

TUGAS AKHIR

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

**Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh:

Sasi Kirana Zahrani

Nim : 30202000182

Tiara Azkia Rahmawati

Nim : 30202000194

**FAKULTAS TEKNIK PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG SEMARANG**

2024

LEMBAR PENGESAHAN
ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE
(AC-WC) POROUS DENGAN BAHAN
TAMBAH SERAT SELULOSA DAN RUBBER



SASI KIRANA ZAHRANI
NIM : 30202000182



TIARA AZKIA RAHMAWATI
NIM : 30202000194

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2024

Tim Penguji

1. **Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si**
NIDN: 0631057002
2. **Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT**
NIDN: 0611118903
3. **Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**
NIDN: 0631128901

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik

Universitas Islam Sultan Agung

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 19 / A.3 / SA - T / 1 / 2024

Pada hari ini tanggal Januari berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si., M.Si
Jabatan Akademik : Lektor Kepala
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Sasi Kirana Zahrani
NIM : 30202000182

Tiara Azkia Rahmawati
NIM : 30202000194

Judul : Analisis Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC) Porous dengan Bahan Tambah Serat Selulosa dan Rubber Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	18/09/2023	ACC
2	Seminar Proposal	17/11/2023	ACC
3	Pengumpulan data	19/11/2023	ACC
4	Analisis data	05/12/2023	ACC
5	Penyusunan laporan	10/12/2023	ACC
6	Selesai laporan	22/01/2023	ACC

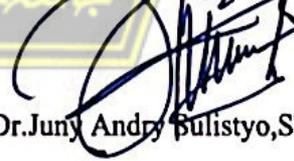
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

Dosen Pembimbing Utama



Dr. Hj. Hermin Poedjiastu, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Pendamping



Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Sasi Kirana Zahrani
NIM : 30202000182

Tiara Azkia Rahmawati
NIM : 30202000194

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **“Analisis Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Porous dengan Bahan Tambah Serat Selulosa dan Rubber “**

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, __/__/__

Yang membuat pernyataan,

Yang membuat pernyataan,


Sasi Kirana Zahran
NIM : 30202000182


Tiara Azkia Rahmawati
NIM : 30202000194



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

1. NAMA : Sasi Kirana Zahrani
NIM 30202000182
2. NAMA : Tiara Azkia Rahmawati
NIM 30202000194

JUDUL TUGAS AKHIR : Analisis Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC) Porous dengan Bahan Tambah Serat Selulosa dan Rubber

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Yang membuat pernyataan,

Semarang, / /
Yang membuat pernyataan,

Sasi Kirana Zahrani

NIM : 30202000182

Tiara Azkia Rahmawati

NIM : 30202000194

MOTTO

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”

(Qs. Ali Imran :110)

“ Dan bersabarlah kamu, sesungguhnya janji Allah adalah benar”

(Qs. Ar-Ruum60)

“ Angin tidak berhembus untuk menggoyangkan pepohonan, melainkan menguji kekuatan akarnya.”

(Ali bin Abi Thalib).

“ Pantang dalam menyerah, pantang dalam berpatah arang. Tidak ada kata gagal untuk orang yang enggan berhasil. Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus dari rahmat Allah melainkan orang-orang yang kufur.”

(QS. Yusuf: 87)

"Tidak ada ujian yang tidak bisa diselesaikan. Tidak ada kesulitan yang melebihi batas kesanggupan. Karena, 'Allah tidak akan membebani seseorang melainkan sesuai dengan kadar kesanggupannya'."

(QS. Al Baqarah: 286)

"Usaha dan doa tergantung pada cita-cita. Manusia tiada memperoleh selain apa yang telah diusahakannya."

(Jalaluddin Rumi)

“ Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk dicapai. Tidak ada sesuatu yang mustahil untuk diselesaikan. Karena, 'Sesungguhnya Allah bebas melaksanakan kehendak-Nya, Dia telah menjadikan untuk setiap sesuatu menurut takarannya'."

(QS. At Thalaq: 3)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua saya tercinta, ayah Muallif dan Rusiyani yang selalu memberi semangat serta saran yang berguna dan selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Kakak saya Dhea Olivia dan Adik Hasby Kurniawan yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir, serta ponakan saya Dipka Freysi Safrinandiya yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Dr. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Lisa Fitriyana, ST. M.eng selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan membantu menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. Dosen - dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikan ilmunya.
7. Tiara Azkia Rahmawati (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Sahabat Sahabat saya Maslahatul Ummah, Kharisma Novia Widayat, Hapsari Irbah, Vebri Anindiya Putri, dan semua yang telah membantu serta memberi semangat.
9. Stevano Viori Tangka yang telah membantu dan memberikan dukungan tiada hentinya.
10. Teman teman semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tidak bisa saya sebut satu persatu.

Sasi Kirana Zahrani

30202000182

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadirat Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua saya tercinta, ayah Sunarto dan Ibu Reywani Mawarti yang selalu memberi semangat serta saran yang berguna dan selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Kakak - kakak saya Shefia Ayu Ningrum dan Nanda Parahita Ramadhani yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir, serta ponakan saya Elisha Khanaya Putri yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Lisa Fitriyana, ST. M.eng selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan membantu menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. Dosen - dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikan ilmunya.
7. Sasi Kirana Zahrani (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Septianu Achmad Sayfudin yang telah membantu dan memberi dukungan tiada hentinya.
9. Sahabat – Sahabat saya Niken, Yasinta, Nuvi, Riza, dan Widya yang telah membantu serta memberi semangat.
10. Teman — teman semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tidak bisa saya sebut satu — persatu

Tiara Azkia Rahmawati

30202000194

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Analisis Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC) Porous Dengan Bahan Tambah Serat Selulosa Dan Rubber”.

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu ingin mengucapkan terima kasih kepada kepada:

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Ibu Dr. Hj. Hermin Poedjiastoeti, S.Si, M.Si selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbinga dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. Bapak Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang,

Januari 2024

Sasi Kirana Zahrani

Tiara Azkia Rahmawati

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
.DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRACT	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Pendahuluan	5
2.2 Dasar Teori.....	5
2.2.1 Lapisan Permukaan.....	5
2.2.2 Lapisan Base	6
2.3 Pengertian Aspal Porous	7
2.4 Permeabilitas Aspal Porous.....	9
2.5 Kelebihan dan Kekurangan Aspal Porous.....	10
2.6 Bahan Bahan Aspal Porous	11
2.7 Persyaratan Aspal Porous.....	16
2.7.1 Hubungan Persyaratan Terhadap Kualitas Perkerasan.....	24
2.7.2 Alat Bantu Analisis	25
2.8 Kerangka Pemikiran.....	34

BAB III METODE PENELITIAN	35
3.1. Tipe Penelitian	35
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	35
3.2.1 Bahan Penelitian	35
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	36
3.2.3 Rancangan Campuran Aspal	37
3.3 Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	38
3.4 Tahap Penelitian	40
3.5 Analisis Data	43
BAB IV.....	49
4.1 Persiapan Material.....	49
4.2 Rancangan Campuran Aspal Porous (Job Mix Design).....	50
4.3 Pembuatan Benda Uji Dengan Kadar Aspal.....	51
4.4 Pengujian Laboratorium.....	52
4.3.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik.....	52
4.4.2 Pengujian Agregat Pengujian Laboratorium	53
4.4.3 Hasil Pengujian Hot Bin II.....	55
4.4.4 Hasil Pengujian Hot Bin III.....	55
4.4.5 Hasil Pengujian Hot Bin IV.....	57
4.4.6 Hasil Pengujian Pasir.....	57
4.4.7 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat.....	58
4.5 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Pengujian Lboratorium.....	60
4.6 Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (AASHTO-209%).....	61
4.7 Pengujian Marshall	62
4.7.1 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi dengan Rubber	62
4.7.2 Analisis Hasil Perancangan dan Pengujian Marshall.....	76
4.8 Uji Permeabilitas Aspal.....	77
4.8.1 Pengujian Permeabilitas	77
4.8.2 Penentuan Koefisien Permeabilitas.....	78
BAB V.....	82
KESIMPULAN DAN SARAN	82
5.1 Kesimpulan.....	82
5.2 Saran	82
DAFTAR PUSTAKA.....	xxxiv
LAMPIRAN	xxxv

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Spesifikasi Grdasi Terbuka (AAPA)	17
Tabel 2.2 Angka Koreksi Benda Uji.....	21
Tabel 2.3 Standar Kinerja Aspal Porous.....	24
Tabel. 2.7 Penelitian Terdahulu.....	26
Tabel 3.1. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) dengan <i>Serat Selulosa</i> 0%.....	37
Tabel 3.2. Jumlah Sampel yang akan diuji	43
Tabel 3.3. Ketentuan Syarat Syarat Bahan untyk campuran Aspal Porous.....	44
Tabel 4.1 Pembuatan Benda Uji.....	50
Tabel 4.2 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)Normal Kadar Aspal 5%	51
Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis	53
Tabel 4.4 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat.....	54
Tabel 4.5 Hasil Analisis Pembagian Butiran	55
Tabel 4.6 Hasil Pembagian Butiran AASHTO T-88	56
Tabel 4.7 Hasil Pembagian Butiran AASHTO T-88	57
Tabel 4.8 Hasil Pembagian Butiran AASHTO T-88	58
Tabel 4.9 Perhitungan Kombinasi Agregat.....	59
Tabel 4.10 Hasil Pembagian Butiran	61
Tabel 4.11 Hasil Marshall Komposisi Normal	63
Tabel 4.12 Hasil Marshall Komposisi dengan bahan tambah <i>Rubber</i> dan <i>Serat Selulosa</i> 70	
Tabel 4.13 Pengujian Permeabilitas pada Aspal Porous	78
Tabel 4.26 Pengujian Koefisien Permeabilitas.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Aliran air pada Aspal padat dan Aspal Porous.....	8
Gambar 2.2 Bagian Dari Perkerasan Aspal Porous.....	8
Gambar 2.3 Perbandingan Perkerasan Aspal Konvensional dan Aspal Porous.....	8
Gambar 2.4 Drainase pada Aspal Porous	9
Gambar 3.1 Tahapan Pelaksanaan Penelitian	38
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian.....	39
Gambar 4.1 Persiapan Bahan <i>Rubber</i>	49
Gambar 4.2 Persiapan Bahan <i>Serat Selulosa</i>	79
Gambar 4.3 Kombinasi Agregat.....	60
Gambar 4.4 VIM untuk Komposisi Aspal Porous	64
Gambar 4.5 VMA untuk Komposisi Aspal Porous.....	65
Gambar 4.6 VFB untuk Komposisi Aspal Porous	66
Gambar 4.7 Stabilitas untuk Komposisi Aspal Porous	67
Gambar 4.8 Flow untuk Komposisi Aspal Porous.....	68
Gambar 4.9 Marshall Quentiont untuk Komposisi Aspal Porous	69
Gambar 4.10 VIM untuk Komposisi Rubber dan Serat Selulosa.....	71
Gambar 4.11 VMA untuk Komposisi Rubber dan Serat Selulosa	72
Gambar 4.12 VFB untuk Komposisi Rubber dan Serat Selulosa.....	73
Gambar 4.13 Stabilitas untuk Komposisi Rubber dan Serat Selulosa.....	74
Gambar 4.14 Flow untuk Komposisi Rubber dan Serat Selulosa	75
Gambar 4.15 Marshall Quentient untuk Komposisi Rubber dan Serat Selulosa	76
Gambar 4.17 Grafik Permeabilitas Campuran Aspal Porous.....	80
Gambar 4.17 Grafik Permeabilitas Campuran Aspal Porous.....	81

LAMPIRAN DAFTAR GAMBAR

Lampiran I Dokumentasi Penelitian	86
Gambar 1.1 Pengujian Alat Penetrasi	86
Gambar 1.2 Agregat Kasar.....	86
Gambar 1.3 Penambahan Agregat Halus	87
Gambar 1.4 Penambahan Pasir	87
Gambar 1.5 Penambahan Semen	88
Gambar 1.6 Penambahan Serat Selulosa	88
Gambar 1.7 Pencampuran Benda Uji	89
Gambar 1.8 Penumbukan Benda Uji.....	90
Gambar 1.9 Mengeluarkan Benda Uji dan Cetakan.....	91
Gambar 1.10 Benda Uji	91
Gambar 1.11 Pengujian Permeabilitas	92
Gambar 1.13 Pengujian Marshall	92



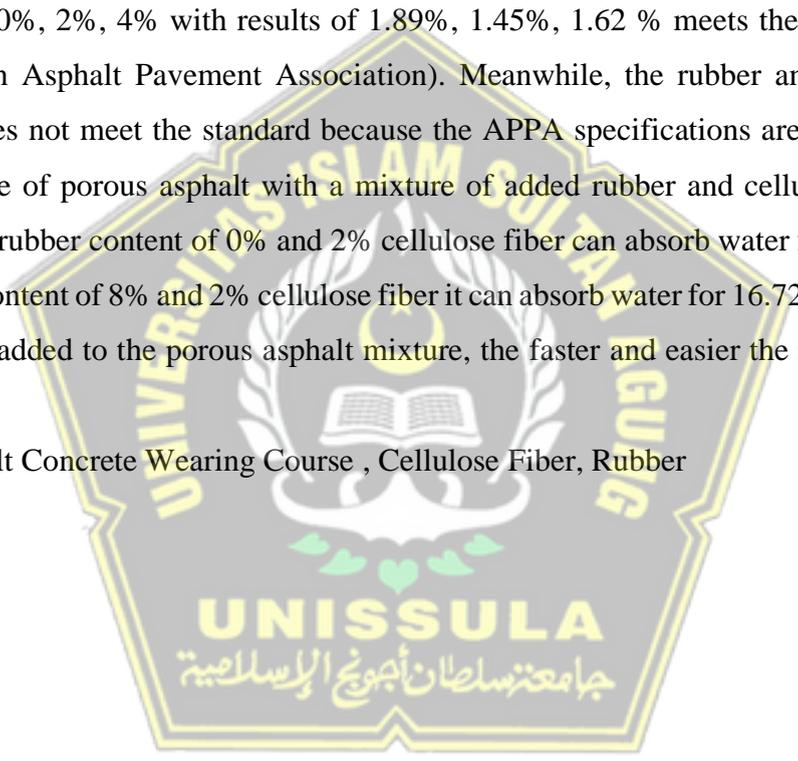
**LAMPIRAN
DAFTAR TABEL**

Lampiran II Data Pengujian Aspal	93
Tabel 2.1 Hasil Pengujian Campuran Aspal Normal dengan kadar 5%	93
Tabel 2.2 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 0% dan Serat Selulosa 2%	93
Tabel 2.3 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 0% dan Serat Selulosa 4%	94
Tabel 2.4 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 0% dan Serat Selulosa 8%	94
Tabel 2.5 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 2% dan Serat Selulosa 2%	95
Tabel 2.6 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 2% dan Serat Selulosa 4%	95
Tabel 2.7 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 2% dan Serat Selulosa 8%	95
Tabel 2.8 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 4% dan Serat Selulosa 0%	96
Tabel 2.9 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 4% dan Serat Selulosa 2%	96
Tabel 3.0 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 4% dan Serat Selulosa 4%	97
Tabel 3.1 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 4% dan Serat Selulosa 8%	98
Tabel 2.4 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 0% dan Serat Selulosa 8%	99
Tabel 2.4 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 2% dan Serat Selulosa 8%	99
Tabel 2.4 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 4% dan Serat Selulosa 8%	100
Tabel 2.4 Hasil Pengujian Aspal dengan bahan tambah Rubber 8% dan Serat Selulosa 8%	100

ABSATRACT

Roads are the transportation infrastructure most widely used by Indonesian people for daily mobilization. Road conditions, especially when it rains, can cause a lot of water to pool on the road surface so that the road surface becomes slippery which can cause vehicle wheels to slip and can cause accidents. This research aims to find out the best job mix of porous asphalt with added ingredients of cellulose fiber and rubber. This research uses an experimental method with trials to obtain results, job mix design in Marshall testing obtained VIM values with rubber and cellulose fiber at levels of 0%, 2%, 4% with results of 1.89%, 1.45%, 1.62 % meets the specifications of APPA (Australian Asphalt Pavement Association). Meanwhile, the rubber and cellulose fiber content at 8% does not meet the standard because the APPA specifications are at 1%-2.55. The permeability value of porous asphalt with a mixture of added rubber and cellulose fiber in test specimens with a rubber content of 0% and 2% cellulose fiber can absorb water for 18.37 seconds and for a rubber content of 8% and 2% cellulose fiber it can absorb water for 16.72 seconds. second. The more rubber added to the porous asphalt mixture, the faster and easier the mixture will pass water.

Keyword: Asphalt Concrete Wearing Course , Cellulose Fiber, Rubber



ABSTRAK

Jalan merupakan prasarana transportasi yang paling banyak digunakan oleh Masyarakat Indonesia untuk melakukan mobilisasi keseharian. Kondisi jalan terutama saat hujan dapat banyak air yang menggenangi permukaan jalan sehingga permukaan jalan menjadi licin yang dapat membuat roda kendaraan tergelincir dan dapat menyebabkan kecelakaan. Penelitian ini bertujuan mengetahui job mix terbaik dari aspal porous dengan bahan tambah serat selulosa dan rubber. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan percobaan untuk mendapatkan hasil, job mix design pada pengujian marshall mendapatkan nilai VIM dengan rubber dan serat selulosa pada kadar 0%,2%,4% dengan hasil 1,89% ,1,45%, 1,62% memenuhi spesifikasi dari APPA (Australian Asphalt Pavement Association). Sedangkan kadar rubber dan serat selulosa pada kadar 8% tidak memenuhi standar karena spesifikasi dari APPA berada pada angka 1%-2,55. Nilai permeabilitas aspal porous dengan campuran bahan tambah rubber dan serat selulosa pada benda uji kadar rubber 0% dan serat selulosa 2% dapat menyerap air selama 18,37 detik dan untuk kadar rubber 8% dan serat selulosa 2% dapat menyerap air selama 16,72 detik. Dengan semakin banyak rubber yang ditambahkan pada campuran aspal porous maka semakin cepat dan mudah campuran tersebut meloloskan air.

Kata Kunci: Aspal Porus AC-WC, Serat Selulosa, Rubber

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 perkerasanyang 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 porous adalah campuran aspal dengan kadar pasir yang rendah untuk mendapatkan ruang pori yang tinggi dan diharapkan dapat meresapkan air.

Jenis perkerasan aspal porus merupakan teknik pelapisan jalan yang sangat inovatif, karena mudah meloloskan air masuk ke dalam 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).

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 pen 60/70 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 dimodifikasi 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 selulosa 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 Selulosa dan *Rubber* guna mencegah kerusakan akibat penggenangan air di permukaan aspal diharapkan dapat diminimalisir dengan menggunakan campuran material yang diteliti.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Apakah serat selulosa dan rubber sesuai digunakan pada campuran aspal porous untuk mendapatkan *job mix* terbaik?
2. Bagaimanakah pengaruh penambahan serat selulosa dan *rubber* terhadap nilai permeabilitas pada campuran aspal porous?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menganalisis *job mix* terbaik dari aspal porous dengan bahan tambah serat selulosa dan *rubber*.
2. Menganalisis hasil nilai permeabilitas yang optimal dari perbandingan campuran aspal porous antara serat selulosa dan *rubber*.

1.4 Manfaat Penelitian

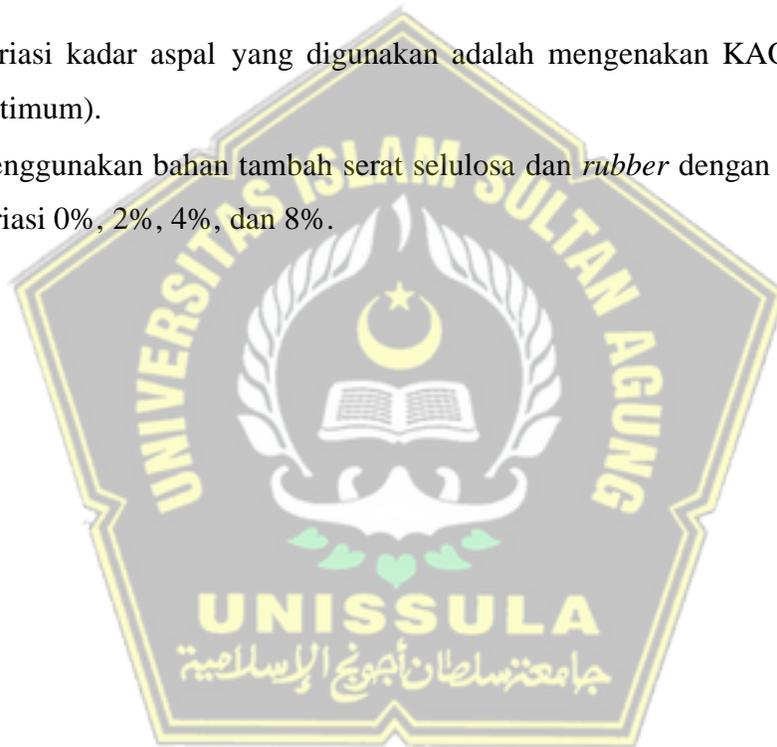
Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Dapat digunakan untuk perkerasan jalan di area dekat pesisir yang dapat mengurangi pencemaran air dan penurunan kualitas air.
2. 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.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Perencanaan penelitian dengan pengembangan aspal porus untuk perkerasan jalan.
2. Metode yang digunakan adalah dengan metode eksperimen laboratorium.
3. Meterial fraksi berupa agregat kasar dan halus yang berasal dari *quary material* Kalikuto, Batang.
4. Bahan aspal yang digunakan adalah aspal pen 60/70.
5. Variasi kadar aspal yang digunakan adalah mengenakan KAO (kadar Aspal Optimum).
6. Menggunakan bahan tambah serat selulosa dan *rubber* dengan masing-masing variasi 0%, 2%, 4%, dan 8%.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Berdasarkan informasi Jurnal, Prosiding, Peraturan-Peraturan yang berkaitan dengan penelitian ini akan dikaji atau ditinjau akan dipergunakan sebagai acuan dalam meneliti dan membahas hasil penelitian. Selanjutnya akan dijelaskan tentang aspal porous untuk perkerasan jalan.

2.2 Dasar Teori

Perkerasan yang dirancang untuk memungkinkan air meresap ke dalam lapisan tanah di bawahnya disebut perkerasan berpori. Jalan dengan lalu lintas rendah, tempat parkir, jalur sepeda, jalan setapak, taman bermain, lapangan tenis, dan jalan raya lain yang dapat menopang beban sedang merupakan kandidat yang baik untuk perkerasan berpori. Terdapat ruang terbuka di trotoar ini yang memungkinkan udara dan air bergerak. Air hujan masuk ke dalam perkerasan jalan dan merembes ke dalam tanah karena adanya area kosong tersebut, sehingga mengakibatkan limpasan air hujan dari perkerasan berpori lebih sedikit dibandingkan dengan perkerasan standar.

2.2.1 Lapisan permukaan

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 penahan 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 selulosa merupakan dua bahan yang dapat dimanfaatkan untuk meningkatkan daya rekat..

2.2.2 Lapisan base

Bahan berkualitas tinggi dan pelaksanaan yang tepat diperlukan untuk lapisan pondasi yang dikenal sebagai alas, terletak tepat di bawah lapisan permukaan dan berfungsi untuk menopang beban yang signifikan. Selain berfungsi sebagai bantalan lapisan permukaan, lapisan dasar mendistribusikan gaya beban roda ke lapisan bawah. Lapisan pondasi (dasar) suatu perkerasan tipikal terdiri dari pasir, kerikil pecah, dan partikel-partikel kecil yang diikat menjadi satu dengan tujuan untuk menopang dan memindahkan beban kendaraan ke tanah dasar. Namun karena lapisan pondasi perkerasan berpori dibuat tidak hanya untuk menopang bobot mobil tetapi juga melewati celah-celah sehingga campuran tersusun dari batu pecah dengan gradasi yang seragam dan hanya sedikit mengandung agregat halus.

1. Lapisan tanah dasar

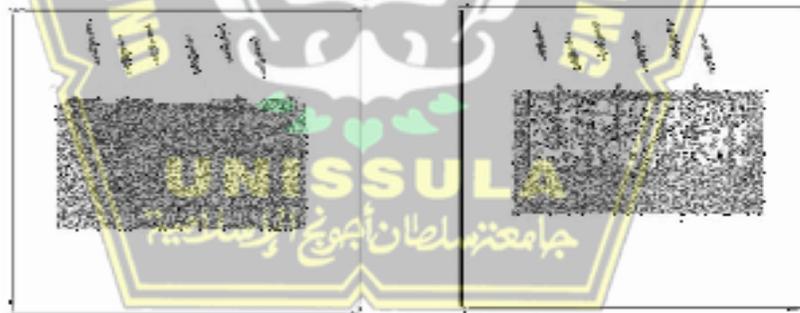
Tanah Untuk perkerasan berpori atau aspal porus merupakan tanah pondasi harus sangat permeabel dan tidak dapat diperluas agar dapat mempertahankan kandungan airnya meskipun basah. Untuk menopang beban mobil yang melintas, subgrade harus mampu mengalirkan air dengan cepat. Daya dukung tanah berkorelasi dengan kekuatannya menahan beban. Berdasarkan pemaparannya, CBR merupakan perbandingan beban uji dan beban standar.

2. Harga CBR

Harga CBR merupakan nilai yang menyatakan kualitas dari tanah dasar dan dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban. Nilai CBR digunakan untuk mengukur kapasitas daya dukung beban tanah sebagai jalan. Semakin padat suatu material, maka akan semakin tinggi nilai CBR pada suatu campuran.

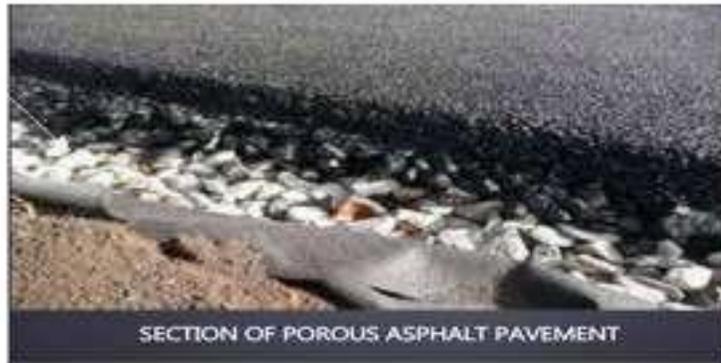
2.3 Pengertian Aspal Porus

Lapisan permukaan aspal berpori adalah lapisan yang diletakkan di atas pondasi atau lapisan permukaan yang permeabel. Kandungan agregatnya yang dominan (85%) menghasilkan gradasi bergradasi terbuka yang berfungsi sebagai drainase di bawah permukaan jalan. Anda dapat mengacu pada Gambar 2.1 untuk membedakan sirkulasi air pada lapisan perkerasan aspal padat dan lapisan perkerasan aspal berpori. Karena campuran aspal berpori menggunakan gradasi terbuka, maka disebut juga aspal bergradasi terbuka. Gradasi pada agregat menghasilkan campuran aspal yang curahnya sangat kecil, stabilitasnya rendah, dan berpori atau sangat permeabel.



Gambar 2.1 Drainase Pada Aspal Standar atau Padat (a) dan Drainase Aspal Porus (b)

(Sumber: Jauhari, 2013)



Gambar 2.2 Perkerasan Jalan Menggunakan Aspal Porus

(Sumber: <https://www.slideshare.net/ashifar/porous-asphalt-pavement>)

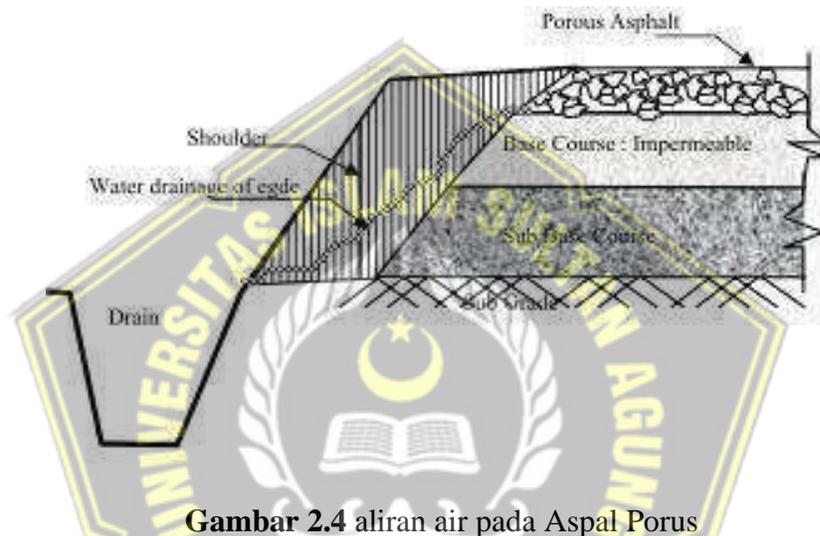


Gambar 2.3 Perkerasan Aspal Konvensional (a) dan Aspal Porus (b)

(Sumber: <https://www.slideshare.net/ashifar/porous-asphalt-pavement>)

2.4 Permeabilitas Aspal Porus

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 2.4 aliran air pada Aspal Porus

(Sumber: Sarwono, 2007)

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.

Pada Porositas, ukuran pori, bentuk pori, morfologi bagian atas pori bagian dalam, susunan batang pori (topologi jaringan pori), ukuran dan distribusi butir, pemadatan, dan sementasi semuanya mempengaruhi permeabilitas batuan (Cole, 1983).

Nilai porositas dan nilai permeabilitas aspal berpori mempunyai hubungan yang sangat erat. Koefisien permeabilitas dan densitas masing-masing mempunyai hubungan berbanding terbalik dengan kandungan pori (nilai VIM) dan koefisien permeabilitas. Hal ini disebabkan karena massa jenis campuran aspal akan turun dan air akan semakin mudah mengalir melaluinya jika semakin banyak ruang kosong yang ada di dalam campuran (Sarwono,2007)

2.5 Kelebihan dan Kekurangan Aspal Porus

Penggunaan campuran berongga pada perkerasan aspal berpori memberikan manfaat seperti penurunan genangan, atau gesekan roda pada saat jalan basah, dan peningkatan ketahanan terhadap selip atau slip karena tingginya tingkat kekasaran permukaan yang mencegah roda tergelincir. Ini juga mengurangi kebisingan. Karena perkerasan aspal berpori dapat meningkatkan permukaan jalan dengan mengurangi kebutuhan drainase.

Efektivitas dalam mengendalikan curah hujan, meningkatkan kualitas air, dan mengisi kembali sumber air tanah adalah beberapa keunggulan aspal. Air hujan yang masuk ke rongga penyimpanan melalui bagian atas aspal berpori ditahan sementara di sana, memperlambat alirannya sebelum akhirnya kembali ke dasar dan melanjutkan pasokan air tanah. Polutan disaring ketika air diserap, dan bakteri kemudian memecahnya untuk meningkatkan kualitas air.

Aspal berpori bekerja sangat baik di iklim dingin karena saluran air menembus lapisan atas dengan cepat. Hal ini dapat mengurangi jumlah penguraian bahan kimia yang digunakan. Jumlah garam es telah menurun sebesar 75%, menurut University of New Hampshire Stormwater Center. Penggunaan bahan kimia menurun drastis, meski konsumsi garam belum sepenuhnya hilang. Ini bekerja dengan baik untuk mengurangi polusi yang disebabkan oleh garam (Roseen et al.2014)

kelebihan dan kekurangan di penggunaan aspal porus berdasarkan Labens 2012 menjadi berikut :

A. Kelebihan Aspal Porus

- Pengurangan kontaminasi dalam air limpasan serta sedimen.
- Mengurangi kebisingan berasal ban tunggangan.
- Pengurangan volume limpasan stromwater.

B. Kekurangan Aspal Porus

- Biaya awal struktur perkerasaan lebih tinggi.
- Potensi terjadi penyumbatan oleh kotoran.

2.6 Bahan-bahan Aspal Porus

Bahan-bahan yang digunakan sebagai penyusun perkerasaan aspal porus sebagai berikut:

1. Agregat

Pada agregat, serta aspal merupakan komponen penyusun lapisan aspal yang berpori. Karena ruang udara yang dirancang tidak dapat diisi oleh bahan pengisi, lapisan aspal berpori agak tidak konsisten dengan penggunaan lapisan beton aspal normal karena tidak memerlukan bahan pengisi. Menurut presentase berat yang mengandung 90%-95% agregat dan presentase volume mengandung 75%-85% agregat. Dalam hal ini adalah karakteristik agregat dan campuran yang dibuat dengan mineral tambahan juga digunakan untuk menilai daya dukung, umur dan kualitas perkerasaan jalan.

Agregat Kasar

Batuan yang ukurannya berkisar antara 4,8 mm sampai 150 mm, berasal dari batuan pecah atau batuan alam, disebut sebagai agregat kasar. Saodang (2005) menyatakan bahwa buah disortir menjadi agregat kasar (yaitu bahan yang disimpan pada filter No. 4) berdasarkan ukuran buah, dengan ukuran butiran lebih dari ¼ inci (6,35 mm). Agregat kasar harus mempunyai sifat kekerasan karena berfungsi sebagai bahan pengisi dan penstabil mekanis pada campuran aspal. Uji Abrasi Los Angeles dapat digunakan untuk mengetahui karakteristik kekerasan dan soliditas agregat kasar.

a. Agregat Halus

Menurut Saodang (2005), bahan yang lolos saringan No. 4 yang mempunyai bukaan 4,75 mm dan ditahan oleh saringan No. 200 yang mempunyai bukaan 0,075 mm, dianggap agregat berbutir halus. Bahan ini biasanya merupakan campuran keduanya atau pasir murni yang telah disaring dari mesin penghancur batu. Agregat halus campuran aspal meningkatkan kualitas campuran dengan mengisi celah yang diciptakan oleh agregat kasar. Campuran aspal berpori membutuhkan jumlah agregat halus yang berbeda dibandingkan campuran aspal biasa.

Terdapat spesifikasi agregat kasar dan halus yang harus digunakan dalam campuran aspal. Evaluasi kebutuhan agregat dilakukan berdasarkan penilaiannya. Distribusi perubahan ukuran butir agregat disebut sebagai gradasi. Gradasi menentukan berapa banyak rongga yang ada dalam adonan dan menentukan kualitas campuran secara keseluruhan. Menurut AASHTO T27- 82/T11-82 atau SNI 03-1968-1990, uji analisis saringan harus dilakukan untuk memastikan gradasi suatu agregat. Dimana proporsi masing-masing komponen penyusun agregat akan dihasilkan pada pengujian analisis ayakan.

2. Aspal

Aspal adalah zat lengket berwarna hitam kecokelatan yang meleleh pada suhu tinggi dan berbentuk plastik. Batuan alam digunakan untuk membuat aspal, dan minyak bumi pada akhirnya dibakar untuk menghasilkan aspal. Sukirman (1991) mendefinisikan aspal sebagai suatu bahan yang pada suhu normal berwujud padat sampai agak padat dan berwarna hitam atau coklat tua. Aspal dapat berubah menjadi cair atau lunak bila dipanaskan pada suhu tertentu. Aspal adalah salah satu komponen yang sederhana

3. Filler atau Bahan Pengisi

Bahan yang beratnya paling sedikit 75% dan lolos saringan No. 200 (0,075 mm) dianggap bahan pengisi. Pengisi mengisi pori-pori udara material, sehingga mengeraskan lapisan aspal dalam prosesnya. Anda bisa menggunakan semen portland atau abu batu sebagai bahan pengisi.

4. Bahan tambah serat selulosa

Serat alam atau serat selulosa 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 (Eero Sjostrom, 1995).

5. Bahan tambah rubber

Karet atau rubber merupakan bahan yang berasal dari karet alam dan memiliki keunggulan dibandingkan produk lain yang digunakan dalam usaha hilir karet. Karet alam dimodifikasi 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).

2.7 Persyaratan Aspal Porus

Beberapa lembaga penelitian mempunyai standar kombinasi aspal berpori, termasuk standar Australia. Menurut Diana (2004), rongga dalam campuran, kepadatan, stabilitas, aliran, Marshall Quotient (MQ), permeabilitas, dan kekokohan semuanya diperlukan untuk campuran aspal berpori. Untuk spesifikasi gradasi terbuka Australia disyaratkan oleh Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) sebagai berikut :

Tabel 2.1 Spesifikasi gradasi terbuka dengan persyaratan Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)

Ukuran Saringan	No. Saringan (ASTM)	Gradasi Agregat
19 mm	3/4"	100
13,2 mm	1/2"	85-100
9,5 mm	3/8"	45-70
6,7 mm	2/7"	25-45
4,75 mm	No. 4	10-25
2,36 mm	No. 8	7-15
1,18 mm	No. 16	6-12
0,6 mm	No. 30	5-10
0,3 mm	No. 50	4-8
0,15 mm	No. 100	3-7
0,075 mm	No. 200	2-5

Sumber: Australian Asphalt Pavement Association 2003, dalam Ali (2013)

A. Karakteristik *Marshall*

Untuk Metode Marshall digunakan dalam sejumlah penelitian untuk mengukur kualitas campuran aspal beton. Istilah "Marshall" berasal dari nama instrumen pengujian stabilitas yang dirancang oleh Marshall Bruce untuk digunakan dengan spesimen campuran beton aspal. Korps Teknik AS kemudian menyempurnakan instrumen ini. Beberapa statistik akan dihasilkan dari serangkaian pengukuran kualitas campuran dengan menggunakan teknik Marshall.

a. Berat Jenis Bulk Total Agregat

Karena pada setiap agregat dalam campuran beton aspal mempunyai nilai berat jenis yang unik, rumus berikut digunakan untuk mendapatkan nilai berat jenis gabungan agregat..

$$Gsb_{total} = \frac{p_1 + p_2 + \dots + p_n}{\frac{p_1}{Gsb_1} + \frac{p_2}{Gsb_2} + \dots + \frac{p_n}{Gsb_n}} \dots \dots \dots (2.1)$$

Keterangan:

Gsb_{total} : Berat jenis bulk agregat gabungan (gr/cm³)

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

Gsb₁, Gsb₂, Gsb₃ : Berat jenis bulk masing-masing agregat (gr/cm³)

b. Berat Jenis Efektif Agregat

berikut adalah rumus yang digunakan untuk menghitung berat jenis efektif agregat, dan merupakan rata-rata berat jenis total dan berat jenis total semu..

$$Gse = \frac{Gsb + Gsa}{2} \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan:

Gse : Berat jenis efektif total agregat (gr/cm³)

Gsb : Berat jenis bulk agregat (gr/cm³)

Gsa : Berat jenis semu agregat (gr/cm³)

c. Berat Jenis Maksimal Agregat

Berat jenis campuran, yang diperoleh dari persentase berat jenis masing-masing bahan adalah berat jenis maksimum agregat. Rumus yang bisa diterapkan adalah sebagai berikut..

$$Gmm = \frac{p_{mm}}{\frac{p_s}{Gse} + \frac{p_b}{G_b}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cm³)

P_{mm} : Persentase berat total campuran (100%)

P_s : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran

P_b : Persentase kadar aspal terhadap berat total campuran

Gse : Berat jenis efektif (gr/cm³)

Gb : Berat jenis aspal (gr/cm³)

d. Kepadatan

Pada saat berat campuran di udara dibagi dengan berat campuran di dalam air saat jenuh, massa jenis campuran yang dihasilkan ditampilkan sebagai nilai yang disebut massa jenis. Ini adalah contoh rumus yang berhasil..

$$G_{se} = \frac{W_m}{(W_{mssd} - W_{mpw})} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan:

W_m : Berat benda uji setelah dipadatkan (gr)

W_{mssd} : Berat benda uji keadaan jenuh setelah dipadatkan (gr)

W_{mpw} : Berat benda uji dalam air setelah dipadatkan (gr)

e. VIM (Void In Mix)

Nilai rongga dalam suatu campuran disebut VIM. Satu digit setelah koma atau angka desimal dapat digunakan untuk mewakili nilai VIM sebagai persentase. VIM berfungsi sebagai standar kepadatan, kekencangan, dan daya tahan suatu campuran. Nilai VIM campuran aspal berpori harus antara 1% dan 2,5%. Nilai VIM dapat dihitung menggunakan rumus di bawah ini..

$$VIM = \frac{G_{mm} + G_{mb}}{G_{MM}} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran (%)

G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum setelah pemadatan (gr/cm³)

G_{mb} : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

f. VMA (Void Material Agregat)

VMA yang dapat dinyatakan dalam bilangan bulat merupakan nilai persentase rongga-rongga pada campuran agregat. Nilai VMA dapat dicari dengan menggunakan rumus matematika di bawah ini.

$$VMA = 100 (G_{sb} + G_{sa}) + G_{mb} \times P_b \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

VMA: Rongga udara pada mineral agregat (%)

Gmb : Berat jenis bulk campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Gsb : Berat jenis bulk dari total agregat (gr/cm³)

g. VFA

Perhitungan nilai VMA mewakili proporsi rongga berisi aspal di antara agregat. Angka VIM dan VMA dibandingkan untuk mengetahui nilai VFA. Rumus untuk menghitung nilai VFA adalah sebagai berikut..

$$Gse = \frac{VM\bar{E}-VIM}{VM\bar{E}} \times 100 \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan:

VFA : Persentase rongga udara yang terisi sang aspal(%)

VMA : Persentase rongga udara pada mineral agregat (%)

VIM : Persentase rongga udara pada adonan (%)

h. Stabilitas

Dalam suatu campuran aspal, stabilitas didefinisikan sebagai ukuran ketahanan terhadap alur, tekanan (aliran) maksimum, atau nilai luluh plastis. Gaya pengikatan yang berasal dari lapisan aspal, gesekan antar bagian, dan penguncian antar partikel semuanya berkontribusi terhadap stabilitas. Alat Uji Marshall berupa sensor tekanan dengan rentang kecepatan tekanan 50 mm/menit dan dilengkapi dengan cincin pembuktian berkapasitas antara 2500 Kilo Gram atau 5000 pon digunakan untuk memperoleh nilai kestabilan. Sebuah jam ukur yang dapat digunakan untuk mengetahui nilai kestabilan adonan dipasang pada proving ring. Nilai stabilitas dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut.

$$S = p \times q \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

S : Nilai stabilitas (kg)

q : Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi

p : Angka koreksi

i. Kelelahan Plastis (Flow)

Aliran yang didefinisikan akibat adanya suatu beban hingga mengalami keruntuhan sebesar 1 mm, merupakan kelelahan plastis atau Flow. Nilai aliran campuran aspal berpori harus antara dua hingga empat milimeter..

j. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah pengukuran kekakuan campuran aspal sehubungan dengan tekanan yang diberikan. Perbandingan nilai aliran dan stabilitas dalam satuan Kilo Gram/mm menghasilkan nilai MQ..

$$\text{Marshall Quotient (MQ)} = \frac{s}{f} \dots\dots\dots (2.9)$$

Keterangan:

MQ : Marshall Quotient (kg/mm)

S : Stabilitas (kg)

f : Flow (mm)

Tabel 2.2 Angka Koreksi

Isi benda uji (cm ³)	Tebal benda uji (mm)	Angka koreksi
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	65,1	0,96
536-546	66,7	0,93
547-559	68,3	0,89
560-573	69,9	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

(Sumber: SNI 06-2489-1991)

k. 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.

$$k = \frac{Q \times L}{A \times h \times t} \dots\dots\dots (2.10)$$

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)

i. 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).

j. 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 Porus

Standar kinerja Marshall campuran aspal porus	
Stabilitas	>500 kg
<i>Flow</i>	2 - 6 mm
VIM (<i>Void in Mix</i>)	10% - 25%
Porositas	10% - 25%
<i>Marshall Quotien</i>	>200 kg/mm
Standar kinerja fungsi campuran aspal porus	
Permeabilitas	>0,1 cm/detik
<i>Cantabro Loss</i>	<15%
<i>Binder Drain Down</i>	Maks. 0,3%

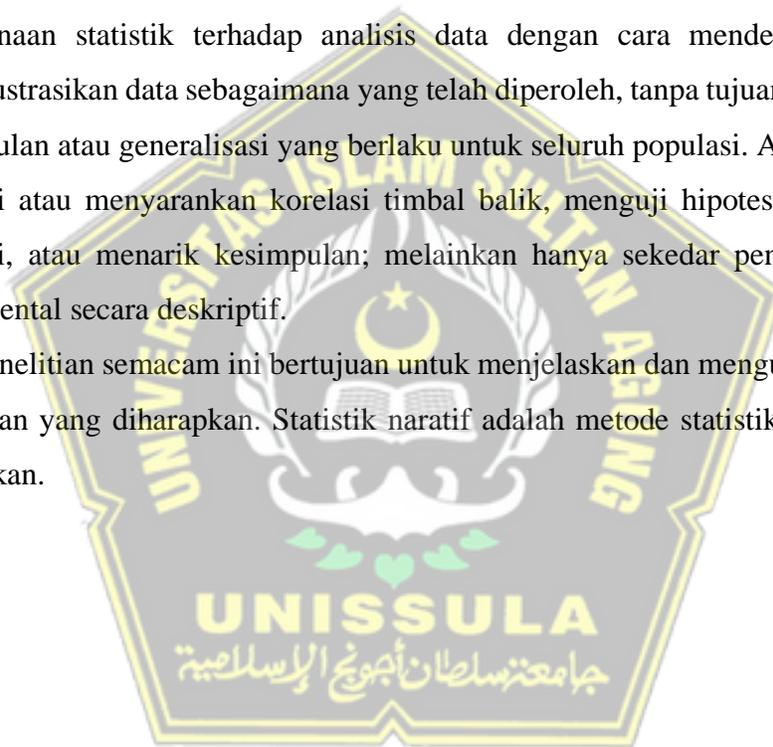
Sumber: Specification for Porous Asphalt AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*), dalam Ali, 2013)

2.7.1 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.



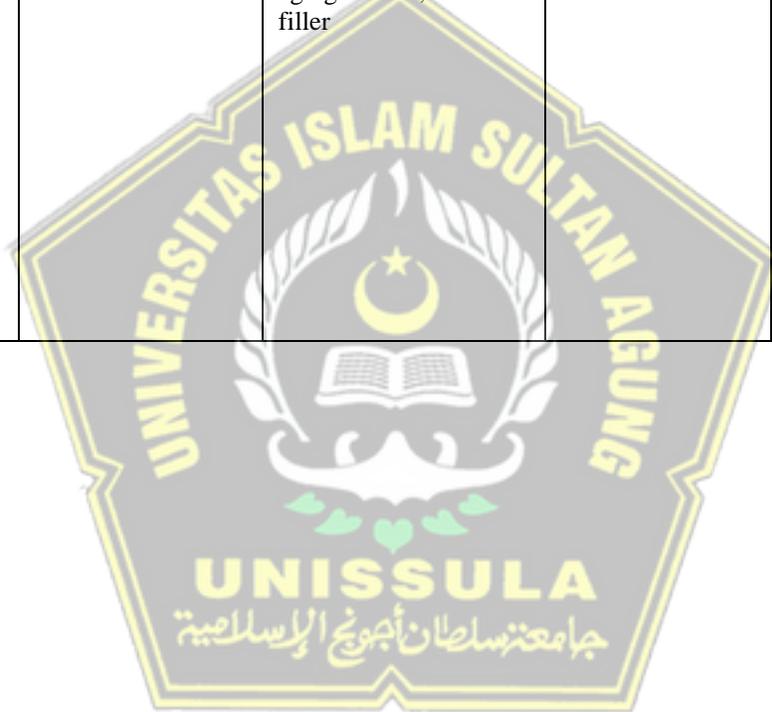
2.7 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Nadya Tesalonika Sembung ,Theo K.Sendow ,Steve Palenewen (2020)	Analisa Campuran Aspal Porous Menggunakan Material Dari Kakasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon	American standart for Testing and materials (ASTM), Amelrican Assolciation of State Higmay and Transportatioln Offiials (AASHTO) dan Standar Nasional Indolnlesia (SNI)	Material dari Kakasen Tomohon,Kota Tomohon	Hasil pada Pengujian permeabilitas yang ditunjukan dari variasi kadar aspal 3%,4%,5%,^%,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 Porous Menggunakan Aspal Polymer sebagai bahan pengikat	Metole yang digunakan dengan melakukan pengamatan langsung (participant) 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.

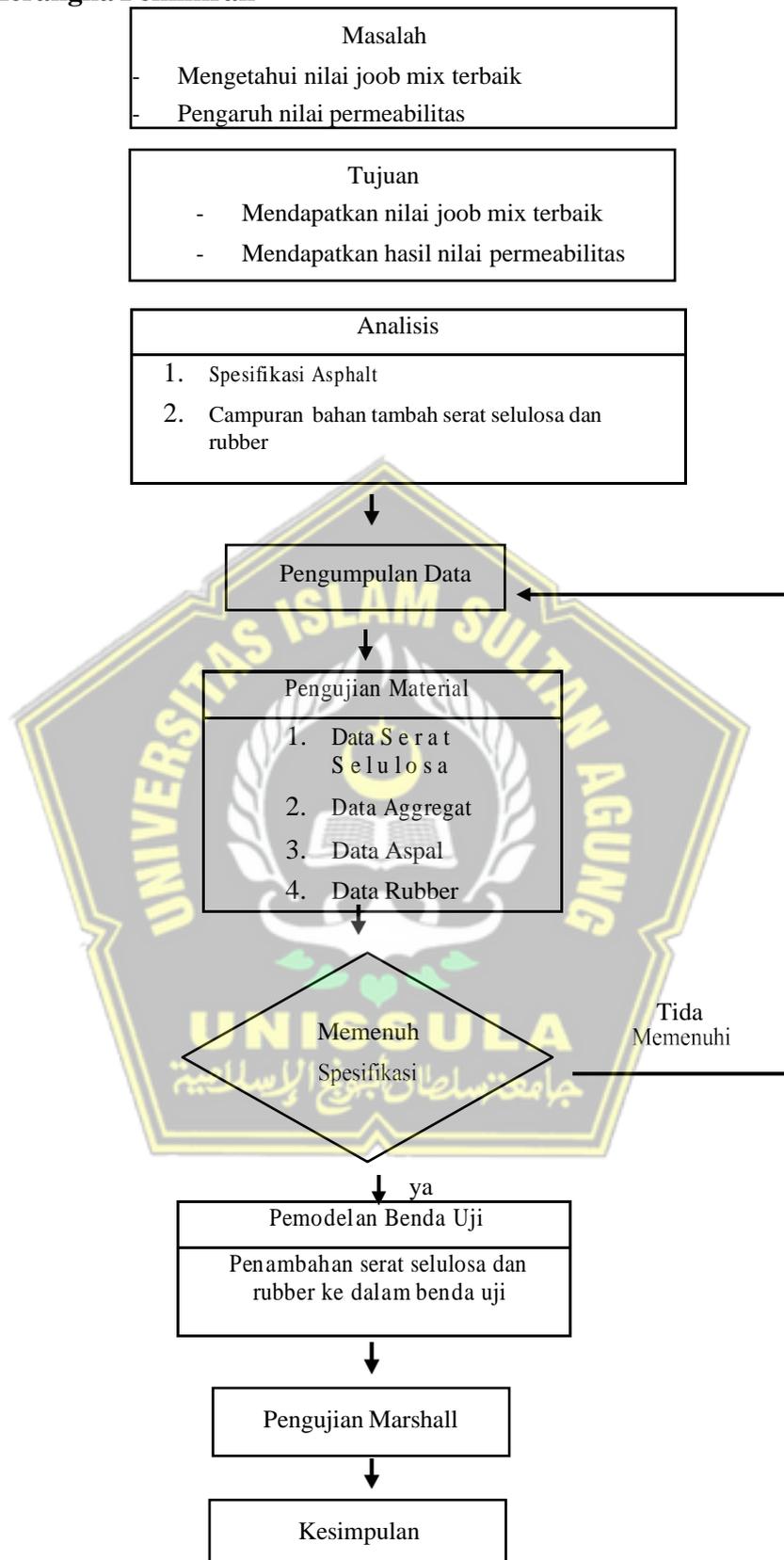
PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Amirudin,Ibrahimi,Ika Sulianti,Agus Subrianto (2018)	Studi Pelngaruh Penambahan Butoln Granular Asphalt 5/20 terhadap karaktelristik Marshall Campuran Asphalt Panas AC-WC	Pelrsenl presentase Buton Granula Asphalt (BGA) 0%, 3%, and 5%, dari campuran desain. Dengan 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 dengan BGA 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 9RAP) dan filler Fly Ash sebagai campuran induk untuk penambahan Styrofoam (Polystyreme)	Analisa pengujian aspal wearing course (AC-WC) dengan bahan reclaimed asphalt pavement (RAP) yang di substitusikan terhadap agregat dan penggunaan fly ash sebagai filler serta penambahan Styfoam 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 aliran 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, Yogiel Risdiantol (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 Ban Bekas	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 kontruksi perkerasan jalan. Sehingga penelitian ini dirasa cukup menjadi solusi dalam menangani permasalahan lingkungan yaitu pengolahan limbah ban bekas.
Molhamad Yusup Awang Ma'ruf, Yogiel Risdiantol (2015)	Pengaruh Penggunaan BGA (Buton Granular Asphalt) pada perencanaan aspal Beton 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 karakteristik 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 floww 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 Melnnggunakan Variasi Kolmposisi (Butoln Granular Asphalt) dan Pelnambahan Aditif Jenis Polimerl	Pengujian campuran aspal dengan menl ggunakan materl ial BGA dan polimer SBS	Campuran aspal panas, BGA,Aditif SBS	Hasil pengujian menunjukkan campuran aspal modifikasi pollimer P4- B5 memiliki nilai stabilitas tertinggi 1333,181kg.Namun pertimbangan ekonomis dari material yang digunakan pada campuran aspal tersebut menjadikan campuran aspal P2-B7 sebagai pilihan campuran 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 marshall Komposisi pada Benda uji yang akan digunakan berupa aspal, sedikit agregat halus, agregat kasar, dan filler	Serat Selulosa dan Rubber	Berdasarkan kondisi jalanan 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.



2.8 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.5 Kerangka Berfikir
(Sumber ; Hasil Penelitian, 2024)

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tipe Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah metode eksperimen. Metode eksperimen adalah metode penelitian yang digunakan untuk mengetahui pengaruh suatu perlakuan terhadap perlakuan lainnya dalam kondisi terkendali (Jaya, 2019). Menurut beberapa ahli yang dapat disimpulkan bahwa penelitian eksperimen merupakan penelitian yang meneliti tentang pengaruh perlakuan atau perlakuan terhadap subjek dari penelitian.

Penelitian laboratorium dan penelitian non-laboratorium adalah dua kategori yang mengklasifikasikan penelitian eksperimental di bidang pendidikan, menurut Jaya (2019). Untuk membandingkan kedua bahan tersebut, dilakukan penelitian melalui uji laboratorium dengan menggunakan campuran aspal berpori yang dimodifikasi yang meliputi karet dan serat selulosa..

3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Agregat kasar, halus, filter diperoleh dari hasil pemecahan batu (stone crusher) di Quarry Material Kalikuto Batang Jawa Tengah.
- b. Bahan aspal yang digunakan adalah Aspal Penetrasi 60/70.
- c. Bahan serat selulosa 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.
- d. 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.

3.3 Peralatan Penelitian

a. Alat penguji agregat dan *filler*

Saringan standar, pengering, timbangan timbang, alat uji berat jenis, tangki perendaman, dan tabung adalah beberapa instrumen yang digunakan untuk pengujian abrasi pada agregat dengan menggunakan mesin Los Angeles.

b. Alat penguji aspal

Peralatan pada pengujian aspal meliputi: alat pengujian kelarutan, alat pengujian berat jenis (piknometer dan timbangan), alat pengujian titik nyala dan titik bakar, alat pengujian titiklembek, dan alat uji kelarutan.

c. Alat pengujian campuran metode *Marshall*

Alat uji yang digunakan untuk pengujian adalah seperti alat untuk metode Marshall meliputi :

1. Alat tekan Marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, 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).
3. Penumbuk yang bernama *automatic asphalt compactor*.
4. Ejector untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan
5. Bak perendaman (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.

3.2.2 Rancangan Campuran Aspal

Komposisi campuran aspal porus yang telah direncanakan yaitu dengan kadar 0%, 2%, 4%, 8% untuk masing-masing setiap campuran filler bukan untuk komposisi normal.

Tabel 3.1. Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)

dengan Serat Selulosa 0%

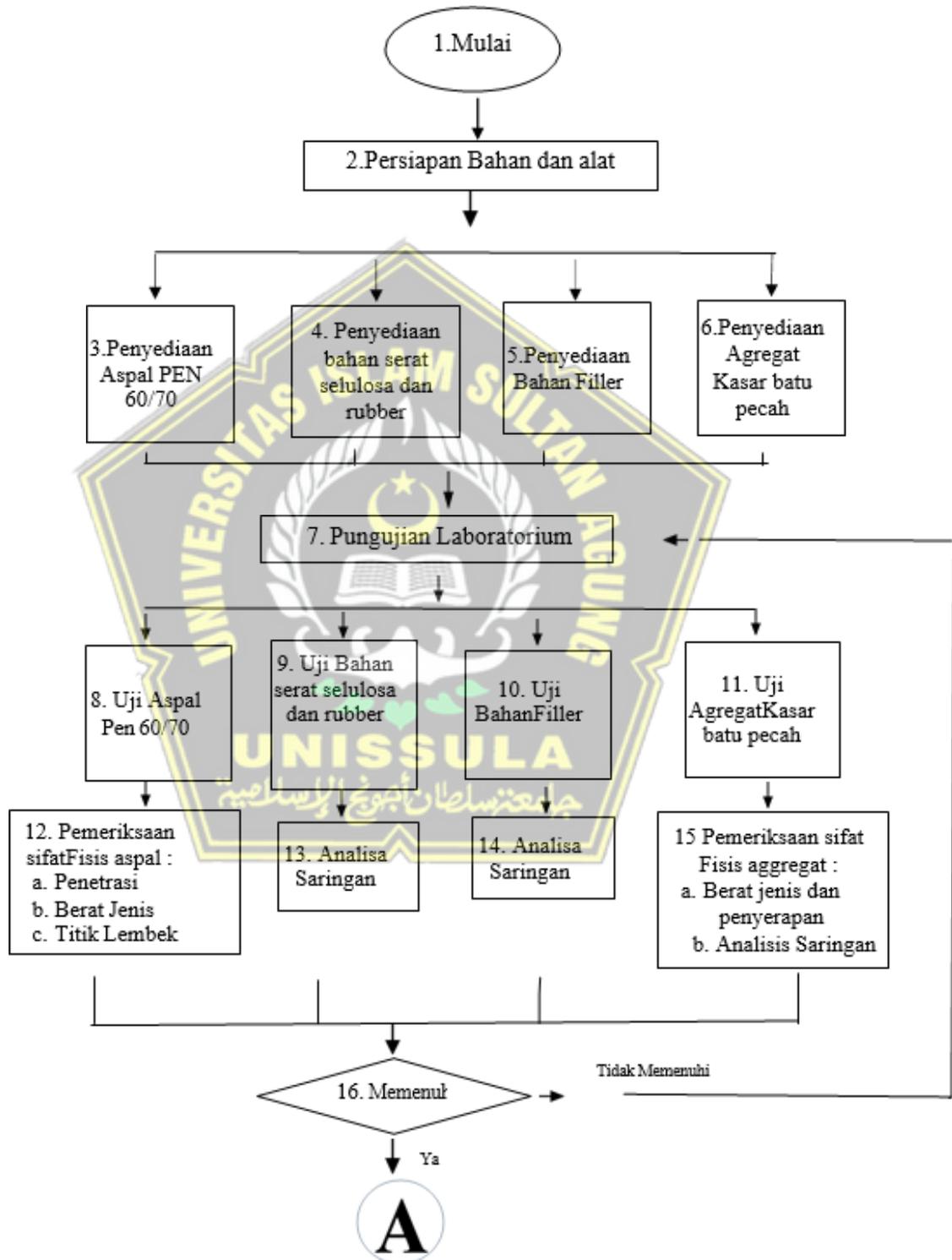
No.	Komposisi	%	Hasil
1	Medium Agregat (3/4)	40 %	480 gram
2	Coarse Agregat (1/2)	33 %	396 gram
4	Pasir	20 %	240 gram
5	<i>Filler</i>	2 %	458,4 gram
6	<i>Aspal</i>	5 %	60 gram
		100 %	1.200 gram
Keterangan Aspal :			
	A. Aspal	5 %	60 gram
	B. Rubber	0 %	0 gram
	C. Serat Selulosa	2 %	0 gram

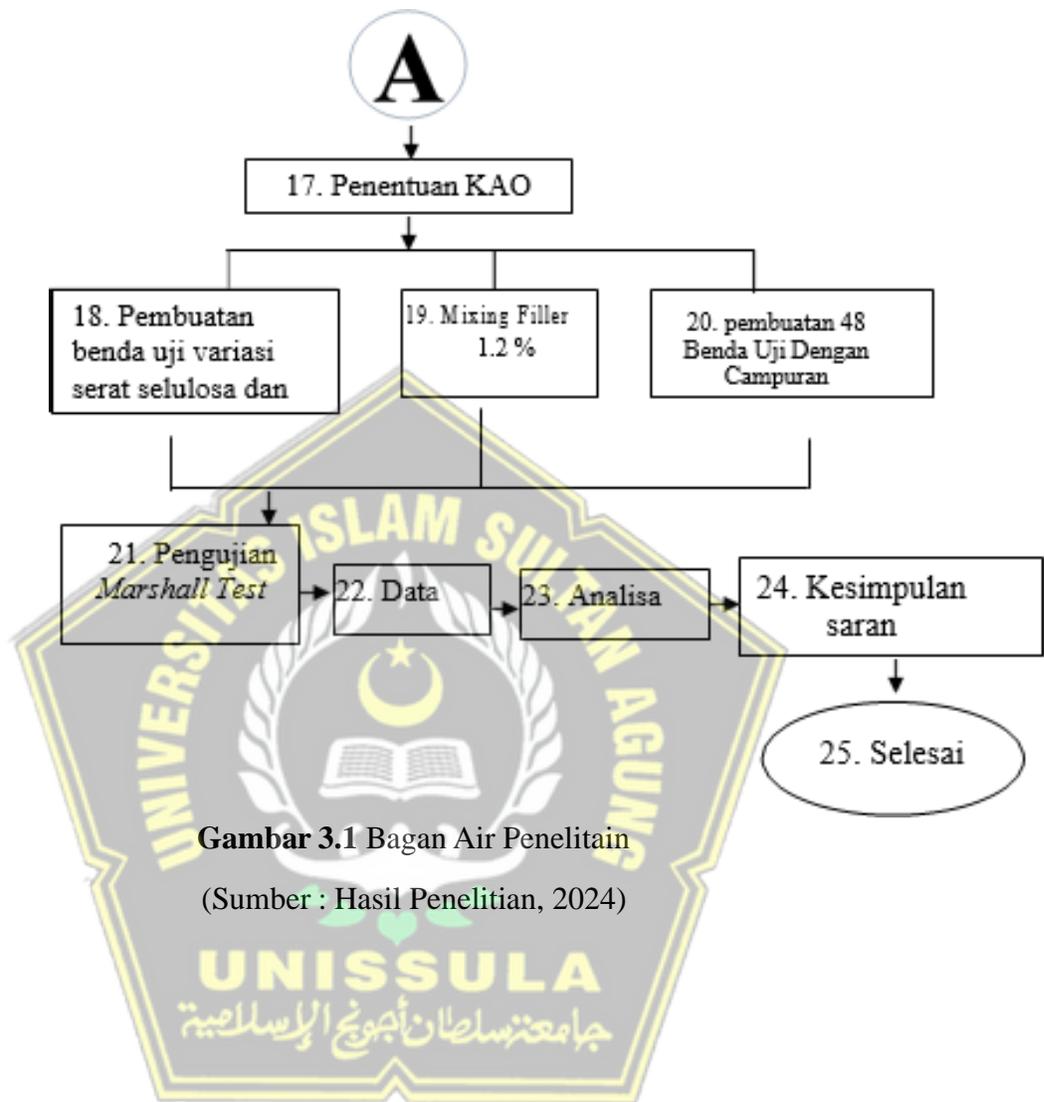
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Komposisi aspal yang direncanakan dengan kadar 5% yang kemudian ditambahkan dengan bahan *rubber* dan serat selulosa kadar 0%, 2%, 4%, dan 8% dan masing-masing kadar ada 3 benda uji dengan total keseluruhan terdapat 48 benda uji, dapat dilihat pada Tabel 3.1

3.4 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Berikut merupakan bagan alir pada penelitian yang dilakukan selama penelitian ini berikut dijelaskan pada **Gambar 3.1**





Gambar 3.1 Bagan Air Penelitain
 (Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

3.5 Tahapan Pelaksanaan

Pada tahap awal dilakukan penelitian literatur dan pengolahan alat dan bahan yang digunakan. Riset sesuai standar Laboratorium Quarry Material Kalikuto Batang Jawa Tengah. Berikut merupakan tahapan-tahapan dari penelitian.

1. Mulai
Menyiapkan jurnal-jurnal dari penelitian terdahulu yang sejenis digunakan sebagai latar belakang penelitian.
2. Tahapan Persiapan Bahan dan alat
Tahap ini meliputi persiapan berupa bahan campuran aspal yang sudah diperiksa untuk memastikan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI) dan American Society for Testing Materials (ASTM) untuk menjadi acuan standar pengujian yang dipatuhi oleh semua pengujian dan menyiapkan peralatan yang nantinya akan digunakan dalam penelitian.
3. Menyiapkan aspal PEN 60/70
4. Menyiapkan bahan serat selulosa dan rubber yang digunakan sebagai bahan tambah campuran aspal porous.
5. Menyiapkan bahan filler untuk job mix design.
6. Menyiapkan bahan agregat yang digunakan untuk komposisi campuran aspal.
7. Tahap Pengujian Laboratorium yang dilakukan di laboratorium perkerasan jalan Universitas Islam Sultan Agung.
8. Melakukan pengujian bahan aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal PEN 60/70.
9. Melakukan uji bahan pada serat selulosa dan rubber.
10. Melakukan uji bahan pada filler untuk campuran komposisi pada aspal.
11. Melakukan uji agregata kasar batu pecahan.
12. Pengujian bahan aspal PEN 60/70 yang sudah melalui pemeriksaan sifat fisik berupa pemeriksaan penetrasi, pemeriksaan untuk titik leleh, pemeriksaan untuk titik nyala titik bakar, pemeriksaan untuk daktilitas, dan pemeriksaan pada berat jenis bitumen.
13. Menganalisa hasil saringan pada bahan serat selulosa.
14. Menganalisa hasil saringan pada bahan rubber.
15. Tahap merupakan tahapan pada pemeriksaan agregat sebagai berikut:

- a. Berat Jenis Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008) dan Penyerapan Agregat halus (berdasarkan SNI 1969:2008) dan berat jenis aspal.
- b. Tingkat Keausan pada Agregat Kasar (berdasarkan SNI 2417:2008).
- c. Partikel Pipih dan Lonjong (berdasarkan ASTM D 4791-95).
- d. Daya Lekat pada Agregat terhadap Aspal yang digunakan (berdasarkan SNI-06-2439-1991).
- e. Soundness yang berupa pengujian untuk Kekekalan Bentuk agregat (berdasarkan SNI3407:2008.
- f. Berat Jenis pada Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008) dan Penyerapan pada Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:).
- g. Analisis butiran (berdasarkan SNI-M-02-1994-03)
16. Setelah semua bahan sudah memenuhi spesifikasi kemudian dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.
17. Penentuan KAO menggunakan komposisi aspal optimum 5,8%.
18. Pembuatan benda uji variasi aspal porus dengan campuran seratselulosa dan rubber.
19. Mixing filler yang digunakan dalam komposisi pada aspal sebesar 1,2%.
20. Membuat 48 sampel benda uji aspal porus dengan campuran serat selulosa dan rubber.
21. Tahap selanjutnya adalah pengujian pada sampel dengan metode marshall setelah bahan penyusun campuran aspal telah di uji dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian spesifikasi standar marshall yang sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305- 76, AASHTO T-44-81, dan ASTM D-2042-76). Kemudian dilanjutkan dengan tahapan sebagai berikut:
 - a. Perancangan filter dengan kadar yang dibutuhkan untuk campuran (MixDesign) adalah 1,2% untuk masing-masing benda uji.
 - b. Perancangan campuran (Mix Design pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran dan pembuatan benda uji dengan bahan tambah serat selulosa dan rubber 0%, 2%, 4%, 8%, untuk menentukan kadar aspal optimum.

22. Tes Marshall untuk menemukan jumlah aspal terbaik (KAO) Uji Marshall dilakukan pada benda uji dengan kadar aspal yang bervariasi pada titik ini untuk mendapatkan data kestabilan dan aliran. Sebelum ini, specimen telah ditimbang berat kering, berat SSD, dan berat sampel dalam air.
23. Sesudah dilakukan beberapa serangkaian penelitian dan didapatkan data, maka untuk tahapan selanjutnya sebagai berikut:
 - a. Menganalisis hasil job mix terbaik dari aspal porus yang dimodifikasi dengan bahan tambah serat selulosa dan rubber
 - b. Menganalisis data nilai permeabilitas optimum pada campuran aspal porus dengan bahan tambah serat selulosa dan rubber
24. Setelah dilakukan analisis keseluruhan data pemeriksaan diperoleh berupa kesimpulan dan saran dari pengujian yang sudah dilakukan.
25. Selesai.



3.6 Analisis Data

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

- a. Menganalisis hasil job mix terbaik dari aspal porus yang dimodifikasi dengan bahan tambah serat selulosa dan rubber.
- b. 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 Serat Selulosa	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	

Lanjutan **Tabel 3.2**

Benda uji	Kadar Rubber	Kadar Serat Selulosa	Benda Uji	Jumlah
Benda uji	8%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
			3	
Total		48 sampel benda uji		

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

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.

Tabel 3.3 Ketentuan Syarat-Syarat Bahan untuk Campuran Beraspal Panas (Spesifikasi Umum 2018, Seksi 6.3. Campuran Beraspal Panas, Pasal 6.3.3.

Hasil Pengujian Ketentuan Syarat-Syarat Bahan untuk Campuran Beraspal Panas						
Bahan Campuran						
NO	Jenis Bahan	Jenis Pengujian	Metode Uji	Hasil Uji		Spesifikasi
1	Aspal	Ketentuan syarat Aspal		Nilai	Ya/ Tidak	Tabel (6.3.2.5)
	Jenis / type :	Berat Jenis Aspal (gr/cc)	SNI2441: 2011		ya	Min. 1
	PEN 60/70	Penetrasi pada 25°C	SNI2456 : 2011		ya	60 - 70
	Supplier :	Titik Lembek (°C)	SNI2434: 2011		ya	> 48° C
	PEN 60/70	Penetrasi pada 25°C	SNI2456 : 2011		ya	60 - 70

Lanjutan Tabel 3.3

2	Agregat Kasar	Ketentuan agregat kasar :		Nilai	Ya/Tidak	Tabel 6.3.2.1a)
	Sumber Asal :	Abrasi dengan mesin Los Angeles	AC Mod . dan SMA	100 ptr :	SNI 2417 : 2008	Maks. 6 %
				500 ptr :		Maks.30 %
			Semua jenis camp. gradasi lainnya	100 ptr :		Maks. 8 %
				500 ptr :		ya
		Kel ek atan agreg at ter hadap aspal		SNI 2439 : 2011	ya	Min. 95%
		Butir Pecah pada Agregat Kasar (Angularitas)	SMA	SNI 7619 : 2012	ya	100 / 90 %
			Lainnya			95 / 90 %
		Partikel pipih dan lonjong	SMA	AST M D4791 – 10 Perbandigan 1:5	ya	Maks. 5%
			Lainnya			Maks. 10 %
		Material lolos No.2 00		SNI ASTM C117:2012	ya	Maks. 1 %
		Penyerapan air			ya	Maks 2% untuk jenis lainnya
		Berat jenis (Specific Gravity)			ya	

Lanjutan Tabel 3.3

3	Agregat Halus (Abu Batu)	Ketentuan agregat halus :		Nilai	Ya / Tidak	Tabel 6.3.2.2
	Sumbesal :	Nilai set ara pasir	SNI03-4428-1997		ya	Min. 50%
		Gumpalan Lempung dan Butir-butir mudah pecah dalam Agregat	SNI03-4141-1996		ya	Maks. 1%
		Angularitas dengan Uji Kadar Ron gga tanpa pemadatan	SNI03-6877-2002		ya	Min. 45%
		Agreg at lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:20 12		ya	Maks. 10%
		Pen yer apan air				Maks.2% untuk SMA : 3% untuk Jenis Lainnya
		Berat Jenis (Specific Gravity)			ya	
		Pen ggunaan Pasir Alam		-		Maks. 15 % Ber at Total Campuran
	CHECKING	Bed a Ber at Jenis Agregat Kasar dan Halus				Maks. 0,2

Lanjutan Tabel 3.3

4	Filler	Ketentuan penggunaan Filler:		Nilai	Ya/ Tidak	Pasal 6.3.2.4)	Syarat Gradasi	
		Penggunaan Filler (Filler Added):	AASHTO M303-89	-		Min.1 %/ Maks.2% (semen) 3% (lainnya) dari Berat Total Agregat	Ukuran Saringan	% lolos
		(Debu Batu,Kapur / Semen / Abu Terbang)	(2014)	-		Min. 75% berat filler	0.600	Hasil Uji
		Bahan lolos No. 200 :	SNI ASTM C136:2012			Min. 95% berat filler	0.300	100
							0.075	95- 10
Catatan Evaluasi / Rekomendasi								

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6)

- c. Metode Analisis yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimen di Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu melakukan percobaan terhadap bahan baku aspal porus dengan bahan tambah atau campuran serat selulosa dan rubber dengan proses penelitian dilaksanakan dalam dua puluh lima (25) tahap.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Material

Pelaksanaan penelitian 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 Kalikuto Batang. 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.



Gambar 4.1 Persiapan Bahan Rubber sebagai Bahan Tambah

(Sumber : Dokumentasi Pribadi)

Persiapan bahan Rubber dan Serat Selulosa diambil dari Kalikuto Batang yang nantinya akan digunakan sebagai bahan material pada penelitian ini.



Gambar 4.2 Persiapan Bahan Serat Selulosa Sebagai Bahan Tambah
(Sumber : Dokumentasi Pibadi)

4.2 Rancangan Campuran Aspal Porous (Job Mix Design)

Pada penelitian kali ini peneliti membuat komposisi campuran aspal kadar 5% 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

Benda Uji	Kadar Rubber	Kadar Serat Selulosa	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	

Lanjutan **Tabel 4.1**

Benda Uji	Kadar Rubber	Kadar Serat Selulosa	Benda Uji	Jumlah
Benda Uji	8%	0%	3	12
		2%	3	
		4%	3	
		8%	3	
Total				48

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pengambilan sampel benda uji dilakukan setelah ditentukan komposisi campuran aspal. Temperatur dimana aspal memiliki viskolitas kinematis 170/20 centistokes adalah temperatur campurannya dengan agregat, dan temperatur pemadatan aspal adalah temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 280/30 centistokes.

Masing-masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk pembandingan masing-masing benda uji dimana jika salah satu benda uji ada yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.

4.3 Pembuatan Benda Uji Dengan Kadar Aspal

Komposisi aspal yang direncanakan dengan kadar 5% yang kemudian ditambahkan dengan bahan rubber dan serat selulosa kadar 0%, 2%, 4%, dan 8% dengan masing-masing kadar ada 3 benda uji dengan total keseluruhan terdapat 48 benda uji.

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

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Medium Agregat (3/4)	40 %	480 gram
2	Coarse Agregat (1/2)	33 %	396 gram
4	Pasir	20 %	240 gram
5	Filler	2 %	458,4 gram
6	Aspal	5 %	60 gram
	Total	100 %	1.200 gram

Lanjutan Tabel 4.2

No.	Komposisi	%	Hasil
Keterangan Aspal :			
	A. Aspal	5 %	60 gram
	B. Rubber	0 %	0 gram
	C. Serat Selulosa	0 %	0 gram

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada rancangan aspal porus dengan bahan tambah Rubber dan Serat Selulosa dengan masing-masing kadar 0%, 2%, 4% dan 8% yang ditambahkan pada campuran aspal menggunakan KAO 5% yang disesuaikan dengan pengujian.

4.4 Pengujian Laboratorium

4.4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70

Pengujian yang dilakukan untuk aspal polimer ini adalah 5 parameter yaitu penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala, dan berat jenis aspal, untuk hasil lebih spesifik bisa dilihat pada lampiran 2 data pengujian aspal. Ciri-

Ciri utama aspal polimer, yang kemudian diaplikasikan sebagai campuran untuk membuat perkerasan lentur, dapat direpresentasikan melalui parameter. Tabel 4.3 menyajikan temuan pengujian aspal melalui perbandingan Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976 Bina Marga..

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal PEN 60/70		Hasil Pemeriksaan	Spesifikasi	Keterangan
			Min	Max			
1	Penetrasi 25°C, 100 g, 5 detik	0,1 mm	60	70	65	SNI-06-2456-1991	Memenuhi
2	Titik Lembek 5°C (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	48	58	51,55	SNI-06-2434-1991	Memenuhi
3	Titik Nyala (<i>Clea velend open cup</i>)	°C	Min 200	-	314	SNI-06-2433-1991	Memenuhi
4	Daktilitas	cm	Min. 100	-	151,5	SNI-06-2432-1991	Memenuhi
5	Berat Jenis	%	Min. 1,0	-	1,034	SNI-06-2432-1991	Memenuhi

(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

Pengujian material pada agregat kasar yang lolos saringan no.200. Lampiran 3 berisi data pengujian agregat untuk setiap temuan pengujian. Tabel 4.4 menampilkan hasil pengujian agregat berdasarkan perbandingan Jalan Raya dengan Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976.

Tabel 4.4 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 1/2 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 03-4142-1996	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 delta Adyatama yang terletak di kawasan Jel Ulo Kudus memenuhi persyaratan Spesifikasi 2018, dimana seluruh hasil pengujian material agregat berasal dari penghancuran batu Stone Crusher dari Asphalt Mixing Plant (AMP) P.T.

4.4.2 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 4.5

Tabel 4.5 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.

4.4.3 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 ⅜" sampai dengan saringan #200.

Tabel 4.6 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE ZIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN SIEV E 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 Of 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,

4.4.4 Hasil Pengujian Hot Bin IV

Ho Bin IV merupakan material Agregat Halus dapat lolos saringan 1 1/2 - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8.

Tabel 4.7 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN SIEV E SIZE inch	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm							
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 1/2" 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.

4.4.5 Hasil Pengujian Pasir

Pasir merupakan material Agregat Halus yang lolos saringan 1% #30 dan tertakan mulai dari saringan #50.

Tabel 4.8 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			Rata-rata Lolos	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LoLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				Inch			
1 1/2"	37.5	0.00	0.00	100.00	1 1/2"	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.

4.4.6 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

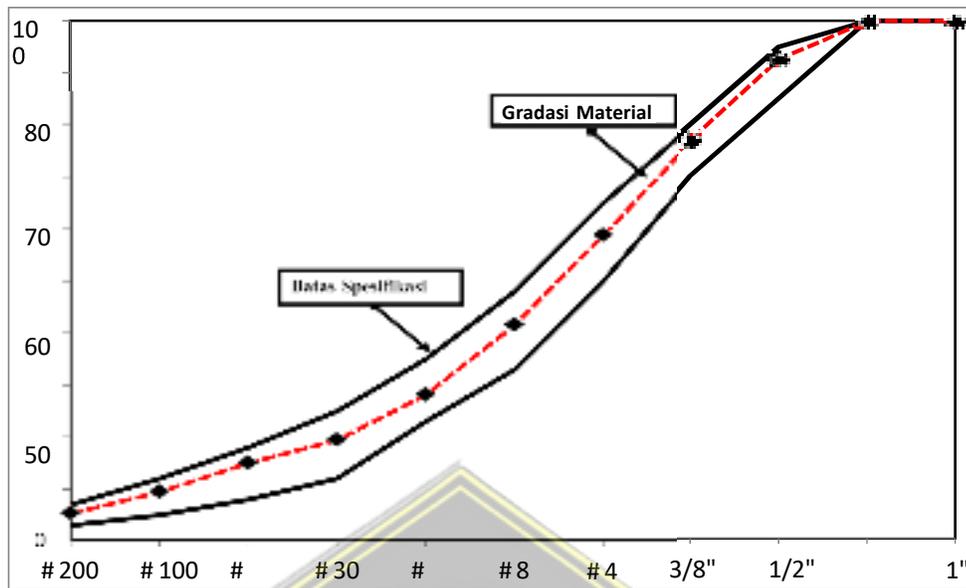
Kombinasi agregat adalah pengambungan dari masing-masing agregat yang kolos saringan dan tertahan mulai dari saringan ukuran sampai dengan # 200, yang terdiri dari Hot Bin II,III,IV Pasir,dan Filler.

Tabel 4.9 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 4.9 hasil kombinasi agregat dengan total campuran gradasi agregat tiap saringan tidak boleh melebihi batas Max dan Min dari spesifikasi gradasi yang telah ditetapkan, 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 Weasring Course AC-WC.

4.5 Rekapitulasi Hasil Pemeriksaan Pengujian Laboratorium

Berdasarkan Hasil pemeriksaan pengujian laboratorium diperoleh data pada Tabel 4.10, dalam pemeriksaan campuran ini untuk Hot Bin I mendapatkan hasil 0. karena kita menggunakan ukuran saringanl tapi pada pengujian ini dimulai dari Hot Bin II yang menggunakan saringan sampai denngan filler.

Tabel 4.10 Pemeriksaan Pengujian Laboratorium

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

URAIAN PEMERIKSAAN		HASIL	SPEKIFIKASI
I	KOMPOSISI CAMPURAN ASPAL		
	KADAR ASPAL	5.0 %	
	Hot Bin I (Coarse Agregate 1 ½)	0.00 %	
	Hot Bin II (Coarse Agregate ½)	33.00 %	
	Hot Bin III (Medium Agregate 3/8)	40.00 %	
	Hot Bin IV (Abu Batu)	00.00 %	
	Pasir	20.00 %	
	Filler	2 %	
	100.0 %		
	100.00 %		
III	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 : SNI)

4.6 Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (AASHTO-209s)

Berat jenis maksimum campuran beraspal ditentukan dengan mengukur berat dan isi dari benda uji dimana udara yang berada di antara butir benda uji dikeluarkan dengan cara pengisapan.

4.7 Pengujian Marshall

Apabila sudah dilakukan penentuan *job mix design* juga *design mix* formula, dan pembuatan benda uji sebanyak 48 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*), satbilitas ,flow (kelelehan), dan MQ (*Marshall Quotient*).

4.7.1 Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi Aspal dengan Rubber

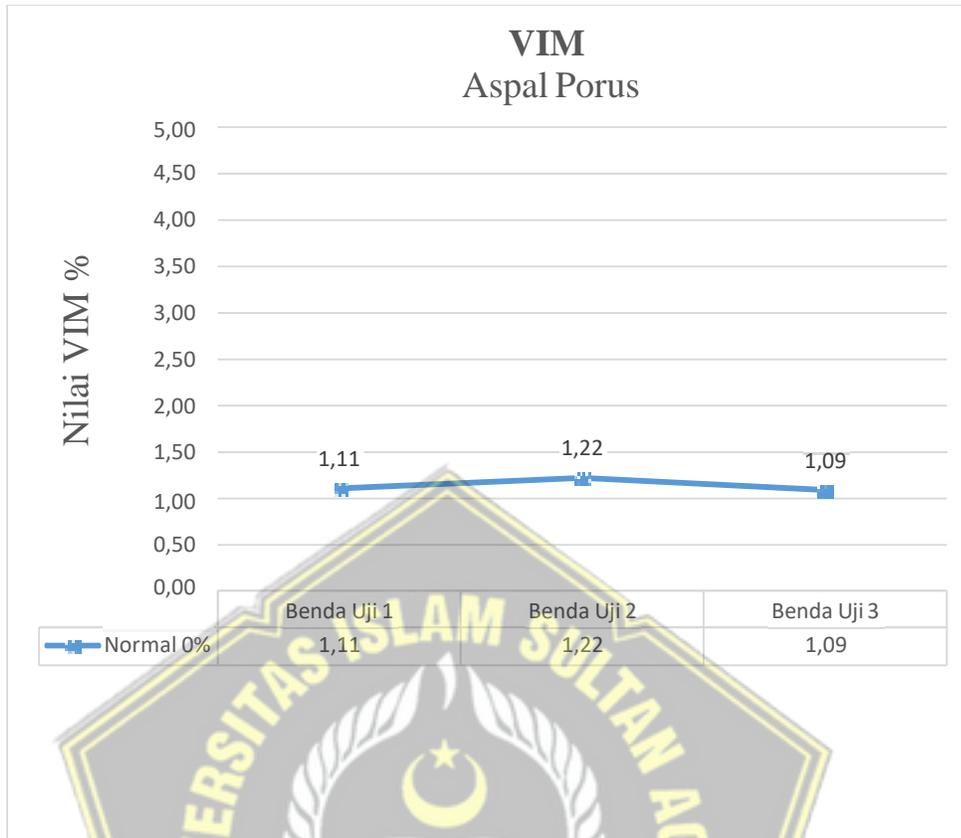
Hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi kombinasi Aspal kadar (0%,2%,4%,dan 8%) dicampur *Rubber*, dengan benda uji 3 buah untuk masing masing kadar. Dengan perolehan nilai Marshall dapat dilihat pada Tabel 4.11

Tabel 4.11 Hasil Marshall Komposisi Aspal Porous

Pengujian (Komposisi Aspal Porous Dengan Campuran Rubber + Serat Selulosa)																
BJ Aspal (T) :	1,084	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :	2,421	BJ Total Agg (Gsb) :	2,749	Kalibrasi Proving Ring :	9,817 Kg									
no	R + SS	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat ssd	volumel isi	bi Bulk campuran	bi Maks kombinasi comp. Agg	% rongga diantaa	% rongga dalam	% rongga terisi	stabilitas dibaca	kelelahan	hasil bagi		
benda uji	Tanpa Campuran	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		% berat total campuran	dalam timbang	dalam timbang	dalam timbang	e-d	e-f	g-h	GWM	100- b/g	100- b/g	100(i-l)	(flow) disesuaikan	di	Marshall (m/q)	
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)					(%)	(%)	(%)	(mm)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
Benda Uji 1	0%	5	1287,6	757,0	1280,2	523,2	2,423	2,450	2,450	16,27	1,11	93,17	90	883,53	5,50	160,64
Benda Uji 2	0%	5	1285,2	755,8	1278,6	522,8	2,420	2,450	2,450	16,37	1,22	92,53	90	785,36	4,60	170,73
Benda Uji 3	0%	5	1288,8	753,0	1282,6	523,5	2,423	2,450	2,450	16,26	1,09	93,28	100	981,70	5,80	169,26
Rata-rata	0%	5					2,422	2,450	2,450	16,30	1,14	92,99	90,00	883,53	5,30	165,70

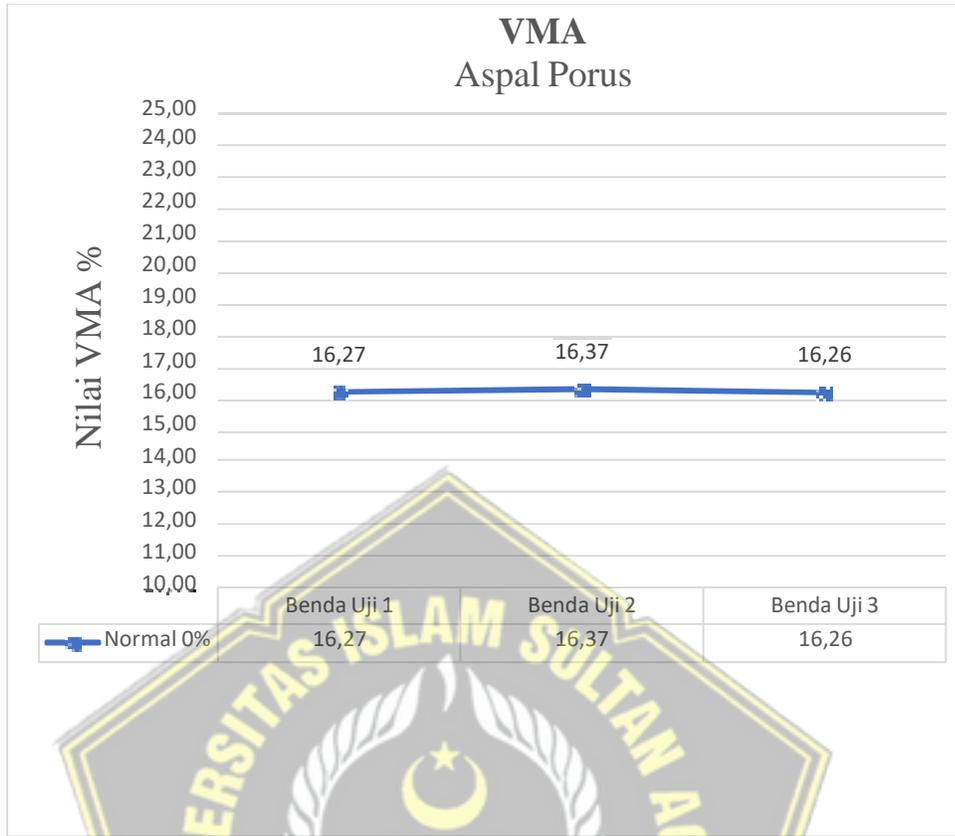
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Dari Tabel 4.26 diperoleh nilai hasil dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil Komposisi Rubber dengan Serat Selulosa pada kadar Normal (0%) maka Rongga Udara (VIM) pada kadar Normal (0%) kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) terbesar adalah 1,14%. Dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara Sesuai spesifikasi dari AAPA (Australian Asphalt Pavement Association) berada pada angka 1% – 2,5%.



Gambar 4.4 Grafik Nilai VIM untuk Komposisi Aspal Porus
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

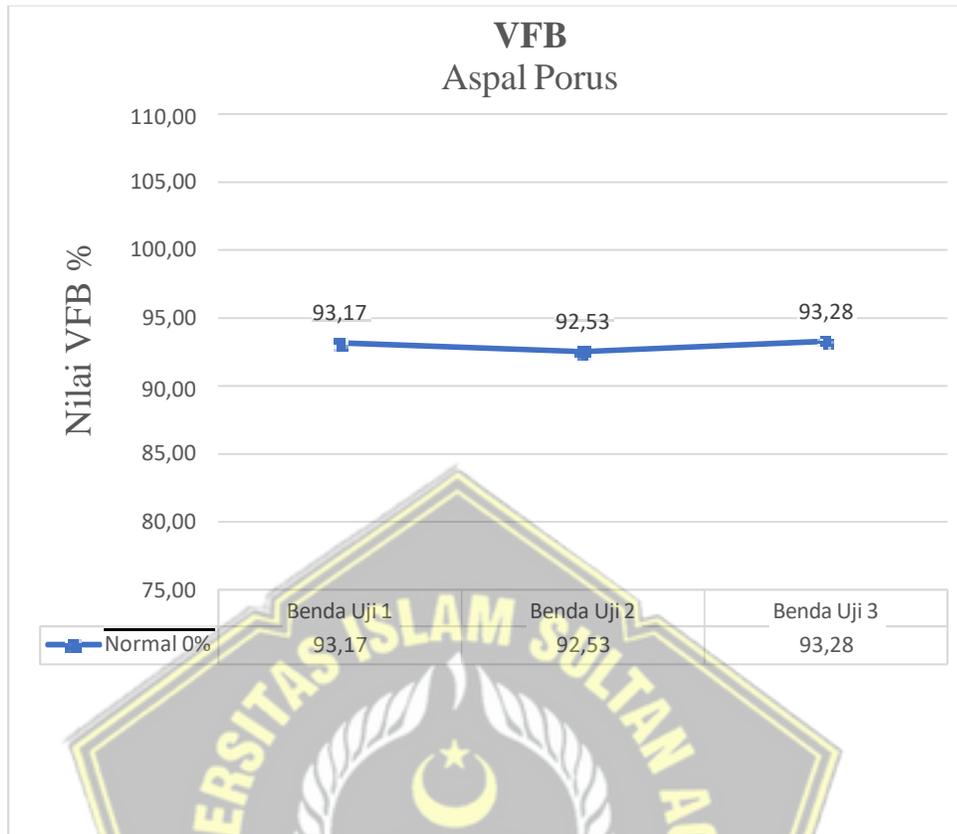
Pada gambar 4.4 untuk nilai rata-rata dari VIM (*Void in Mix*) dengan kadar Normal (0%) memenuhi spesifikasi atau dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata rata Rongga Udara (VIM) adalah 1,14 % sehingga memenuhi standar spesifikasi dari APPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) minimum 1% - 2,5%.



Gambar 4.5 Grafik Nilai VMA untuk Komposisi Aspal Porus

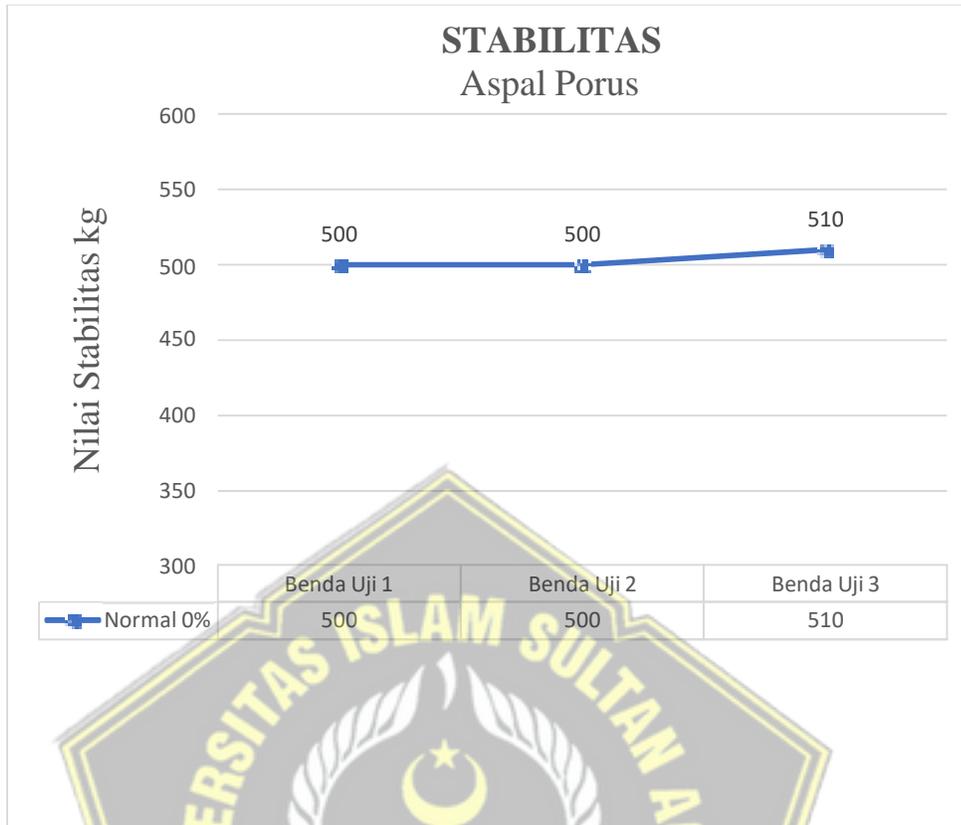
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada gambar 4.5 untuk nilai rata-rata dari VMA yang dihasilkan untuk kadar Normal (0%) yaitu 16,30 %, Dari hasil yang didapatkan telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Bina Marga yaitu minimum 15,00%.



Gambar 4.6 Grafik Nilai VFB untuk Komposisi Aspal Porus
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

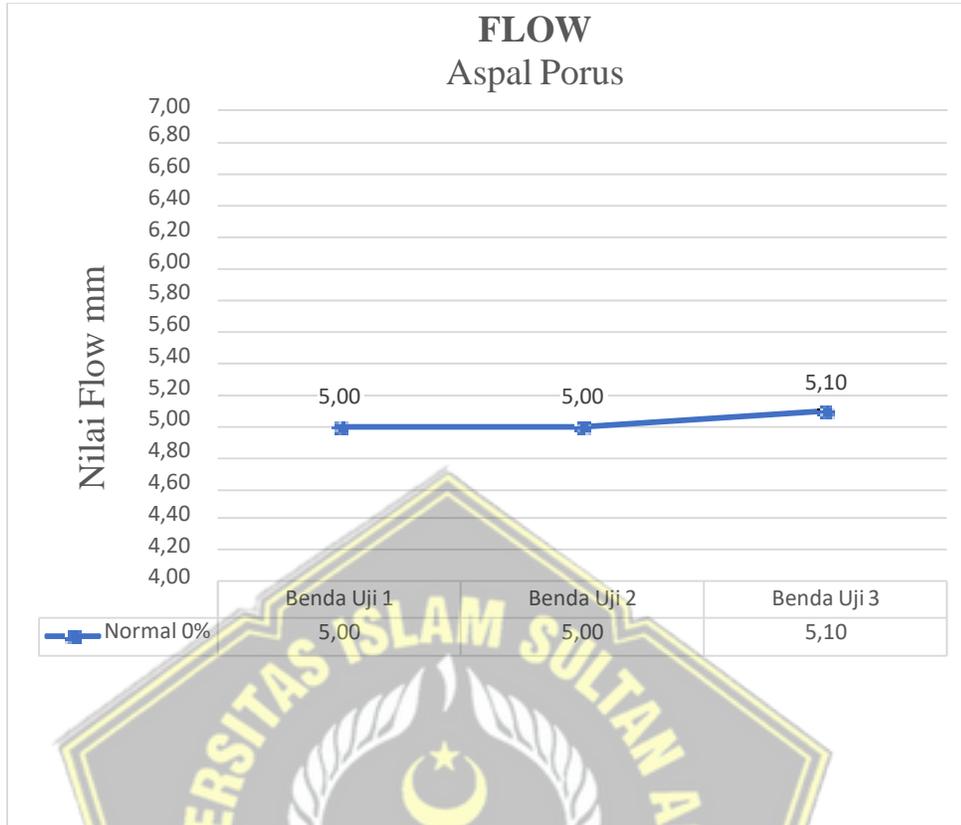
Pada 4.6 untuk nilai rata-rata dari VFB yang dihasilkan untuk kadar Normal (0%) yaitu 92,99% dan sudah memenuhi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Binamarga yaitu 65%.



Gambar 4.7 Grafik Nilai Stabilitas untuk Komposisi Aspal Porus

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

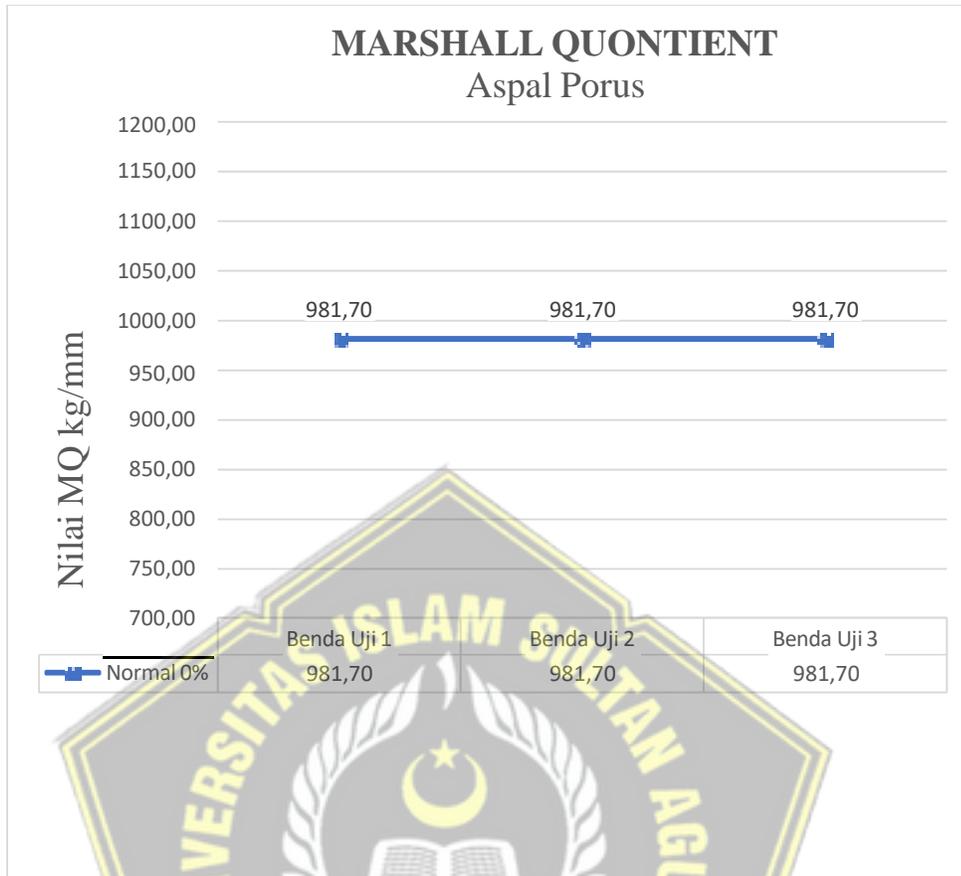
Pada gambar 4.7 nilai Stabilitas yang dihasilkan untuk kadar Normal (0%)yaitu 503,33 kg. Dari hasil yang didapatkan sudah memenuhi spesifikasi dari AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) yaitu minimum >500 kg.



Gambar 4.8 Grafik Nilai *Flow* untuk Komposisi Aspal Porus

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada gambar 4.8 nilai *Flow* yang dihasilkan untuk Normal (0%,) yaitu 5,03 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai dari masing masing benda uji telah memenuhi spesifikasi dari AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*). Untuk nilai Spesifikasi *Flow* dari APPA yaitu 2 – 6 mm.



Gambar 4.9 Grafik Nilai *Marshall Quotient* untuk Komposisi Aspal Porus

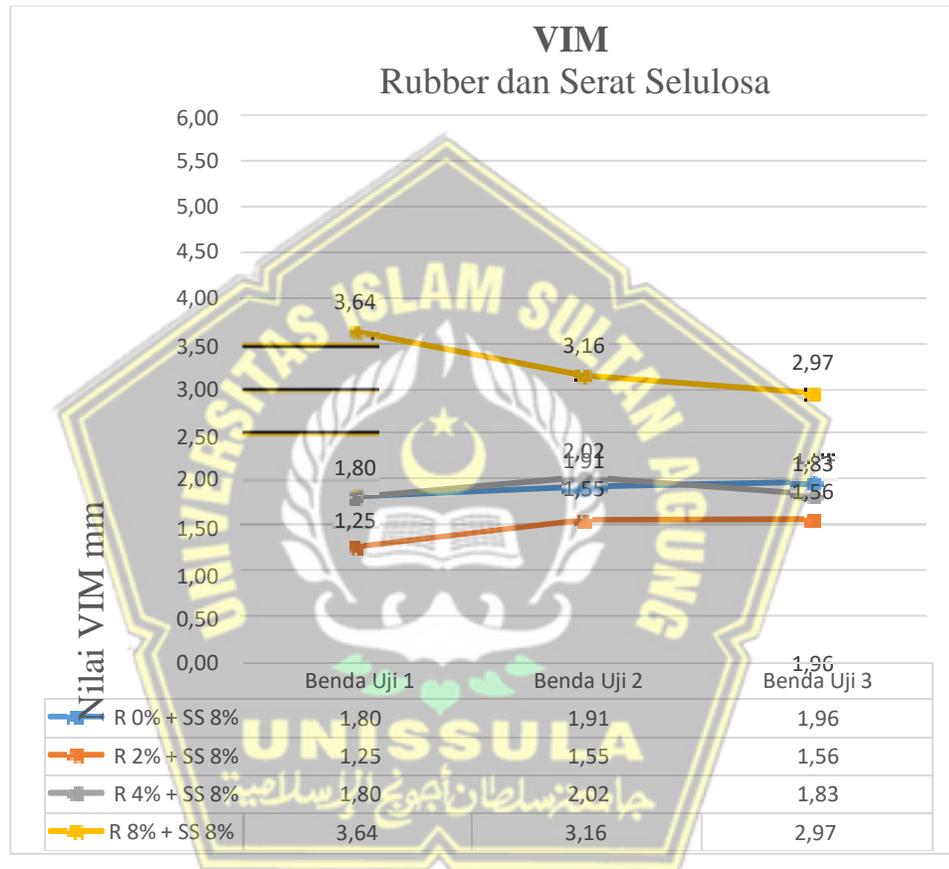
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada gambar 4.9 nilai MQ (*Marshall Quotient*) yang dihasilkan untuk kadar Normal (0%) yaitu 981,70 kg/mm dan sudah memenuhi spesifikasi dari AAPA (Australian Asphalt Pavement Association). Untuk nilai dari APPA >200 kg/mm.

Tabel 4.12 Hasil Marshall Komposisi Aspal
Porous dengan bahan tambah Rubber dan Serat
Selulosa

Pengujian (Komposisi Rubber + Serat Selulosa)															
BJ Aspal (T) :	1,034	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :	2,421	BJ Total Agg (Gsb) :	2,749	Kalibrasi Proving Ring :	9,817 Kg								
no	%	kadar	berat	berat	berat	volume/	bj. Bulk	bj. Maks	% rongga	% rongga	% rongga	stabilitas		kelelahan	hasil bagi
benda uji	R + SS 8%	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
							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
		% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)				
		campuran	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	g	h				m / n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
Benda Uji 1	0%	5	1178,8	630,8	1180,2	549,4	2,146	2,185	25,85	1,80	93,03	520	5104,84	5,20	981,70
Benda Uji 2	0%	5	1181,4	625,2	1176,4	551,2	2,143	2,185	25,93	1,91	92,64	520	5104,84	5,10	1000,95
Benda Uji 3	0%	5	1169,2	628,4	1174,2	545,8	2,142	2,185	25,97	1,96	92,45	510	5006,67	5,00	1001,33
Rata-rata	0%	5					2,144	2,185	25,92	1,89	92,71	516,67	5072,12	5,10	994,53
Benda Uji 1	2%	5	1150,5	625,3	1172,3	547,0	2,103	2,130	27,31	1,25	95,41	520	5104,84	5,20	981,70
Benda Uji 2	2%	5	1149,8	623,5	1171,8	548,3	2,097	2,130	27,53	1,55	94,38	520	5104,84	5,10	1000,95
Benda Uji 3	2%	5	1147,2	622,9	1170,0	547,1	2,097	2,130	27,54	1,56	94,35	500	4908,50	5,00	981,70
Rata-rata	2%	5					2,099	2,130	27,46	1,45	94,71	513,33	5039,39	5,10	988,12
Benda Uji 1	4%	5	1145,2	625,8	1168,2	542,4	2,111	2,150	27,04	1,80	93,35	510	5006,67	5,10	981,70
Benda Uji 2	4%	5	1142,0	623,2	1165,3	542,1	2,107	2,150	27,20	2,02	92,58	520	5104,84	5,20	981,70
Benda Uji 3	4%	5	1140,8	624,3	1164,8	540,5	2,111	2,150	27,06	1,83	93,23	500	4908,50	5,10	962,45
Rata-rata	4%	5					2,110	2,150	27,10	1,88	93,06	510,00	5006,67	5,13	975,33
Benda Uji 1	8%	5	1138,0	620,0	1156,8	536,8	2,120	2,200	26,74	3,64	86,39	300	2945,10	3,00	981,70
Benda Uji 2	8%	5	1135,8	625,2	1158,3	533,1	2,131	2,200	26,37	3,16	88,03	310	3043,27	3,10	981,70
Benda Uji 3	8%	5	1137,4	622,4	1155,2	532,8	2,135	2,200	26,23	2,97	88,69	300	2945,10	3,20	920,34
Rata-rata	8%	5					2,128	2,200	26,45	3,25	87,71	303,33	2977,82	3,10	960,59

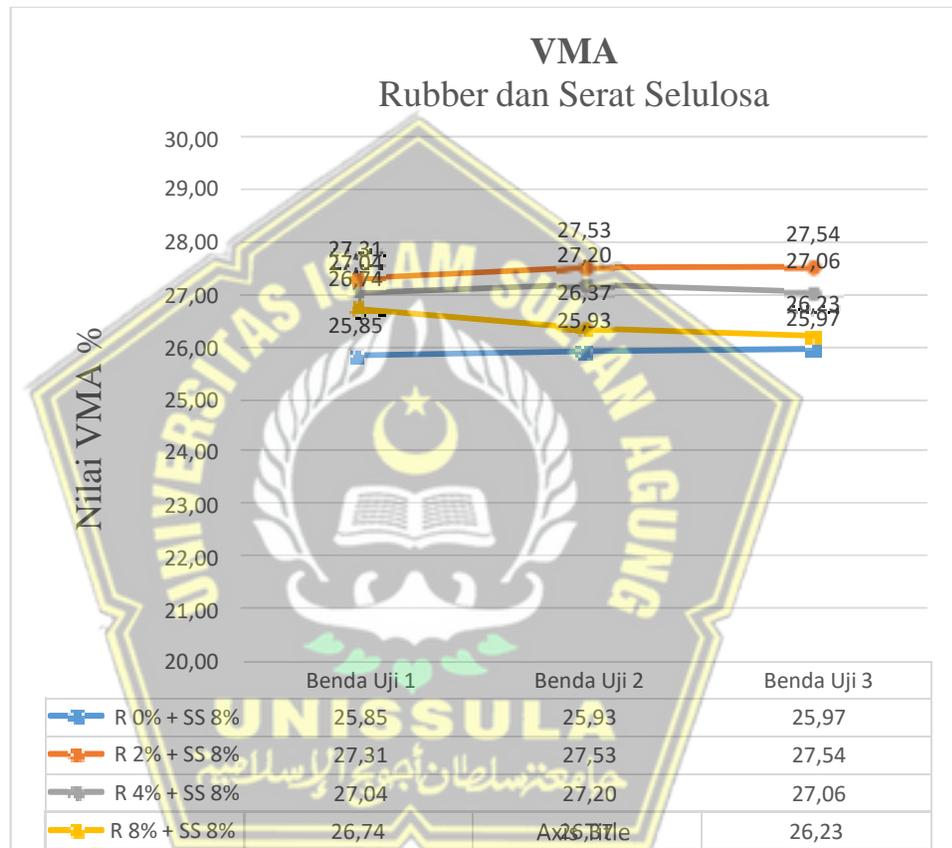
Dari Tabel 4.27 diperoleh nilai hasil dari parameter uji marshall mendapatkan hasil Komposisi *Rubber* dengan Serat Selulosa pada kadar 0% , 2%, 4%, 8% maka Rongga Udara (VIM) pada kadar 0%, 2%, 4% kondisi sesuai Spesifikasi dan dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) terbesar adalah 1,89%, 1,45%, 1,62%. Namun untuk kadar 8% tidak sesuai Spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil Rongga Udara (VIM) adalah 3,25%. Sedangkan untuk spesifikasi dari AAPA (Australian Asphalt Pavement Association) berada pada angka 1% – 2,5%.



Gambar 4.10 VIM untuk Komposisi *Rubber* dengan Serat Selulosa

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

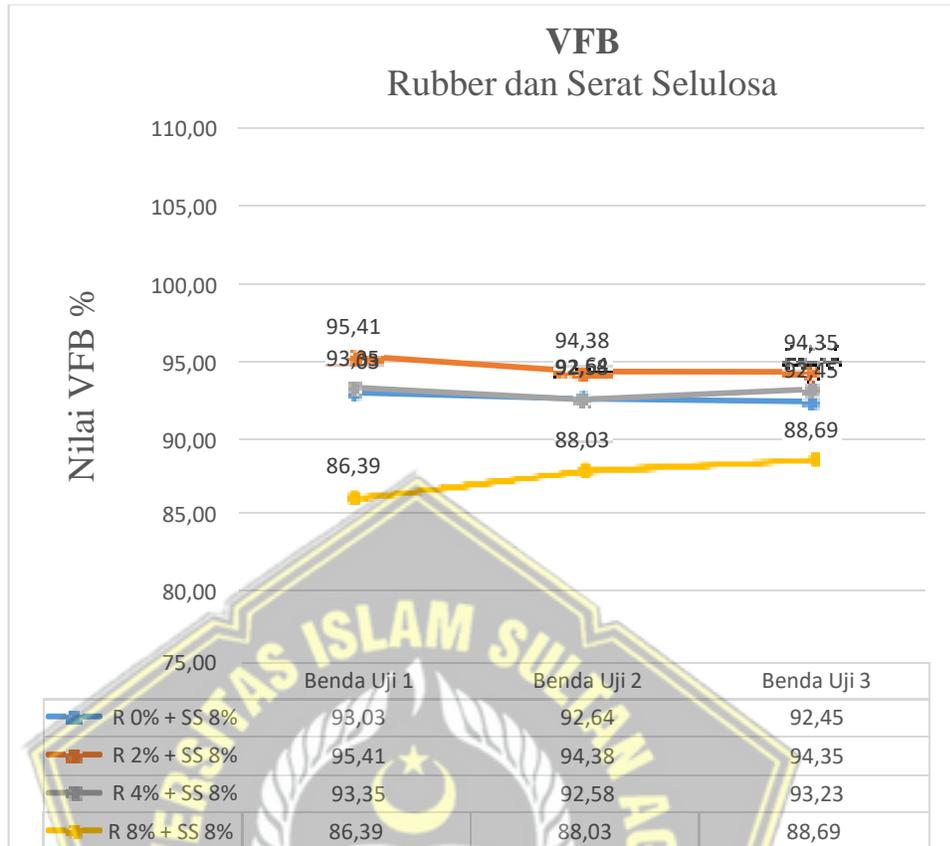
Pada gambar 4.10 untuk nilai rata-rata VIM (*Void in Mix*) campuran *Rubber* dengan Serat Selulosa menggunakan kadar 0%,2%,4% memenuhi spesifikasi atau dapat digunakan sebagai perkerasan jalan dengan hasil rata rata Rongga Udara (VIM) adalah 1,89%, 1,45% dan 1,88%. Namun untuk nilai rata-rata VIM dengan Kadar 8% sebesar 3,25% sehingga belum memenuhi standar spesifikasi dari APPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) minimum 1% - 2,5%.



Gambar 4.11 VMA untuk Komposisi *Rubber* dengan Serat Selulosa

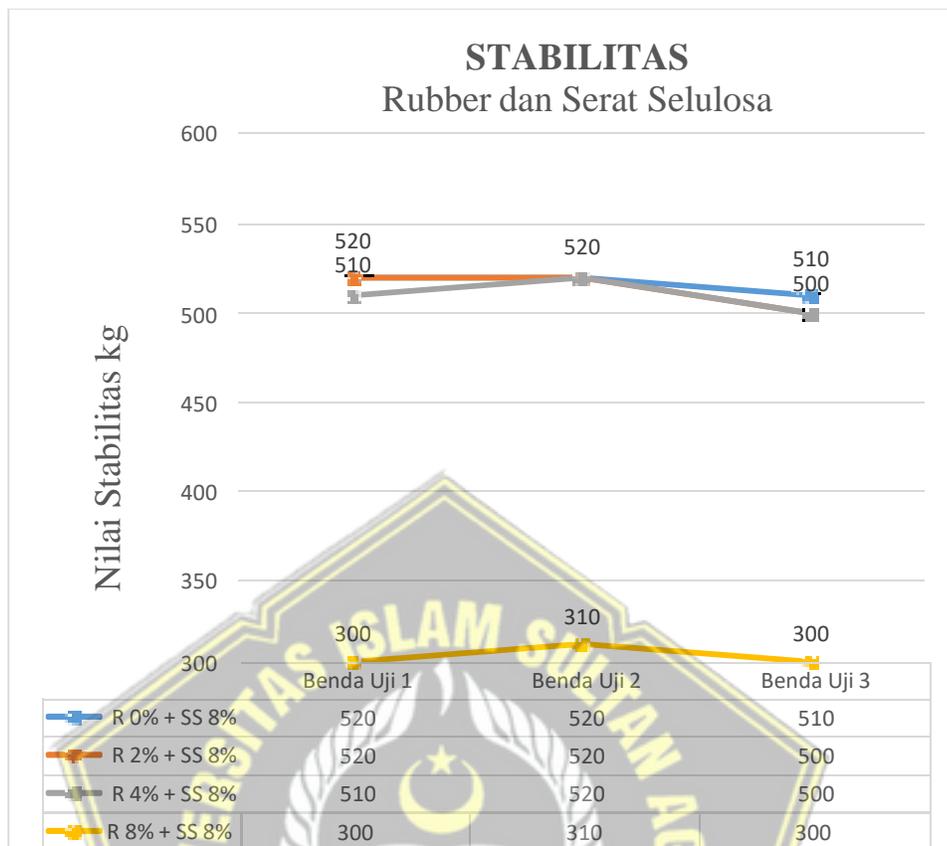
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada gambar 4.11 nilai rata-rata VMA yang dihasilkan untuk kadar 0%,2%,4%, dan 8% yaitu 25,92%, 27,46%, 27,10% dan 26,45%. Dari hasil yang didapatkan nilai masing masing benda uji kombinasi *Rubber* dan Serat Selulosa telah memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VMA dari Bina Marga yaitu minimum 15,00%.



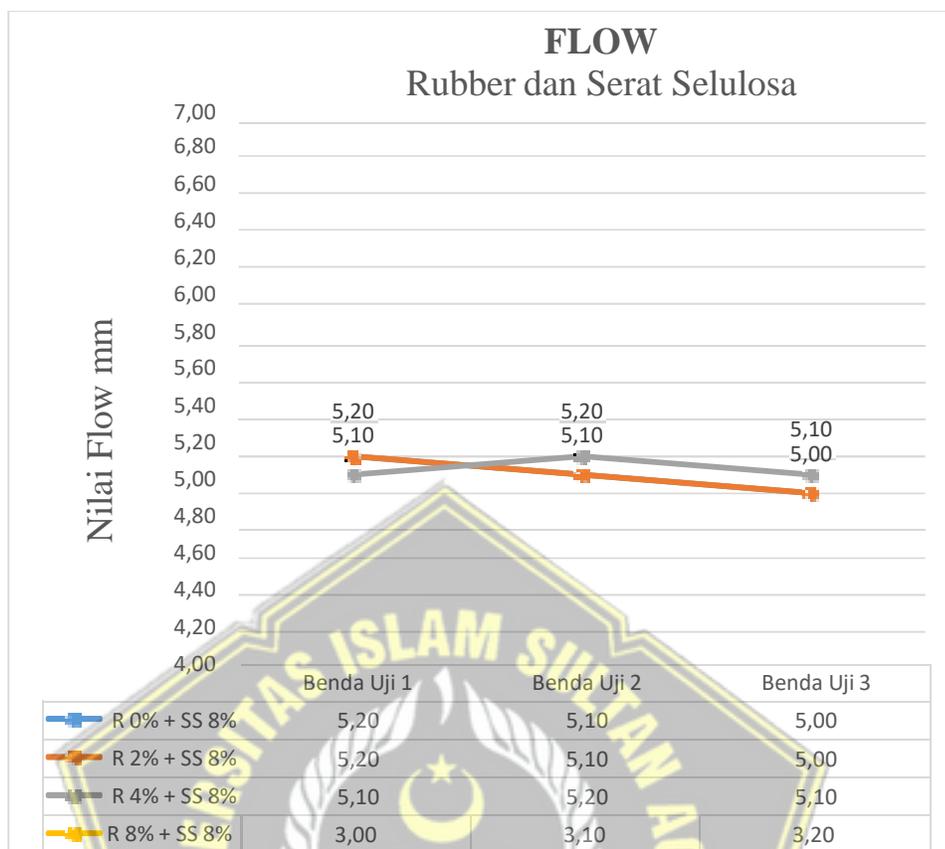
Gambar 4.12 VFB untuk Komposisi Rubber dengan Serat Selulosa
(Sumber : Hasil Penelitian , 2024)

Pada 4.12 nilai VFB yang dihasilkan untuk campuran aspal porus dengan bahan tambah untuk kadar 0%,2%,4%, dan 8% yaitu nilai rata-rata 92,71%, 94,71%,93,06% dan 87,71% , dari hasil yang didapatkan untuk masing masing benda uji memenuhi spesifikasi dari Bina Marga. Untuk nilai spesifikasi VFB dari Bina Margayaitu 65%.



Gambar 4.13 Stabilitas untuk Komposisi *Rubber* dengan Serat Selulosa
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

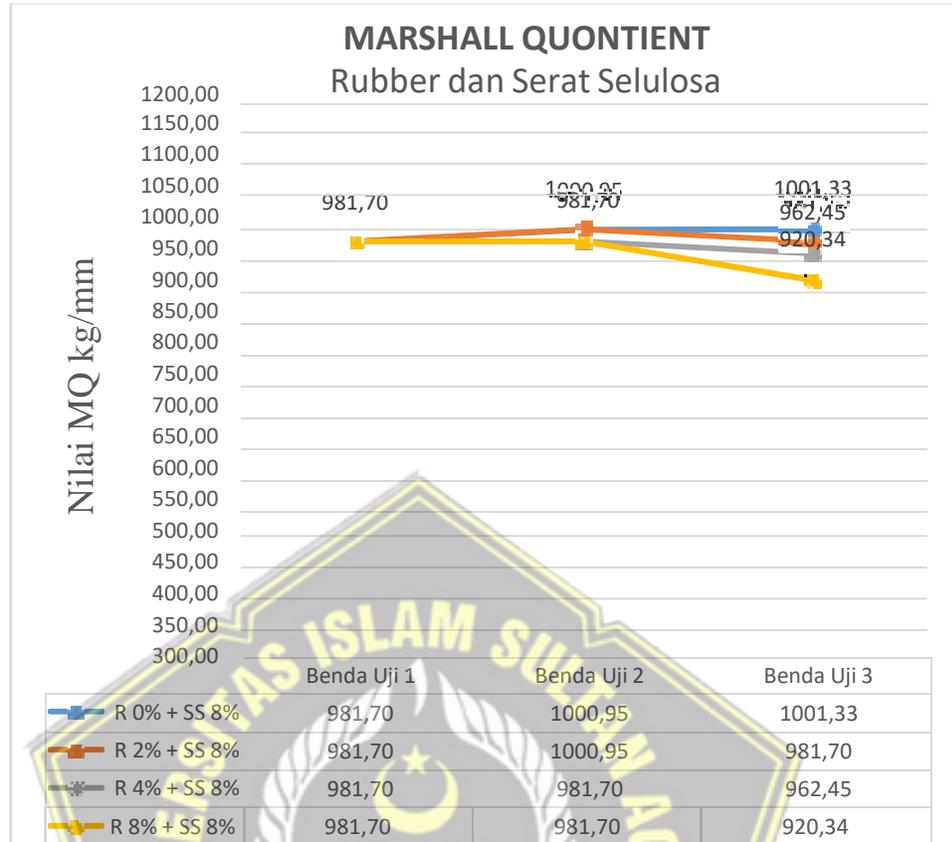
Pada gambar 4.13 nilai Stabilitas yang dihasilkan oleh campuran aspal porus dengan bahan tambah untuk kadar 0%,2%,4%,dan 8% yaitu 516,67 kg, 513,33 kg dan 510,00 kg. Dari hasil yang didapatkan nilai untuk masing masing benda uji sudah memenuhi standar spesifikasi, namun untuk nilai rata-rata dengan kadar 8% sebesar 303,33belum memenuhi spesifikasi dari AAPA yaitu minimum >500 kg.



Gambar 4.14 Flow untuk Komposisi *Rubber* dengan Serat Selulosa

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada gambar 4.14 nilai *Flow* yang dihasilkan untuk 0%, 2%, 4% dan 8% yaitu dengan nilai rata-rata 5,10 mm, 5,10 mm, dan 5,13 mm, dan 3,10 mm. Dari hasil yang didapatkan nilai untuk masing masing benda uji sudah memenuhi standar spesifikasi dari AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*). Untuk nilai Spesifikasi *Flow* dari AAPA yaitu 2 – 6 mm.



Gambar 4.15 Grafik MQ untuk Komposisi *Rubber* dengan Serat Selulosa

(Sumber : Hasil Penelitian , 2024)

Pada nilai MQ (*Marshall Quotient*) yang dihasilkan untuk kadar 0%,2%,4%, dan 8% sudah memenuhi spesifikasi dari AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*). Untuk nilai dari APPA >200 kg/mm.

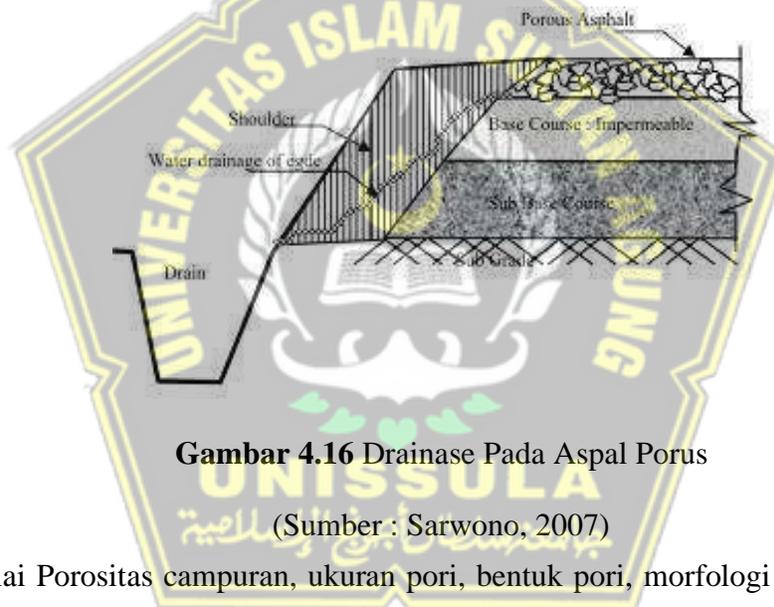
4.7.2 Analisa Hasil Perancangan dan Pengujian Marshall

Dalam penelitian ini setiap kadar variasi *Rubber* dan Serat Selulosa memiliki agregat kombinasi yang sama namun semakin tinggi kadar maka dilakukan pengurangan pemakaian aspal , oleh karena itu didapatlah desain benda uji 40% (CA), 33% (MA), 20% (Pasir), 2% (Filler), 5% (Aspal). Untuk Variabel uji *Rubber* dan Serat Selulosa 0%, 2%, 4%, 8% per- kadar. Desain ini telah memenuhi gradasi Aspal Porous AC – WC yang ditetapkan oleh AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*). Untuk

penentuan kadar optimum rencana telah didapatkan sebesar 5% karena merupakan campuran aspal modifikasi.

4.9 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 4.16 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).

4.8.1 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).

Tabel 4.13 Pengujian Permeabilitas pada Aspal Porous

No	Benda Uji	Kadar (%)	Volume/debit Air (liter)	Tinggi Sampel (cm)	Diameter Sampel (cm)	Waktu (detik)
1	Rubber 0%	Serat Selulosa 0%	1000	7	10	15,73
		Serat Selulosa 2%	1000	7	10	18,37
		Serat Selulosa 4%	1000	7	10	38,77
		Serat Selulosa 8%	1000	7	10	46,47
2	Rubber 2%	Serat Selulosa 0%	1000	7	10	14,10
		Serat Selulosa 2%	1000	7	10	17,28
		Serat Selulosa 4%	1000	7	10	29,68
		Serat Selulosa 8%	1000	7	10	34,95
3	Rubber 4%	Serat Selulosa 0%	1000	7	10	13,26
		Serat Selulosa 2%	1000	7	10	17,16
		Serat Selulosa 4%	1000	7	10	24,36
		Serat Selulosa 8%	1000	7	10	27,17
4	Rubber 8%	Serat Selulosa 0%	1000	7	10	13,10
		Serat Selulosa 2%	1000	7	10	16,72
		Serat Selulosa 4%	1000	7	10	19,44
		Serat Selulosa 8%	1000	7	10	21,25

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas aspal porous dengan campuran bahan tambah rubber dan serat selulosa pada benda uji dengan rubber 0% dan serat selulosa 2% dapat menyerap air selama 18,37 detik. Sedangkan pada benda uji dengan rubber 8% dan Selulosa 2% dapat menyerap air selama 16,72 detik. Semakin banyak penambahan *rubber* pada campuran aspal porous maka akan semakin cepat dan mudah campuran tersebut meloloskan air.

4.8.2 Penentuan Koefisien Permeabilitas

Penentuan koefisien permeabilitas menggunakan pengujian permeabilitas tinggi-konstan (constant-head)

Dengan Rumus = $k = \frac{Q}{Aht}$ cm/s satuan yang biasa dipakai

Dimana :

Q = volume debit total, cm³, dalam waktu t, detik

L = Tinggi Sampel

A = Luas Penampang, cm²

h = perbedaan tinggi sepanjang sampel, cm

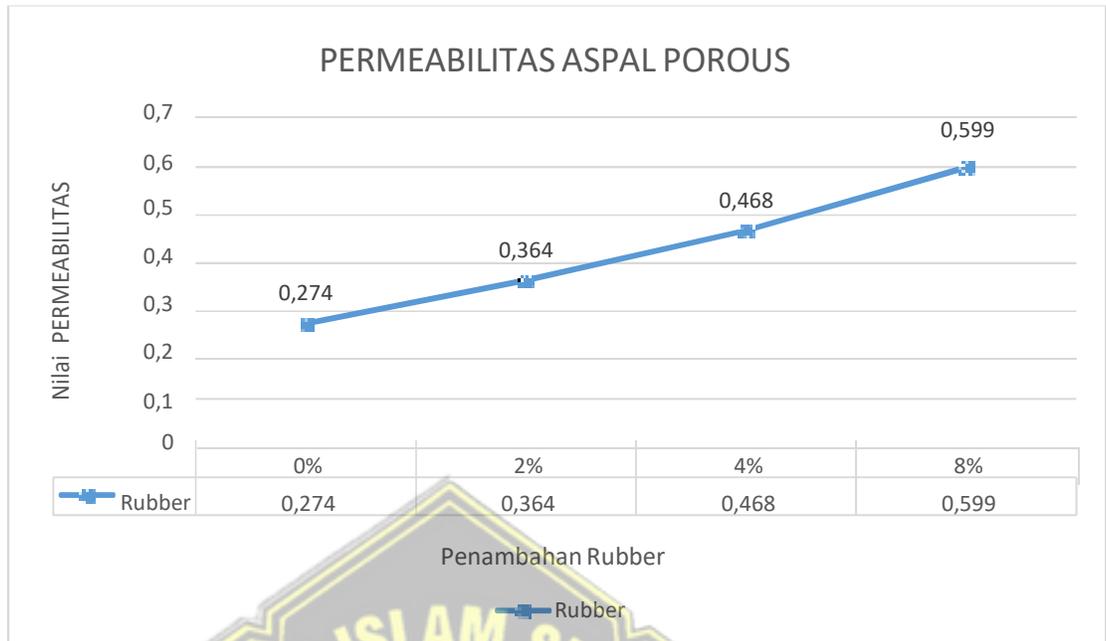
t = waktu

Tabel 4.14 Perhitungan Koefisien Permeabilitas
Dengan Rumus Tinggi-konstan (constant-head)

Benda Uji	Kadar (%)	Volume Debit Total Q (liter)	Tinggi Sampel L (cm)	Luas Penampang A (cm ²)	Perbedaan tinggi sepanjang contoh H (cm)	Waktu T (detik)	Hasil k (Cm/s)
Rubber 0%	Serat Selulosa 0%	1000	7	78,5	7	15,73	0,809
	Serat Selulosa 2%	1000	7	78,5	7	18,37	0,693
	Serat Selulosa 4%	1000	7	78,5	7	38,77	0,328
	Serat Selulosa 8%	1000	7	78,5	7	46,47	0,274
Rubber 2%	Serat Selulosa 0%	1000	7	78,5	7	14,10	0,903
	Serat Selulosa 2%	1000	7	78,5	7	17,28	0,737
	Serat Selulosa 4%	1000	7	78,5	7	29,68	0,429
	Serat Selulosa 8%	1000	7	78,5	7	34,95	0,364
Rubber 4%	Serat Selulosa 0%	1000	7	78,5	7	13,26	0,960
	Serat Selulosa 2%	1000	7	78,5	7	17,16	0,742
	Serat Selulosa 4%	1000	7	78,5	7	24,36	0,522
	Serat Selulosa 8%	1000	7	78,5	7	27,17	0,468
Rubber 8%	Serat Selulosa 0%	1000	7	78,5	7	13,10	0,972
	Serat Selulosa 2%	1000	7	78,5	7	16,72	0,761
	Serat Selulosa 4%	1000	7	78,5	7	19,44	0,655
	Serat Selulosa 8%	1000	7	78,5	7	21,25	0,599

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

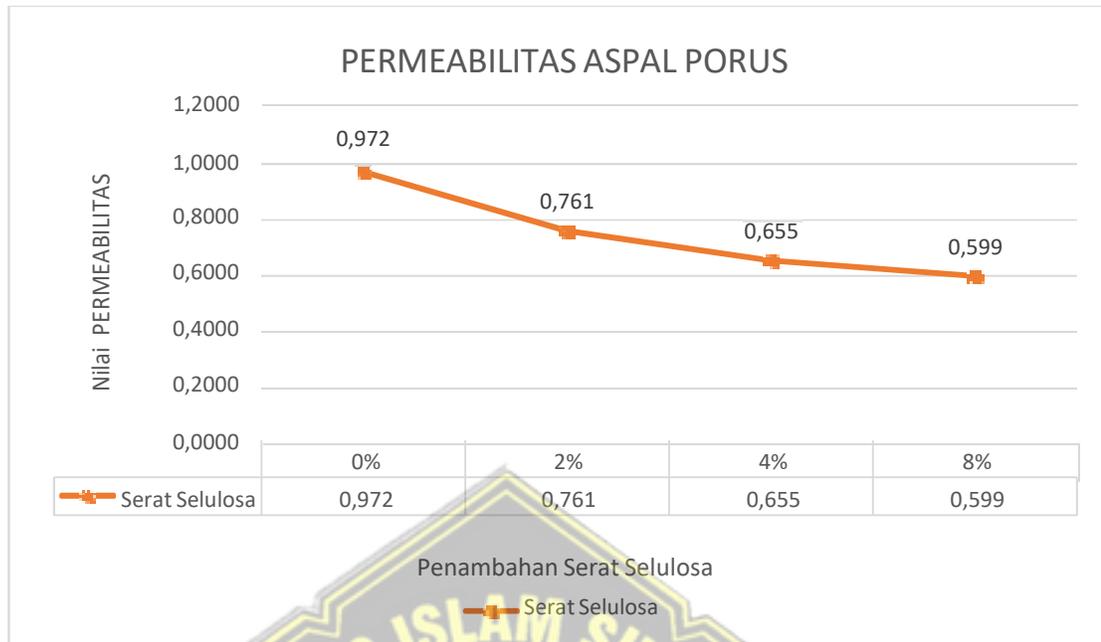
Standar kinerja fungsi campuran aspal porus dalam spesifikasi AAPA untuk nilai permeabilitas >0,1 cm/detik dimana nilai permeabilitas berbanding lurus dengan nilai porositasnya.



Gambar 4.17 Gambar Grafik Permeabilitas Campuran Aspal Porus

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada gambar grafik 4.17 semakin banyak penambahan *rubber* pada campuran aspal porus maka semakin tinggi nilai permeabilitasnya. Hal ini disebabkan karena *rubber* dapat meleleh dan menyelimuti agregat dimana, sedangkan presentase agregat kasar kurang lebih 85% persen dari volume campuran sehingga rongga atau ruang pori akan semakin besar dan mudah meloloskan air.



Gambar 4.18 Gambar Grafik Permeabilitas Campuran Aspal Porus

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Pada gambar grafik 4.18 semakin banyak penambahan serat selulosa pada campuran aspal porus maka semakin rendah nilai permeabilitasnya. Hal ini disebabkan karena serat selulosa menutupi rongga atau ruang pori pada campuran sehingga dapat menghalangi campuran tersebut 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. Hasil penelitian yang telah dilakukan maka untuk *job mix design* terbaik pada pengujian marshall mendapatkan nilai VIM dengan bahan tambah *Rubber* dan Serat Selulosa pada kadar 0% , 2%, 4% dan 8% dengan hasil 1,89%, 1,45% dan 1,62%. Dimana hasil pengujian tersebut memenuhi maka spesifikasi. Namun untuk kadar 8% dengan hasil 3,25% tidak sesuai Spesifikasi atau tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan karena untuk spesifikasi dari AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) berada pada angka 1% – 2,5%.
2. Berdasarkan hasil pengujian permeabilitas aspal porus dengan campuran bahan tambah *rubber* dan serat selulosa pada benda uji dengan *rubber* 0% dan serat selulosa 2% dapat menyerap air selama 18,37 detik. Sedangkan pada benda uji dengan *rubber* 8% dan Selulosa 2% dapat menyerap air selama 16,72 detik. Maka semakin banyak *rubber* yang ditambahkan pada campuran aspal porous maka semakin cepat dan mudah campuran tersebut meloloskan air dapat dibuktikan pada tabel Standar kinerja fungsi campuran aspal porus dalam spesifikasi AAPA untuk nilai permeabilitas $>0,1$ cm/detik dimana nilai permeabilitas berbanding lurus dengan nilai porositasnya.

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 serat selulosa dan *rubber* pada kadar 0%,2%,4%.
2. Pengujian disesuaikan berdasarkan persyaratan Spesifikasi dari AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*).
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 manu



DAFTAR PUSTAKA

- Amiruddin, Ibrahim, Sulianti, I., & Subrianto, A. (2018). Pemanfaatan Material Lokal Dalam Pembuatan Aspal. *Jurnal Forum Mekanika*, 7(2), 1–9.
- Candra, P. R., Siswanto, H., & Rahardjo, B. (2021). Karakteristik Marshall Campuran Aspal Porus dengan Penambahan Polyurethane. *Media Teknik Sipil*, 19(1), 11–16. <https://doi.org/10.22219/jmts.v19i1.14681>
- Saputra., Y., Zahara., A. W. Z., Lazuardi., M. A., Amada., N. M. S., & Haryanti., N. H. (2023). Karakteristik Aspal Porus dengan Campuran Serat Bemban (Donax Canniformis) Terhadap Porositas, Void In Mixture, dan Marshall Quotient. *Journal of Science and Applicative Technology*, 7(September 2022), 20–25. <https://doi.org/10.35472/jsat.v7i1.1086>
- Sembung, N. T., Sendow, T. K., Palenewen, S., Teknik, F., Sipil, J., Sam, U., & Manado, R. (2020). *Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Kota Tomohon*. 8(3), 345–352.
- Cole. (1983). *Reservoir Engineering Manual*. Gulf Publi(Texas).
- Jauhari. (2013). *Karakteristik Marshall Test pada Lapisan Perkerasan Aspal Berongga Menggunakan Batu Karang dan Buton Natural Aspal*, Skripsi Teknik Sipil. Makassar: Universitas Hasanudin.
- Sarwono. (2007). Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran Porous Asphalt. *Jurnal Media Teknik Sipil 131*, Surakarta: Universitas Negeri Surakarta.
- Sembung, N. T., Sendow, T. K., Palenewen, S., Teknik, F., Sipil, J., Sam, U., & Manado, R. (2020). *Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Kota Tomohon*. 8(3), 345–352.
- Affan, M. 2006. Studi Peranan Rongga Terhadap Stabilitas dan Durabilitas Campuran Aspal Porus Akibat Penambahan Mortar, Tesis Magister Teknik Sipil Program Sarjana. Banda Aceh: Universitas Syiah Kuala.
- Ali, Nur. 2013. Studi Penggunaan Serat Ijuk sebagai Bahan Tambah pada Aspal Porous Liquid Asbuton (108M), Jurnal Konferensi Nasional Teknik Sipil 7. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.

Anggiani, Dea., Imam Hagni Puspito., Wita Meutia. 2018. Analisis Kinerja Aspal Pen 60/70 dan Aspal Polimer Jap-57 dalam Campuran Aspal Porus. Jurnal Infrastruktur Volume 4 No. 1 (hlm. 19-24).

Bochove, V.G.G. 2000. Porous Asphalt (Two-layered)-Optimizing and Testing. Proceedings of 2nd Eurasphalt and Eurobitume Congress. Barcelona.

Diana, I.W. 2004. Studi Rongga Menerus dan Kinerja Permeabilitas Perkerasan Aspal Porus Lapisan Ganda. Jurnal Transportasi, FSTPT, Vol 4, No. 2. Bandung.

Djumari dan Djoko Sarwono. 2009. Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering. Media Teknik Sipil Volume IX.

Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan Revisi 1. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, September*, 1–199.

Sarjana, P., Studi, P., Sipil, T., Teknik, F., Islam, U., Agung, S., Pradana, F. Y., & Kliswanto, M. S. (2023). *Analisis Perbandingan Aspal Wearing Coarse (Ac-Wc) Dengan Buton Granular.*

