saya persembahkan untuk :

1. Kedua orang tua saya yaitu bapak Budi Sarjono dan Ibu Yukriah atas segala do'a, harapan, kasih sayang, semangat dan kesempatan yang tak henti-hentinya memberikan semangat, doa, kasih sayang, dan dorongan kepada saya. Terima kasih atas perjuangan bapak ibu selama ini.
2. Istri saya tercinta yaitu Susi Purwandari terimakasih telah memberikan kasih sayang, cinta dan do'a yang tiada henti untuk kesuksesan dan cita-cita suami mu ini, terimakasih untuk pengertian dan kesabaran mu selama ini.
3. Kedua bapak ibu mertua saya yaitu bapak Abu Hamid dan Ibu Endang Sri Purwanti terimakasih untuk dukungan dan do'a nya sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini.
4. Anak-anakku Shafa Nur Maulidina, Shidqia Nur Faiha Muazahra dan Muhammad Malik Ibrahim, melihat senyum mu membuat ayah semangat untuk bekerja keras, lelah terasa hilang setelah melihat canda dan tawa mu anak ku tersayang.

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ
بِآيَاتِ اللَّهِ وَلَوْ أَنَّهُ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمْ
الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ ﴿١٠﴾

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia (selama) kamu menyuruh (berbuat) yang makruf, mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Seandainya Ahlulkitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.” (QS. Al – Imron : 110)

ABSTRAK

Jalan di Indonesia sering mengalami genangan air saat hujan, membuat jalan licin dan meningkatkan risiko kecelakaan. Perkerasan lentur dengan aspal sebagai bahan pengikat umum digunakan, tetapi memiliki keterbatasan dalam menyerap air. Aspal porus dikembangkan sebagai solusi untuk meningkatkan porositas campuran dengan menggunakan agregat kasar dan kadar pasir rendah, memungkinkan air meresap vertikal dan horizontal. Teknologi ini memiliki keunggulan seperti peningkatan tahan gelincir, pengurangan kebisingan, serta fungsi drainase yang lebih baik, yang mengurangi risiko *hydroplaning* saat jalan basah dan membantu menjaga keseimbangan hidrologi.

Metode eksperimen dalam penelitian ini menggunakan air banjir dari Jl. Barito, Semarang Timur, agregat kasar dan halus dari AMP PT. Perwita Karya Sembung Batang, serta aspal Polimer JAP-57. Plastik LDPE ditambahkan dengan kadar 2%, 4%, 6%, 10%, dan 18% dari KAO. Agregat kasar berupa slag dari pengolahan besi di Klaten dan batu pecah digunakan dengan variasi kombinasi. Serat baja ditambahkan untuk memperkuat campuran dan mengurangi risiko retak, sementara karet digunakan untuk meningkatkan ketahanan terhadap deformasi, kinerja pada suhu rendah, dan permeabilitas campuran aspal.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *rubber* dan serat baja pada campuran aspal memengaruhi nilai VIM (*Void in Mix*), dengan peningkatan kadar menurunkan nilai VIM. Pengujian Marshall menunjukkan campuran dengan kadar *rubber* 0% dan 2% memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, sementara kadar 4% dan 8% tidak. Uji permeabilitas memperlihatkan peningkatan kandungan *rubber* dan serat baja meningkatkan kemampuan campuran meloloskan air.

Kata Kunci: Deformasi permanen, rendaman, air pasang, *Asphalt Concrete Wearing Course*

ABSTRACT

Roads in Indonesia often experience water pooling during rainfall, making them slippery and increasing the risk of accidents. Flexible pavements, which use asphalt as the binding material, are commonly used but have limitations in absorbing water. Porous asphalt has been developed as a solution to enhance the mixture's porosity by using coarse aggregate and low sand content, allowing water to penetrate vertically and horizontally. This technology offers benefits such as increased skid resistance, noise reduction, and better drainage function, which reduces the risk of hydroplaning on wet roads and helps maintain hydrological balance.

The experimental method in this research utilized floodwater from Jl. Barito, Semarang Timur, coarse and fine aggregates from the AMP PT. Perwita Karya Sembung Batang, and JAP-57 polymer asphalt. LDPE plastic was added at 2%, 4%, 6%, 10%, and 18% of the Optimum Asphalt Content (OAC). Coarse aggregates, including slag from iron processing in Klaten and crushed stone, were used in various combinations. Steel fibers were incorporated to strengthen the mixture and reduce cracking, while rubber was used to improve resistance to deformation, low-temperature performance, and permeability of the porous asphalt mix.

The research results showed that the addition of rubber and steel fibers affected the VIM (Void in Mix) value in the asphalt mixture, with higher content decreasing the VIM value. Marshall testing indicated that mixtures with 0% and 2% rubber content met the 2018 Bina Marga specifications, while 4% and 8% did not. Permeability tests showed that higher rubber and steel fiber content enhanced the mixture's ability to allow water to pass through.

Keywords: Permanent deformation, immersion, tide, Asphalt Concrete Wearing Course

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr Wb

Segala puji syukur penulis panjatkan Kehadirat Tuhan Yang maha Esa, karena hanya dengan berkah dan Rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis dengan judul “ Perilaku Analisis *Asphalt Concrete Wearing Coarse* (AC-WC) *Porous* Dengan Bahan Tambah Serat Baja Dan *Rubber*”. Laporan Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terimakasih yang tiada terhingga, terutama kepada yang terhormat Bapak/Ibu :

1. Prof. Dr. H. Gunarto, S.H., M.Hum selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Dr Abdul Rochim, ST, MT. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang
3. Prof Dr. Ir Antonius, MT selaku Kaprodi dan Penguji Internal Program Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Ir. H. Rachmat Mudiono, MT, Ph.D sebagai Dosen Pembimbing 1 dan penguji, atas bimbingan, motivasi, dan kesabarannya membantu penulis menyelesaikan Laporan Penelitian ini.
5. Dr. Ir Juny Andry Sulisty, ST, MT sebagai Dosen Pembimbing 1 dan penguji, atas bimbingan, motivasi, dan kesabarannya membantu penulis menyelesaikan Laporan Penelitian ini.
6. Bapak-Ibu seluruh Dosen Fakultas Teknik Unissula yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu
7. Tenaga Pendidik dan karyawan Fakultas Teknik Unissula
8. Teman - Teman Program Magister Teknik Sipil Unissula yang saling mensupport

Penulis telah berusaha menyusun Laporan Tesis ini dengan kerja keras, namun menyadari bahwa penyusunan Tesis ini masih belum sempurna, oleh karena itu penulis mohon saran dan kritik yang bersifat membangun dari semua pihak agar Tesis ini menjadi lebih sempurna.

Semoga hasil penelitian Tesis ini dapat menjadi karya peneliti yang dapat bermanfaat bagi penulis, masyarakat, bangsa dan Negara Indonesia. Amiin.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, Februari 2024

Penulis

(Surasa)



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERSEMBAHAN	iii
MOTTO.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	4
1.3 Rumusan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Penyebab Perkerasan Aspal (<i>Flexible Pavement</i>) Lebih Utama Dibandingkan Perkerasan Beton.....	6
1.7 Batasan Masalah.....	7
BAB II KAJIAN PUSTAKA	8
2.1 Lapisan Permukaan Perkerasan Berpori.....	8
2.2 Pengujian untuk Mengevaluasi Pengaruh Air Terhadap Campuran Aspal Panas	9
2.3 Penyusun Perkerasan Jalan.....	11

2.3.1 Persyaratan Agregat	12
2.3.2 Gradasi Agregat	14
2.3.3 Karakteristik Campuran Aspal Beton	15
2.3.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	17
2.4 Pengaruh Air Banjir pada Campuran Aspal.....	18
2.5 Laston Lapis Aus (AC-WC).....	23
2.6 Material Penyusun Perkerasan Jalan	24
2.7 Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis AC-WC	25
2.7.1 Aspal.....	25
2.7.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode <i>Marshall</i>	26
2.8 Sifat Bahan <i>Aggregate Asphalt Wearing Coarse</i>	27
2.8.1 Lapis Pengikat.....	29
2.8.2 Penelitian Terdahulu yang Sejenis	29
2.9 Penelitian Terdahulu yang Sejenis	33
BAB III METODE PENELITIAN	37
3.1 Tipe Penelitian.....	37
3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian	37
3.2.1 Bahan Penelitian	37
3.2.2 Uji Bahan Penelitian	39
3.2.3 Peralatan Penelitian.....	39
3.3 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian.....	41
3.3.1 Analisis Data.....	45
3.4 Metode Pengujian Perendaman Menerus dan Berkala.....	47
3.5 Metode Keawetan (<i>Durability</i>)	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	51
4.1 Persiapan Material.....	51

4.2 Rancangan Campuran Aspal Pourus	52
4.2.1 Pembuatan Benda Uji dengan Kadar Aspal	52
4.2.2 Pembuatan Benda Uji dengan Kadar Serat Baja dan <i>Rubber</i>	54
4.3 Pengujian Laboratorium	63
4.3.1 Hasil Pengujian Aspal Polimer (JAP 57)	63
4.3.2 Hasil Pengujian Agregat	64
4.3.3 Hasil Pengujian Hot Bin II.....	65
4.3.4 Hasil Pengujian Hot Bin III	66
4.3.5 Hasil Pengujian Hot Bin IV	67
4.3.6 Hasil Pengujian Pasir	68
4.3.7 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat.....	69
4.4 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Pengujian Laboratorium	71
4.5 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	72
4.5.1 Ringkasan Hasil Test Pengujian <i>AC Wearing</i>	73
4.6 Pengujian <i>Marshall</i>	74
4.6.1 Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Rubber</i> 0% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%	75
4.6.2 Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Rubber</i> 2% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%	79
4.6.3 Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Rubber</i> 4% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%	83
4.6.4 Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Rubber</i> 8% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%	87
4.6.5 Rekapituasi Hasil <i>Marshall</i> Benda Uji Kombinasi <i>Rubber</i> 0%, 2%, 4% dan 8% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%.....	91
4.7 Uji Permeabilitas Aspal	99
4.7.1 Pengujian Permeabilitas.....	99

4.7.2 Rekapitulasi Hasil Permeabilitas Benda Uji Kombinasi <i>Rubber</i> 0%, 2%, 4% dan 8% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%	100
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	102
5.1 Kesimpulan.....	102
5.2 Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA.....	Error! Bookmark not defined. iii
LAMPIRAN	Error! Bookmark not defined.



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Skema Kurva Keawetan.....	11
Gambar 2.2 <i>Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test</i>	26
Gambar 3.1 Kurva Keawetan (Craus, J, et.al, 1981)	47
Gambar 4.1 Persiapan Bahan <i>Rubber</i> sebagai Bahan Tambah.....	51
Gambar 4.2 Persiapan Bahan Serat Baja Sebagai Bahan Tambah.....	51
Gambar 4.3 Kombinasi Agregat	70
Gambar 4.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	73
Gambar 4.5 VIM Komposisi <i>Rubber</i> 0% dengan Serat Baja	76
Gambar 4.6 VMA Komposisi <i>Rubber</i> 0% dengan Serat Baja	76
Gambar 4.7 VFB Komposisi <i>Rubber</i> 0% dengan Serat Baja	77
Gambar 4.8 Stabilitas Komposisi <i>Rubber</i> 0% dengan Serat Baja	77
Gambar 4.9 <i>Flow</i> Komposisi <i>Rubber</i> 0% dengan Serat Baja	78
Gambar 4.10 MQ Komposisi <i>Rubber</i> 0% dengan Serat Baja.....	78
Gambar 4.11 VIM Komposisi <i>Rubber</i> 2% dengan Serat Baja.....	80
Gambar 4.12 VMA Komposisi <i>Rubber</i> 2% dengan Serat Baja	80
Gambar 4.13 VFB Komposisi <i>Rubber</i> 2% dengan Serat Baja	81
Gambar 4.14 Stabilitas Komposisi <i>Rubber</i> 2% dengan Serat Baja	81
Gambar 4.15 <i>Flow</i> Komposisi <i>Rubber</i> 2% dengan Serat Baja	82
Gambar 4.16 VMA Komposisi <i>Rubber</i> 2% dengan Serat Baja	82
Gambar 4.17 VIM Komposisi <i>Rubber</i> 4% dengan Serat Baja	84
Gambar 4.18 VMA Komposisi <i>Rubber</i> 4% dengan Serat Baja	84
Gambar 4.19 VFB Komposisi <i>Rubber</i> 4% dengan Serat Baja	85
Gambar 4.20 Stabilitas Komposisi <i>Rubber</i> 4% dengan Serat Baja	85
Gambar 4.21 <i>Flow</i> Komposisi <i>Rubber</i> 4% dengan Serat Baja	86
Gambar 4.22 MQ Komposisi <i>Rubber</i> 4% dengan Serat Baja.....	86
Gambar 4.23 VIM Komposisi <i>Rubber</i> 8% dengan Serat Baja	88
Gambar 4.24 VMA Komposisi <i>Rubber</i> 8% dengan Serat Baja	88
Gambar 4.25 VFB Komposisi <i>Rubber</i> 8% dengan Serat Baja	89
Gambar 4.26 Stabilitas Komposisi <i>Rubber</i> 8% dengan Serat Baja	89
Gambar 4.27 <i>Flow</i> Komposisi <i>Rubber</i> 8% dengan Serat Baja	90

Gambar 4.28 MQ Komposisi <i>Rubber</i> 8% dengan Serat Baja.....	90
Gambar 4.29 Rekapitulasi VIM Komposisi <i>Rubber</i> dengan Serat Baja.....	92
Gambar 4.30 Rekapitulasi VMA Komposisi <i>Rubber</i> dengan Serat Baja.....	93
Gambar 4.31 Rekapitulasi VFB Komposisi <i>Rubber</i> dengan Serat Baja.....	94
Gambar 4.32 Rekapitulasi Stabilitas Komposisi <i>Rubber</i> dengan Serat Baja.....	95
Gambar 4.33 Rekapitulasi <i>Flow</i> Komposisi <i>Rubber</i> dengan Serat Baja	96
Gambar 4.34 Rekapitulasi MQ Komposisi <i>Rubber</i> dengan Serat Baja	97
Gambar 4.35 Drainase Pada Aspal Porus	99
Gambar 4.36 Koefisien Permeabilitas Aspal Porus dengan <i>Rubber</i> dan serat baja	101



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan Agregat Kasar	13
Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus	14
Tabel 2.3 Standar Kinerja Aspal Panas	22
Tabel 2.4 Spesifikasi Pengujian Aspal	25
Tabel 2.5 Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk <i>Wearing Coarse</i>	28
Tabel 2. 6 Sifat-sifat Agregat Lapis Pourus untuk <i>Wearing Coarse</i>	28
Tabel 3.1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum	44
Tabel 3.2 Jumlah sampel yang akan diuji	45
Tabel 3. 3 Ketentuan Syarat-Syarat Bahan untuk Campuran Beraspal Panas	48
Tabel 4.1 Pembuatan Benda Uji	52
Tabel 4.2 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 5%	53
Tabel 4.3 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 5,5%	53
Tabel 4.4 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 6%	54
Tabel 4.5 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 6,5%	54
Tabel 4.6 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 0% dan Serat Baja 0%)	55
Tabel 4.7 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 0% dan Serat Baja 2%)	55
Tabel 4.8 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 0% dan Serat Baja 4%)	56
Tabel 4. 9 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 0% dan Serat Baja 8%)	56
Tabel 4.10 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 2% dan Serat Baja 0%)	57
Tabel 4.11 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 2% dan Serat Baja 2%)	57

Tabel 4.12 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 2% dan Serat Baja 4%).....	58
Tabel 4.13 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 2% dan Serat Baja 8%).....	58
Tabel 4.14 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 4% dan Serat Baja 0%).....	59
Tabel 4.15 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 4% dan Serat Baja 2%).....	59
Tabel 4.16 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 4% dan Serat Baja 4%).....	60
Tabel 4.17 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 4% dan Serat Baja 8%).....	60
Tabel 4.18 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 8% dan Serat Baja 0%).....	61
Tabel 4.19 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 8% dan Serat Baja 2%).....	61
Tabel 4.20 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 8% dan Serat Baja 4%).....	62
Tabel 4.21 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan kadar (<i>Rubber</i> 8% dan Serat Baja 8%).....	62
Tabel 4.22 Pengujian Aspal JAP 57 (<i>Jaya Aspal Polymer</i>).....	63
Tabel 4. 23 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat.....	64
Tabel 4.24 Hasil Analisis Pembagian Butiran.....	65
Tabel 4.25 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	66
Tabel 4.26 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	67
Tabel 4.27 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	68
Tabel 4.28 Perhitungan Kombinasi Agregat	69
Tabel 4.29 Pemeriksaan Pengujian Laboratorium	71
Tabel 4.30 Data Hasil Pengujian untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	72
Tabel 4.31 Komposisi Material AC-WC.....	74
Tabel 4.32 Hasil <i>Marshall</i> Komposisi <i>Rubber</i> 0% dengan Persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%.....	75

Tabel 4.33 Hasil <i>Marshall</i> Komposisi <i>Rubber</i> 2% dengan Persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%.....	79
Tabel 4.34 Hasil <i>Marshall</i> Komposisi <i>Rubber</i> 4% dengan Persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%.....	83
Tabel 4.35 Hasil <i>Marshall</i> Komposisi <i>Rubber</i> 8% dengan Persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%.....	87
Tabel 4.36 Hasil <i>Marshall</i> Komposisi <i>Rubber</i> 8% dengan Persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%.....	91
Tabel 4.37 Rekap Hasil Rata-Rata Tiap Komposisi Campuran	98
Tabel 4.38 Hasil Rekapitulasi Pengujian Permeabilitas untuk Kombinasi <i>Rubber</i> 0%, 2%, 4% dan 8% dengan Serat Baja kadar (0%, 2%, 4%, dan 8%)	100



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana transportasi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia untuk melakukan mobilisasi keseharian. Kondisi fisik jalan, terutama saat hujan terdapat banyak air menggenangi permukaan jalan sehingga jalan menjadi licin yang dapat membuat roda kendaraan tergelincir dan dapat menyebabkan kecelakaan. Campuran beraspal masih merupakan lapis penutup perkerasan jalan yang dominan di Indonesia. Salah satu jenis campuran beraspal adalah aspal porus yang banyak dikembangkan pada daerah dekat dengan pesisir dan diperuntukan hanya pada lapisan aus atau penutup (Amirudin, 2018).

Perkerasan terdiri dari beberapa jenis yaitu perkerasan lentur, perkerasan kakudan perkerasan komposit. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, sedangkan perkerasan kaku (*rigid pavement*) adalah perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat dan perkerasan komposit (*composite pavement*) dimana sebagai lapis bawah digunakan struktur beton sedangkan lapis permukaan digunakan aspal. Perkerasan lentur adalah perkerasan yang sangat banyak digunakan dibandingkan dengan perkerasan kaku (Sembung, 2020).

Genangan air hujan di atas permukaan jalan yang selalu terjadi di musim penghujan mengakibatkan gangguan kenyamanan bagi pengendara. Karakter *flexible pavement* yang kedap terhadap air dan drainase yang buruk mendukung fenomena tersebut. Hal tersebut mengurangi resapan air hujan dan mempercepat kerusakan jalan. Aspal porus merupakan salah satu inovasi untuk meningkatkan resapan air hujan dan untuk mengurangi adanya genangan di atas jalan (Sembung, 2020).

Pada umumnya perkerasan lentur melimpaskan air hujan melalui permukaan perkerasannya, akibatnya sering terjadi genangan air pada

permukaan. Aspal porus adalah campuran aspal yang sedang dikembangkan untuk konstruksi *wearing course*. Aspal porus adalah campuran aspal dengan kadar pasir yang rendah untuk mendapatkan ruang pori yang tinggi dan diharapkan dapat meresapkan air. Lapisan ini menghasilkan rongga yang cukup besar karena gradasi terbuka (*open graded*) yang didominasi oleh agregat kasar.

Inovasi yang sedang dikembangkan untuk mengurangi permasalahan genangan air hujan di permukaan jalan, yaitu penggunaan perkerasan permeabel. Perkerasan permeabel membantu mengembalikan keseimbangan hidrologi yang lebih alami dan mengurangi volume limpasan dengan memerangkap air dan melepaskannya perlahan-lahan ke dalam tanah daripada membiarkan air mengalir ke saluran pembuangan atau drainase.

Jenis perkerasan aspal porus merupakan teknik pelapisan jalan yang sangat inovatif, karena mudah meloloskan air masuk kedalam perkerasan secara vertikal dan horisontal melalui pori-pori udara kapiler atau dengan menggunakan saluran samping dan lapisan perkerasannya sebagai sistem drainase. Beberapa keunggulan teknologi aspal porous diantaranya :

1. Tahan gelincir yang cukup tinggi.
2. Dapat mengurangi kebisingan.
3. Berfungsi sebagai drainase agar lebih mudah untuk mengalirkan air dari permukaan (PUPR).

Oleh karena itu campuran aspal porus yang memungkinkan air meresap ke dalam lapisan atas (*wearing course*) secara vertikal dan horizontal dapat digunakan untuk mengatasi genangan air. Lapisan aspal porus ini, yang memiliki kekesatan permukaan yang lebih kasar dan mengurangi kebisingan, sangat membantu, terutama saat hujan. Keuntungan aspal porus yang lain, yaitu dapat mengurangi *hydroplaning* atau pemantulan roda kendaraan dari permukaan jalan saat jalan dalam keadaan basah.

Gradasi yang digunakan aspal porus memiliki persentase agregat kasar tidak kurang 85% dari volume campuran. Terdapat berbagai cara untuk

meningkatkan stabilitas pada aspal porus yaitu dengan diberikan bahan tambah *rubber* sehingga dapat meningkatkan daya rekat pada agregat. *Rubber* merupakan ban karet bekas yang dicampurkan dengan aspal JAP 57 sehingga dapat meningkatkan nilai stabilitas sehingga memenuhi persyaratan yang ada (Harmadhana, 2016).

Karet atau *rubber* merupakan bahan yang berasal dari karet alam dan memiliki keunggulan dibandingkan produk lain yang digunakan dalam usaha hilir karet. Karet alam diPourus secara kimia untuk menghasilkan karet. Karet mempunyai sifat lengket yang baik serta sifat ringan, keras, dan tahan terhadap abrasi (gesekan), sehingga menjadi bahan baku perekat yang menjanjikan. (Simanungkalit, 2013)

Aspal porus dengan kadar rongga yang tinggi memiliki nilai stabilitas yang rendah, sehingga diperlukan peningkatan kualitas pada aspal porus dengan memberikan bahan tambah yang dapat berkontribusi pada karakteristiknya dan tentunya juga ramah lingkungan, maka serat alam merupakan bahan campuran yang tepat, selain karena bahan yang mudah didapat serat alam juga memiliki tingkat kekakuan dan kekuatan yang baik sebagai campuran aspal porus (Hermadi, 2009).

Serat alam atau serat baja merupakan zat yang berasal dari dinding sel tumbuhan yang menyusun hampir setiap bagian struktur kayu dan memiliki kandungan selulosa yang tinggi sekitar 50%. Komponen utama dari banyak serat alami yang berasal dari berbagai tumbuhan, termasuk kapas, kulit kayu bagian dalam yang berserat, batang, dan beberapa serat tangkai daun (Sjostrom, 1995)

Berdasarkan kondisi tersebut, maka penulis akan melakukan Penelitian dan Analisa *Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC) Porous* dengan Bahan Tambah Serat baja dan *Rubber* guna mencegah kerusakan akibat penggenangan air di permukaan aspal diharapkan dapat diminimalisir dengan menggunakan campuran material yang diteliti.

1.2 Identifikasi Masalah

Terjadinya fenomena alam berupa pasang dan surutnya air pasang yang diakibatkan dari perubahan cuaca dan iklim menjadi hal yang terjadi secara berkelanjutan, dimana Transportasi darat yang menyambungkan perekonomian di Pulau Jawa dari Jakarta hingga Surabaya sering terhambat akibat dari fenomena air pasang (Banjir). Keterlambatan perekonomian ini disebabkan oleh Jalan Nasional yang tergenang air Banjir sehingga kemacetan panjang terjadi di Ruas Jalan Nasional baik di Jakarta Utara, Pekalongan dan Demak. Jalan Nasional yang terendam air pasang memiliki jenis perkerasan, yaitu Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) dan Perkerasan Lentur (*Flexibel Pavement*). Dimana Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) tahan terhadap rendaman air pasang akan tetapi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*) memiliki ketebalan perkerasan yang cukup tinggi (± 40 cm) sehingga air pasang berpindah di pemukiman warga, sedangkan Perkerasan Lentur (*Flexibel Pavement*) tidak membuat elevasi perkerasan yang tinggi oleh karena itu perlu ditemukan Perkerasan Lentur (*Flexibel Pavement*) Pourus yang kuat terhadap genangan air pasang (banjir) (Sains & Ritonga, 2017)

1.3 Rumusan Masalah

Dengan terjadinya Banjir di Jalan Nasional Semarang dan Demak akan mengakibatkan kemacetan lalu lintas yang panjang semasa musim hujan berlangsung, Jalan Nasional menjadi rusak dan berlubang dikarenakan terendam oleh banjir banjir yang terus-menerus sehingga banyak truk mengalami perlambatan dan banyak kecelakaan akibat jalan berlubang berdampak pada ketidaknyamanan pengguna jalan dan tersendatnya perekonomian yang terjadi di jalur pantura menuju Jakarta dan Surabaya. (Ramlan & Pradhani, 2018)

Banjir Banjir ini dari sejak tahun 1998 hingga 2018 terus dilakukan penanganan, setelah terendam banjir jalan kembali rusak, sehingga di jalan Nasional Semarang dan Sayung Kabupaten Demak adalah termasuk bencana nasional di musim penghujan sehingga dilaksanakan penelitian guna

menangani jalan nasional yang terdampak banjir, sehingga dilokasi tersebut dapat menjadi lancar dan nyaman dikendarai.(Syaifuddin, 2013)

Penggunaan *Asphalt Concrete Wearing Course* Pourus pada pekerjaan jalan Bina Marga selama ini telah dilaksanakan di berbagai daerah di Pulau Jawa. *Asphalt Concrete Wearing Course* Pourus ini yaitu dengan menggunakan Properties Aspal Polimer JAP – 57 (Jaya Trade Aspal Polimer) dengan metode pelaksanaan pengujian yang memenuhi persyaratan aspal tipe II B dalam Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Divisi 6 Revisi 2.

Permasalahan yang dirumuskan dalam penelitian ini adalah :

- a. Bagaimanakah perubahan karakteristik *Asphalt Concrete Wearing Course* Pourus yang terendam dalam air pasang dengan pemanfaatan serat baja dan *Rubber* dibandingkan dengan *Asphalt Concrete Wearing Course* Pourus yang terendam air banjir?
- b. Bagaimanakah pengaruh penambahan serat baja dan *rubber* terhadap nilai permeabilitas pada campuran aspal porus?

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah untuk :

- a. Mendapatkan Job Mix Formula karakteristik *Asphalt Concrete Wearing Course* Pourus dengan penambahan serat baja dan *Rubber*
- b. Menganalisis hasil nilai permeabilitas yang optimal dari penambahan antara serat baja dan *rubber* pada campuran aspal porus

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah manfaat praktis, manfaat akademis dan manfaat ekonomis. Manfaat penelitian secara praktis adalah hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadikan suatu perkerasan jalan aspal (*Flexible pavement*) yang dapat mengalirkan air dengan menerus dan dapat digunakan untuk perkerasan jalan di lokasi mudah terendam banjir yang meningkatkan visibilitas dan keselamatan berkendara serta mengurangi resiko kecelakaan akibat air yang menggenang dipermukaan jalan. Manfaat praktis

penelitian yang lain adalah *Asphalt Concrete Wearing Course* Pours serat baja dan *Rubber* yang mampu mengalirkan air dan tahan terhadap beban lalu lintas.

Manfaat penelitian secara akademis adalah bahwa dengan kajian detail *Asphalt Concrete Wearing Course* Pours serat baja dan *Rubber* memberikan sumbangan ilmu pengetahuan tentang perkerasan jalan yang tahan terhadap air.

1.6 Penyebab Perkerasan Aspal (*Flexible Pavement*) Lebih Utama Dibandingkan Perkerasan Beton

Perkerasan Beton memiliki kelemahan sebagai berikut (FATMAWATI, 2011) :

1. Untuk penggunaan pada jalan raya dengan kapasitas berat kendaraan yang tinggi, maka biaya konstruksi jalan beton lebih mahal dibanding jalan aspal, namun lebih murah pada masa perawatan. Biaya Pembangunan jalan beton di sepanjang 1 Km dengan lebar badan jalan 4 Meter, *full rigid* membutuhkan dana sekitar 2,5 Milyar.
2. Kekeliruan dan gelombang jalan sangat ditentukan pada saat proses pengecoran sehingga diperlukan pengawasan yang ketat.
3. Proses perbaikan jalan dengan cara menumpang pada konstruksi jalan beton yang lama, sehingga menaikkan ketinggian elevasi jalan, sehingga terkadang elevasi jalan lebih tinggi dibanding lingkungan perumahan disampingnya.
4. Warna beton membuat suasana jalan menjadi keras dan gersang sehingga menimbulkan efek kehati-hatian bagi pengendara diatasnya.

Kelebihan Jalan menggunakan Perkerasan Aspal adalah (Fahmi et al., 2017) :

1. Biaya awal pembangunan relatif lebih murah dibandingkan dengan konstruksi beton dan paving.
2. Jalan lebih halus, mulus dan tidak bergelombang sehingga nyaman dalam berkendara.
3. Warna hitam aspal mempengaruhi psikologi pengendara menjadi lebih teduh dan nyaman.
4. Untuk penggunaan pada jalan dengan lalu lintas kendaraan ringan, jalan aspal lebih murah dibanding konstruksi jalan beton.

5. Proses perawatan lebih mudah karena dengan mengganti pada area jalan aspal yang rusak saja, dengan cari menggali dan mengganti dengan yang baru pada area jalan yang rusak.

1.7 Batasan Masalah

Penelitian ini perlu dibatasi agar tidak menyimpang dari tujuan penelitiannya. Adapun lingkup penelitian ini terbatas pada ketentuan-ketentuan sebagai berikut:

- a. Fraksi agregat kasar dan halus berasal dari batu ex-Kalikuto diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) dari AMP (*Asphalt Mixing Plant*) PT. Perwita Karya (Sembung).
- b. Bahan aspal menggunakan Aspal Polimer JAP – 57 (Jaya Aspal Polimer).
- c. Pencampuran menggunakan pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) revisi 2 dan campuran aspal yang dibuat adalah *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC- WC) Pourus.
- d. Untuk mencari campuran aspal ideal digunakan variasi kadar aspal Pb - 1%, Pb – 0,5%, Pb%, Pb + 0,5%, dan Pb + 1%.
- e. Uji Marshall dan Uji Permeabilitas
- f. Gradasi campuran aspal beton yang digunakan adalah berdasarkan pada gradasi agregat gabungan seperti ditunjukkan pada Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Revisi 2
- g. Serat Baja yang digunakan adalah serat baja *type 2 D* yang dengan ukuran 3/8” atau 9,5 mm sesuai persyaratan teknis Bina Marga
- h. *Rubber* yang digunakan adalah ban karet bekas untuk pemanfaatan limbah karet ban bekas dengan ukuran 3/8” atau 9,5 mm sesuai persyaratan teknis Bina Marga
- i. Penelitian yang dilakukan pada pengujian laboratorium dan tidak melakukan pengujian lapangan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

Kerusakan jalan disebabkan antara lain karena beban lalu lintas berulang yang berlebihan (*overloaded*), panas/suhu udara, air dan hujan, serta mutu awal produk jalan yang buruk. Oleh sebab itu disamping direncanakan secara tepat jalan harus dipelihara dengan baik agar dapat melayani pertumbuhan lalu lintas selama umur rencana. Pemeliharaan jalan rutin maupun berkala perlu dilakukan untuk mempertahankan keamanan dan kenyamanan jalan bagi pengguna dan menjaga daya tahan/keawetan sampai umur rencana (Zumrawi et al., 2016).

Survey kondisi perkerasan perlu dilakukan secara periodik baik struktural maupun nonstruktural untuk mengetahui tingkat pelayanan jalan yang ada. Pemeriksaan nonstruktural (fungsional) antara lain bertujuan untuk memeriksa kerataan (*roughness*), kekasaran (*texture*), dan kekesatan (*skid resistance*). Pengukuran sifat kerataan lapis permukaan jalan akan bermanfaat di dalam usaha menentukan program rehabilitasi dan pemeliharaan jalan (Pahlevi, 2019). Di Indonesia pengukuran dan evaluasi tingkat kerataan jalan belum banyak dilakukan salah satunya dikarenakan keterbatasan peralatan. Karena kerataan jalan berpengaruh pada keamanan dan kenyamanan pengguna jalan maka perlu dilakukan pemeriksaan kerataan secara rutin sehingga dapat diketahui kerusakan yang harus diperbaiki (White, 2019). Penilaian tipe dan kondisi permukaan jalan yang ada merupakan aspek yang paling penting dalam penentuan sebuah proyek, sebab karakteristik inilah yang akan menentukan satuan nilai manfaat ekonomis yang ditimbulkan oleh adanya perbaikan jalan.

2.1 Lapisan Permukaan Perkerasan Berpori

Lapisan permukaan perkerasan berpori terdiri dari hubungan antar agregat yang konsisten dengan ruang di antara agregat. Sekitar empat puluh persen volume dasar terdiri dari rongga yang dilewati air. Nilai penetrasi aspal yang digunakan berkisar antara 50/60 hingga 85/100. Sekitar 5,5% hingga 6% dari total berat perkerasan terdiri dari aspal. Lapisan permukaan ini menopang berat

roda dan mendistribusikannya ke lapisan di bawahnya sehingga lapisan lain dapat memikul beban. Hal ini bersentuhan langsung dengan ban kendaraan. Lapisan permukaan ini memiliki tujuan sebagai berikut:

Menahan beban roda selama masa layan

- a. Lapis perkerasan menahan beban roda, dengan persyaratan yang mempunyai stabilitas tinggi sehingga dapat menahan beban roda selama masa pelayanan.
- b. Lapis aus, lapisan yang langsung terkena gesekan yang diakibatkan oleh rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.

Untuk meningkatkan kualitas stabilitas dan kekuatan aspal berpori yang kurang kuat dibandingkan aspal konvensional maka harus ditambahkan bahan tambahan campuran. Karet dan serat baja merupakan dua bahan yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan daya rekat.

2.2 Pengujian untuk Mengevaluasi Pengaruh Air Terhadap Campuran Aspal Panas

Potensi keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan kombinasi akibat air dan suhu (Mishra & Mishra, 2015).

Penyebab utama kerusakan dan gagalnya pelayanan jalan pada perkerasan Fleksibel adalah rendahnya keawetan lapisan permukaan dan lapis antara serta lapis dasar aspal (A. Kumalawati, & Tri M. W. Sir., ST, 2013). Tingginya keawetan akan memenuhi sifat mekanik dari campuran dan memberikan umur pelayanan yang lebih lama. Beberapa metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran aspal yaitu,

a. Metode Pengujian Perendaman Standar

Salah satu metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal adalah pengujian Perendaman *Marshall* yang mana stabilitas dari benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman di dalam air pada suhu 60 °C (Kirana, 2018). Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai

persen, dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (IRS), dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = \frac{MSi}{MSs} \times 100\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Keterangan :

IRS = Indeks Stabilitas Sisa

MSi = Stabilitas *Marshall* Standart (Kg)

MSs = Stabilitas *Marshall* Perendaman (Kg)

Spesifikasi Campuran Aspal Panas Mensyaratkan IRS harus lebih besar dari 80%.

b. Metode Pengujian Perendaman Pourus

Kriteria Perendaman 24 Jam (satu hari) tidak selalu menggambarkan sifat keawetan campuran setelah masa perendaman yang lebih lama (Mishra & Mishra, 2015).

a. Indeks Durabilitas Pertama

Dua indek yang diperoleh dimana indek tersebut sesuai kriteria di atas adalah

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{Si-Si+1}{ti+1-1} \dots\dots\dots (2.2)$$

So = Nilai absolut dari kekuatan awal

Si = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu *ti*

Si+1 = Persen kekuatan yang tersisa pada waktu *ti + 1*

ti , ti +1 = Waktu perendaman (mulai dari awal pengujian)

Sebagai contoh, kalau pengukuran diambil setelah 1, 3, 5 dan 7 hari perendaman, maka indeks kekuatan menjadi :

$$r = \frac{So-S1}{1} + \frac{So-S3}{2} + \frac{S3-S5}{2} + \frac{S5-S7}{2} \dots\dots\dots (2.3)$$

b. Indeks Durabilitas Kedua

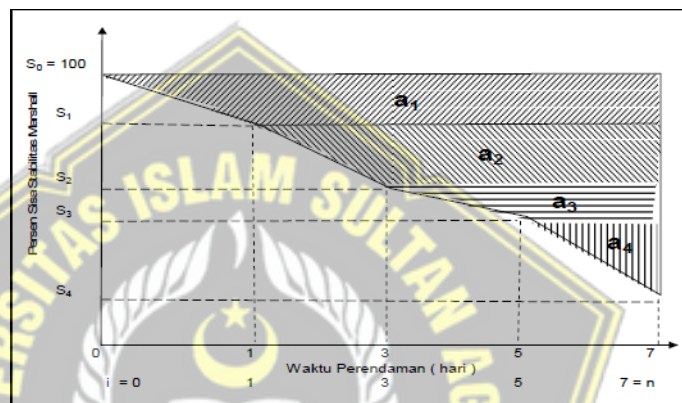
Indeks kekuatan kedua didefinisikan sebagai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara kurva keawetan dengan garis *So* = 100 %.

Indeks kekuatan kedua dinyatakan sebagai berikut :

$$a = \frac{1}{tn} \sum_{i=1}^n a = \frac{1}{2tn} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) [2tn - (t_i + t_{i+1})] \dots \dots \dots (2.4)$$

Indeks keawetan kedua juga dinyatakan sebagai suatu kehilangan kekuatan satu hari. Nilai positif dari (a) menunjukkan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai negatif sebagai peningkatan kekuatan. Menurut definisinya, $a < 100$ (I Dewa Made Alit Karyawan, Desi Widianty, 2020). Karena itu, memungkinkan untuk menyatakan persentase kekuatan sisa satu hari (S_a) sebagai berikut :

$$S_a = (100 - a) \dots \dots \dots (2.5)$$



Sumber : CRAUS, J. dkk., (1981)

Gambar 2.1 Skema Kurva Keawetan

2.3 Penyusun Perkerasan Jalan

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan perkerasan jalan, yaitu 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75 – 85% agregat berdasarkan persentase volume (Djalante, 2011). Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Yang menentukan kualitas agregat sebagai material perkerasan jalan adalah: gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya

kelekatan terhadap aspal. Agregat dengan kadar pori besar akan membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak karena banyak aspal yang terserap akan mengakibatkan aspal menjadi lebih tipis. Penentuan banyak pori ditentukan berdasarkan air yang dapat terarbsorbsi oleh agregat (Kurniawan et al., 2012). Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering, yang didapat dengan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{B_s}{B + B_s - B_t} \times 10\% \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

B : Berat piknometer berisi air, (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air, (gram)

Bs : Berat sample, (gram)

Bj : Berat sample kering permukaan jenuh

Bk: Berat sample kering oven

2.3.1 Persyaratan Agregat

Berdasarkan jenis dan ukuran butirannya agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*).

– Agregat Kasar

Fraksi Agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm) dan haruslah bersih, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi persyaratan pada tabel 2.1. fraksi agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran normal. Agregat kasar ini menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai ketahanan terhadap slip (*skid resistance*) yang tinggi sehingga menjamin keamanan lalu lintas. Agregat kasar yang

mempunyai bentuk butiran yang bulat memudahkan proses pemadatan tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut angular sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran *wearing course*, untuk itu nilai *los angles abrasion test* harus dipenuhi. (Jenderal & Marga, 2018)

Tabel 2.1 Persyaratan 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 ¹⁾	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
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	ASTM D4791-10 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 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

– Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan no.8 (2,36 mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian antara butiran, agregat halus juga mengisi ruang antar butir. Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya. Persyaratan umum agregat halus sesuai ketentuan Spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 (Jenderal & Marga, 2018)

Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	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 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

– *Filler* (Bahan Pengisi)

Bahan pengisi adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) dan tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Fungsi dari bahan pengisi adalah sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga, memperkaku lapisan aspal. *Filler* yang dapat digunakan berupa abu batu debu atau semen Portland.

2.3.2 Gradasi Agregat

Gradasi merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat biasanya mempengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat dibedakan atas (Jenderal & Marga, 2018) :

a. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

b. Gradasi rapat (*Dense graded*)

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus dalam porsi yang seimbang, sehingga sering disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Agregat

dikatakan bergradasi baik jika persen yang lolos setiap lapis dari sebuah gradasi memenuhi:

$$P = 100 (d/D)^{0,45} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana :

P = Persen lolos saringan dengan bukaan

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = Ukuran maksimum partikel gradasi terbuka

Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapisan perkerasan dengan stabilitas yang tinggi, kurang kedap air, sifat drainase tidak baik dan berat volume besar.

c. Gradasi senjang (*Gap graded*)

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Agregat dengan gradasi senjang akan menghasilkan lapisan perkerasan yang mutunya terletak antara agregat bergradasi seragam dan agregat bergradasi rapat.

2.3.3 Karakteristik Campuran Aspal Beton

Beton aspal dibentuk dari agregat, aspal dan atau tanpa bahan-bahan yang dicampur secara merata atau homogen di instalasi pencampuran pada suhu tertentu. Campuran kemudian dihamparkan, dipadatkan sehingga terbentuk beton aspal padat (Hainin et al., 2012). Perhitungan yang biasa digunakan pada campuran aspal beton adalah

1. Berat Jenis *Bulk* Beton Aspal Padat (Gmb)

Berat jenis *bulk* dari beton aspal padat (Gmb) dapat diukur dengan menggunakan hukum *Archimedes*, yaitu :

$$Gmb = \frac{\text{Berat Uji Kering}}{\text{Berat Uji Kering Permukaan} - \text{Berat Uji dalam Air}} \dots\dots (2.9)$$

2. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal yang Belum Dipadatkan (Gmm)
 Berat jenis maksimum dari campuran beton aspal yang belum dipadatkan (Gmm) adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa udara, yang diperoleh dari pemeriksaan di laboratorium.

$$Gmm = \frac{100}{\frac{P_s}{Gse} + \frac{P_b}{Gb}} \dots\dots\dots (2.10)$$

Gmm = Berat Jenis Maksimum Campuran

Pb = Jumlah Aspal, % terhadap Total Berat Campuran

Ps = Jumlah Agregat, % terhadap Total Berat Campuran

Gb = Berat Jenis Aspal

Gse = Berat Jenis Efektif Agregat

3. Rongga diantara mineral agregat (VMA)

Rongga diantara mineral agregat (VMA = *voids in the mineral aggregate*), adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times PS}{Gsb} \dots\dots\dots (2.11)$$

Gmb = Berat Jenis Bulk Campuran

Gsb = Berat Jenis Efektif Agregat

Ps = Jumlah Agregat, % terhadap Total Berat Campuran

4. Rongga di dalam campuran (VIM)

Banyaknya pori yang berada dalam beton aspal padat (VIM) adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat yang diselimuti aspal. VIM dinyatakan dalam persentase terhadap volume beton aspal padat.

$$VIM = 100 - \frac{Gmm \times Gmb}{Gmm} \dots\dots\dots (2.12)$$

Gmm = Berat Jenis Maksimum Campuran

Gmb = Berat Jenis Bulk Campuran

VIM = Rongga udara dalam campuran, persen terhadap volume campuran

5. Rongga terisi aspal (VFA)

Banyaknya pori-pori antara butir agregat (VMA) didalam beton aspal padat, yang terisi aspal, dinyatakan sebagai VMA. Persentase pori antar butir agregat yang terisi aspal dinamakan VFA. Jadi, VFA adalah bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terarbsorbsi oleh masingmasing butir agregat. Dengan demikian, aspal yang mengisi VFA inilah yang merupakan persentase volume beton aspal padat yang menjadi film atau selimut aspal. Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat (Gadpalliwar et al., 2018).

$$VFA = \frac{100.(VMA-VIM)}{VMA} \dots\dots\dots (2.13)$$

VIM = Rongga udara dalam campuran, persen terhadap volume campuran

VMA = Pori Butir agregat di dalam beton aspal, % dari volume bulk beton aspal

VFA = Pori antar butir Agregat yang terisi Aspal % dari VMA

2.3.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum menurut SNI-06-2490-1991 dengan rumus:

$$B = \frac{(W1-W2)-(W3+W4)}{VMA W1-W2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.14)$$

B = Kadar Aspal, dinyatakan dalam %

W1 = Berat benda uji dinyatakan dalam gram

W2 = Berat air dalam benda uji dinyatakan dalam gram

W3 = Berat mineral hasil ekstraksi dinyatakan dalam gram

W4 = Berat mineral halus yang tertinggal dalalm filtrat, dinyatakan dalam gram

Di masa mendatang, dampak banjir banjir ini diprediksi semakin besar dengan adanya skenario kenaikan muka air laut sebagai efek pemanasan global. Terjadinya banjir banjir menimbulkan pengaruh yang besar terhadap

masyarakat, terutama yang bertempat tinggal di kawasan pesisir. Banjir banjir di kawasan pesisir akan semakin parah dengan adanya genangan air hujan atau banjir kiriman, dan banjir lokal akibat saluran drainase yang kurang terawat. Dampak banjir banjir adalah terganggunya aktivitas keseharian termasuk kegiatan rumah tangga, terganggunya aksesibilitas jalan dan keterbatasan penggunaan sarana dan prasarana. Dampak banjir banjir menjadikan infrastruktur pantai rusak karena terkena abrasi pantai. Akibat selanjutnya penduduk pantai akan kehilangan tempat tinggal dan mata pencaharian. Salah satu dampak dan pengaruh dari banjir banjir adalah terhadap penggunaan lahan, sebagai lahan produktif. Dampak banjir akibat pasang air laut (banjir) telah merubah fisik lingkungan dan memberikan tekanan terhadap masyarakat, bangunan, dan infrastruktur permukiman yang ada di wilayah tersebut (Gadpalliwar et al., 2018).

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh (Abdullah et al., 2017), dampak yang ditimbulkan oleh banjir banjir antara lain:

- a) Kerusakan bangunan tempat tinggal karena selain menggenangi permukaan lantai dan halaman, banjir banjir bersifat korosi dan merusak pada bangunan.
- b) Salinitas (keasinan) air yang disebabkan semakin luas dan lama genangan banjir, sehingga mempengaruhi kualitas air tanah dan air permukaan.
- c) Kehilangan lahan disebabkan banjir banjir yang semakin tinggi sehingga banyak lahan di pesisir pantai tenggelam dan tidak dapat lagi dimanfaatkan.
- d) Kerusakan kendaraan dan peralatan kerja disebabkan karena banjir banjir bersifat korosi.

2.4 Pengaruh Air Banjir pada Campuran Aspal

Kandungan air banjir tentunya akan berbeda dengan air laut. Hal ini disebabkan karena air banjir telah masuk ke daratan sehingga telah bercampur dengan zat-zat atau material lain yang berada di daratan yang dilewatinya. Air laut sendiri memiliki kadar garam rata-rata 3,5%. Artinya dalam 1 liter (1000 mL) air laut

terdapat 35 gram garam (namun tidak seluruhnya garam dapur/ NaCl). Keberadaan garam-garaman mempengaruhi sifat fisis air laut (seperti: densitas, kompresibilitas, titik beku, dan temperatur dimana densitas menjadi maksimum) beberapa tingkat, tetapi tidak menentukannya. Beberapa sifat (viskositas, daya serap cahaya) tidak terpengaruh secara signifikan oleh salinitas. Dua sifat yang sangat ditentukan oleh jumlah garam di laut (salinitas) adalah daya hantar listrik (konduktivitas) dan tekanan osmosis (Sasidharan et al., 2019)

Garam-garaman utama yang terdapat dalam air laut adalah klorida (55%), natrium (31%), sulfat (8%), magnesium (4%), kalsium (1%), potasium (1%) dan sisanya (kurang dari 1%) terdiri dari bikarbonat, bromida, asam borak, strontium dan florida. Tiga sumber utama garam-garaman di laut adalah pelapukan batuan di darat, gas-gas vulkanik dan sirkulasi lubang-lubang hidro termal (*hydrothermal vents*) di laut dalam (Sasidharan et al., 2019).

Hasil penelitian yang dilakukan oleh Riyadi (2011), menyebutkan bahwa semakin lama campuran aspal polimer maupun non polimer terendam dalam air banjir, dapat mempengaruhi kinerja berupa penurunan durabilitas atau keawetan campuran, ditandai dengan meningkatnya *void in mix* (VIM), *void in mineral aggregate* (VMA) dan kelelahan, dan menurunnya nilai stabilitas dan *Marshall Quotient* (MQ).

Sementara (Zumrawi et al., 2015), dalam penelitiannya membuktikan bahwa nilai keasaman suatu air yang digunakan untuk merendam campuran aspal akan mempengaruhi nilai stabilitas dan keawetan campuran. Semakin asam air yang digunakan maka semakin rendah nilai stabilitas dan keawetan yang dihasilkan. Prabowo juga mengatakan bahwa waktu perendaman juga mempengaruhi nilai stabilitas dan keawetan campuran aspal. Semakin lama campuran aspal direndam maka akan diikuti dengan penurunan nilai stabilitas dan keawetan campuran aspal.

Terbukti bahwa air laut atau banjir yang terinfiltrasi ke dalam struktur perkerasan menyebabkan campuran aspal mudah teroksidasi sehingga aspal menjadi rapuh (getas). Untuk mencegah agar air laut tidak mudah terinfiltrasi

dengan mudah ke dalam struktur perkerasan, maka harus mempertimbangkan gradasi campuran, *void in mix* (VIM), *void in mineral aggregate* (VMA) dan VFA (*Void Filled with Asphalt*). Penggunaan gradasi yang rapat (menerus) menyebabkan rongga dalam campuran (VIM) memiliki nilai yang kecil. Apabila nilai *void in mix* (VIM) ini terlalu besar, hal ini menyebabkan campuran aspal bersifat *porous* sehingga air dan udara dapat dengan mudah masuk dan beroksidasi dengan campuran. Sedangkan nilai VFA (*Void Filled with Asphalt*) juga berpengaruh terhadap sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastik campuran, sehingga akan menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. VFA (*Void Filled with Asphalt*) merupakan persentase rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami pemadatan. Nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan bleeding dan bila terlalu rendah akan menimbulkan campuran menjadi *porous* (tidak kedap air dan udara) karena lapisan film aspal tipis sehingga mudah retak jika ada pembebanan berat.

a. Permeabilitas

Kapasitas media aksial untuk memungkinkan aliran fluida dikenal sebagai permeabilitas. Zat apa pun yang memiliki celah di dalamnya dikatakan memiliki poros, dan jika celah tersebut saling bekerja sama, material tersebut akan memiliki kualitas permeabilitas. Jumlah pori yang lebih besar biasanya terlihat pada material yang menggunakan lebih banyak ruang kosong (Bowles, JE dalam Juliawan, 2012).

Hukum Darcy digunakan untuk menghitung koefisien permeabilitas aspal (Kandall dan Mallick dalam Juliawan, 2012). *Falling Head Permeability* (FHP) adalah suatu teknik yang digunakan untuk mengukur permeabilitas.

Aturan D'Arcy, yang dikembangkan pada abad ke-19, menguraikan persyaratan sirkulasi laminar pada material granular. Kita berbicara tentang permeabilitas dalam aturan ini. Untuk menentukan kecepatan sirkulasi rata-rata yang homogen pada penampang sampe.

Berikut rumus untuk menentukan koefisien permeabilitas D'Arcy

$$K = Q \times L \dots\dots\dots(2.15)$$

$$A \times h \times t$$

Keterangan:

k = koefisien permeabilitas air (cm/dtk)

L = Tinggi pada sampel (cm)

A = luas penampang pada sampel (cm²)

h = Perbedaan tinggi sepanjang contoh (cm)

t = waktu yang dibutuhkan untuk meloloskan air (dtk)

Q = volume debit air (cm³)

b. Cantabro Test

Uji Cantabro adalah untuk mengukur jumlah kehilangan erosi pada spesimen aspal campuran panas yang dipadatkan. Pengujian ini menggunakan mesin Abrasi *Los Angeles* untuk mengukur fitur spesimen yang dipadatkan. Salah satu cara untuk menentukan proporsi penurunan berat badan yang diukur dan dilaporkan adalah dengan menggunakan Tes Cantabró. Nilai yang diberikan, jika ada, mungkin tidak mewakili konversi matematis yang tepat dan tidak standar. Ketidaksesuaian dengan standar dapat timbul dengan menggunakan masing-masing sistem satuan secara independen dan menggabungkan nilai-nilai dari kedua sistem. Mesin *Los Angeles* (Texas Department of Transportation Design, 2005).

c. Binder Dram Down

Tujuan dari pengujian *Binder Drain Down* adalah mengukur kuantitas drainase yang keluar dari campuran aspal yang belum dipadatkan. Tes tersebut menawarkan penilaian kapasitas drainase campuran aspal untuk desain campuran dan produksi lapangan. Dengan memegang sampel pada suhu tinggi yang serupa dengan yang dialami selama produksi, jumlah kebocoran pada campuran aspal yang tidak dipadatkan dihitung menggunakan metode pengujian ini.

Berikut merupakan tabel standar kinerja pada aspal porus menurut spesifikasi AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*)

Tabel 2.3 Standar Kinerja Aspal Panas

Standar Kinerja Marshall Campuran Aspal Porus	
Stabilitas	>500 kg
Flow	2 – 6 mm
VIM (<i>Void in Mix</i>)	10% – 25%
Porositas	10% – 25%
Marshall Quotient	>200 kg/mm
Standar Kinerja Fungsi Campuran Aspal Porus	
Permeabilitas	>0,1 cm/detik
Cantabro Loss	<15%
Binder Drain Down	Maks. 0,3%

Sumber: Specification for *Porous Asphalt* AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*), dalam Ali, 2013)

d. Korelasi Persyaratan Terhadap Kualitas Perkerasan

Untuk setiap pengujian, standar perkerasan aspal berpori harus dipenuhi. Kombinasi tersebut harus memenuhi nilai pori minimum yang ditentukan dalam tabel kriteria AAPA. Nilai stabilitas campuran aspal berpori lemah. Karena kombinasi tersebut, campuran aspal berpori mempunyai nilai stabilitas yang rendah. Selain itu, terdapat sedikit stabilitas. Angka minimal yang ditetapkan harus dipenuhi oleh kualitas perkerasan aspal *porous*.

Menurut Sugiyono (2014) mendefinisikan pendekatan analisis naratif sebagai penggunaan statistik terhadap analisis data dengan cara mendeskripsikan atau mengilustrasikan data sebagaimana yang telah diperoleh, tanpa tujuan untuk menarik kesimpulan atau generalisasi yang berlaku untuk seluruh populasi. Analisis ini tidak mencari atau menyarankan korelasi timbal balik, menguji hipotesis, memberikan prediksi, atau menarik kesimpulan; melainkan hanya sekedar pengumpulan data fundamental secara deskriptif.

Penelitian semacam ini bertujuan untuk menjelaskan dan mengungkapkan hasil penelitian yang diharapkan. Statistik naratif adalah metode statistik yang biasanya diterapkan.

2.5 Laston Lapis Aus (AC-WC)

Laston adalah lapisan penutup konstruksi perkerasan jalan yang mempunyai nilai struktural. Campuran ini terdiri atas agregat bergradasi menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Laston adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan pada suhu tertentu. (Rahim et al., n.d.) Ada beberapa jenis beton aspal campuran panas, namun dalam penelitian ini jenis beton aspal campuran panas yang ditinjau adalah AC-BC dan AC-WC. Laston sebagai lapisan pengikat (*Binder Course*) adalah lapisan yang terletak dibawah lapisan aus. Tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan dengan tebal nominal minimum 5 cm.

Sedangkan laston sebagai lapis aus (*Wearing Course*) adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan mempunyai kekesatan yang disyaratkan dengan tebal nominal minimum 4 cm. Lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya berupa muatan kendaraan (gaya vertikal), gaya rem (Horizontal) dan pukulan Roda kendaraan (getaran). Karena sifat penyebaran beban, maka beban yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin besar. Lapisan yang paling atas disebut lapisan permukaan dimana lapisan permukaan ini harus mampu menerima seluruh jenis beban yang bekerja. Oleh karena itu lapisan permukaan mempunyai fungsi sebagai berikut:

1. Lapis perkerasan menahan beban roda, harus mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
2. Lapis kedap air, sehingga air hujan yang jatuh diatasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut
3. Lapis aus, lapisan yang langsung menerima gesekan akibat gaya rem dari kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
4. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah, sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain yang ada di bawahnya.

Untuk dapat memenuhi fungsi tersebut diatas, pada umumnya lapisan permukaan dibuat dengan menggunakan bahan pengikat aspal sehingga menghasilkan lapisan yang kedap air dengan stabilitas yang tinggi dan daya tahan yang lama. (Zumrawi et al., 2015)

Menurut (Rahim et al., n.d.), di dalam aspal tersusun atas dua jenis kimia yang dominan, yaitu asphaltenes dan maltenes. *Asphaltenes* adalah merupakan senyawa berwarna hitam atau coklat tua yang mengandung Carbon, Hidrogen, sedikit Nitrogen, Sulfur dan oksigen. Senyawa *Asphaltenes* yang tinggi akan menyebabkan aspal menjadi keras ditunjukkan dengan nilai penetrasi yang rendah. Biasanya kandungan asphaltenes berkisar antara 5% - 25%. Sedang Maltenes mengandung senyawa saturates, aromatic dan resins. Kandungan resins dalam aspal akan menyebabkan adhesi aspal menjadi kuat. Aromatic adalah molekul aspal yang paling ringan dan paling banyak terkandung dalam aspal sekitar 40% - 65%. *Saturates* bersama-sama dengan *Alkaline Neptane* dan sedikit *Alkaline Aromatic* merupakan cairan minyak non-polar berwarna putih bening.

2.6 Material Penyusun Perkerasan Jalan

Agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan perkerasan jalan, yaitu 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75 –85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain. Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Yang menentukan kualitas agregat sebagai material perkerasan jalan adalah: gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya kelekatan terhadap aspal. Agregat dengan kadar pori besar akan membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak karena banyak aspal yang terserap akan mengakibatkan aspal menjadi

lebih tipis. Penentuan banyak pori ditentukan berdasarkan air yang dapat terabsorpsi oleh agregat. (Jaya et al., 2019)

2.7 Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis AC-WC

Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan material perkerasan jalan, dimana agregat itu sendiri merupakan bahan yang kaku dan keras. Agregat dengan kualitas dan mutu yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dibawahnya. (Materials & Shankar, 2006) Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi : (Palankar et al., 2015)

2.7.1 Aspal

Aspal pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera dalam tabel 2.3

Tabel 2.4 Spesifikasi Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5	SNI 06-2456-1991	50 – 80
2.	Titik lembek	SNI 06-2432-1991	≥ 54
3.	Indeks penetrasi	-	$\geq -1,0$
4.	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 150
5.	Titik nyala	SNI 06-2433-1991	≥ 232
6.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	$\geq 1,0$
7.	Berat yang hilang	SNI 06-2440-1991	$\geq 0,8$

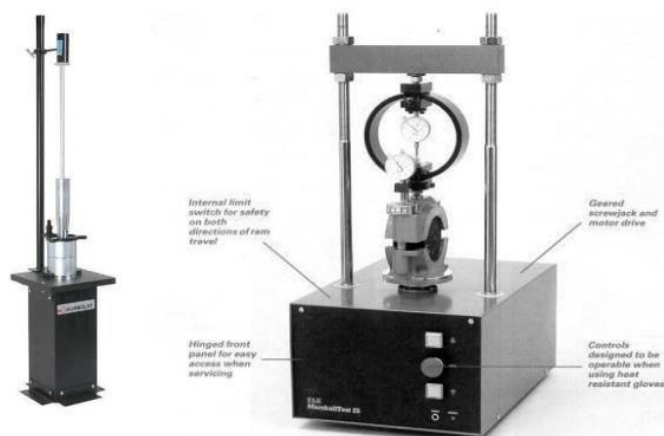
Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2.)

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat pada tempatnya selama produksi dan masa pelayanan konstruksi jalan, Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitmen.

2.7.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode *Marshall*

Pengujian *Marshall* adalah metode laboratorium paling umum yang digunakan untuk memeriksa kinerja campuran panas (*hot mix*) yaitu dengan mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan plastis campuran beraspal dengan menggunakan alat *Marshall*. Konsep ini dikembangkan oleh Bruce Marshall pada tahun 1939, seorang insinyur aspal bersama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Kemudian penelitian ini dilanjutkan oleh *The U.S. Army Corps of Engineers*, dengan lebih ekstensif dan menambah kelengkapan pada prosedur pengujian *Marshall* dan akhirnya mengembangkan kriteria rancangan campuran (Jamshidi et al., 2019).

Untuk keperluan pencampuran, agregat dan aspal dipanaskan pada suhu dengan nilai viskositas aspal 170 ± 20 centistokes (cst) dan dipadatkan pada suhu dengan nilai viskositas aspal 280 ± 30 cst. Alat yang digunakan untuk proses pemadatan adalah *Marshall Compaction Hammer* (**Gambar 2.2**). Benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 64 mm dan diameter 102 mm ini diuji pada temperatur $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan tingkat pembebanan konstan sebesar 51 mm/menit sampai terjadi keruntuhan. Beban maksimum yang dapat diterima oleh benda uji sebelum hancur dikenal sebagai stabilitas *Marshall* dan besarnya deformasi yang terjadi pada benda uji sebelum hancur adalah kelelahan (*flow*) *Marshall* dan perbandingan stabilitas dan kelelahan (*flow*) *Marshall* disebut *Marshall Quotient*, yang merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi tetap. Alat yang digunakan terdiri dari mesin uji *Marshall* seperti terlihat pada **Gambar 2.2**.



Gambar 2.2 *Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test*

Dari pengujian *Marshall* diperoleh parameter-parameter yang disebut dengan *Marshall Properties*, yang terdiri dari kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga terisi aspal (VFA), dan persentase rongga dalam agregat (VMA).

2.8 Sifat Bahan *Aggregate Asphalt Wearing Coarse*

Aspal *Wearing Coarse* adalah Aspal *Wearing* dengan gradasi senjang dengan Agregat lolos saringan No.16

- Fraksi Agregat Kasar
Agregat kasar yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel atau pecahan batu keras dan awet. Bahan Pecah apabila berulang-ulang dibasahi dan dikeringkan tidak boleh digunakan.
- Fraksi Agregat Halus
Agregat halus yang tertahan pada ayakan 2,36 mm harus terdiri dari partikel pasir alami atau batu pecah halus dan partikel halus lainnya yang memenuhi persyaratan.
- Sifat bahan yang disyaratkan
Seluruh bahan agregat harus terlepas dari bahan organik dan atau gumpalan lempung atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki dan setelah dipadatkan harus memenuhi ketentuan gradasi (menggunakan ayakan secara basah) dan memenuhi syarat yang telah ditentukan berdasarkan tabel di bawah ini.

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk *Wearing Coarse*

Ukuran Ayakan		Persen Berat yang Lolos			
		Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50		100		
1 ½"	37,5	100	88 – 95	100	100
1"	25,0	79 – 85	70 – 85	77 – 89	71 – 87
¾"	19,0				58 – 74
½"	12,5				44 – 60
3/8"	9,50	44 – 58	30 – 65	41 – 66	34 – 50
No. 4	4,75	29 – 44	25 – 55	26 – 54	19 – 31
No. 8	2,36				8 – 16
No. 10	2,0	17 – 30	15 – 40	15 – 42	
No. 16	1,18				0 – 4
No. 40	0,425	7 – 17	8 – 20	7 – 26	
No. 200	0,075	2 – 8	2 – 8	4 – 16	

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 5

Tabel 2. 6 Sifat-sifat Agregat Lapis Pourus untuk *Wearing Coarse*

Sifat – Sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 – 40%	0 – 40%	0 – 40%	0 – 40%
Butiran pecah, tertahan ayakan No. 4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	80/75 ³⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 – 25	0 – 35	0 – 35	-
Indeks Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 – 6	4 – 10	4 – 15	-
Hasil Kali Indeks Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No. 200	Maks. 25%	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 – 5%	0 – 5%	0 – 5%	0 – 5%
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	Min. 90%	Min. 60%	Min. 50%	-
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No. 200 dan No. 40	Maks. 2/3	Maks. 2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_y = \frac{D_{60}}{D_{10}}$	-	-	-	>3,5

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 6

- Pencampuran bahan

Pencampuran bahan untuk memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan harus dikerjakan dilokasi *stone crusher* (pemecah batu) yang telah memiliki standart pemecahan dengan menggunakan pemasok mekanis

(*mechanical Feeder*) yang telah dikalibrasi untuk memperoleh aliran yang menerus dari komponen campuran dengan proporsi yang benar dan dalam keadaan apapun tidak dibenarkan melakukan pencampuran dilapangan.

2.8.1 Lapis Pengikat

Lapis Pengikat mencangkup penyediaan dan penghamparan bahan aspal pada permukaan yang telah disiapkan. Lapis pengikat dihampar diatas permukaan pondasi tanpa bahan pengikat lapis pondasi agregat.

2.8.1.1 Cuaca yang Diijinkan untuk Bekerja

Lapis Pengikat harus dilaksanakan pada permukaan yang kering dan benar-benar kering. Pelaksanaan Lapis pengikat tidak boleh dilaksanakan saat angin kencang, hujan atau akan turun hujan.

2.8.1.2 Kesiapan Pekerjaan

Kesiapan pekerjaan lapis pengikat meliputi beberapa hal sebagai berikut:

- a. Lima liter contoh dari setiap bahan yang diusulkan dalam pekerjaan dilengkapi dengan sertifikat dari pembuatnya dan hasil pengujian yang disyaratkan
- b. Catatan kalibrasi dari semua instrument dan meteran ukur serta tongkat celup ukur untuk aspal distributor. Tongkat celup ukur, alat intrumen dan harus dikalibrasi memenuhi akurasi, toleransi ketelitian memenuhi Spesifikasi serta tanggal pelaksanaan kalibrasi harus tidak melebihi satu tahun sebelum pelaksanaan dilakukan.
- c. Laporan harian untuk pekerjaan yang lakukan dan takaran pemakaian bahan harus memenuhi spesifikasi.

2.8.2 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

Beberapa penelitian terdahulu yang sejenis adalah :

1. Penelitian Surasa (2024) dengan Judul *Perilaku Analisis Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC) Porous Dengan Bahan Tambah Serat Baja Dan Rubber* memiliki tujuan mengkaji perubahan karakteristik *Asphalt Concrete Wearing Course* Pourus yang terendam dalam air pasang dengan pemanfaatan serat baja dan *Rubber*

dibandingkan dengan *Asphalt Concrete Wearing Course* Pourus yang terendam air banjir

2. Penelitian Brajesh Mishra, Ravi Shankar Mishra (2015) dengan Judul *A Study on Use of Waste Plastic Materials in Flexible Pavements*. Pada penelitian limbah plastik dapat dengan mudah digunakan sebagai pengubah untuk campuran beton bituminous karena dilapisi di atas agregat campuran dan mengurangi porositas, penyerapan kelembaban dan meningkatkan properti campuran yang mengikat. Aspal Optimal Konten (OBC) ditemukan 5,43% dengan berat agregat. Kandungan Plastik Optimal (OPC) yang akan ditambahkan sebagai pengubah campuran beton bituminous ditemukan 9,73% berat *Optimum Bitumen Content* (OBC) dari campuran beton aspal. Campuran beton bituminous diPourus dengan agregat dilapisi plastik limbah menunjukkan lebih tinggi (sekitar 21%) Stabilitas *Marshall* dan nilai aliran yang lebih tinggi dibandingkan dengan kinerja *mix pavement* beton bituminous konvensional. Penggunaan plastik limbah dalam aspal campuran beton dengan demikian berkontribusi pada pembangunan jalan hijau dan memecahkan masalah pembuangannya yang aman
3. Penelitian Mohd Ezree Abdullah, Siti Aminah Abd Kader, Ramadhansyah Putra Jaya, Haryati Yaacob, Norhidayah Abdul Hassan, and Che Norazman Che Wan dengan Judul *A Study on Use of Waste Plastic Materials in Flexible Pavements*. Pada Hasil menunjukkan bahwa campuran dengan 4% plastik memiliki stabilitas tertinggi (184kN). Namun, stabilitas sedikit menurun dengan peningkatan aditif plastik. Dilain pihak kekuatan tarik tertinggi di antara beton aspal yang diPourus adalah 1049kPa (tambah 8% plastik). Campuran aspal yang diPourus dengan plastik 8% memiliki modulus tangguh tertinggi, yaitu 3422 MPa (25 °C) dan 494Mpa (40°C). Dimana modulus creep tertinggi tercatat 73,30Mpa di 8% plastik ditambahkan. Dapat disimpulkan bahwa penambahan 8% plastik memberikan sifat nilai tertinggi dari campuran aspal. Akhirnya, dapat dikatakan bahwa 8% plastik adalah nilai tambah yang optimal

4. Penelitian Sonali Gadpalliwar, Shraddha Kathalkar, Nikhil Agrawal (2018) dengan Judul *Experimental Study of Steel Slag Used As Aggregate in Asphalt Mixture* Pada Setelah melakukan pengujian, mengevaluasi, dan menganalisa hasil pengujian test *Marshall* pada 2 jenis perendaman, perendaman air tawar dan perendaman air laut yang disertai variasi suhu, variasi kadar garam, dan variasi durasi perendaman, secara umum dapat dilihat bahwa air laut lebih mempengaruhi nilai stabilitas dan kelelahan (*Flow*)
5. Penelitian Rajib Muammar, Sofyan M. Saleh , Yuhanis Yunus (2018) dengan Judul Durabilitas Campuran Laston Lapis Aus (Ac-Wc) di Substitusi Limbah *Low Density Polyethylene* (Ldpe) dengan Cara Kering Terhadap Rendaman Kotoran Sapi, Durabilitas campuran aspal beton substitusi limbah plastik LDPE dengan cara kering pada rendaman kotoran sapi masih memenuhi standar bina marga yaitu lebih besar 90%, namun pada benda uji tanpa substitusi LDPE rendaman 48 jam tidak memenuhi standar.
6. Penelitian Emil Adly , Anita Rahmawati , Nurul Firkathi Hidayah (2019) dengan Judul *The Performance of AC-WC Asphalt Mixture with Eco-Friendly Steel Slag Against Sea Tidal Impact* dengan Berdasarkan penelitian dan data eksperimental untuk limbah plastik yang diPourus campuran beton bituminous dibandingkan dengan campuran beton aspal konvensional, kesimpulan berikut dapat ditarik- Hasilnya menunjukkan bahwa limbah plastic dapat dengan mudah digunakan sebagai pengubah untuk campuran beton bituminous karena dilapisi di atas agregat campuran dan mengurangi porositas, penyerapan kelembaban dan meningkatkan properti campuran yang mengikat. Aspal Optimal Konten (OBC) ditemukan 5,43% dengan berat agregat. Kandungan Plastik Optimal (OPC) yang akan ditambahkan sebagai penggunaan terak baja sebagai campuran dan Pourus bahan memenuhi kualifikasi *Marshall* standar, tetapi dalam pengobatan pencelupan yang dilakukan dalam penelitian ini, itu menjadi tidak cocok untuk penggunaan jalan.

7. Penelitian Manu Sasidharan, Dr Mehran Eskandari Torbaghan & Dr Michael Burrow (2019) dengan judul Using waste plastics in road construction memiliki hasil Penggunaan sampah plastik dalam konstruksi jalan tergantung pada sistem kualitas yang baik untuk mengumpulkan, menyortir, dan membersihkan sampah plastik. Pemisahan sampah penting karena hanya jenis sampah plastik berikut yang dapat digunakan untuk pembangunan jalan :

- Film (tas pembawa, cangkir sekali pakai) ketebalan hingga 60 mikron (PE, PP, PS)
- Busa keras (PS) dari ketebalan apa pun
- Busa lunak (PE dan PP) dari ketebalan apa pun
- Plastik laminasi ketebalan hingga 60 mikron



2.9 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Nadya Tesalonika Sembung, Theo K. Sendow, Steve Palenewen (2020)	Analisa Campuran Aspal <i>Porous</i> Menggunakan Material dari Kakasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon	American Standart for Testing and Materials (ASTM), American Association of State Higmay and Transportation Official (AASHTO) dan Standar Nasional Indonesia (SNI)	Material dari Kakasen Tomohon, Kota Tomohon	Hasil pada Pengujian Permeabilitas yang ditunjukkan dari variasi kadar aspal 3%,4%,5%,6%,7% dengan masing-masing variasi kadar aspal dibuat 3 benda uji dengan menghasilkan nilai koefisien permeabilitas dan volume atau rembesan air. Untuk yang lolos didapatkan nilai 213,35 dan memiliki rata-rata koefisien permeabilitas 0,342. Dengan membuat benda uji khusus campuran aspal porous diperoleh kadar aspal optimum 5,5%, semakin besar kadar aspal nilai stabilitas semakin meningkat, namun demikian nilai stabilitas pada kadar aspal optimum didapat 570kg untuk syarat minimal sebesar 500kg.
Ahmad Daudy, Sulaiman AR, Guzrizal (2021)	Pengaruh Abu Cangkang Kopi pada Campuran Aspal Pourus Menggunakan Aspal Polymer sebagai bahan pengikat	Metode yang digunakan dengan melakukan pengamatan langsung (<i>participant</i>) di Laboratorium. Dengan kadar cangkang kopi 0,5%,1%,1,5%, 2% dan 2,5%	Abu cangkang kopi dan Aspal Polymer	Kadar cangkang kopi 1% diperoleh hasil 346,1 kg/mm ,kadar cangkang kopi 1,5% diperoleh hasil 301,8 kg/mm ,kadar cangkang kopi 2% diperoleh hasil diperoleh hasil 299,6%/mm,kadar cangkang kopi 2,5% diperoleh hasil 274,1 kg/mm,kadar cangkang kopi 3% diperoleh hasil 259,5 kg/mm, Hasil pengujian Marshall pada benda uji aspal porous dengan penambahan abu cangkang kopi (0,5%-2,5%) pada KAO, dengan tumbukan 2x50 diperoleh nilai parameter Marshall seperti di perlihatkan pada grafik menunjukan nilai permeabilita, stabilitas,flow, VIM,dan MQ.

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Amirudin,Ibrahi m, Ika Sulianti,Agus Subrianto (2018)	Studi Pengaruh Penambahan Buton Granular Asphalt 5/20 terhadap karakteristik Marshall CampuranAsphalt Panas AC- WC	Persen presentase Buton Granula Asphalt(BGA) 0%, 3%, and 5%, dari campuran desain. Dengan kadar bahan penpengikat rencana (4,5 % - 6,5 %)	Sifat campuran aspal yang mengandung Buton Granular aspal (BGA)	Hasil menunjukkan bahwa campuran dengan kadar aspal optimum (KAO) digunakan kadar dapat yang memenuhi semua parameter Marshall,sehingga berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai KAO denganBGAs sebesar 0%. 3%, 5%.5,85%, 5,9% dan 6%.Hasil ini dinilai memuaskan karena nilainya lebih tinggi dari kadar aspal (Pb) optimal. ditemukan bahwa semakin banyak BGA yang digunakan, semakin besar pula kebutuhan aspal untuk mencapai kadar optimum
Kurniawan Eka Yunantol, Purwol Mahardi, yolgiel Risdiantol (2019)	Analisa Campuran AC-WC dengan Agregat Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan filler FlyAsh sebagai campuran induk untuk penambahan Styrofom (Polystyrene)	Analisa pengujian aspal wearing course (AC- WC) dengan bahan reclaimed asphalt pavement (RAP) yang di subtitusikan terhadap agregat dan penggunaan fly ash sebagai filler serta penambahan Styofom kedalam campuran kedalam campuran dengan metode kering	Agregat asphalt pavement (RAP) dan Filler Fly ash	Dari pengaruh penggunaan agregat RAP (Recaimed Asphalt Pavement) dan fly ash sebagai filler pada campuran AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course), dapat disimpulkan bahwa KAO yang dihasilkan dari penggunaan RAP 21% adalah sebesar 5,25%. Sebuah campuran. Nilai stabilitas Marshall 1256,64 kg, nilai leleh atau alir 3,25 mm, V.I.M 4,51%, V.M.A 15,12%, V.F.A 70,20% dan Koefisien Marshall 387,67 kg/mm.
Molhamad Yusup Awang Ma'ruf, YogielRisdiantol (2016)	Pemanfaatan Material Lokal Dalam Pembuatan Aspal Porous Tipe AC-WC Yang Aman Dan Ramah Lingkungan	Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 sebagai bahan pengikat dengan kadar aspal campuran (KAO) 6,1%.	Material pembuatan Aspal AC-WC	Hasil penelitian agregat halus nilai stabilitas yaitu 1277 kg, 638 kg, 831 kg, pada variasi pengurangan presentase agregat halus 45% yang di distribusikan ke jumlah presentase agregat kasar nilai stabilitas yaitu 1205 kg, 873 kg, 658 kg. Pada variasi pengurangan presentase agregat halus sebesar 60%

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Nunung Martina ,Muhamad Fathur Rouf Hasan,Yanuar Setiawan (2017)	Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus Pada Campuran Aspal Porous	Pengujian pada Campuran aspal dengan menggunakan material Serbuk BanBekas	Campuran aspal panas,BGA,aditif Sbs.	Hasil pelnelitian ini didapatkan penggunaan serbuk ban bekas dapat mengurangi limbah ban bekas sebesar 3,03 ton per 1 km pekerjaan kontruksiperkerasan jalan. Sehingga penelitian ini dirasa cukup menjadi solusi dalammenangani permasalahan lingkungan yaitu pengolahanlimbah ban bekas.
Molhamad Yusup AwangMa'ruf, YogiRisdiantol (2015)	Pengaruh Penggunaan BGA(Buton GranularAsphalt) pada perencanaan aspalBeton AC-WC pen 60/70 dengan menggunakan fly Ash sebagai Fillelr	Pengujian lapisan aspal beton hot mix pada AC- WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) AC- WC menggunakan asbuton butir tipe BGA terhadap karakteristk Marshall menggunakan alat Marshall test.	Buton Granular Asphalt (BGA) dan filler Fly Ash	Hasil pada penelitian untuk kadar aspal (KAO) optimum pada campuran AC-WC adalah 5,55b AC-WC menggunakan aspal pen 60/70 dengan BGA tipe Asbuton yaitu sebesar 4,55%. Lapisan Beton Aspal AC-WC Nilai stabil properti Marshall sebesar 1244 kg, nilai leleh atau flow sebesar 3,4 mm, VIM 3,55%, VMA 15,9%,VFB 77,6 dan koefisien Marshall sebesar 369,37 kg/mm dengan AC. Aspal lapis beton WC aspal stick 60/70 dengan jenis aspal buton BGA memiliki nilai stabilitas 1724 kg, nilai atau flolw 3,1 mm, VIM 5,08%, VMA 15,026%, VFB 66,19, koefisien Marshall 562 kg
A. Martha K. (2014)	Analisis Kinelrja Campuran Aspal Panas dengan Melnggunakan Variasi Kolmposisi (Butoln Granular Asphalt) dan Pelnambahan AditifJenis Polimerl	Pengujian campuran aspal dengan menggunakan material BGA dan polimer SBS	Campuran aspal panas, BGA,Aditif,SBS	Hasil pengujian menunjukkancampuran aspal modifikasipollimer P4- B5 memilikinilai stabilitastertinggi 1333,181kg.Namun pertimbangan ekonomis darimaterial yang digunakan pada campuran aspal tersebut menjadikan campuran aspalP2-B7 sebagai pilihancampuran yang paling cocok untuk diterapkan

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Sasi Kirana Zahrani, Tiara Azkia Rahmawati	Analisis Aspal Concrete Wearing Course (AC-WC) Porous dengan Bahan Tambah Serat Selulosa dan Rubber	Pengujian Aspal dengan campuran bahan serat selulosa dan rubber menggunakan pengujian <i>marshall</i> Komposisi pada Benda uji yang akan digunakan berupa aspal, sedikit agregat halus, agregat kasar, dan filler	Serat Selulosa dan Rubber	Berdasarkan kondisi jalan yang menggenang, maka penulis akan melakukan Penelitian dan Analisa Aspal Concrete Wearing Course (AC-WC) Porus dengan Bahan Tambah Serat Selulosa dan Rubber guna mencegah kerusakan akibat penggenangan air di permukaan aspal diharapkan dapat diminimalisir dengan menggunakan campuran material yang diteliti.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tipe Penelitian

Selanjutnya, metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mencari pengaruh perlakuan tertentu terhadap yang lain dalam kondisi yang terkendalikan (Jaya et al., 2019). Berdasarkan definisi dari beberapa ahli tersebut, dapat dipahami bahwa penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian suatu *treatment* atau perlakuan terhadap subjek penelitian.

Menurut (Jaya et al., 2019), penelitian eksperimen dalam bidang pendidikan dibedakan menjadi dua yaitu penelitian di dalam laboratorium dan di luar laboratorium. Dalam penelitian ini, eksperimen dilakukan di laboratorium dengan memberikan perlakuan berupa perendaman terhadap *Asphalt Concrete Wearing Course* Pours. *Asphalt Concrete Wearing Course* Pours direndam dalam air standar laboratorium, air banjir, dan air dengan kandungan klorida (Cl) yang berbeda-beda. Durasi perendaman 7 hari, 14 hari dan 21 hari serta metode perendaman terdiri dari perendaman dengan pola menerus (*continuous*) dan perendaman dengan pola berkala/ siklik (*intermittent*).

3.2 Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain;

- a) Air banjir banjir yang digunakan berasal dari air Banjir dari Jl. Barito Semarang Timur.
- b) Agregat kasar, halus, *filler* diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) di AMP (*Asphalt Mixing Plant*) PT. Perwita Karya Sembung Batang Jawa Tengah.
- c) Bahan aspal menggunakan Aspal Polimer JAP – 57.
- d) *Low Density Polyethylene* atau LDPE adalah bahan plastik yang paling umum digunakan. Karakter fisiknya sangat fleksibel dan mudah

diaplikasikan ke berbagai permukaan. Jenis polietilena ini bisa ditemukan penggunaannya pada konstruksi, terpal pelindung, dan pelapis pada lahan agrikultur digunakan kadar 2%, 4%, 6%, 10% dan 18% dari Kadar Aspal Optimum (KAO) pada bahan LDPE ini.

- e) Bahan *coarse aggregate* yang menjadi obyek penelitian adalah hasil pemecahan dan penumbukan bongkahan *Slag* yang diambil dari pusat pengolahan besi atau pemurnian logam di Desa Batur Kecamatan Ceper, Kabupaten Klaten dengan variasi kadar *coarse aggregate Slag* adalah 100 % *coarse aggregate Slag*, 100 % *coarse aggregate* Batu Pecah, dan 50% *coarse aggregate Slag* ditambah 50% *coarse aggregate* Batu Pecah.
- f) Bahan serat baja adalah bahan campuran aspal porus yang memiliki sejumlah besar pori-pori atau rongga di dalamnya, serat selulosa diharapkan dapat meningkatkan ketahanan terhadap retakan, meningkatkan kekuatan, pengurangan permeabilitas, peningkatan kinerja pada suhu rendah, dan peningkatan karakteristik pada campuran aspal porus. Jenis beton serat yang menggunakan serat baja sebagai bahan penguat. Serat baja digunakan untuk meningkatkan kekuatan tarik beton dan meredam retakan yang mungkin terjadi.
- g) Bahan *Rubber* digunakan dalam bahan campuran aspal porus yang bertujuan untuk peningkatan terhadap retakan, peningkatan kekuatan dan ketahanan terhadap deformasi, pengurangan permeabilitas, peningkatan kinerja pada suhu rendah, dan peningkatan karakteristik pada campuran aspal porus.

3.2.2 Uji Bahan Penelitian

Pengujian Bahan Aspal JAP 57 penelitian meliputi:

a. *Original Wearing*

1. Penetrasi pada 25 °C,
2. Titik Lembek,
3. Titik Nyala (COC),
4. Daktilitas,
5. Kelarutan dalam *Trichloroethylene*,
6. Berat Jenis Bitumen Keras,
7. Stabilitas Penyimpanan (Perbedaan Titik Lembek) 40,
8. Viskositas Kinematis pada suhu 135 °C,
9. Kehilangan berat (*The Rolling Thin Film Oven Test / RTFOT*),
10. Kehilangan berat (RTFOT),
11. Penetrasi pada 25 °C setelah RTFOT,
12. Daktilitas setelah RTFOT,
13. DSR (*Dynamic Shear Rheometer*) (RTFOT) *fail Temperature*,
14. PAV (*Pressure Aging Vessel*),
15. DSR PAV @ 5000 kPa *fail Temperature*.

3.2.3 Peralatan Penelitian

a) Alat Penguji Agregat dan *Filler*

Alat yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain, mesin *Los Angeles* (tes abrasi), saringan standar (penyusunan gradasi agregat), alat pengering (oven), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), bak perendaman dan tabung *Sand Equivalent*.

b) Alat Penguji Aspal

Alat yang digunakan untuk pengujian aspal antara lain; alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), dan alat uji kelarutan.

c) Alat Pengujian Campuran Metode *Marshall*

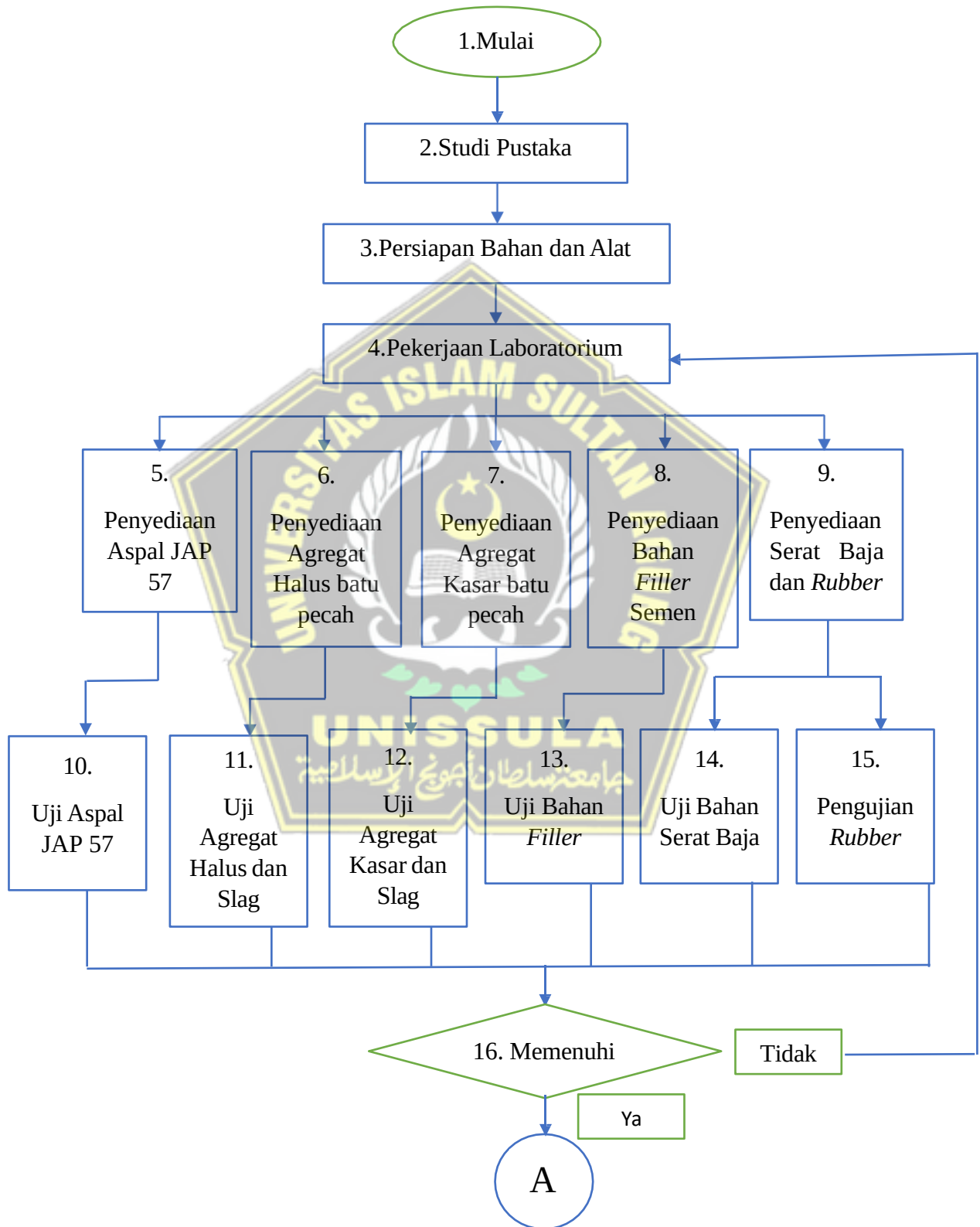
Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi;

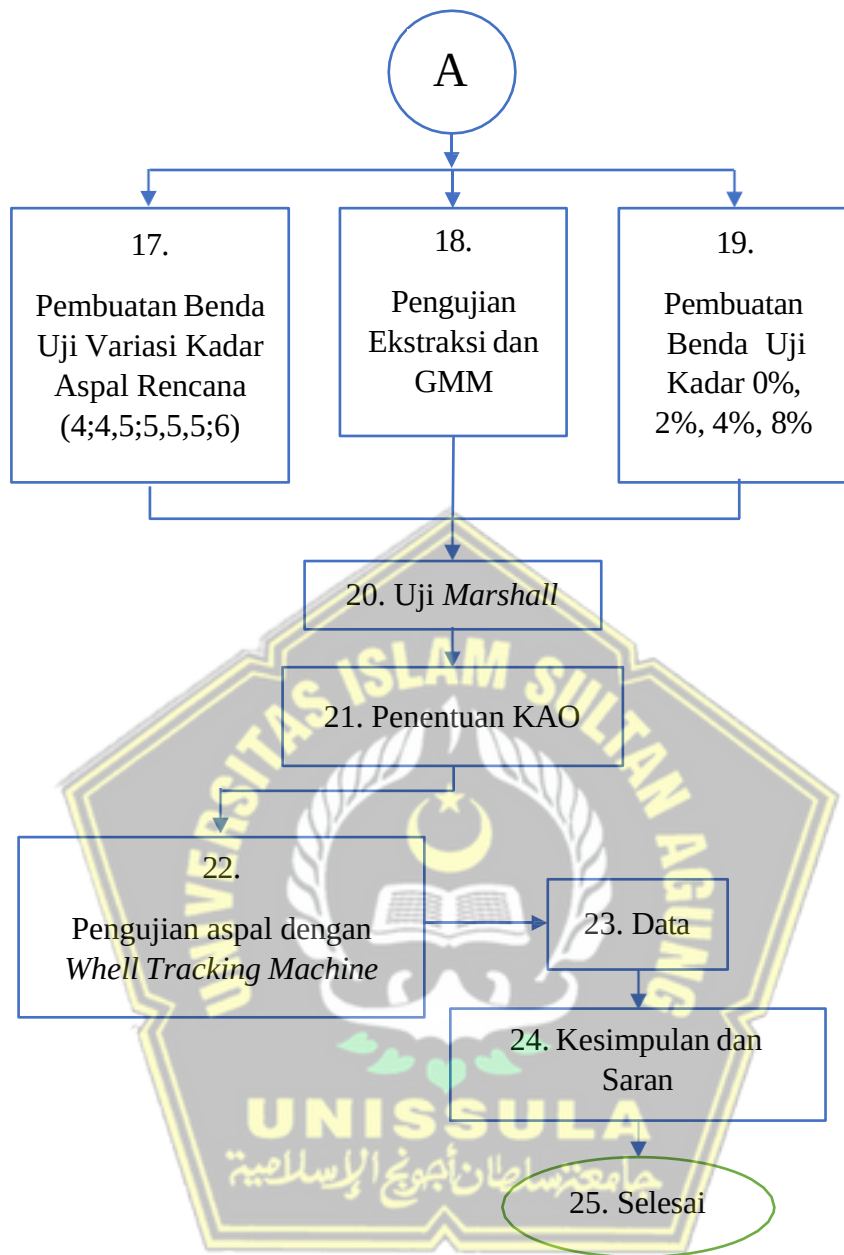
- 1) Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flow meter*).
- 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inci) dengan tinggi 7,5 cm (3 inci) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 inci) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* Pourus dan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci), berat 4,5 kg (10 lbs), dengan tinggi jatuh bebas 45,7 cm (18 inci) untuk *Marshall* standar.
- 4) *Ejektor* untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- 5) Bak perendaman (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
- 6) Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaus tangan anti panas, sarung tangan karet, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.

- d) Alat Pencacah *Low Density Polyethylene* atau LDPE adalah bahan plastic yang paling umum digunakan
- Mesin pencacah limbah plastik adalah sebuah alat yang digunakan untuk mencacah atau menghancurkan plastik. Mulai dari botol minuman, botol oli, botol jerigen, plastik lembaran dan limbah limbah plastik lainnya. Hasil cacahan plastik dapat digunakan para pengusaha sebagai bahan daur ulang plastik yang banyak dibutuhkan oleh pabrik daur ulang plastik. Umumnya cacahan tersebut biasanya berdimensi + 0,5.

3.3 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Bagan alir penelitian berupa tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan selama penelitian ini dijelaskan pada **Bagan Alir 3.1**.





Tahap awal yang dilakukan adalah melakukan studi pustaka serta mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan. Pemeriksaan agregat baik agregat kasar maupun agregat halus meliputi:

- a. Berat Jenis Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008) dan Penyerapan Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008).
- b. Tingkat Keausan atau Abrasi Agregat Kasar (berdasarkan SNI 2417:2008).
- c. Partikel Pipih dan Lonjong (berdasarkan ASTM D 4791-95).
- d. Daya Lekat Agregat terhadap Aspal (berdasarkan SNI-06-2439-1991).
- e. *Soundness* atau Uji Sifat Kekekalan Bentuk agregat (berdasarkan SNI 3407:2008).
- f. Berat Jenis Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008) dan Penyerapan Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:).
- g. Kadar Lumpur/ *Sand Equivalent Test* (berdasarkan SNI 3423 : 2008).
- h. Analisis Butiran (berdasarkan SNI-M-02-1994-03).
- i. Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal JAP-57.

Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan antara lain:

- a. Pemeriksaan penetrasi aspal (berdasarkan SNI 06-2456-1991).
- b. Pemeriksaan titik lembek (berdasarkan SNI 06-2434-1991).
- c. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar (berdasarkan SNI 06-2433-1991).
- d. Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal (berdasarkan SNI 06-2240-1991).
- e. Pemeriksaan kelarutan aspal dalam karbon tetraklorida/ CCl_4 (berdasarkan ASTM D5546).
- f. Pemeriksaan daktilitas (berdasarkan SNI 06-2432-1991).
- g. Pemeriksaan berat jenis bitumen (berdasarkan SNI 06-2441-1991).
- h. Penetrasi setelah RTFOT (berdasarkan SNI 06-2456-1991).

Setelah dilakukan semua pengujian material pembentuk campuran aspal yaitu Aspal Polimer JAP – 57 dan agregat, serta material tersebut memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah merancang dan membuat sampel yang digunakan untuk penelitian dengan metode *Marshall*. Pengujian standar terhadap benda uji untuk *Marshall* sesuai dengan prosedur yang ditentukan dalam SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-76). Perancangan dan pembuatan benda uji atau campuran aspal berdasarkan variasi kadar aspal. Berdasarkan perhitungan dengan persaaan tersebut didapatkan Pb (kadar aspal tengah/ ideal). Kadar aspal yang digunakan sebagai sampel adalah Pb - 1%, Pb - 0,5%, Pb%, Pb + 0,5%, dan Pb + 1% masing-masing menggunakan 3 sampel, penjelasan rinci pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
Pb - 1%	3
Pb - 0,5%	3
Pb%	3
Pb + 0,5%	3
Pb + 1%	3
Total	15 sampel benda uji

Setelah didapat komposisi campuran aspal, kemudian dibuat sampel benda uji. Temperatur pencampuran bahan aspal dengan agregat adalah temperatur pada saat aspal mempunyai *viskositas* kinematik sebesar 170 ± 20 centistokes, dan temperatur pemadatan adalah temperatur pada saat aspal mempunyai nilai *viskositas* kinematik sebesar 280 ± 30 centistokes. Karena tidak diadakan pengujian *viskositas* kinematik aspal maka secara umum ditentukan suhu pencampuran berkisar antara 145 °C-155 °C, sedangkan suhu pemadatan antara 110 °C-135 °C, mengacu pada penelitian terdahulu yang dilakukan Prabowo (2003) dan Riyadi (2011).

3.3.1 Analisis Data

Setelah dilakukannya serangkaian tahapan penelitian, untuk selanjutnya akan dilanjutkan sebagai berikut:

- Menganalisis hasil *job mix* terbaik dari aspal porus yang dimodifikasi dengan bahan tambah serat selulosa dan *rubber*.
- Menganalisis data nilai permeabilitas optimum pada campuran aspal porus dengan bahan tambah serat selulosa dan *rubber*.

Dengan memanfaatkan variasi kadar aspal, desain dan produksi benda uji atau campuran berupa aspal yang akan digunakan untuk memenuhi dari standar spesifikasi yang telah ditentukan. Kadar variasi yang digunakan masing-masing 0%, 2%, 4%, 8% diambil dari kadar aspal normal 5,8%, masing-masing menggunakan 3 sampel.

Berikut merupakan tabel jumlah sampel yang akan diuji

Tabel 3.2 Jumlah sampel yang akan diuji

Benda Uji	Kadar Rubber	Kadar Slag	Benda Uji	Jumlah
Benda Uji	0%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
Benda Uji	2%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
Benda Uji	4%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
Benda Uji	6%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	

Lanjutan **Tabel 3.2**

Benda Uji	8%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
Total		60 Sampel benda uji		

Pengambilan sampel benda uji dilakukan setelah ditentukan komposisi campuran aspal. Berikut merupakan tabel spesifikasi umum ketentuansyarat syarat bahan untuk campuran beraspal panas yang sudah sesuai dengan SNI 2018.

Pemadatan untuk kondisi lalu lintas berat, dilakukan penumbukan sebanyak 2 x 75 kali, dengan menggunakan alat *Marshall Compaction Hammer*. Benda uji setelah dipadatkan, disimpan pada temperatur ruang selama 24 jam, kemudian diukur tinggi dan timbang berat dalam kondisi kering. Benda uji direndam selama 24 jam dalam air, kemudian ditimbang berat dalam air dan dalam kondisi jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*) untuk mendapatkan data volumetrik aspal (kepadatan, VIM, VMA, dan VFA). Sampel kemudian direndam dalam *water bath* pada *temperature* 60 0C selama 30 menit, setelah itu diuji dengan alat Marshall untuk didapatkan data empiris (stabilitas, kelelahan dan *Marshall Quotient*). Setelah didapatkan data hasil uji *Marshall* berupa stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*, kemudian dianalisis untuk mendapatkan komposisi campuran aspal ideal. Campuran aspal ideal tersebut direndam dalam air banjir, air dengan konsentrasi klorida (Cl-) yang telah dikondisikan (5.000 mg/l Cl, 15.000 mg/l Cl, dan 25.000 mg/l Cl) untuk dapat memberikan gambaran sejauh mana lamanya rendaman mempengaruhi karakteristik campuran aspal. Pembuatan larutan klorida (Cl-) berdasarkan SNI 06-6989. 19-2004.

3.4 Metode Pengujian Perendaman Menerus dan Berkala

Perbandingan Stabilitas yang direndam dengan stabilitas air standart dinyatakan dalam persen dan disebut Indeks Stabilitas Sisa (IRS).

$$IRS = \frac{MSi}{MSs} \times 100 \% \dots\dots\dots (3.1)$$

Keterangan:

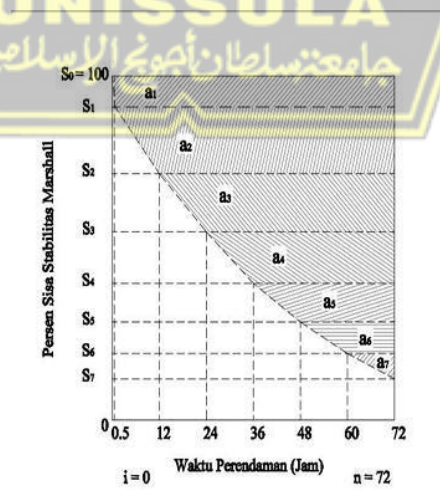
- IRS = Indeks Stabilitas Sisa
- MSi = Stabilitas *Marshall Standart* (Kg)
- MSs = Stabilitas *Marshall* Perendam (Kg)

Spesifikasi Campuran Aspal Panas Menyatakan IRS harus lebih besar dari 80%.

3.5 Metode Keawetan (*Durability*)

Durabilitas berkaitan dengan keawetan campuran terhadap rendaman air dalam kurun waktu tertentu. Durabilitas dapat ditingkatkan dengan membuat campuran aspal yang padat dan kedap serta tahan terhadap air yang didapat dari penggunaan agregat.

Karakteristik campuran setelah dilakukan perendaman selama 24 jam tidak selalu menggambarkan keawetan campuran aspal setelah masa perendaman yang lebih lama (Craus, J, et.al, 1981).



Gambar 3.1 Kurva Keawetan (Craus, J, et.al, 1981)

Tabel 3. 3 Ketentuan Syarat-Syarat Bahan untuk Campuran Beraspal Panas

HASIL PENGUJIAN KETENTUAN SYARAT-SYARAT BAHAN UNTUK CAMPURAN ASPAL PANAS							
BAHAN CAMPURAN							
NO	JENIS BAHAN	JENIS PENGUJIAN		METODE UJI	HASIL UJI		SPESIFI KASI
1	Aspal	Ketentuan Syarat Aspal			Nilai	Ya/ Tidak	Tabel (6.3.2.5)
	Jenis/type: AKAP PG-76	Berat Jenis Aspal (gr/cc)		SNI 2441: 2011		ya	Min. 1
	Supplier : AKAP PG-76	Penetrasi pada 25°C		SNI 2456: 2011		ya	60-70
		Titik Lembek (°C)		SNI 2434: 2011		ya	> 48°C
2	Agregat Kasar	Ketentuan agregat kasar:			Nilai	Ya/ Tidak	Tabel (6.3.2.1a)
	Sumber asal:	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Na. Sulfat :	SNI 3407: 2008	% (Na)	ya	Maks. 12 %
			Mg. Sulfat :		% (Na)	ya	Maks. 18 %
		AC Mod. dan SMA	100 ptr:	SNI 2417: 2008			Maks. 6 %
			100 ptr:				Maks. 30 %
	Abrasi dengan mesin Los Angeles	Semua jenis camp. gradasi lainnya	100 ptr:	SNI 2417: 2008			Maks. 8 %
			500 ptr:		ya		Maks. 40 %
		Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439: 2011		ya	Min. 40%
		Butir pecah pada Agregat Kasar (Angularitas)	SMA	SNI 7619: 2012			100 / 90%
			Lain nya		ya		95 / 95%
		Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5			Maks. 5%
			Lain nya		ya		Maks. 10%
		Material lolos No.200		SNI ASTM C117:2012		ya	Maks.1 %
		Penyerapan air				ya	Maks. 2% untuk SMA / 3% untuk Jenis Lainnya
		Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)				ya	

3	Agregat Halus (Abu Batu)	Ketentuan agregat halus:		Nilai	Ya/ Tidak	Tabel (6.3.2.2)		
	Sumber asal:	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997		ya	Min. 50%		
		Gumpalan Lempung dan Butir-butir mudah pecah dalam Agregat Angularitas dengan Uji Kadar Rongga tanpa pemadatan	SNI 03-4141-1996		ya	Maks. 1%		
			SNI 03-6877-2002		ya	Min. 45		
		Agregat lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012		ya	Maks. 10%		
		Penyerapan air				Maks. 2% untuk SMA : 3% untuk Jenis Lainnya		
		Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)			ya			
		Penggunaan Pasir Alam				Maks. 15 % Berat Total Campuran		
	CHECKING	Beda Berat Jenis Agregat Kasar dan Halus				Maks. 0,2		
4	Filler	Ketentuan penggunaan filler :		Nilai	Ya/ Tidak	Pasal (6.3.2.4)	Syarat Gradasi	
	Jenis / type :	Penggunaan Filler (Filler Added)	AASHTO M303-89 (2014)	-		Min. 1% / Maks. 2% (semen) / 3% (lain nya) dari Berat Total Agregat	Ukuran Saringan	% lolos
		(Debu Batu / Kapur / Semen / Abu Terbang)		-		Min. 75% berat filler	0,600	Hasil Uji
	Supplier:	Bahan Lolos No.200	SNI ASTM C136: 2012			Min. 95% berat filler	0,300	100
							0,075	95 - 10
5	Bahan Anti Pengelupasan	Ketentuan penggunaan bahan:		Nilai	Ya/ Tidak	Pasal (6.3.2.7)		
	Supplier:	Penggunaan Anti Stripping Agent		-		0,2 % - 0,4 % Berat Aspal	Syarat Bahan Anti Pengelupasan dalam Tabel (6.3.2.6) dan (6.3.2.7)	
CATATAN EVALUASI / REKOMENDASI:								

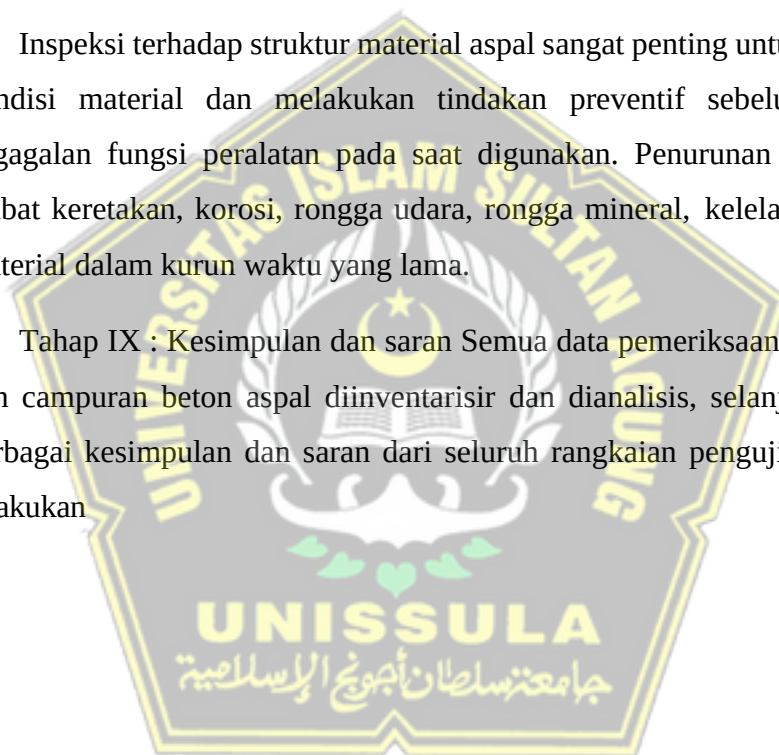
Tahap VIII : Pengujian dengan WTM (*While Tracking Machine*)

Setelah hasil terbaik dalam perendaman diketahui, pengujian mikro yang kedua yaitu menggunakan WTM (*While Tracking Machine*) yang bertujuan mengetahui hasil terbaik campuran yang akan digunakan untuk di hampar dilapangan. Campuran terbaik menjadi *Job Mix Design* aspal yang digunakan untuk air pasang (banjir) sehingga akan ditemukan aspal terbaik dan tahan terhadap air pasang atau banjir.

Pengujian perendaman *Marshall* Pourus Pengujian ini dilakukan setelah didapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) (Sumarjo et al., 2017).

Inspeksi terhadap struktur material aspal sangat penting untuk mengetahui kondisi material dan melakukan tindakan preventif sebelum terjadinya kegagalan fungsi peralatan pada saat digunakan. Penurunan fungsi terjadi akibat keretakan, korosi, rongga udara, rongga mineral, kelelahan rendaman material dalam kurun waktu yang lama.

Tahap IX : Kesimpulan dan saran Semua data pemeriksaan agregat, aspal dan campuran beton aspal diinventarisir dan dianalisis, selanjutnya didapat berbagai kesimpulan dan saran dari seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Material

Pelaksanaan penelitian dapat dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap persiapan bahan penelitian, penentuan kadar aspal, pembuatan benda uji, dan pengujian di laboratorium. Pada tahap penyediaan bahan, disiapkan antara lain Ruber yang di ambil dari PT. Perwita Karya Sembung Batang Jawa Tengah. Semua proses pembuatan benda uji dan propertis material, pengujian pada aspal dan pengujian *marshall* pada benda uji yang dilakukan di laboratorium transportasi jalan Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Dengan adanya alat bantu yang memudahkan dalam proses pengujian diharapkan dapat menghasilkan hasil yang diinginkan.



Gambar 4.1 Persiapan Bahan Rubber sebagai Bahan Tambah
Sumber: Dokumentasi Pribadi

Persiapan bahan *Rubber* dan Serat Baja *Drymix* ini diambil dari PT. Perwita Karya Sembung Batang Jawa Tengah dengan sampel yang diperlukan, yang nantinya akan digunakan sebagai bahan material pada penelitian ini.



Gambar 4.2 Persiapan Bahan Serat Baja Sebagai Bahan Tambah
Sumber: Dokumentasi Pribadi

4.2 Rancangan Campuran Aspal Pourus

Pada penelitian kali ini peneliti membuat komposisi campuran aspal dengan bahan tambah rubber dan serat selulosa kadar 0%, 2%, 4%, dan 8%. Dengan masing masing kadar ada 3 benda uji yang nantinya akan digunakan sebagai pembandingan dalam penentuan campuran yang terbaik pada penelitian ini.

Tabel 4.1 Pembuatan Benda Uji

Tabel 4.11 Pembuatan Benda Uji				
Benda Uji	Kadar Rubber	Kadar Serat Baja	Benda Uji	Jumlah
Benda Uji	0%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
Benda Uji	2%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
Benda Uji	4%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
Benda Uji	8%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
Normal Kadar Aspal (5% ; 5,5% ; 6% ; 6,5%)				12
Total				60

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

4.2.1 Pembuatan Benda Uji dengan Kadar Aspal

Komposisi aspal normal yang di rencanakan yaitu dengan kadar 5%, 5,5 6% dan 6,5%, tanpa bahan tambah Serat Baja ataupun Rubber dengan masing-masing kadar ada 3 benda uji dengan total keseluruhan terdapat 12 benda uji, dapat dilihat pada **Tabel 4.2 – Tabel 4.5**

Tabel 4.2 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)
Normal Kadar Aspal 5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44	501,6 gram
2	Pasir	3	34,2 gram
3	Medium Agregat (3/4)	12	136,8 gram
4	Medium Agregat (1/2)	40	456 gram
5	Filler	1	11,4 gram
		100	1140 gram
Keterangan Aspal			
Aspal		5	60 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.3 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)
Normal Kadar Aspal 5,5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44	498,96 gram
2	Pasir	3	34,02 gram
3	Medium Agregat (3/4)	12	136,08 gram
4	Medium Agregat (1/2)	40	453,6 gram
5	Filler	1	11,34 gram
		100	1134 gram
Keterangan Aspal			
Aspal		5,5	66 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.4 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)
Normal Kadar Aspal 6%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44	496,32 gram
2	Pasir	3	33,84 gram
3	Medium Agregat (3/4)	12	135,36 gram
4	Medium Agregat (1/2)	40	451,2 gram
5	Filler	1	11,28 gram
		100	1128 gram
Keterangan Aspal			
	Aspal	6	72 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.5 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)
Normal Kadar Aspal 6,5%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	44	493,68 gram
2	Pasir	3	33,66 gram
3	Medium Agregat (3/4)	12	134,64 gram
4	Medium Agregat (1/2)	40	448,8 gram
5	Filler	1	11,22 gram
		100	1122 gram
Keterangan Aspal			
	Aspal	6,5	78 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

4.2.2 Pembuatan Benda Uji dengan Kadar Serat Baja dan Rubber

Komposisi aspal modifikasi dengan kadar aspal 5,8% yang di rencanakan yaitu rubber dan Serat Baja dengan kadar 0%,2%, 4%, 8% untuk masing-masing setiap campuran dengan 12 benda uji, dengan total keseluruhan ada 48 benda uji untuk campuran modifikasi dapat dilihat pada **Tabel 4.6 – Tabel 4.21**

Tabel 4.6 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 0%* dan Serat Baja 0%)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		0 %	0 gram
B. Serat Baja		0 %	0 gram
C. Aspal (digunakan)			69,6 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.7 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 0%* dan Serat Baja 2%)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	Medium Agregat (1/2)	25 %	300 gram
4	Coarse Agregat (3/8)	25 %	300 gram
5	Filler	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		0 %	0 gram
B. Serat Baja		2 %	1,39 gram
C. Aspal (digunakan)			68,21 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.8 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 0% dan Serat Baja 4%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		0 %	0 gram
B. Serat Baja		4 %	2,78 gram
C. Aspal (digunakan)			68,21 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4. 9 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 0% dan Serat Baja 8%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		0 %	0 gram
B. Serat Baja		8 %	5,57 gram
C. Aspal (digunakan)			64,03 gram

Tabel 4.10 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 2% dan Serat Baja 0%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		2 %	0 gram
B. Serat Baja		0 %	0 gram
C. Aspal (digunakan)			69,6 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.11 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 2% dan Serat Baja 2%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		2 %	1,39 gram
B. Serat Baja		2 %	1,39 gram
C. Aspal (digunakan)			66,82 gram

Tabel 4.12 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 2% dan Serat Baja 4%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		2 %	1,39 gram
B. Serat Baja		4 %	2,78 gram
C. Aspal (digunakan)			65,43 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.13 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 2% dan Serat Baja 8%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		2 %	1,392 gram
B. Serat Baja		8 %	5,568 gram
C. Aspal (digunakan)			62,64 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.14 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 4%* dan *Serat Baja 0%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		4 %	2,78 gram
B. Serat Baja		0 %	0 gram
C. Aspal (digunakan)			66,82 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.15 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 4%* dan *Serat Baja 2%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		4 %	2,78 gram
B. Serat Baja		2 %	1,39 gram
C. Aspal (digunakan)			65,43 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.16 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 4%* dan *Serat Baja 4%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		4 %	2,78 gram
B. Serat Baja		4 %	2,78 gram
C. Aspal (digunakan)			64,04 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.17 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 4%* dan *Serat Baja 8%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		4 %	2,78 gram
B. Serat Baja		8 %	5,57 gram
C. Aspal (digunakan)			61,25 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.18 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 8% dan Serat Baja 0%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		8 %	5,57 gram
B. Serat Baja		0 %	0 gram
C. Aspal (digunakan)			64,03 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.19 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 8% dan Serat Baja 2%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		8 %	5,57 gram
B. Serat Baja		2 %	1,39 gram
C. Aspal (digunakan)			62,64 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.20 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 8% dan Serat Baja 4%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		8 %	5,57 gram
B. Serat Baja		4 %	2,78 gram
C. Aspal (digunakan)			61,25 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4.21 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan kadar (*Rubber 8% dan Serat Baja 8%*)

No	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40 %	480 gram
2	Pasir	3 %	36 gram
3	<i>Medium Agregat (1/2)</i>	25 %	300 gram
4	<i>Coarse Agregat (3/8)</i>	25 %	300 gram
5	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100 %	1200 gram
Keterangan Aspal			
A. Rubber		8 %	5,57 gram
B. Serat Baja		8 %	5,57 gram
C. Aspal (digunakan)			58,46 gram

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

4.3 Pengujian Laboratorium

4.3.1 Hasil Pengujian Aspal Polimer (JAP 57)

Hasil Pemeriksaan Aspal Polimer yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aspal Polimer JAP 57 (Jaya Trade Aspal). Pengujian yang dilakukan untuk aspal polimer ini adalah 7 parameter yaitu penetrasi, titik nyal, titik lembek, kelarutan dalam CCl_4 , daktilitas, penetrasi kehilangan berat dan viskositas. Parameter tersebut dapat mewakili karakteristik utama dari aspal polimer untuk diaplikasikan sebagai campuran untuk perkerasan lentur.

Hasil Pengujian Aspal tertera pada **Tabel 4.22** dengan menggunakan perbandingan berdasarkan dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/ 1976 Bina Marga.

Tabel 4.22 Pengujian Aspal JAP 57 (Jaya Aspal Polymer)

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal JAP 57		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi
			Min	Max		
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	50	80	55,9	SNI-06-2456-1991
2	Titik Lembek 5°C (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	54	-	56,65	SNI-06-2434-1991
3	Titik Nyala (<i>Cleaveland Open Cup</i>)	°C	232	-	351,5	SNI-06-2433-1991
4	Kelarutan dalam CCl_4	%	99	-	99,93	SNI-06-2438-1991
5	Daktilitas	cm	50	-	>150	SNI-06-2432-1991
6	Penetrasi setelah Kehilangan Berat	%	54	-	61,90	SNI-06-2440-1991
7	Viskositas Kinematis suhu 135°C	cst	-	3000	1365,5	AASHTO T316-13

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada Suhu pencampuran aspal polimer, kemampuan pengaduk untuk digunakan, dan jumlah waktu yang diperlukan untuk pencampuran, semuanya berperan dalam proses tersebut. Dalam penelitiannya yang bertajuk Evaluasi dan Optimasi Sifat Rekayasa: Polimer Moxified Ashpalt, J.S. Chen, MC Liao, dan H.H. Tsai (2012) melaporkan bahwa proses pencampuran aspal

polimer berlangsung antara dua hingga tiga jam, bergantung pada kapasitas pengaduk 2000 rpm dan kisaran suhu 150°C hingga 170°C. Pengujian Agregat

Tabel 4.23 menampilkan hasil pengujian agregat berdasarkan perbandingan Jalan Raya dengan Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976.

4.3.2 Hasil Pengujian Agregat

Tabel 4. 23 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat Kasar				
1	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI-03-2417-2008	Maks. 40%	14,01%	Memenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap aspal Pen 60/70	SNI-03-2439-2011	Min. 95%	98%	Memenuhi
3	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	8,89%	Memenuhi
4	Material lolos saringan no. 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,6%	Memenuhi
5	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat kasar ½ b. Agregat kasar 3/8	SNI-03-1969-1990	Maks. 3%	1,583% 2,064%	Memenuhi
6	Berat Jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>) a. Agregat kasar 0.5/1 b. Agregat Kasar 1/2	SNI-03-1969-1990	Min. 2,5%	2,661% 2,652%	Memenuhi
B	Agregat Halus				
1	Material lolos saringan no. 200	SNI-03-1969-1990	Maks. 15%	10,56%	Memenuhi
2	Angularitas	SNI-03-6877-2002	Min. 45%	46,92%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat Halus (Pasir) b. Agregat Halus (Abu Batu)	SNI-03-1969-1990	Maks. 3%	1,583% 2,064%	Memenuhi
4	Berat Jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>) a. Agregat Halus (Pasir) b. Agregat Halus (Abu Batu)	SNI-03-1969-1990	Min. 2,5	2,651% 2,652%	Memenuhi

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Karena material berasal dari PT. Perwita Karya Sembung Batang Jawa Tengah memenuhi persyaratan Spesifikasi 2018, dimana seluruh hasil pengujian material agregat berasal dari penghancuran batu *Stone Crusher* dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP)

4.3.3 Hasil Pengujian Hot Bin II

Hot Bin II terdiri dari material Coarse Agregat atau agregat kasar yang dapat lolos saringan 1½-½ dan tertahan mulai dari saringan ½ sampai dengan saringan #200, yang dapat dilihat pada **Tabel 4.24**

Tabel 4.24 Hasil Analisis Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T. 27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				inch			
1½"	37,5				1½"			
1"	25,0				1"			
¾"	19,0	-	-	100	¾"	-	-	100
½"	12,5	1.779	28,66	71,34	½"	1.792	30,90	69,10
⅜"	9,5	4.711	75,89	24,11	⅜"	4.221	72,78	27,22
# 4	4,75	6.114	98,49	1,51	# 4	5.705	98,36	1,64
# 8	2,36	6.138	98,87	1,13	# 8	5.778	99,62	0,38
# 16	1,15	6.190	99,71	0,29	# 16	5.781	99,67	0,33
# 30	0,6	6.192	99,74	0,26	# 30	5.781	99,67	0,33
# 50	0,3	6.193	99,76	0,24	# 50	5.781	99,67	0,33
#100	0,15	6.193	99,76	0,24	#100	5.781	99,67	0,33
# 200	0,075	6.193	99,76	0,24	# 200	5.781	99,67	0,33
Weight Of Sample (gr)		6.208			5.800			

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan analisa pada saringan agregat kasar Hot Bin II sebanyak 70,22% agregat melewati saringan ¾" dan 69,10% tertahan pada saringan ½" atau 9,52mm, menurut pemeriksaan filter agregat kasar Hot Bin II. Sementara itu, sebesar 25% dari hasil semua sampel agregat saringan sedang lolos saringan ⅜" dan tertahan pada saringan No. 4, atau 4,75 mm kali 1,5, untuk saringan agregat sedang.

4.3.4 Hasil Pengujian Hot Bin III

Hot Bin III terdiri dari material Medium Agregat atau agregat kasar yang lolos saringan 1½-½ dan tertahan mulai dari saringan 3/8 sampai dengan saringan #200.

Tabel 4.25 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE ZIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				inch			
11/2"	37,5				11/2"			
1"	25,0				1"			
3/4"	19,0				3/4"			
1/2"	12,5	-	-	100	1/2"	-	-	100
3/8"	9,5	605	18,26	8174	3/8"	570	17,03	82,97
# 4	4,75	2.103	63,46	36,54	# 4	2.325	69,44	30,56
# 8	2,36	3.102	93,60	6,40	# 8	3.155	94,24	5,76
# 16	1,15	3.245	97,92	2,08	# 16	3.257	97,28	2,72
# 30	0,6	3.251	98,10	1,90	# 30	3.269	97,64	2,36
# 50	0,3	3.257	98,28	1,72	# 50	3.286	98,15	1,85
#100	0,15	3.267	98,58	1,42	#100	3.299	98,54	1,46
# 200	0,075	3.280	98,97	1,03	# 200	3.327	99,37	0,63
Weight Olf Sample (gr)		3.314			3.348			

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan analisa pada saringan agregat kasar Hot Bin III sebanyak 100% 82,35% agregat yang lolos saringan dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,52 mm tertahan, menurut analisis yang dilakukan pada saringan agregat kasar Hot Bin III. Sebaliknya, mengenai sebaran agregat sedang, 82,97% agregat agregat yang lolos saringan 3/8" dan tertahan hingga 33,55% pada saringan No. 4 atau 4,76 mm.

4.3.5 Hasil Pengujian Hot Bin IV

Ho Bin IV merupakan material Agregat Halus dapat lolos saringan 1 ½ - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8. Hasil Pengujian ini dilakukan langsung sesuai dengan langkah-langkah yang ditentukan.

Tabel 4.26 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE	Per cobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				inch			
1 1/2"	37,5				1 1/2"			
1"	25,0				1"			
3/4"	19,0				3/4"			
1/2"	12,5				1/2"			
3/8"	9,5				3/8"			
# 4	4,75	-	-	100	# 4	-	-	100
# 8	2,36	185,3	24,12	75,88	# 8	170,1	20,71	79,29
# 16	1,15	398,3	51,84	48,16	# 16	413,6	50,36	49,64
# 30	0,6	535,0	69,63	30,37	# 30	540,4	65,80	34,20
# 50	0,3	565,0	73,54	26,46	# 50	630,0	76,71	23,29
#100	0,15	641,7	83,52	16,48	#100	684,8	83,38	16,62
# 200	0,075	707,2	92,05	7,95	# 200	755,1	91,94	8,06
Weight Of Sample (gr)		768,3			821,3			

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan studi saringan, agregat yang lolos saringan ½" dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,52 mm 100% agregat kasar di Hot Bin IV. Dari segi sebaran agregat sedang, agregat yang lolos saringan No. 4" dan tertahan pada saringan No. 8 atau 1,15 mm sebanyak-banyaknya 77,58% merupakan 100% dari total sampel saringan sedang. Setiap saringan diisi dengan agregat halus di dalamnya.

4.3.6 Hasil Pengujian Pasir

Pasir merupakan material Agregat Halus yang lolos saringan 1% #30 dan tertakan mulai dari saringan #50. Dari hasil pengujian pasir ini dilakukan sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan.

Tabel 4.27 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIE VE SIZE		Percobaan 01			Rata-rata Lolos	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LoLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				Inch			
11/2"	37.5	0.00	0.00	100.00	11/2"	0.00	0.00	100.00
1"	25.0	0.00	0.00	100.00	1"	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.0	0.00	0.00	100.00	3/4"	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.5	0.00	0.00	100.00	1/2"	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.5	0.00	0.00	100.00	3/8"	0.00	0.00	100.00
# 4	4.75	0.00	0.00	100.00	# 4	0.00	0.00	100.00
# 8	2.36	0.00	0.00	100.00	# 8	0.00	0.00	100.00
# 16	1.15	0.00	0.00	100.00	# 16	0.00	0.00	100.00
# 30	0.6	0.00	0.00	100.00	# 30	0.00	0.00	100.00
# 50	0.3	305.8	61.16	38.84	# 50	275.2	55.04	44.96
#100	0.15	417.5	83.50	16.50	#100	421.4	84.28	15.72
# 200	0.075	478.2	95.64	4.36	# 200	461.2	92.24	7.76
Weight Of Sample (gr)		500.0				500.0		

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Untuk agregat halus pasir sebanyak 100% merupakan agregat yang lolos saringan No. 30" atau 0.6 mm dan tertahan pada saringan No.50" atau 0.3 mm sebanyak 44,96%. Dalam hal distribusi agregat sedang, agregat yang lolos saringan No. 30" dan tertahan pada saringan No. #50, atau 2,36 mm, merupakan 100% dari total sampel analisis saringan sedang. Ini dipisahkan ke dalam setiap saringan untuk agregat halus.

4.3.7 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

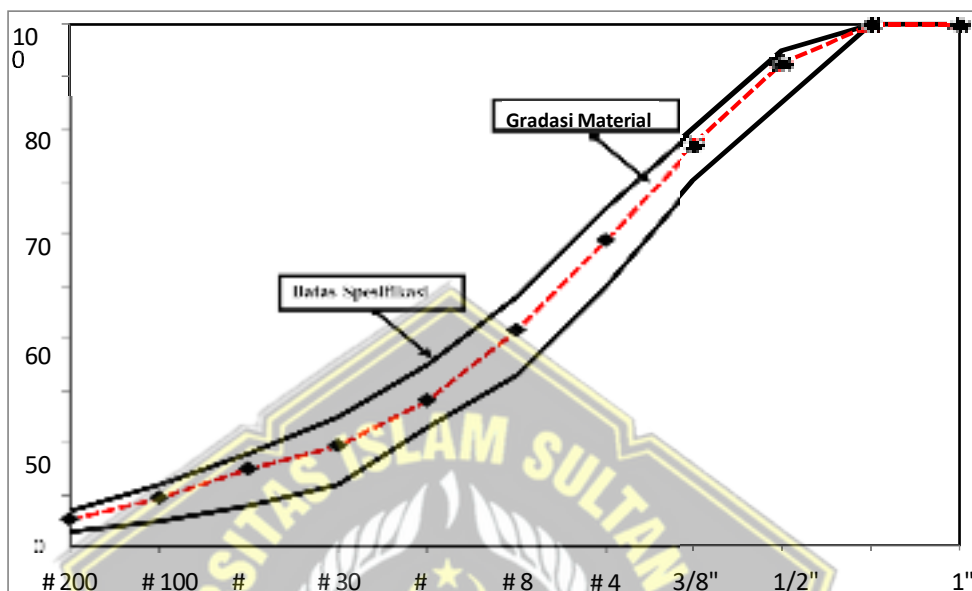
Kombinasi agregat adalah pengambungan dari masing-masing agregat yang lolos saringan dan tertahan mulai dari saringan ukuran sampai dengan # 200, yang terdiri dari Hot Bin II,III,IV Pasir,dan Filler.

Tabel 4.28 Perhitungan Kombinasi Agregat
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

No. Saringan	Prosentase lolos	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos	Batas Bawah	Batas Atas
# 200	4.12	2	7
# 100	7.13	5	12
# 50	11.61	8	18
# 30	15.11	12	25
# 16	21.74	23	35
# 8	31.34	33	48
# 4	56.65	50	65
3/8"	69.59	70	80
1/2"	87.5	85	95
3/4"	100.0	100	100
1"	100.0	100	100

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Dari **Tabel 4.28** hasil kombinasi agregat dengan total campuran gradasi agregat tiap saringan tidak boleh melebihi batas Max dan Min dari spesifikasi gradasi yang telah ditetapkan, dalam hal ini hasil dari penelitian bisa dilihat pada Gambar 4.3 Kombinasi Agregat.



Gambar 4.3 Kombinasi Agregat
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada pembacaan **Gambar 4.3** Persentase kombinasi agregat yang lolos filter no. 200 atau 200 mm sampai dalam 1' tidak diperbolehkan melewati atau di bawah batas bawah dan atas setiap agregat yang disaring. Tidak diperkenankan menggunakan agregat yang telah melampaui batas atas atau batas bawah sebagai bahan pengisi pada *Wearing Course AC-WC*.

4.4 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Pengujian Laboratorium

Berdasarkan Hasil pemeriksaan pengujian laboratorium diperoleh data pada Tabel 4.30, dalam pemeriksaan campuran ini untuk Hot Bin I mendapatkan hasil 0. karena kita menggunakan ukuran saringan I tapi pada pengujian ini dimulai dari Hot Bin II yang menggunakan saringan sampai dengan *filler*.

Tabel 4.29 Pemeriksaan Pengujian Laboratorium

(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

URAIAN PEMERIKSAAN		HASIL	SPESIFIKASI
I	KOMPOSISI CAMPURAN ASPAL		
	KADAR ASPAL	5.8 %	
	Hot Bin I (Coarse Agregate 1½)	0.00 %	
	Hot Bin II (Coarse Agregate ½)	25.00 %	
	Hot Bin III (Medium Agregate 3/8)	25.00 %	
	Hot Bin IV (Abu Batu)	40.00 %	
	Pasir	3.00 %	
	Filler	1,2 %	
		100.0 %	
		100.00 %	
II	PEMBAGIAN BUTIRAN GABUNGAN		
	Saringan 1"	100	100 -
	¾"	100	100 -
	½"	87.5	90 -
	3/8"	69.59	77 -
	No.4	56.65	53 -
	No.8	31.34	33 -
	No.16	21.74	21 -
	No.30	15.11	14 -
	No.50	11.61	9 -
	No.100	7.13	6 -
	No.200	4.12	4 -

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

4.5 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

Untuk memperoleh kadar aspal optimum (KAO) modifikasi, dalam penelitian ini digunakan kadar aspal 5,8 % untuk campuran modifikasi antara penggunaan campuran Rumber dengan substitusi serat baja.

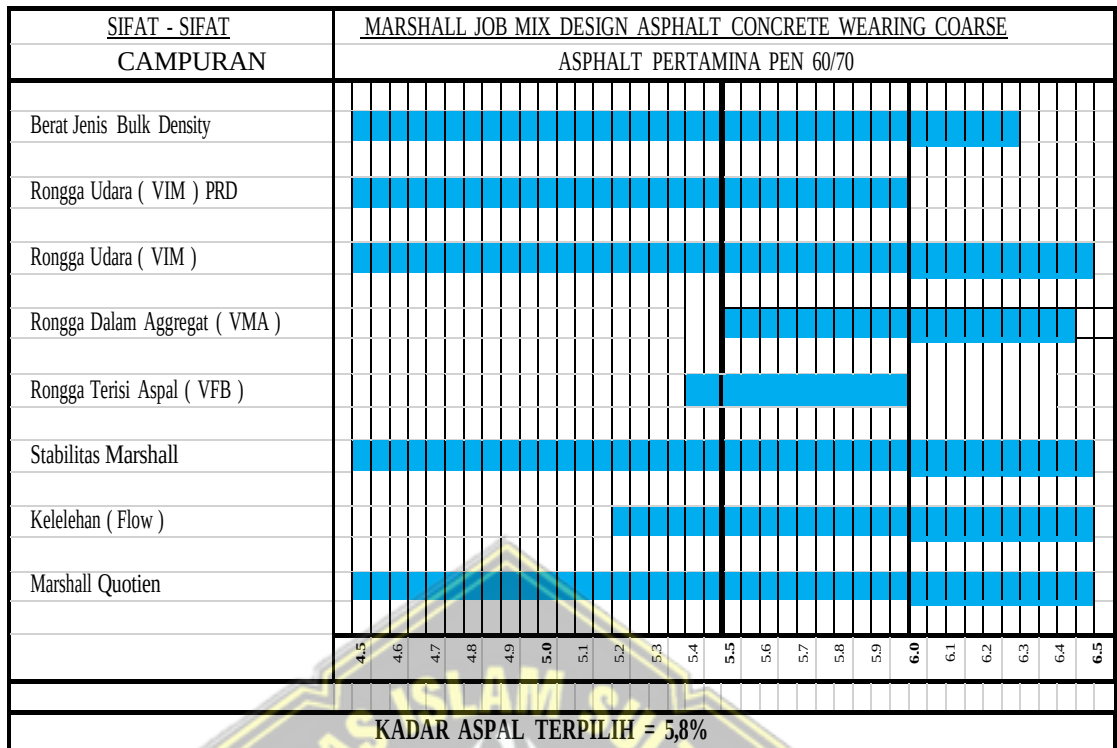
Kadar aspal optimum (KAO) campuran Lapisan Aspal Beton (Laston), dalam penelitian ini digunakan kadar aspal 5% sampai dengan 6,5%. Data hasil pengujian dan Analisa parameter pada tabel 4.27 , selanjutnya kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dengan menggunakan standar Bina Marga, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu : stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotien* (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA).

Tabel 4.30 Data Hasil Pengujian untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Beraspal		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
Spesifikasi	Min	800	3	250	3	15	65
	Maks	-	-	-	5	-	-
5		2896.02	2.30	1259.14	7.83	16.62	52.88
		2797.85	2.40	1165.77	7.81	16.60	52.97
		2856.75	2.15	1328.72	7.68	16.48	53.41
Rata-Rata		2850.20	2.28	1248.26	7.77	16.57	53.09
5,5		3190.53	2.80	1139.47	5.07	16.30	68.88
		3043.27	2.90	1049.40	5.00	16.24	69.23
		3141.44	2.70	1163.50	5.11	16.34	68.71
Rata-Rata		3125.08	2.80	1116.10	5.06	16.29	68.94
5,8		2748.76	3.30	832.96	5.00	17.45	71.33
		2699.68	3.50	771.34	4.68	17.18	72.73
		2738.94	3.40	805.57	4.67	17.17	72.79
Rata-Rata		2729.13	3.40	802.68	4.79	17.27	72.28
6		1747.43	3.10	563.69	5.01	21.36	76.55
		1482.37	3.30	449.20	3.78	20.34	81.40
		1551.09	3.10	500.35	4.11	20.61	80.06
Rata-Rata		1593.63	3.17	503.25	4.30	20.77	79.34
6,5		2414.98	4.00	603.75	4.62	17.26	73.24
		2385.53	4.20	567.98	4.10	16.81	75.61
		2454.25	4.10	598.60	4.79	17.41	72.48
Rata-Rata		2418.25	4.10	589.82	4.50	17.16	73.78

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test *Marshall* di atas, maka dapat ditentukan kadar aspal optimum sebagai berikut :



Gambar 4.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

4.5.1 Ringkasan Hasil Test Pengujian AC Wearing

Setelah mendapatkan presentase masing-masing fraksi agregat dan aspal. Maka detentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas mold yang ada.

Contoh untuk campuran AC-WC sebagai berikut :

- Kadar aspal = 5.8 %
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = $5.8 \% \times 1200$ = 69.6 gr
- Berat total agregat = $(100 - 5.8)\% \times 1200$ = 1130.4 gr
 - Coarse Agg. (1/2') = $25\% \times 1200$ gr = 300 gr
 - Medium Agg. (3/8') = $25\% \times 1200$ gr = 300 gr
 - Pasir = $40 \% \times 1200$ gr = 480 gr
 - Abu batu = $3\% \times 1200$ gr = 36 gr
 - Filler = $1.2 \% \times 1200$ gr = 14.4 gr
 - Total Agregat = 1130.4 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada **Tabel 4.31**

Tabel 4.31 Komposisi Material AC-WC

JENIS MATERIAL	KOMPOSISI	BERAT g	KUMULATIF g
1.Coarse Agg. (1/2')	25.00 %	300.00	600.00
2.Medium Agg. (3/8')	25.00 %	300.00	300.00
3.Abu batu	40.00 %	516.00	1080.00
4.Pasir	3.00 %	36.00	1116.00
5. Filler Semen	1.20 %	14.4	1130.4
6. Aspal	5.80 %	69.6	1200

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Dari pengujian *AC Wearing Course* di dapatkan Kadar Aspal Optimum adalah 5,8% dengan berat 69,6 g.

4.6 Pengujian *Marshall*

Apabila sudah dilakukan penentuan *job mix design* juga *design mix* formula, dan pembuatan benda uji sebanyak 60 buah aspal, selanjutnya seluruh benda uji ditimbang dalam keadaan masih kering, dilanjutkan benda uji ditimbang setelah melakukan perendaman selama 24 jam dan benda uji ditimbang kembali dalam keadaan SSD. Seluruh sample benda uji langsung dilakukan proses pengujian pada alat marshall untuk mendapatkan hasil bacaan stabilitas dan hasil bacaan *flow* (kelelehan) pada sample benda uji aspal. Maksud dalam pemeriksaan *Marshall test* akan menghasilkan parameter *Marshall*, yaitu nilai KAO (Kadar Aspal Optimum).

Agar dapat memperoleh nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) terlebih dahulu didapatkan beberapa parameter. Parameter yang didapatkan yaitu adalah VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas *flow* (kelelehan), dan MQ (*Marshall Quotient*).

4.6.1 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Rubber 0% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%

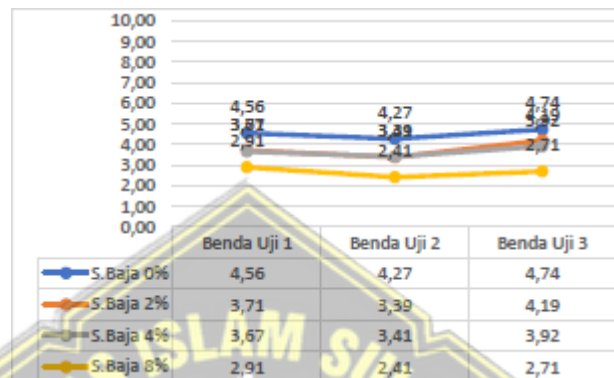
Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Rubber 0% dengan Serat baja kadar (0%, 2%, 4%, dan 8%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai *marshall* dapat di lihat pada **Tabel 4.32**

Tabel 4.32 Hasil Marshall Komposisi Rubber 0% dengan Presentase Serat Baja

Pengujian (Komposisi Rubber 0% terhadap Persentase Serat Baja)																
BJ Aspal (T) :				1,034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :				2,516	BJ Total Agg (Gsb):			2,749	Kalibrasi Proving Ring :		9,81 Kg
no	kadar	kadar	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda	aspal	Rubber	Serat Baja	di udara	dilmair	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji									camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p
	% berat	% berat	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)				
	total	total	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m/ n
	campuran	campuran	campuran							gsb	h					
	(%)	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
Benda Uji 1	5,8	0%	0%	1148,6	553,6	1160,2	606,6	1,894	1,984	35,12	4,56	87,01	171	1678,71	2,60	645,66
Benda Uji 2	5,8	0%	0%	1153,2	562,2	1169,4	607,2	1,899	1,984	34,92	4,27	87,76	166	1629,62	2,60	626,78
Benda Uji 3	5,8	0%	0%	1153,2	560,2	1170,4	610,2	1,890	1,984	35,24	4,74	86,54	145	1423,47	2,70	527,21
Rata-rata	5,8	0%	0%	1151,67	558,67	1166,67	608,00	1,894	1,984	35,09	4,53	87,10	160,67	1577,26	2,63	598,96
Benda Uji 1	5,8	0%	2%	1139,8	613,0	1141,2	528,2	2,158	2,241	26,06	3,71	85,77	224	2199,01	2,90	758,28
Benda Uji 2	5,8	0%	2%	1176,0	636,8	1180,0	543,2	2,165	2,241	25,81	3,39	86,85	232	2277,54	2,80	813,41
Benda Uji 3	5,8	0%	2%	1180,0	632,8	1182,4	549,6	2,147	2,241	26,43	4,19	84,13	223	2189,19	3,00	729,73
Rata-rata	5,8	0%	2%	1165,27	627,53	1167,87	540,33	2,157	2,241	26,10	3,77	85,58	226,33	2221,91	2,90	766,18
Benda Uji 1	5,8	0%	4%	1175,6	646,2	1176,8	530,6	2,216	2,300	24,08	3,67	84,76	257	2522,97	3,10	813,86
Benda Uji 2	5,8	0%	4%	1170,8	645,6	1172,6	527,0	2,222	2,300	23,87	3,41	85,73	274	2689,86	2,90	927,54
Benda Uji 3	5,8	0%	4%	1175,6	644,8	1176,8	532,0	2,210	2,300	24,28	3,92	83,84	260	2552,42	3,10	823,36
Rata-rata	5,8	0%	4%	1174,00	645,53	1175,40	529,87	2,216	2,300	24,08	3,67	84,78	263,67	2588,42	3,03	853,32
Benda Uji 1	5,8	0%	8%	1177,2	702,4	1179,2	476,8	2,469	2,543	15,40	2,91	81,09	302	2964,73	3,20	926,48
Benda Uji 2	5,8	0%	8%	1186,2	710,4	1188,4	478,0	2,482	2,543	14,96	2,41	83,86	313	3072,72	3,10	991,20
Benda Uji 3	5,8	0%	8%	1182,6	706,4	1184,4	478,0	2,474	2,543	15,22	2,71	82,19	306	3004,00	3,40	883,53
Rata-rata	5,8	0%	8%	1182,00	706,40	1184,00	477,60	2,475	2,543	15,19	2,68	82,38	307,00	3013,82	3,23	932,11

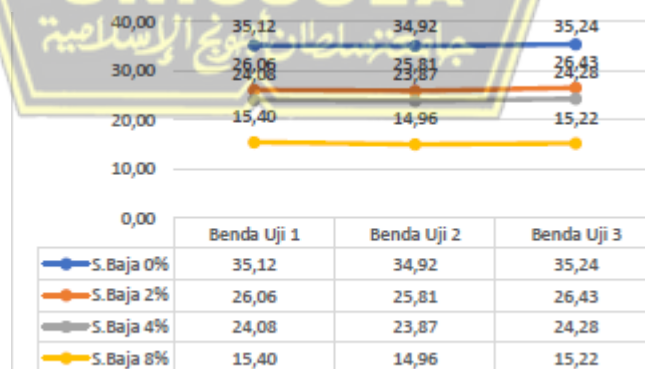
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Nilai VIM (*Void in Mix*) campuran *Rubber* 0% dengan Serat Baja menggunakan kadar 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 8% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 4.53%, 3.77%, 3.67%, 2.68%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00% dan maksimum berada pada angka 5.00%



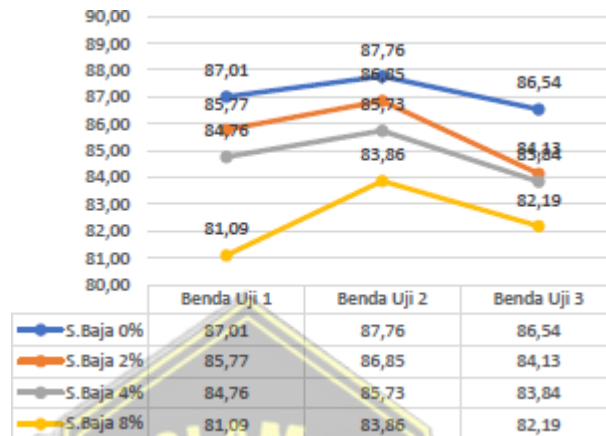
Gambar 4.5 VIM Komposisi *Rubber* 0% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik VMA dibawah nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 35.09%, 26.10%, 24.08%, dan 15,19%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar *Rubber* 0% dengan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



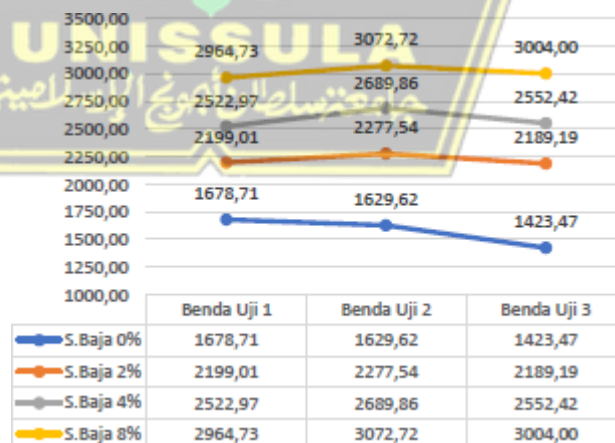
Gambar 4.6 VMA Komposisi *Rubber* 0% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik VFB diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 87.10%, 85.48%, 84.78%, dan 82.38% ,dari hasil telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu minimum 65%.



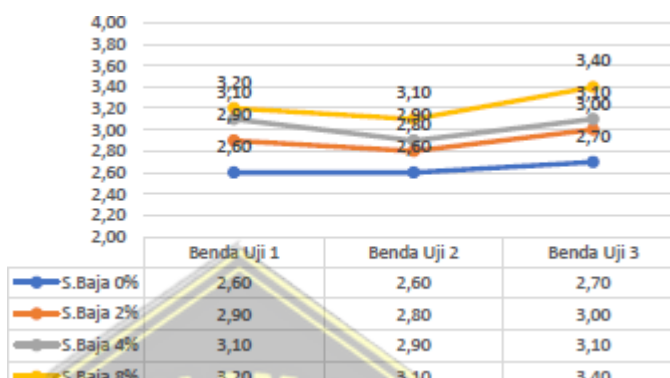
Gambar 4.7 VFB Komposisi *Rubber* 0% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 1577.26 kg , 2221.91 kg, 2588.42 kg, dan 3013.82 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar *Rubber* 0% dengan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



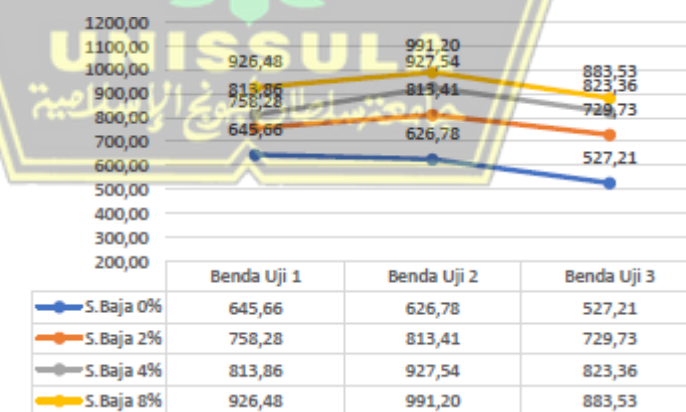
Gambar 4.8 Stabilitas Komposisi *Rubber* 0% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik *Flow* diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 2.63 mm , 2.90 mm, 3.03 mm, dan 3.23 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *Flow* dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.9 *Flow* Komposisi *Rubber* 0% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik MQ (*Marshall Quotient*) diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 598.96 mm , 766.18 mm, 853.32 mm, dan 932.11 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada (-)



Gambar 4.10 MQ Komposisi *Rubber* 0% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

4.6.2 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Rubber 2% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%

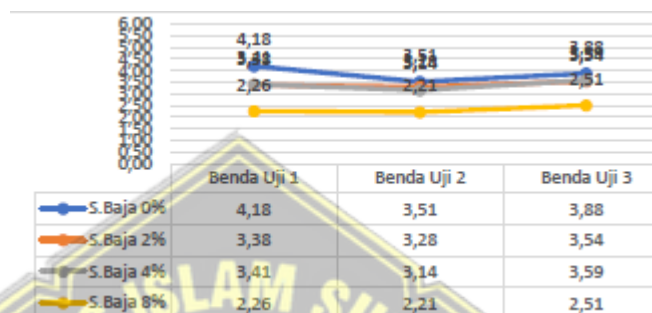
Hasil pengujian *Marshall* untuk benda uji komposisi kombinasi *Rubber* 2% dengan Serat baja kadar (0%, 2%, 4%, dan 8%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai *marshall* dapat di lihat pada **Tabel 4.33**

Tabel 4.33 Hasil Marshall Komposisi Rubber 2% dengan Persentase Serat Baja

Pengujian (Komposisi Rubber 2% terhadap Persentase Serat Baja)																	
BJ Aspal (T) :				1,034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :				2,516	BJ Total Agg (Gsb) :			2,749	Kalibrasi Proving Ring :			9,817 Kg
no	kadar	kadar	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi	
benda	aspal	Rubber	Serat Baja	diudara	dlmair	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall	
uji									camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	
	% berat	% berat	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i - j)					
	total	total	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m/ n	
	campuran	campuran	campuran							gsb	h						
	(%)	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
Benda Uji 1	5,8	2%	0%	1145,6	553,6	1156,2	602,6	1,901	1,984	34,86	4,18	88,01	141	1384,20	2,80	494,36	
Benda Uji 2	5,8	2%	0%	1143,2	552,2	1149,4	597,2	1,914	1,984	34,40	3,51	89,78	153	1502,00	2,60	577,69	
Benda Uji 3	5,8	2%	0%	1144,6	550,2	1150,4	600,2	1,907	1,984	34,65	3,88	88,80	147	1443,10	3,00	481,03	
Rata-rata	5,8	2%	0%	1144,47	552,00	1152,00	600,00	1,907	1,984	34,64	3,86	88,87	147,00	1443,10	2,80	515,39	
Benda Uji 1	5,8	2%	2%	1149,8	620,2	1151,2	531,0	2,165	2,241	25,80	3,38	86,92	201	1973,22	3,00	657,74	
Benda Uji 2	5,8	2%	2%	1156,4	626,3	1159,8	533,5	2,168	2,241	25,72	3,28	87,26	217	2130,29	2,90	734,58	
Benda Uji 3	5,8	2%	2%	1160,0	625,8	1162,4	536,6	2,162	2,241	25,92	3,54	86,36	214	2100,84	3,10	677,69	
Rata-rata	5,8	2%	2%	1155,40	624,10	1157,80	533,70	2,165	2,241	25,82	3,40	86,85	210,67	2068,11	3,00	689,37	
Benda Uji 1	5,8	2%	4%	1170,8	645,6	1172,6	527,0	2,222	2,300	23,87	3,41	85,73	233	2287,36	3,30	693,14	
Benda Uji 2	5,8	2%	4%	1164,2	644,6	1167,2	522,6	2,228	2,300	23,66	3,14	86,72	245	2405,17	3,10	775,86	
Benda Uji 3	5,8	2%	4%	1168,6	643,8	1170,8	527,0	2,217	2,300	24,01	3,59	85,06	242	2375,71	3,40	698,74	
Rata-rata	5,8	2%	4%	1167,87	644,67	1170,20	525,53	2,222	2,300	23,85	3,38	85,83	240,00	2356,08	3,27	721,25	
Benda Uji 1	5,8	2%	8%	1175,2	705,4	1178,2	472,8	2,486	2,543	14,83	2,26	84,78	280	2748,76	3,40	808,46	
Benda Uji 2	5,8	2%	8%	1185,2	710,8	1187,4	476,6	2,487	2,543	14,79	2,21	85,05	293	2876,38	3,20	898,87	
Benda Uji 3	5,8	2%	8%	1182,6	707,4	1184,4	477,0	2,479	2,543	15,04	2,51	83,33	285	2797,85	3,50	799,38	
Rata-rata	5,8	2%	8%	1181,00	707,87	1183,33	475,47	2,484	2,543	14,88	2,32	84,39	286,00	2807,66	3,37	833,96	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

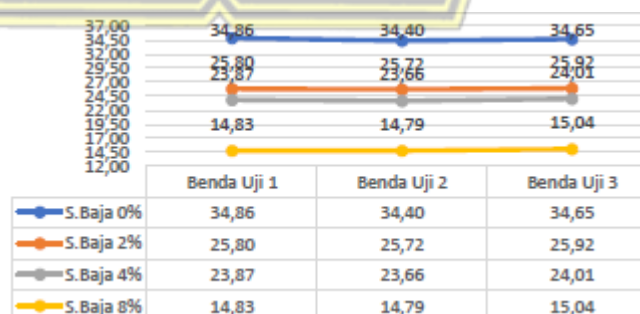
Nilai VIM (*Void in Mix*) campuran *Rubber* 2% dengan Serat Baja menggunakan kadar 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 8% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 3.86%, 3.40%, 3.38%, 2.32%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Gambar 4.11 VIM Komposisi *Rubber* 2% dengan Serat Baja

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

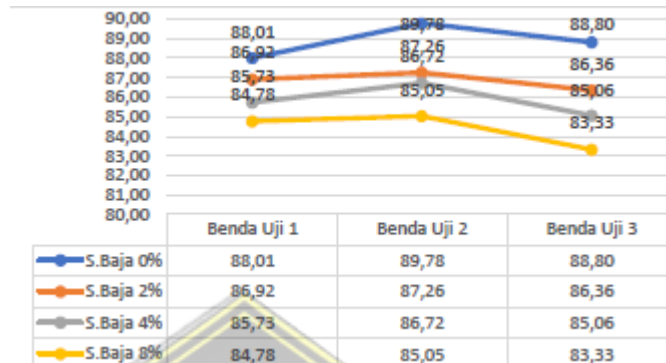
Pada grafik VMA dibawah nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 8% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata- rata yaitu 34.64%, 25.82%, 23.85%, dan 14.88%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar *Rubber* 2% dengan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%



Gambar 4.12 VMA Komposisi *Rubber* 2% dengan Serat Baja

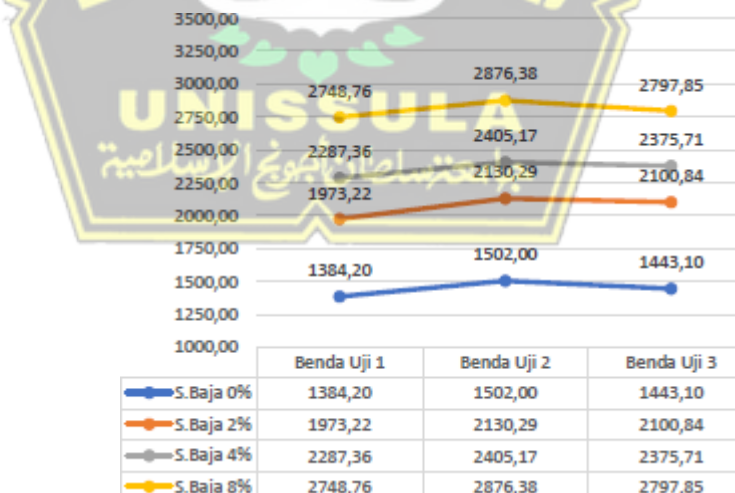
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik VFB diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 88.87%, 86.85%, 85.83%, dan 84.39% ,dari hasil telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu minimum 65%.



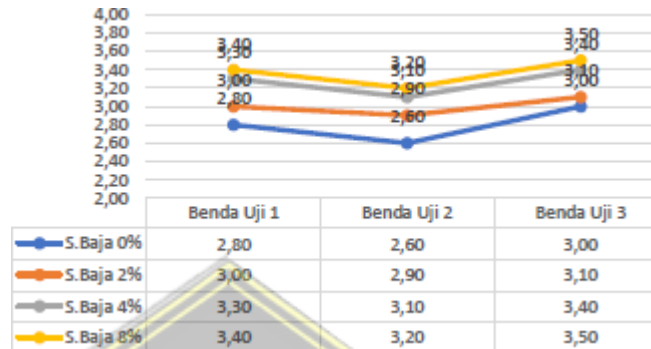
Gambar 4.13 VFB Komposisi Rubber 2% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 1443.10 kg , 2068.11 kg, 2356.08kg, dan 2807.66 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar *rubber* 2% dengan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



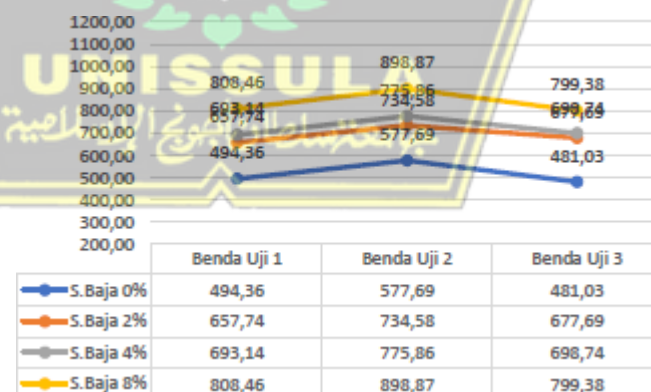
Gambar 4.14 Stabilitas Komposisi Rubber 2% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 2.80 mm , 3.00 mm, 3.27 mm, dan 3.37 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Flow dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.15 Flow Komposisi Rubber 2% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik MQ (Marshall Quotient) diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 515.39 mm , 689.37 mm, 721.25 mm, dan 833.96 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada (-)



Gambar 4.16 VMA Komposisi Rubber 2% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

4.6.3 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Rubber 4% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%

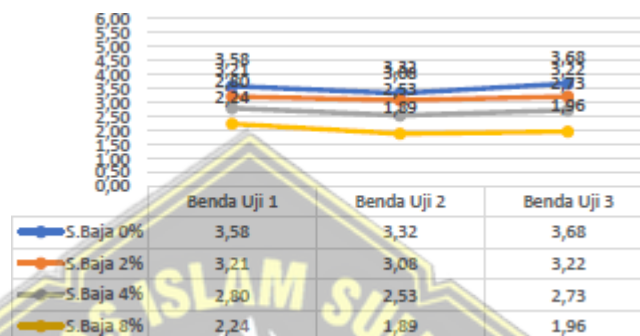
Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Rubber 4% dengan Serat baja kadar (0%, 2%, 4%, dan 8%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai marshall dapat di lihat pada **Tabel 4.34**

Tabel 4.34 Hasil Marshall Komposisi Rubber 4% dengan Presentase Serat Baja

Pengujian (Komposisi Rubber 4% terhadap Persentase Serat Baja)																	
BJ Aspal (T) :				1,034		BJ Efektif Total Agregat (Gse) :		2,516		BJ Total Agg (Gsb) :		2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg	
no	kadar	kadar	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi	
benda	aspal	Rubber	Serat Baja	di udara	dlmair	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall	
uji									camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	
	% berat	% berat	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100/(i - j)					
	total	total	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m/ n	
	campuran	campuran	campuran							gsb	h						
	(%)	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
Benda Uji 1	5,8	4%	0%	1150,8	554,6	1156,2	601,6	1,913	1,984	34,45	3,58	89,60	135	1325,30	3,00	441,77	
Benda Uji 2	5,8	4%	0%	1153,2	558,2	1159,4	601,2	1,918	1,984	34,27	3,32	90,32	141	1384,20	2,80	494,36	
Benda Uji 3	5,8	4%	0%	1154,6	556,2	1160,4	604,2	1,911	1,984	34,52	3,68	89,33	137	1344,93	2,90	463,77	
Rata-rata	5,8	4%	0%	1152,87	556,33	1158,67	602,33	1,914	1,984	34,41	3,53	89,75	137,67	1351,47	2,90	466,03	
Benda Uji 1	5,8	4%	2%	1159,6	627,2	1161,8	534,6	2,169	2,241	25,67	3,21	87,49	185	1816,15	3,30	550,35	
Benda Uji 2	5,8	4%	2%	1166,4	632,8	1169,8	537,0	2,172	2,241	25,57	3,08	87,97	191	1875,05	3,15	595,25	
Benda Uji 3	5,8	4%	2%	1170,8	632,6	1172,4	539,8	2,169	2,241	25,68	3,22	87,48	187	1835,78	3,20	573,68	
Rata-rata	5,8	4%	2%	1165,60	630,87	1168,01	537,14	2,170	2,241	25,64	3,17	87,65	187,67	1842,32	3,22	572,74	
Benda Uji 1	5,8	4%	4%	1172,8	649,6	1174,2	524,6	2,236	2,300	23,39	2,80	88,03	215	2110,66	3,50	603,04	
Benda Uji 2	5,8	4%	4%	1175,2	654,2	1178,4	524,2	2,242	2,300	23,18	2,53	89,10	223	2189,19	3,30	663,39	
Benda Uji 3	5,8	4%	4%	1178,6	653,8	1180,6	526,8	2,237	2,300	23,34	2,73	88,31	219	2149,92	3,40	632,33	
Rata-rata	5,8	4%	4%	1175,53	652,53	1177,73	525,20	2,238	2,300	23,30	2,68	88,48	219,00	2149,92	3,40	632,33	
Benda Uji 1	5,8	4%	8%	1180,4	708,8	1183,6	474,8	2,486	2,543	14,81	2,24	84,89	260	2552,42	3,70	689,84	
Benda Uji 2	5,8	4%	8%	1188,6	713,8	1190,2	476,4	2,495	2,543	14,51	1,89	86,98	274	2689,86	3,50	768,53	
Benda Uji 3	5,8	4%	8%	1185,2	712,8	1188,2	475,4	2,493	2,543	14,57	1,96	86,52	267	2621,14	3,60	728,09	
Rata-rata	5,8	4%	8%	1184,73	711,80	1187,33	475,53	2,491	2,543	14,63	2,03	86,13	267,00	2621,14	3,60	728,09	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

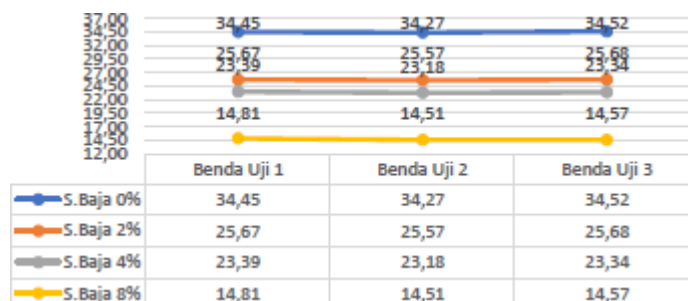
Nilai VIM (*Void in Mix*) campuran *Rubber* 4% dengan Serat Baja menggunakan kadar 0%, dan 2% memenuhi spesifikasi namun untuk kadar 4% dan 8% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 3.53%, 3.17%, 2.68%, 2.03%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Gambar 4.17 VIM Komposisi *Rubber* 4% dengan Serat Baja

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

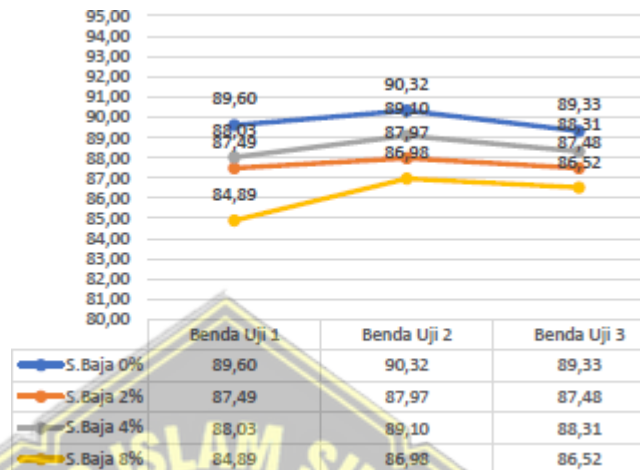
Pada grafik VMA dibawah nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 8% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata yaitu 34.41%, 25.64%, 23.30%, dan 14.63%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar *Rubber* 2% dengan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.18 VMA Komposisi *Rubber* 4% dengan Serat Baja

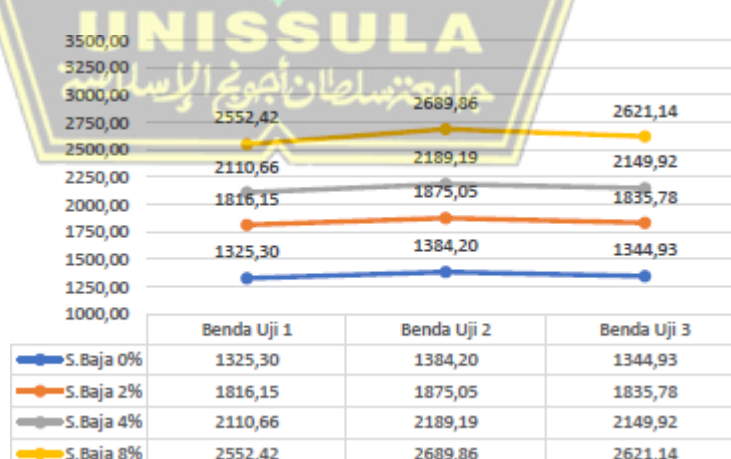
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik VFB diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 89.75%, 87.65%, 88.48%, dan 86.13% ,dari hasil telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu 65%.



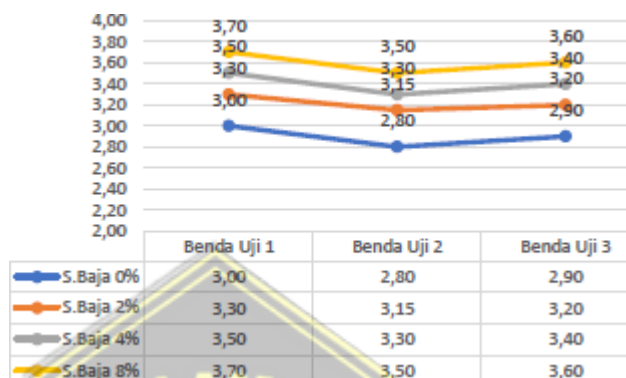
Gambar 4.19 VFB Komposisi *Rubber* 4% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 1351.47 kg , 1842.32 kg, 2149.92 kg, dan 2621.14 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar *rubber* 4% dengan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



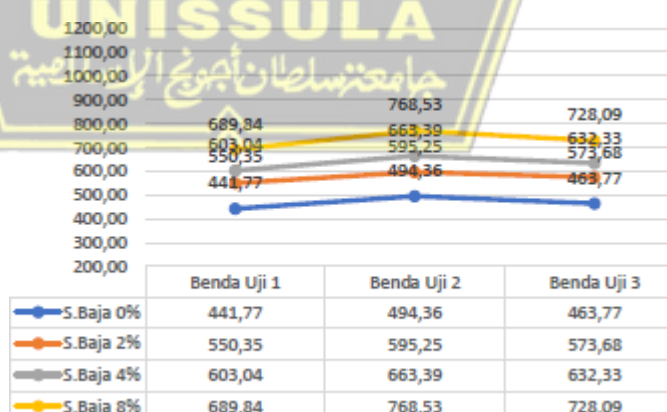
Gambar 4.20 Stabilitas Komposisi *Rubber* 4% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik *Flow* diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 2.90 mm , 3.22 mm, 3.40 mm, dan 3.60 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi *Flow* dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.21 Flow Komposisi *Rubber* 4% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik MQ (*Marshall Quotient*) diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 466.03 mm , 572.74 mm, 632.33 mm, dan 728.09 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada (-)



Gambar 4.22 MQ Komposisi *Rubber* 4% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

4.6.4 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Rubber 8% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%

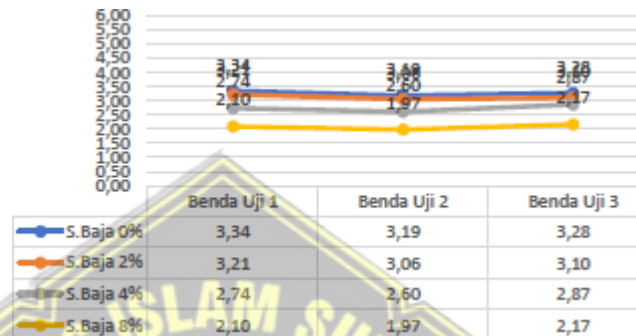
Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Rubber 8% dengan Serat baja kadar (0%, 2%, 4%, dan 8%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai marshall dapat di lihat pada tabel 4.35

Tabel 4.35 Hasil Marshall Komposisi Rubber 8% dengan Persentase Serat Baja

Pengujian (Komposisi Rubber 8% terhadap Persentase Serat Baja)																	
BJ Aspal (T) :				1,034		BJ Efektif Total Agregat (Gse) :				2,516		BJ Total Agg (Gsb) :		2,749		Kalibrasi Proving Ring :	9,81 Kg
no	kadar	kadar	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelehar	hasil bagi	
benda	aspal	Rubber	Serat Baja	di udara	dlmair	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall	
uji									camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	
	% berat	% berat	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-)					
	total	total	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m/ n	
	campuran	campuran	campuran							gsb	h						
	(%)	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
Benda Uji 1	5,8	4%	0%	1155,6	554,6	1157,2	602,6	1,918	1,984	34,29	3,34	90,25	120	1178,04	3,30	356,98	
Benda Uji 2	5,8	4%	0%	1158,2	558,4	1161,4	603,0	1,921	1,984	34,18	3,19	90,67	127	1246,76	3,10	402,18	
Benda Uji 3	5,8	4%	0%	1164,8	559,2	1166,2	607,0	1,919	1,984	34,24	3,28	90,42	125	1227,13	3,20	383,48	
Rata-rata	5,8	4%	0%	1159,53	557,40	1161,60	604,20	1,919	1,984	34,24	3,27	90,45	124,00	1217,31	3,20	380,41	
Benda Uji 1	5,8	4%	2%	1162,6	628,2	1164,2	536,0	2,169	2,241	25,67	3,21	87,49	145	1423,47	3,50	406,70	
Benda Uji 2	5,8	4%	2%	1166,6	632,8	1169,8	537,0	2,172	2,241	25,56	3,06	88,03	150	1472,55	3,30	446,23	
Benda Uji 3	5,8	4%	2%	1172,2	633,6	1173,4	539,8	2,172	2,241	25,59	3,10	87,89	147	1443,10	3,40	424,44	
Rata-rata	5,8	4%	2%	1167,13	631,53	1169,13	537,60	2,171	2,241	25,61	3,12	87,80	147,33	1446,37	3,40	425,40	
Benda Uji 1	5,8	4%	4%	1175,8	650,6	1176,2	525,6	2,237	2,300	23,34	2,74	88,28	195	1914,32	3,70	517,38	
Benda Uji 2	5,8	4%	4%	1175,2	652,8	1177,4	524,6	2,240	2,300	23,24	2,60	88,81	205	2012,49	3,50	575,00	
Benda Uji 3	5,8	4%	4%	1180,4	654,2	1182,6	528,4	2,234	2,300	23,45	2,87	87,75	200	1963,40	3,60	545,39	
Rata-rata	5,8	4%	4%	1177,13	652,53	1178,73	526,20	2,237	2,300	23,34	2,74	88,28	200,00	1963,40	3,60	545,39	
Benda Uji 1	5,8	4%	8%	1183,6	709,8	1185,2	475,4	2,490	2,543	14,69	2,10	85,73	245	2405,17	4,00	601,29	
Benda Uji 2	5,8	4%	8%	1188,6	713,4	1190,2	476,8	2,493	2,543	14,58	1,97	86,48	252	2473,88	3,80	651,02	
Benda Uji 3	5,8	4%	8%	1185,2	711,8	1188,2	476,4	2,488	2,543	14,75	2,17	85,29	247	2424,80	3,90	621,74	
Rata-rata	5,8	4%	8%	1185,80	711,67	1187,87	476,20	2,490	2,543	14,67	2,08	85,83	248,00	2434,62	3,90	624,26	

(Sumber: Hasil penelitian, 2024)

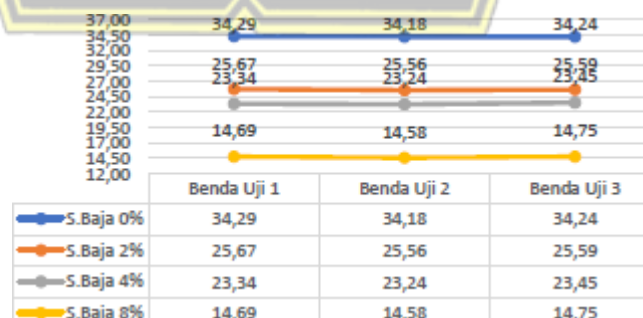
Nilai VIM (*Void in Mix*) campuran *Rubber* 4% dengan Serat Baja menggunakan kadar 0%, dan 2% memenuhi spesifikasi namun untuk kadar 4% dan 8% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata Rongga Udara (VIM) adalah 3.53%, 3.17%, 2.68%, 2.03%. Sedangkan untuk spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Gambar 4.23 VIM Komposisi *Rubber* 8% dengan Serat Baja

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

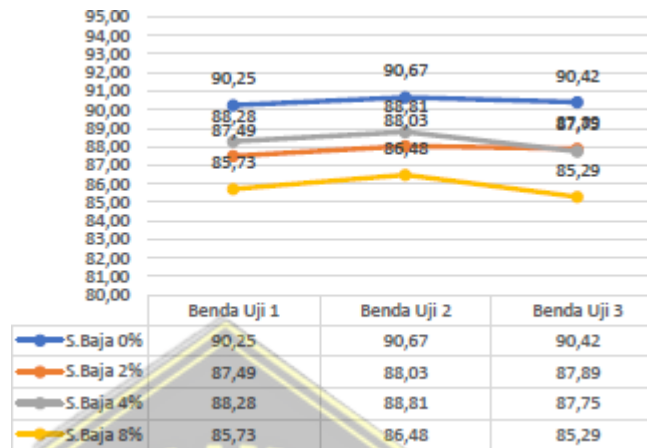
Pada grafik VMA dibawah nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2% dan 4% memenuhi spesifikasi namun dengan kadar 8% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata-rata yaitu 34.41%, 25.64%, 23.30%, dan 14.63%, Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar *Rubber* 2% dengan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Binamarga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.24 VMA Komposisi *Rubber* 8% dengan Serat Baja

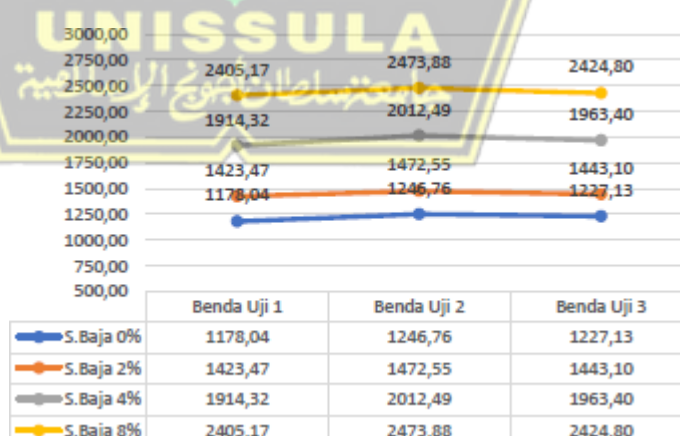
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik VFB di atas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0% , 4% dan 8% yaitu 89.75%, 87.65%, 88.48%, dan 86.13% ,dari hasil telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu minimum 65%.



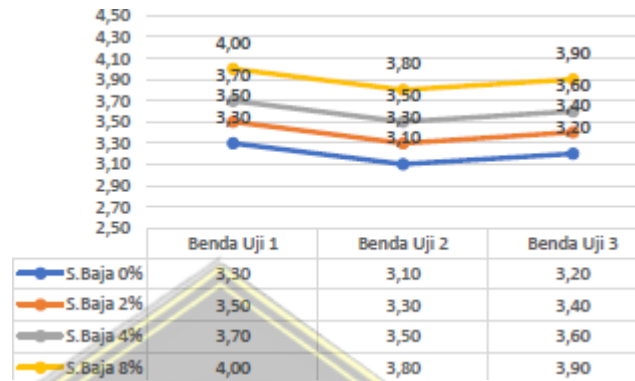
Gambar 4.25 VFB Komposisi *Rubber* 8% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Stabilitas diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 1351.47 kg , 1842.32 kg, 2149.92 kg, dan 2621.14 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi kadar *rubber* 4% dengan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Stabilitas dari Binamarga yaitu minimum 800 kg.



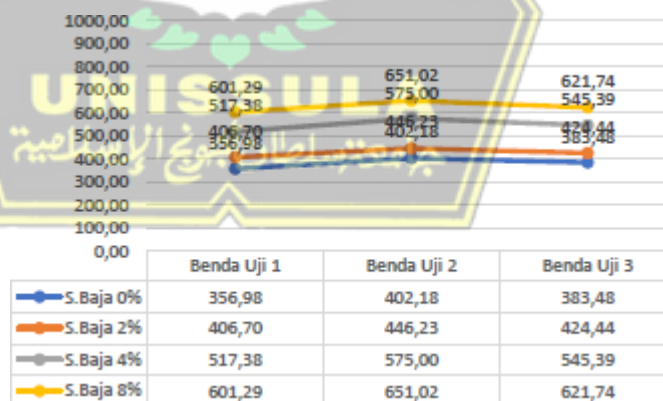
Gambar 4.26 Stabilitas Komposisi *Rubber* 8% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik Flow diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 2.90 mm , 3.22 mm, 3.40 mm, dan 3.60 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi Flow dari Binamarga yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm.



Gambar 4.27 Flow Komposisi Rubber 8% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada grafik MQ (*Marshall Quotient*) diatas nilai yang dihasilkan untuk kadar serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu 466.03 mm , 572.74 mm, 632.33 mm, dan 728.09 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi MQ dari Binamarga yaitu belum ada (-)



Gambar 4.28 MQ Komposisi Rubber 8% dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

4.6.5 Rekapitulasi Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Rubber 0%, 2%, 4% dan 8% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%

Rekapitulasi Hasil pengujian *Marshall* untuk benda uji komposisi kombinasi *Rubber* 0%, 2%, 4% dan 8% dengan Serat baja kadar (0%, 2%, 4%, dan 8%), dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai *marshall* dapat di lihat pada **Tabel 4.36**

Tabel 4.36 Hasil Marshall Komposisi Rubber 8% dengan Presentase Serat Baja

Rekapitulasi Rata-Rata Perbandingan BGA Fly Ash Dengan BGA Semen Portland																	
BJ Aspal (T) :					1,034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :				BJ Total Agg (Gsb) :		2,749	Kalibrasi Proving Ring :			9,817 Kg	
Campuran	kadar	kadar	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi	
Benda	aspal	Rubber	Serat Baja	di udara	dlmair	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshal	
Uji								camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan		(flow)	(mq)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	
	% berat	% berat	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(h-i)					
	total	total	total	timbang	timbang	timbang	d - c	b / e	GMM	100 - a/f	100*f	h				l / m	
	campuran	campuran	campuran							gsb	g						
	(%)	(%)	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
Rumber 0%																	
Rumber0% + Serat Baja 0%	5,80	0	0%					1,89	1,98	35,09	4,53	87,10	160,67	1577,26	2,63	598,96	
Rumber0% + Serat Baja 2%	5,80	0	2%					2,16	2,24	26,10	3,77	85,58	226,33	2221,91	2,90	766,18	
Rumber0% + Serat Baja 4%	5,80	0	4%					2,22	2,30	24,08	3,67	84,78	263,67	2588,42	3,03	853,32	
Rumber0% + Serat Baja 8%	5,80	0	8%					2,47	2,54	15,19	2,68	82,38	307,00	3013,82	3,23	932,11	
				Rata - rata						25,11	3,66	84,96	239,42	2350,35	2,95	787,64	
Rumber 2%																	
Rumber2% + Serat Baja 0%	5,80	2	0%					1,91	1,98	34,64	3,86	88,87	147,00	1443,10	2,80	515,39	
Rumber2% + Serat Baja 2%	5,80	2	2%					2,16	2,24	25,82	3,40	86,85	210,67	2068,11	3,00	689,37	
Rumber2% + Serat Baja 4%	5,80	2	4%					2,22	2,30	23,85	3,38	85,83	240,00	2356,08	3,27	721,25	
Rumber2% + Serat Baja 8%	5,80	2	8%					2,47	2,54	15,19	2,68	82,38	307,00	3013,82	3,23	932,11	
				Rata - rata						24,87	3,33	85,98	226,17	2220,28	3,08	714,53	
Rumber 4%																	
Rumber4% + Serat Baja 0%	5,80	4	0%					1,91	1,98	34,41	3,53	89,75	137,67	1351,47	2,90	466,03	
Rumber4% + Serat Baja 2%	5,80	4	2%					2,17	2,24	25,64	3,17	87,65	187,67	1842,32	3,22	572,74	
Rumber4% + Serat Baja 4%	5,80	4	4%					2,24	2,30	23,30	2,68	88,48	219,00	2149,92	3,40	632,33	
Rumber4% + Serat Baja 8%	5,80	4	8%					2,49	2,54	14,63	2,03	86,13	267,00	2621,14	3,60	728,09	
				Rata - rata						24,50	2,85	88,00	202,83	1991,21	3,28	599,80	
Rumber 8%																	
Rumber8% + Serat Baja 0%	5,80	8	0%					1,92	1,98	34,24	3,27	90,45	124,00	1217,31	3,20	380,41	
Rumber8% + Serat Baja 2%	5,80	8	2%					2,17	2,24	25,61	3,12	87,80	147,33	1446,37	3,40	425,40	
Rumber8% + Serat Baja 4%	5,80	8	4%					2,24	2,30	23,34	2,74	88,28	200,00	1963,40	3,60	545,39	
Rumber8% + Serat Baja 8%	5,80	8	8%					2,49	2,54	14,67	2,08	85,83	248,00	2434,62	3,90	624,26	
				Rata - rata						24,46	2,80	88,09	179,83	1765,42	3,53	493,87	

(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Rongga Udara (VIM) pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) terbesar adalah:

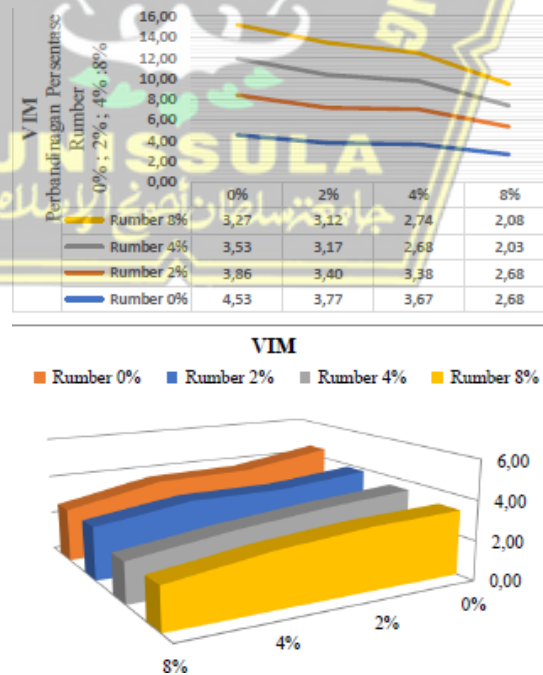
Rubber 0% dengan penambahan serat baja 0%, 2% dan 4% memperoleh nilai VIM 4,53%, 3,77% dan 3,67% memenuhi spesifikasi binamarga tetapi untuk kadar 8% memperoleh nilai 2,68% sehingga tidak memenuhi spesifikasi

Rubber 2% dengan penambahan serat baja 0%, 2% dan 4% memperoleh nilai VIM 3,86%, 3,40% dan 3,38% tetapi untuk kadar 8% memperoleh nilai 2,68%.

Rubber 4% dengan penambahan serat baja 0%, 2% dan 4% memperoleh nilai VIM 3,53%, dan 3,17% tetapi untuk kadar 4% dan 8% memperoleh nilai 2,68%, dan 2,03%.

Rubber 8% dengan penambahan serat baja 0%, 2% dan 4% memperoleh nilai VIM 3,27%, dan 3,12% tetapi untuk kadar 4% dan 8% memperoleh nilai 2,74%, dan 2,08%.

Syarat spesifikasi dari Bina marga minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%.



Gambar 4.29 Rekapitulasi VIM Komposisi Rubber dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Rongga diantara Agregat (VMA) pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga diantara Agregat (VMA) terbesar adalah

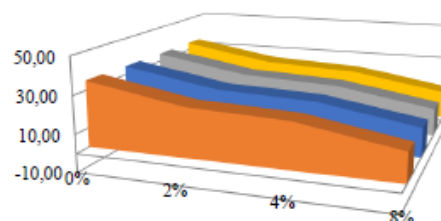
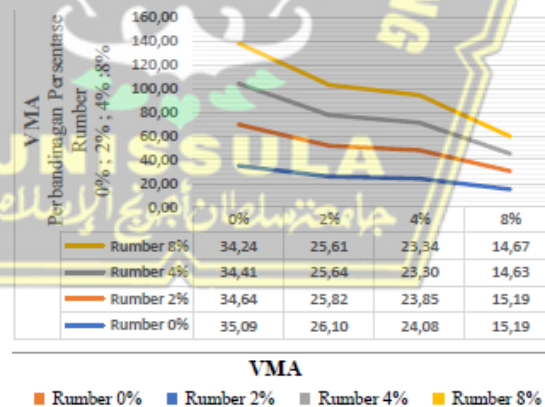
Rubber 0% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai VMA 35,09%, 26,10%, 24,08 dan 15,19% memenuhi spesifikasi binamarga.

Rubber 2% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai VMA 34,64%, 25,82%, 23,85 dan 15,19% memenuhi spesifikasi binamarga.

Rubber 4% dengan penambahan serat baja 0%, 2% dan 4% memperoleh nilai VMA 34,41%, 25,64 dan 23,30% tetapi untuk kadar 8% memperoleh nilai 14,63%.

Rubber 8% dengan penambahan serat baja 0%, 2% dan 4% memperoleh nilai VMA 34,24%, 25,61 dan 23,34% tetapi untuk kadar 8% memperoleh nilai 14,67%.

Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji komposisi *rubber* dan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina marga dengan nilai minimum berada pada angka 15%.



Gambar 4.30 Rekapitulasi VMA Komposisi Rubber dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Rongga terisi aspal (VFB) pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga terisi aspal (VFB) terbesar adalah

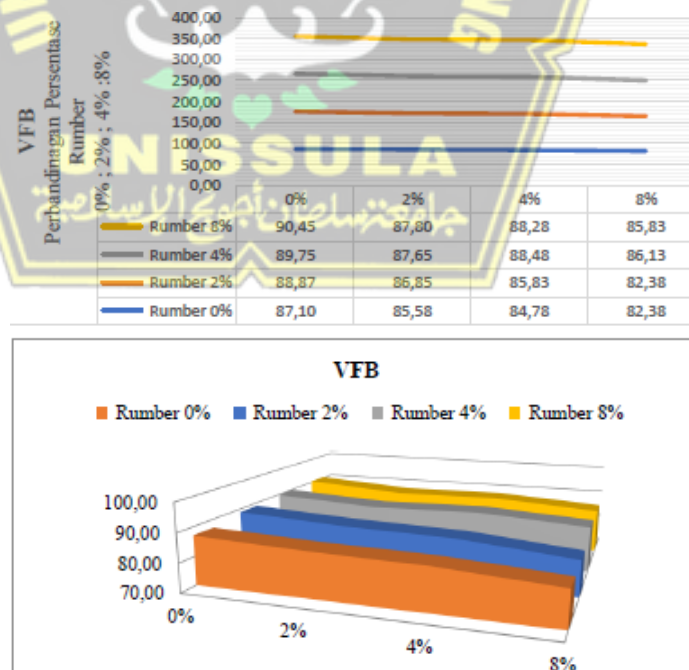
Rubber 0% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai VFB 87,10%, 85,58%, 84,78 dan 82,38% memenuhi spesifikasi binamarga.

Rubber 2% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai VFB 88,87%, 86,85%, 85,83 dan 82,38% memenuhi spesifikasi binamarga.

Rubber 4% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai VFB 89,75%, 87,65%, 88,48 dan 86,13% memenuhi spesifikasi binamarga.

Rubber 8% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai VFB 90,45%, 87,80%, 88,28 dan 85,83% memenuhi spesifikasi binamarga.

Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji komposisi rumber dan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina marga dengan nilai minimum berada pada angka 65%.



Gambar 4.31 Rekapitulasi VFB Komposisi Rubber dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Pada Grafik Stabilitas pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Staabilitas terbesar adalah

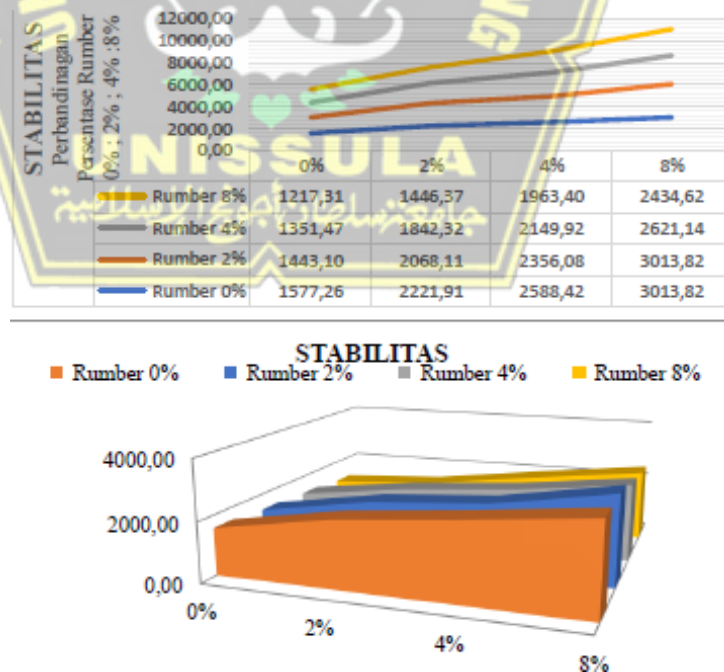
Rubber 0% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai Stabilitas 1577,26 kg, 2221,91 kg, 2588,42 kg dan 3013,82 kg memenuhi spesifikasi binamarga.

Rubber 0% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai Stabilitas 1443,10 kg, 2068,11 kg, 2356,08 kg dan 3013,82 kg memenuhi spesifikasi binamarga.

Rubber 0% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai Staabilitas 1351,47 kg, 1842,32 kg, 2149,92 kg dan 2621,14 kg memenuhi spesifikasi binamarga.

Rubber 0% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai Staabilitas 1217,31 kg, 1446,37 kg, 1963,40 kg dan 2434,62 kg memenuhi spesifikasi binamarga.

Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji komposisi rubber dan serat baja telah memenuhi spesifikasi dari Bina marga dengan nilai minimum berada pada angka 800 kg.



Gambar 4.32 Rekapitulasi Stabilitas Komposisi Rubber dengan Serat Baja (Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Flow pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Flow terbesar adalah

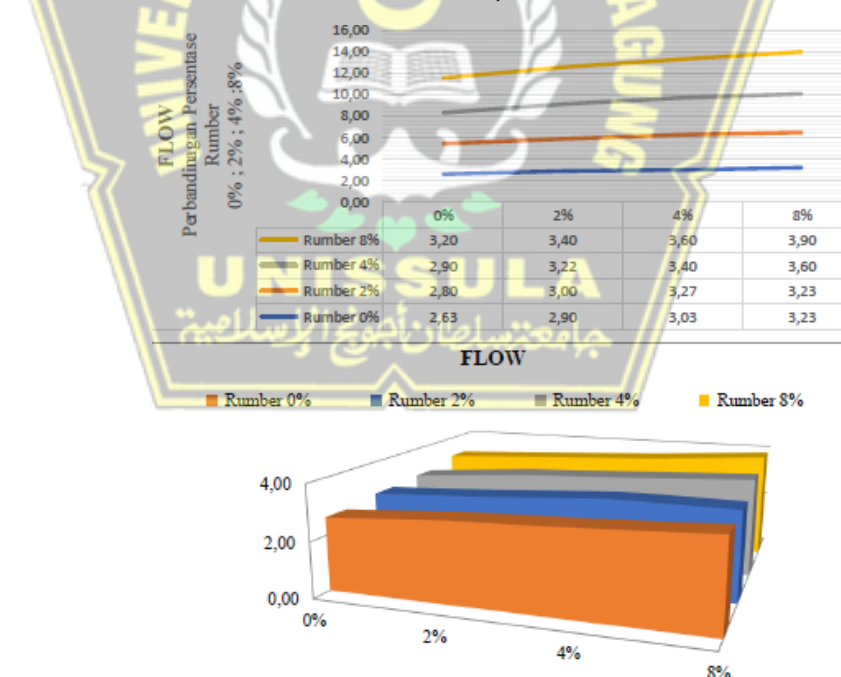
Rubber 0% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai Flow 2,63 mm, 2,90 mm, 3,03 mm dan 3,23 mm memenuhi spesifikasi binamarga

Rubber 2% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai Flow 2,80 mm, 3,00 mm, 3,27 mm dan 3,23 mm memenuhi spesifikasi binamarga

Rubber 4% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai Flow 2,90 mm, 3,22 mm, 3,40 mm dan 3,60 mm memenuhi spesifikasi binamarga

Rubber 8% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai Flow 3,20 mm, 3,40 mm, 3,60 mm dan 3,90 mm memenuhi spesifikasi binamarga

Syarat spesifikasi dari Bina marga untuk nilai flow yaitu minimum 2,00 mm dan untuk nilai maksimum adalah 4,00 mm



Gambar 4.33 Rekapitulasi Flow Komposisi Rubber dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Marshall Question (MQ) pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil *Marshall Question* (MQ) terbesar adalah

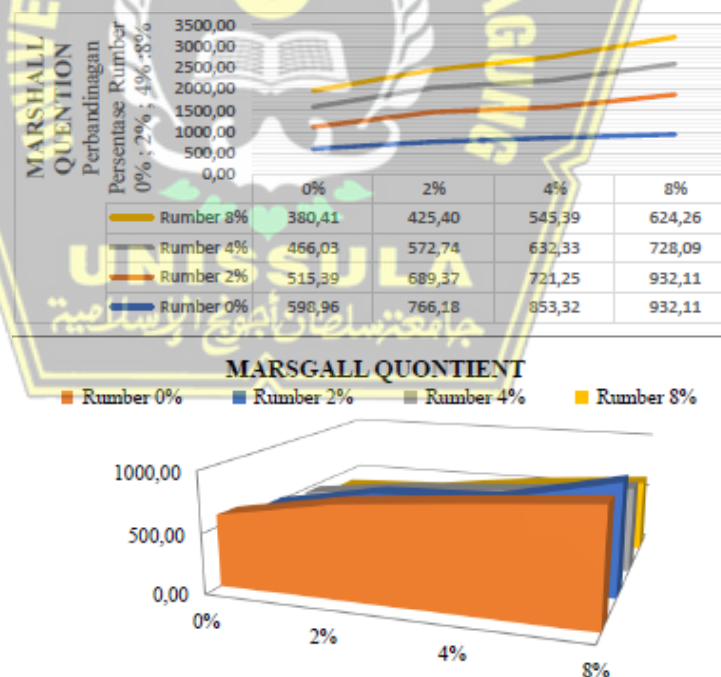
Rubber 0% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai MQ 598,96 kg/mm, 766,18 kg/mm, 853,32 kg/mm dan 932,11 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga

Rubber 2% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai MQ 515,39 kg/mm, 689,37 kg/mm, 721,25 kg/mm dan 932,11 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga

Rubber 4% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai MQ 466,03 kg/mm, 572,74 kg/mm, 632,33 kg/mm dan 728,09 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga

Rubber 8% dengan penambahan serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% memperoleh nilai MQ 380,41 kg/mm, 425,40 kg/mm, 545,39 kg/mm dan 624,26 kg/mm memenuhi spesifikasi binamarga

Syarat spesifikasi dari Bina marga untuk nilai MQ belum adaa (-)



Gambar 4.34 Rekapitulasi MQ Komposisi Rubber dengan Serat Baja
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Hasil rata-rata komposisi *Rubber* 0%, 2%, 4% dan 8% dengan substitusi serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* dapat dilihat pada **Tabel 4.37**.

Tabel 4.37 Rekap Hasil Rata-Rata Tiap Komposisi Campuran

URAIAN Komposisi BGA dengan Fly Ash	SIFAT CAMPURAN PENGUJIAN LABORATORIUM	Campuran	SPESIFIKASI
Rata – rata Campuran Komposisi Rumber 0% demgam Serat Baj 0%, 2%, 4% dan 8%			
Rongga Udara (VIM)	3,65	Rumber 0%	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	25,11		Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	84,96		Min 65 %
Stabilitas Marshall	2350,35		Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	2,95		2.0 - 4.0
Marshall Quotient	787,64		-
Rata – rata Campuran Komposisi Rumber 0% demgam Serat Baj 0%, 2%, 4% dan 8%			
Rongga Udara (VIM)	3,24	Rumber 2%	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	24,79		Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	86,48		Min 65 %
Stabilitas Marshall	2356,08		Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,10		2.0 - 4.0
Marshall Quotient	689,99		-
Rata – rata Campuran Komposisi Rumber 0% demgam Serat Baj 0%, 2%, 4% dan 8%			
Rongga Udara (VIM)	2,85	Rumber 4%	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	24,49		Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	88,00		Min 65 %
Stabilitas Marshall	1991,21		Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,27		2.0 - 4.0
Marshall Quotient	599,79		-
Rata – rata Campuran Komposisi Rumber 0% demgam Serat Baj 0%, 2%, 4% dan 8%			
Rongga Udara (VIM)	2,80	Rumber 8%	3.0 - 5.0 %
Rongga Dalam mineral Agregat (VMA)	24,46		Min 15 %
Rongga Terisi Aspal (VFB)	88,09		Min 65 %
Stabilitas Marshall	1765,42		Min 800 Kg
Kelelehan Plastis (Flow)	3,52		2.0 - 4.0
Marshall Quotient	493,86		-

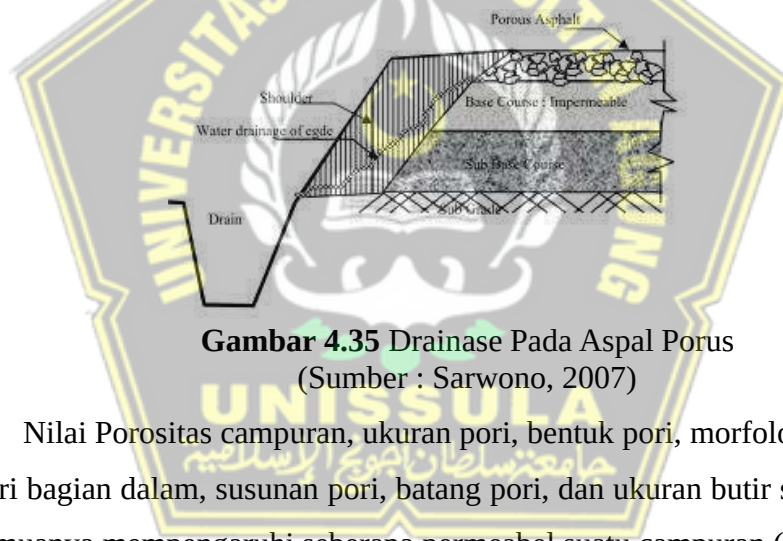
(Sumber: Hasil Penelitian, 2024)

Hasil perhitungan rata-rata setiap komposisi, diperoleh Rongga Udara (VIM) pada kadar kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) terbesar adalah 3,65%

untuk campuran *Rubber* 0% dan 3,34% untuk Rumber 2% sedangkan untuk Komposisi *Rubber* 4% memperoleh nilai VIM. 2.85% dan 2.80% untuk *Rubber* 8%. Yang dapat diartikan bahwa komposisi campuran tersebut tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan.

4.7 Uji Permeabilitas Aspal

Kapasitas campuran aspal berpori untuk membiarkan fluida bergerak disebut permeabilitas. Setiap material yang mengandung rongga-rongga yang signifikan, disebut juga poros yang akan mempunyai poros-poros yang saling berhubungan dengan karakteristik permeabilitas. Pada beberapa material berpori dan permeabel, seperti batuan, beton, tanah, dan lainnya. Jumlah pori yang lebih besar dikaitkan dengan material yang memiliki lebih banyak ruang kosong. (Bowles,1986 dalam Sarwono,2007)



Gambar 4.35 Drainase Pada Aspal Porus
(Sumber : Sarwono, 2007)

Nilai Porositas campuran, ukuran pori, bentuk pori, morfologi permukaan pori bagian dalam, susunan pori, batang pori, dan ukuran butir serta distribusi semuanya mempengaruhi seberapa permeabel suatu campuran (Cole, 1983).

4.7.1 Pengujian Permeabilitas

Hukum Darcy digunakan untuk menghitung koefisien permeabilitas aspal (Kandhal dan Malick, 2001). Air yang berada di dalam tabung (stand pipe) jatuh bebas pada ketinggian tertentu hingga melewati rongga pada campuran aspal berpori. Ini dikenal sebagai pengukuran FHF (*Falling Head Permeability*). Sedangkan CHP (*Constant Head Permeability*) adalah teknik tambahan untuk menentukan permeabilitas (Takahashi (1999) dalam Sarwono, 2007).

4.7.2 Rekapitulasi Hasil Permeabilitas Benda Uji Kombinasi *Rubber* 0%, 2%, 4% dan 8% dengan persentase Serat Baja 0%, 2%, 4% dan 8%

Rekapitulasi Hasil pengujian Permeabilitas untuk benda uji komposisi kombinasi *Rubber* 0%, 2%, 4% dan 8% dengan Serat baja kadar (0%, 2%, 4%, dan 8%), dengan hasil rata-rata tiap benda uji untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai permeabilitas dapat di lihat pada tabel 4.29

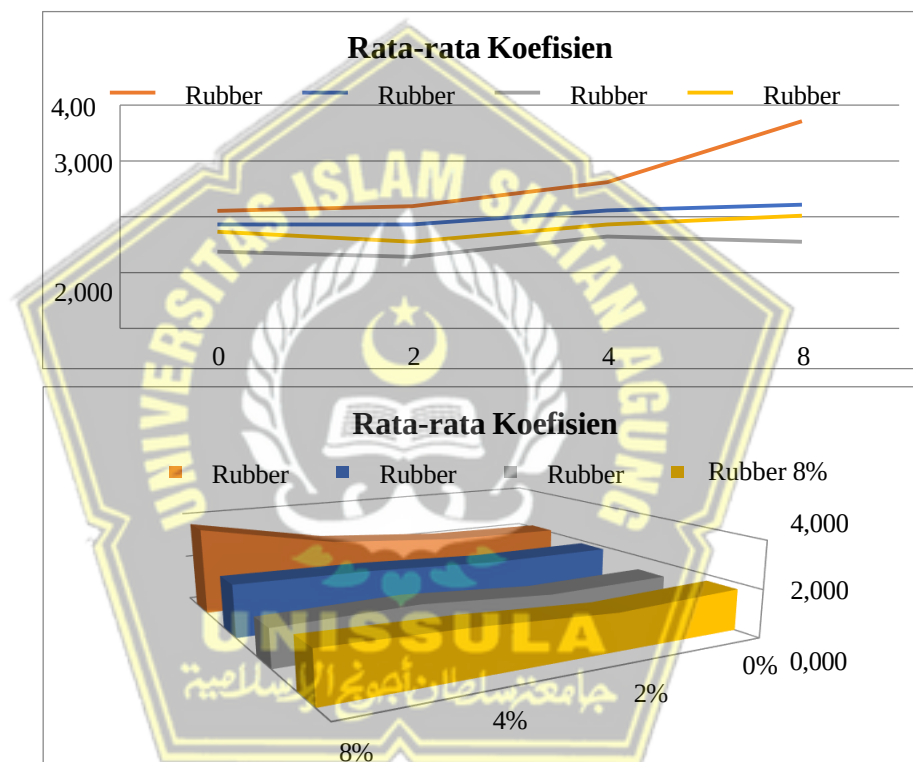
Pengujian untuk tiap Komposisi *Rubber* dengan Serat baja dapat dilihat pada Lampiran 2 Tabel 2.31 – Tabel 2.46 berisi data pengujian permeabilitas untuk setiap temuan pengujian komposisi.

Tabel 4.38 Hasil Rekapitulasi Pengujian Permeabilitas untuk Kombinasi *Rubber* 0%, 2%, 4% dan 8% dengan Serat Baja kadar (0%, 2%, 4%, dan 8%)

Rekapitulasi Rata-Rata Perbandingan Permeabilitas Aspal dalam Persentase <i>Rubber</i>							
Sample Benda Uji	Luas Permukaan Sampel (A)	Luas Permukaan Burrete (a)	Rata-rata Berat Basah	Rata-rata Berat Isi Basah	Volume Sampel	Rata-rata Waktu Percobaan	Rata-rata K (T=30)
	a	b	c	d	c	f	g
	cm ²	cm ²	gr	gr/cm ³	cm ³	detik	cm ²
<i>Rubber</i> 0%							
<i>Rubber</i> 0%+Serat Baja 0%	31,25	3,14	558,6	1166,66	608	14400	2,102 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 0%+Serat Baja 2%	31,25	3,14	627,53	1167,86	540,3	36000	2,189 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 0%+Serat Baja 4%	31,25	3,14	577,24	1184,9	540,3	432000	2,619 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 0%+Serat Baja 8%	31,25	3,14	645,53	1175,4	540,3	18000	3,713 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 2%							
<i>Rubber</i> 2%+Serat Baja 0%	31,25	3,14	552	1152	600	36000	1,857 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 2%+Serat Baja 2%	31,25	3,14	624,1	1157,8	533,7	18000	1,857 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 2%+Serat Baja 4%	31,25	3,14	644,67	1170,2	523,23	43200	2,112 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 2%+Serat Baja 8%	31,25	3,14	707,87	1183,33	475,47	43200	2,211 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 4%							
<i>Rubber</i> 4%+Serat Baja 0%	31,25	3,14	556,33	1158,67	602,33	43200	1,368 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 4%+Serat Baja 2%	31,25	3,14	630,87	1168,01	537,14	43200	1,368 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 4%+Serat Baja 4%	31,25	3,14	652,53	1177,73	525,2	36000	1,642 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 4%+Serat Baja 8%	31,25	3,14	707,87	1183,83	475,47	43200	1,547 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 8%							
<i>Rubber</i> 8%+Serat Baja 0%	31,25	3,14	557,4	1161,6	604,2	43200	1,731 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 8%+Serat Baja 2%	31,25	3,14	631,53	1169,13	537,6	43200	1,547 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 8%+Serat Baja 4%	31,25	3,14	652,53	1178,3	526,6	36000	1,857 x 10 ⁻⁶
<i>Rubber</i> 8%+Serat Baja 8%	31,25	3,14	711,67	1187,87	476,2	43200	2,015 x 10 ⁻⁶

Sumber: Hasil Penelitian, 2024

Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas aspal porus dengan campuran bahan tambah *rubber* dan serat baja, mengalami peningkatan permeabilitas aspal porus untuk setiap komposisi mulai dari *rubber* 0%, 2%, 4% dan 8% dengan substitusi serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yang dilakukan dengan rata-rata waktu percobaan yang berbeda-beda sesuai dengan Air yang berada di dalam tabung (*stand pipe*) jatuh bebas pada ketinggian tertentu hingga melewati rongga pada campuran aspal berpori. Semakin banyak penambahan *rubber* dan Serat baja *rubber* pada campuran aspal porus maka akan semakin cepat dan mudah campuran tersebut meloloskan air.



Gambar 4.36 Koefisien Permeabilitas Aspal Porus dengan umber dan serat baja

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada gambar gambar 4.36 semakin banyak penambahan *rubber* pada campuran aspal porus maka semakin tinggi pula nilai permeabilitasnya. Hal ini sebabkan karena *rubber* dapat meleleh dan menyelimuti agregat dimana, sedangkan presentase agregat kasar kurang lebih 65% persen dari volume campuran sehingga rongga atau ruang pori akan semakin besar dan mudah meloloskan air.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil rekapitulasi pengujian *Marshall* dapat dilihat bahwa seiringan dengan penambahan Persentase rumber dan serat baja akan berpengaruh kepada nilai VIM (*Void in Mix*). Semakin tinggi campuran kadar rumber dengan serat baja akan berdampak pada menurunnya nilai VIM (*Void in Mix*). Dari hasil penelitian yang telah dilakukan maka untuk job mix design pada pengujian marshall mendapatkan nilai VIM dengan kadar Rumber 0% dan 2% dimana hasil pengujian tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2 sehingga campuran aspal dapat digunakan untuk kondisi jalan namun untuk kadar rumber 4%, dan 8% tidak memenuhi spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2 dengan nilai minimum berada pada angka 3.00 % dan maksimum berada pada angka 5.00%
2. Hasil pengujian permeabilitas aspal porus dengan campuran bahan tambah rubber dan serat baja, mengalami peningkatan permeabilitas aspal porus untuk setiap komposisi mulai dari rumber 0%, 2%, 4% dan 8% dengan substitusi serat baja 0%, 2%, 4% dan 8% yang dilakukan dengan rata-rata waktu percobaan yang berbeda-beda sesuai dengan Air yang berada di dalam tabung (*stand pipe*) jatuh bebas pada ketinggian tertentu hingga melewati rongga pada campuran aspal berpori. Semakin banyak penambahan *rubber* dan Serat baja rubber pada campuran aspal porus maka akan semakin cepat dan mudah campuran tersebut meloloskan air.

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat dikemukakan beberapa saran untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya :

1. *Job Mix formula* untuk nilai stabilitas dan rongga udara atau VIM (*Void in Mineral*) yang baik pada komposisi campuran aspal porus dengan bahan tambah *rubber* pada kadar 0%,2%
2. Pengujian disesuaikan berdasarkan persyaratan Spesifikasi dari Bina marga 2018
3. Menjaga kondisi ruangan agar tidak ada angin yang dapat mempengaruhi penimbangan material.
4. Pastikan tidak adanya benda uji yang tergores atau terkelupas sehingga dapat mempengaruhi berat pada saat ditimbang.
5. Keterbatasan alat yang digunakan pada saat pengujian permeabilitas sehingga pengujian harus dilakukan secara manual



DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, K. A. *et al.* (2017) "A review of using porous asphalt pavement as an alternative to conventional pavement in stormwater treatment," *World Journal of Engineering*, 14(5), hal. 355–362. doi: 10.1108/WJE-09-2016-0071.
- Ahmad, K. A. *et al.* (2019) "Image processing procedure to quantify the internal structure of porous asphalt concrete," *Multidiscipline Modeling in Materials and Structures*, 15(1), hal. 206–226. doi: 10.1108/MMMS-08-2017-0073.
- Akhtar, M. N., Al-Shamrani, A. M., Jameel, M., Khan, N. A., Ibrahim, Z., & Akhtar, J. N. (2021). Stability and permeability characteristics of porous asphalt pavement: An experimental case study. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00591.
- Ali, Nur. (2013). "Studi Penggunaan Serat Ijuk Sebagai Bahan Tambah pada Aspal Poros Liquid Asbuton (108M)". *Jurnal Konferensi Nasional Teknik Sipil* 7. Surakarta. Univeristas Sebelas Maret.
- Alviyanda, A. dan Sipayung, C. S. (2023) "Studi Batuan Asal (Provenance) Batupasir Formasi Simpangaur Daerah Way Krui, Lampung," *Journal of Science and Applicative Technology*, 7(1), hal. 26. doi: 10.35472/jsat.v7i1.1086.
- Amiruddin *et al.* (2018) "Pemanfaatan Material Lokal Dalam Pembuatan Aspal," *Jurnal Forum Mekanika*, 7(2), hal. 1–9.
- Anggiani, D., Puspito, H. dan Meutia, W. (2020) "ANALISIS KINERJA ASPAL PEN 60/70 DAN ASPAL POLIMER JAP-57 DALAM CAPURAN ASPAL PORUS (Performance analysis of asphalt Pen 60/70 and Polymer Asphalt JAP-57 in the Porous Asphalt Mixture)," *ANALISIS KINERJA ASPAL PEN 60/70 DAN ASPAL POLIMER JAP-57 DALAM CAPURAN ASPAL PORUS (Performance analysis of asphalt Pen 60/70 and Polymer Asphalt JAP-57 in the Porous Asphalt Mixture)*, 3(1), hal. 19–24.
- Badan Standardisasi Nasional (2011) "SNI 2434:2011 Cara Uji Titik Lembek Aspal," *Badan Standardisasi Nasional* (2011).
- Badan Standarisasi Nasional (2005) "Cara uji butiran agregat kasar berbentuk pipih, lonjong, atau pipih dan lonjong," *SNI T-01-2005*.
- Badan Standarisasi Nasional (2010) "Spesifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi," *Spesifikasi aspal keras berdasarkan penetrasi*, hal. 2.
- Badan Standarisasi Nasional (2011) "Cara uji berat jenis aspal keras, SNI 2441:2011," *Badan Standardisasi Nasional*.
- Badan Standarisasi Nasional (2012) "SNI ASTM C136:2012. Metode uji untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar," *Badan Standardisasi*

Nasional, hal. 1–24.

Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2417-2008, Melttoldel Pengujian Kelausan Agrelgat delngan Melsin Abrasi Lols Angellels, Jakarta, 2008

Bina Marga (2003) “Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall,” *RSNI M-01-2003*, hal. 1–18.

Candra, P. R., Siswanto, H. dan Rahardjo, B. (2021) “Karakteristik Marshall Campuran Aspal Porus dengan Penambahan Polyurethane,” *Jurnal Media Teknik Sipil*, 19(1), hal. 11–16. doi: 10.22219/jmts.v19i1.14681.

Diana, I. W. (2004) “Studi Rongga Menerus Dan Kinerja Permeabilitas Perkerasan Aspal Porus Lapis Ganda,” *Jurnal Transportasi*, 4(2), hal. 85–98.

Djumari dan Djoko Sarwono. (2009). "Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal dengan Metode Penempatan Kering". Media Teknik Sipil Volume IX

Dwi Sampurno, A., Satyarno, I., & Taufik Mulyono, A. (2019). Pengaruh Serat Baja (Dramix) Terhadap Kuat Lentur Pada Roller Compacted Concrete (Rcc). *INERSIA: LNformasi Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 15(1), 43–53. <https://doi.org/10.21831/inersia.v15i1.24862>

Gupta, A., Lastra-Gonzalez, P., Rodriguez-Hernandez, J., Gonzalez, M. G., & Castro-Fresno, D. (2021). Critical assessment of new polymer-modified bitumen for porous asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 307, 124957.

Jiang, W., Yuan, D., Shan, J., Ye, W., Lu, H., & Sha, A. (2022). Experimental study of the performance of porous ultra-thin asphalt overlay. *International Journal of Pavement Engineering*, 23(6), 2049-2061.

Jimmyanto, H. *et al.* (2024) “Studi Literature Review Perkembangan Penelitian Aspal Porus (Tahun 2017 – 2021),” *Jurnal Teknik Sipil LATERAL*, 2(1), hal. 38–47. doi: 10.52333/lateral.v2i1.642.

Johannes, D., Mangundap, K., Sugiharto, H., & Wijaya, G. B. (2017). Pengaruh penambahan serat baja 4D dramix terhadap kuat tekan, tarik belah, dan lentur pada beton. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 6(2), 40–47.

Karyawan, I. D. M. A., Widianty, D. dan Rahayu, L. S. (2020) “Pengaruh Penambahan Serat Ijuk Terhadap Porositas dan Permeabilitas Campuran Aspal Porus,” *Jurnal Sipilains*, 10 2(September), hal. 151–156. Tersedia pada: <http://ithh.journal.ipb.ac.id/index.php/p2wd/article/view/22930>.

Katsuji Nishijima, Shiego Higashi and Masaki Ikeuchi. (2009). Development of repaved porous asphalt pavement method for reconstructing existing dense graded asphalt pavement into porous asphalt pavement using the in-place surface recycling method, *Proceeding of 13th Conference of the Road*

- Engineering Association of Asia and Australasia (REAAA)*, 9-15.
- Marga, D. J. B. (2018) "Spesifikasi Umum 2018," *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018*, (September), hal. 1–1013.
- M. F. Syaviq, M. Z. Arifin, H. Bowoputro, L. Djakfar, and L. Ambarwati, "Studi Pengaruh Penambahan Serabut Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Porus," *Rekayasa Sipil*, vol. 12, no. 2, pp. 92–98, 2018.
- Prijantoro, J. P. E., Wallah, S. E., & Dapas, S. O. (2018). Perilaku Mekanis Beton Serat Dengan Kombinasi Kawat Bendrat Dan Dramix 3D. *Jurnal Sipil Statik*, 6(12), 1129–1136.
- Sarwono, D. dan Wardhani, A. K. (2007a) "MEDIA TEKNIK SIPIL/ PENGUKURAN SIFAT PERMEABILITAS CAMPURAN POROUS ASPHALT Astuti Koos Wardhani," *Media Teknik Sipil*, hal. 131–138.
- Sarwono, D. dan Wardhani, A. K. (2007b) "Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran Porous Asphalt," *Media Teknik Sipil*, hal. 131–138.
- Sembung, N. T. *et al.* (2020) "Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon," *Jurnal Sipil Statik*, 8(3), hal. 345–352.
- SNI 06-2489-1991 (1991) "Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall," *Badan Standardisasi Nasional*, (1), hal. 7.
- Veranita (2016) "Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Porus Menggunakan Retona Blend 55 Dengan Metode Australia," *Jurnal Teknik Sipi Fakultas Teknik*, 4(2), hal. 80–90.
- Yusuf, J., Widarto, H. dan Hidayat, A. (2021) "Studi Penggunaan Aspal Modifikasi pada Campuran Aspal Porus," *Jurnal Karajata Engineering*, 1(1), hal. 25–33. doi: 10.31850/karajata.v1i1.692.
- Zahrani, S. K. dan Rahmawati, T. A. (2024) "Tugas akhir analisis asphalt concrete wearing coarse (ac-wc) porous dengan bahan tambah serat selulosa dan rubber."
- Zhang, K., Liu, Y., Nassiri, S., Li, H., & Englund, K. (2021). Performance evaluation of porous asphalt mixture enhanced with high dosages of cured carbon fiber composite materials. *Construction and Building Materials*, 274, 122066.