

TUGAS AKHIR

ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)* DENGAN PENAMBAHAN *CERAMIC FRAGMENT* DAN *NATURAL LATEKS* PADA PERKERASAN JALAN

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



Disusun Oleh:

Muhammad Daffa A.P
NIM: 30202100138

Yunanto Nugroho
NIM: 30202100220

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN CERAMIC FRAGMENT DAN NATURAL LATEKS PADA PERKERASAN JALAN

Disusun oleh:



**Muhammad Daffa Annabil
Pramesti**
30202100138



Yunanto Nugroho
30202100220

Telah disetujui Semarang, Agustus 2025

Tim Penguji :

1. **Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.**

NIDN : 0611118903

2. **Dr. Abdul Rochim, ST., MT.**

NIDN : 0608067601

Tanda Tangan:

Mengetahui
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng
NIDN:0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 21 / A.2 / SA – T / VIII / 2025

Pada hari ini tanggal 24 Maret 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing :

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

Jabatan Akademik : Lektor

Jabatan : Dosen Pembimbing

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

Yunanto Nugroho
NIM : 30202100220

M. Daffa Annabil Pramesti
NIM : 30202100138

Judul : “ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN *CERAMIC FRAGMENT* DAN *NATURAL LATEKS* UNTUK PERKERASAN JALAN”

Dengan tahapan Sebagai Berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan Dosen Pembimbing	24/03/2025	ACC
2	Seminar Proposal	30/05/2025	ACC
3	Pengumpulan Data	01/06/2025	ACC
4	Analisis Data	21/07/2025	ACC
5	Penyusunan Laporan	01/08/2025	ACC
6	Selesai Laporan	12/08/2025	ACC

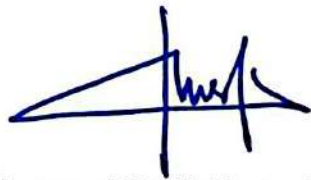
Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan.

Mengetahui,

Dosen Pembimbing

Ketua Program Studi Teknik Sipil


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


Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Kami yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Yunanto Nugroho
NIM : 30202100220
2. NAMA : Muhammad Daffa Annabil Pramesti
NIM : 30202100138

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

"ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN CERAMIC FRAGMENT DAN NATURAL LATEKS UNTUK PERKERASAN JALAN"

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, Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,

Yunanto Nugroho
NIM : 30202100220

M. Daffa Annabil Pramesti
NIM : 30202100138

PERNYATAAN KEASLIAN

Kami yang bertanda tangan dibawah ini :

3. NAMA : Yunanto Nugroho
NIM : 30202100220
4. NAMA : Muhammad Daffa Annabil Pramesti
NIM : 30202100138

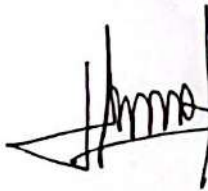
JUDUL TUGAS AKHIR : "ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN *CERAMIC FRAGMENT* DAN *NATURAL LATEKS* UNTUK PERKERASAN JALAN"

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan kami sendiri. Kami 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 kami bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,


Yunanto Nugroho
NIM : 30202100220


M. Daffa Annabil Pramesti
NIM : 30202100138

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.”

(QS. Ali Imron:110)

“Dan carilah pada apa yang telah dianugerahkan Allah kepadamu (kehidupan) akhirat, dan janganlah kamu melupakan bagianmu dari (kenikmatan) duniawi dan berbuat baiklah (kepada orang lain) sebagaimana Allah telah berbuat baik kepadamu dan janganlah kamu berbuat kerusakan di bumi, Sesungguhnya Allah tidak menyukai orang-orang yang berbuat kerusakan.”

(QS. Al-Qasas:77)

“Maka, sesungguhnya beserta kesulitan ada kemudahan.”

(QS. Al-Insyirah:4)

“Ya Allah, aku memohon kepadaMu jiwa yang merasa tenang kepadaMu, yang yakin akan bertemu denganMu, yang ridho dengan ketetapanmu, dan yang merasa cukup dengan pemberianMu.”

(HR Thabrani)

“Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(QS. Al-Baqarah:286)

“Dan aku menyerahkan urusanku kepada Allah.”

(QS. Al-Ghafir:44)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala Rahmat dan hidayah-Nya kami memohon pertolongan, pengampunan serta petunjuk-Nya. Serta Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Dengan ini, saya persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada:

1. Teristimewa Kedua orangtua saya yang saya cintai, Bapak Erfandi dan Ibu Siti Mujianah yang senantiasa memberikan doa, dukungan dan kasih sayang yang tiada nilainya. Orang-orang dirumah jadi alasan untuk tetap mengupayakan, Ibu dirumah diam-diam berdoa sambil matanya berembun, bapak yang selalu merawat senyum keluarga.
2. Seluruh keluarga besar terutama kakak-kakak saya Luthfi Prayogo, Aini Luthfiah, Rifqil Ibad, dan Rahma Yunita, yang senantiasa memberikan doa, cinta, dan dukungan berupa moril maupun materil. Terimakasih telah menemani dan memotivasi saya di fase-fase tugas akhir ini.
3. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT. selaku dosen pembimbing saya yang selalu memberikan ilmu dan mengarahkan saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan dan juga teman-teman seperjuangan yang membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.
5. Teman-teman saya, khususnya KONTRAKAN INTHESKY, SSC GENK dan juga teman teman saya yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terima kasih banyak atas segala bantuan, dukungan, dan menjadi bagian perjalanan hidup saya.
6. Partner Tugas Akhir saya, Muhammad Daffa Annabil Pramesti yang memberikan support, dan menemani setiap proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Yunanto Nugroho
30202100220

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala Rahmat dan hidayah-Nya kami memohon pertolongan, pengampunan serta petunjuk-Nya. Serta Shalawat dan salam senantiasa tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Dengan ini, saya persembahkan laporan Tugas Akhir ini kepada:

1. Teruntuk Ayah dan Bunda saya yang saya cintai, yang selalu mendoakan dan mendukung saya kapanpun dan dimanapun. Terimakasih atas pengorbanan dan tulus kasih yang diberikan kepada saya. Hal yang paling utama bisa sampai di titik ini adalah karena ingin membuktikan bahwa anak pertamanya bisa memberikan ijazah tertinggi dengan menamatkan pendidikan Sarjana dan kelak menjadi contoh untuk kedua adik saya
2. Kedua adik saya Rafi dan Rafa yang selalu bikin jengkel dan Bahagia.
3. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT. selaku dosen pembimbing saya yang selalu memberikan ilmu dan mengarahkan saya untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan dan juga teman-teman seperjuangan yang membantu dalam menyelesaikan penelitian ini.
5. Teman-teman saya, khususnya KONTRAKAN ANN-NUR, SSC GENK dan juga teman teman saya yang tidak bisa disebutkan satu persatu. Terima kasih banyak atas segala bantuan, dukungan, dan menjadi bagian perjalanan hidup saya.
6. Partner Tugas Akhir saya, Yunanto Nugroho yang memberikan support, dan menemani, setiap proses pengerjaan Tugas Akhir ini.

Muhammad Daffa Annabil Pramesti
30202100138

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 Course* (AC-WC) Dengan Penambahan *Ceramic Fragment* Dan *Natural Lateks* Pada Perkerasan Jalan”.

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, S.T., M.T., 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. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. 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, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian Jalan.....	5
2.1.1 Jalan Kelas I.....	5
2.1.2 Jalan Kelas II	5
2.1.3 Jalan Kelas III	6
2.2 Pengertian Perkerasan Jalan	6
2.2.1 Rigid Pavement	6
2.2.2 Flexible Pavement.....	7
2.2.3 Composite Pavement.....	8
2.3 Perkerasan Aspal Jalan Beton	8

2.3.1 Perkerasan Aspal Jalan Beton (AC-WC).....	8
2.3.2 Perkerasan Aspal Jalan Beton (AC-BC).....	9
2.3.3 Perkerasan Jalan Aspal Beton (AC-Base)	9
2.4 Karakteristik Penyusun Aspal Beton (AC-WC).....	9
2.4.1 Aspal	9
2.4.2 Agregat.....	10
2.4.3 Filler.....	14
2.4.4 <i>Ceramic Fragment</i>	14
2.4.5 <i>Natural Lateks</i>	15
2.4.6 <i>Marshall Test</i>	16
2.4.7 Uji Karakteristik <i>Marshall</i>	16
2.5 Penelitian Terdahulu yang Sejenis	18
BAB III METODE PEMBUATAN	23
3.1 Jenis Pelitian.....	23
3.2 Bahan dan Alat Penelitian.....	23
3.2.1 Bahan Penelitian	23
3.2.2 Peralatan Penelitian.....	24
3.3 Pengumpulan Data.....	25
3.4 Prosedur Penelitian.....	26
3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material	26
3.5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus.....	26
3.5.2 Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal.....	27
3.6 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)	27
3.7 Rancangan dan Pelaksana Penelitian.....	36
3.8 Bagan Alir Program Kerja.....	37
3.9 Prosedur Kerja	38
3.9.1 Perencanaan Campuran.....	38
3.9.2 Tahapan Pembuatan Benda Uji.....	38
3.9.3 Metode Penguji Sampel.....	39
3.10 Metode Analisis.....	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	43
4.1 Persiapan Material	43
4.1.1 Analisa Saringan.....	43

4.1.2 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat.....	46
4.1.3 Hasil Pemeriksaan Aspal	47
4.2 Hasil Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan.....	48
4.3 Pengujian Berat Jenis Aspal Komposisi Normal.....	50
4.4 Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994).....	51
4.4.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum	52
4.4.2 Ringkasan Hasil Pengujian AC-WC.....	54
4.5 Pembuatan Benda Uji.....	55
4.6 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi	56
4.7 Hasil Pemeriksaan <i>Marshall Test</i>	57
4.7.1 Hasil Pemeriksaan Marshall Test Modifikasi Cetramics Fragment dan Natural Latex	58
4.7.2 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test Variasi SK0 (Serbuk Keramik 0%, 1%, 3%, dan Natural Latex 0%).	60
4.7.3 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall Test</i> Variasi SK1 (Serbuk Keramik 5%, 0%, 1%, Natural Latex 0%, 2%).....	64
4.7.4 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall Test</i> Variasi SK2 (Serbuk Keramik 3%, 5%, 0% Natural Latex 2%, 3%).....	68
4.7.5 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall Test</i> Variasi SK3 (Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% dan Natural Latex 3%)	72
4.7.6 Rangkuman Hasil Penguji	77
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN.....	89

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lapisan Konstruksi Perkerasan Kaku (<i>Rigit Pavement</i>)	7
Gambar 2. 2 Konstruksi perkerasan lentur (<i>Flexible Pavement</i>)	7
Gambar 2. 3 Perkerasan Komposit.....	8
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian	36
Gambar 4. 1 Pengambilan material.....	43



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Pesyaratan Agregat AC – WC	12
Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Kasar untuk AC-WC	13
Tabel 2. 3 Amplop Gradasi Gabungan untuk Campuran Beraspal.....	13
Tabel 2. 4 Keaslian Penelitian.....	18
Tabel 3. 1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	27
Tabel 3. 2 Campuran Aspal Beton dengan SK 0% dan NL 0%.....	28
Tabel 3. 3 Campuran Aspal Beton dengan SK 1% dan NL 0%.....	28
Tabel 3. 4 Campuran Aspal Beton dengan SK 3% dan NL 0%.....	29
Tabel 3. 5 Campuran Aspal Beton dengan SK 5% dan NL 0%.....	29
Tabel 3. 6 Campuran Aspal Beton dengan SK 0% dan NL 2%.....	30
Tabel 3. 7 Campuran Aspal Beton dengan SK 1% dan NL 2%.....	30
Tabel 3. 8 Campuran Aspal Beton dengan SK 3% dan NL 2%.....	31
Tabel 3. 9 Campuran Aspal Beton dengan SK 5% dan NL 2%.....	31
Tabel 3. 10 Campuran Aspal Beton dengan SK 0% dan NL 3%.....	32
Tabel 3. 11 Campuran Aspal Beton dengan SK 1% dan NL 3%.....	32
Tabel 3. 12 Campuran Aspal Beton dengan SK 3% dan NL 3%.....	33
Tabel 3. 13 Campuran Aspal Beton dengan SK 5% dan NL 3%.....	33
Tabel 3.14 Jumlah Sampel Variasi.....	35



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Kombinasi Agregat.....	50
Grafik 4. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum	53
Grafik 4. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum	54
Grafik 4. 4 Nilai VIM.....	61
Grafik 4. 5 Nilai VMA	61
Grafik 4. 6 Nilai VFB.....	62
Grafik 4. 7 Nilai Flow	62
Grafik 4. 8 Nilai Stabilitas	63
Grafik 4. 9 Nilai Marshall	63
Grafik 4. 10 Nilai VIM.....	65
Grafik 4. 11 Nilai VMA	65
Grafik 4. 12 Nilai VFB.....	66
Grafik 4. 13 Nilai Flow	66
Grafik 4. 14 Nilai Stabilitas	67
Grafik 4. 15 Nilai Marshall	67
Grafik 4. 16 Nilai VIM.....	69
Grafik 4. 17 Nilai VMA	69
Grafik 4. 18 Nilai VFB.....	70
Grafik 4. 19 Nilai Flow	70
Grafik 4. 20 Nilai Stabilitas	71
Grafik 4. 21 Nilai Marshall	71
Grafik 4. 22 Nilai VIM.....	73
Grafik 4. 23 Nilai VMA	73
Grafik 4. 24 Nilai VFB.....	74
Grafik 4. 25 Nilai Flow	74
Grafik 4. 26 Nilai Stabilitas	75
Grafik 4. 27 Nilai Marshall	75
Grafik 4. 28 Grafik Hasil VMA	79
Grafik 4. 29 Grafik VIM	80
Grafik 4. 30 Grafik VFB	81
Grafik 4. 31 Grafik Stabilitas	82
Grafik 4. 32 Grafik Flow	83
Grafik 4. 33 Grafik MQ	84

ANALISIS *ASPHALT WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN *CERAMIC FRAGMENT* DAN *NATURAL LATEKS* UNTUK PERKERASAN JALAN

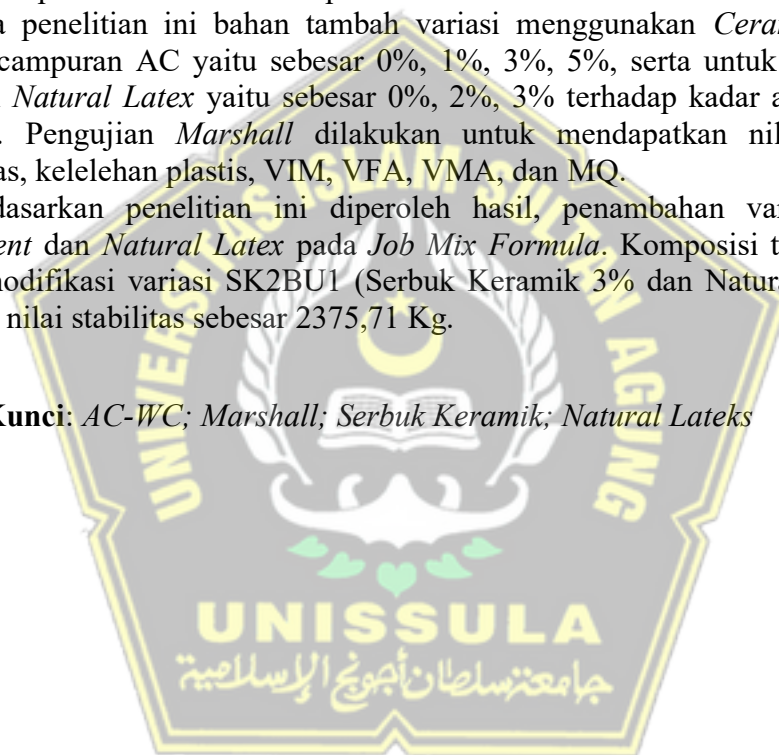
ABSTRAK

Perkerasan lentur di Indonesia sering mengalami kerusakan akibat cuaca dan volume kendaraan yang padat. Oleh karena itu peneliti melakukan inovasi dengan penambahan bahan *Natural Latex* dan *Ceramic Fragment* pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan tujuan untuk mengurangi limbah keramik namun juga meningkatkan karakteristik *Marshall* pada campuran AC-WC, serta memperbaiki stabilitas campuran.

Pada penelitian ini bahan tambah variasi menggunakan *Ceramic Fragment* dalam campuran AC yaitu sebesar 0%, 1%, 3%, 5%, serta untuk variasi bahan tambah *Natural Latex* yaitu sebesar 0%, 2%, 3% terhadap kadar aspal optimum (KAO). Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mendapatkan nilai kepadatan, stabilitas, kelelahan plastis, VIM, VFA, VMA, dan MQ.

Berdasarkan penelitian ini diperoleh hasil, penambahan variasi *Ceramic Fragment* dan *Natural Latex* pada *Job Mix Formula*. Komposisi terbaik didapat pada modifikasi variasi SK2BU1 (Serbuk Keramik 3% dan *Natural Lateks* 2%) dengan nilai stabilitas sebesar 2375,71 Kg.

Kata Kunci: *AC-WC; Marshall; Serbuk Keramik; Natural Lateks*



ANALISIS ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN CERAMIC FRAGMENT DAN NATURAL LATEKS UNTUK PERKERASAN JALAN

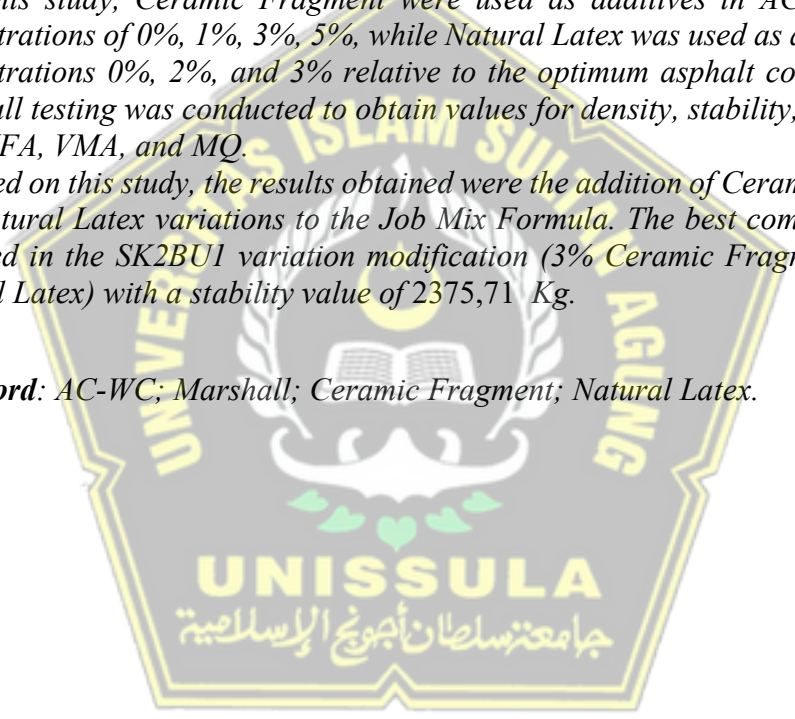
ABSTRACT

Flexible pavements in Indonesia often suffer damage due to weather conditions and heavy traffic. Therefore, researchers have innovated by adding Natural Latex and Ceramic Fragment to the Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) mixture with the aim of reducing ceramic waste while also improving the Marshall characteristics of the AC-WC mixture and improving the stability of the mixture.

In this study, Ceramic Fragment were used as additives in AC mixtures at concentrations of 0%, 1%, 3%, 5%, while Natural Latex was used as an additive at concentrations 0%, 2%, and 3% relative to the optimum asphalt content (OAC). Marshall testing was conducted to obtain values for density, stability, plastic flow, VIM, VFA, VMA, and MQ.

Based on this study, the results obtained were the addition of Ceramic Fragment and Natural Latex variations to the Job Mix Formula. The best composition was obtained in the SK2BUI variation modification (3% Ceramic Fragment and 2% Natural Latex) with a stability value of 2375,71 Kg.

Key Word: AC-WC; Marshall; Ceramic Fragment; Natural Latex.



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Karena volume kendaraan yang terus bertambah di Indonesia, maka perlu adanya peningkatan jalan untuk mengakomodasi kendaraan yang semakin besar. Perkerasan jalan meminimalisir perubahan bentuk atau kerusakan jalan yang diakibatkan oleh beban berulang. Perkerasan jalan disini bertujuan untuk meningkatkan daya tahan jalan terhadap cuaca ekstrem seperti hujan, panas, dan kelembapan yang tinggi (Sugeng 2017). Perkerasan jalan berperan sangat krusial untuk memperlancar arus transportasi orang dan barang agar lebih efisien, menunjang pertumbuhan ekonomi, dan juga mempermudah akses ke berbagai daerah.

Kebanyakan jalan di Indonesia menggunakan aspal sebagai bahan utama pada permukaan jalan. Aspal masih banyak digunakan karena sifatnya yang fleksibel, yang memungkinkannya beradaptasi dengan pergerakan tanah. Hal ini membuat aspal lebih tahan dengan retakan sebagai akibat dari pergeseran tanah atau perubahan suhu. Fleksibilitas aspal juga membantu meredam beban kendaraan, yang memberi kenyamanan lebih bagi pengguna jalan (Susilowati et al., 2021). Penggunaan aspal bukan hanya pada sektor transportasi saja, aspal juga banyak digunakan pada konstruksi lainnya. Oleh karena itu, pengembangan dan penggunaan teknologi modern untuk meningkatkan aspal menjadi sebuah keharusan. Modifikasi aspal bertujuan untuk mengurangi penggunaan aspal dan meningkatkan sifatnya sehingga menyerupai material modern dalam hal daya tahan, elastisitas, dan kualitas.

Disisi lain limbah keramik menjadi permasalahan di semua proyek konstruksi, penggunaan keramik dalam proyek konstruksi menimbulkan sampah dari tahun ke tahun, sehingga berdampak buruk pada lingkungan, selain itu untuk mengurangi jumlah sampah keramik yang menumpuk di pembuangan akhir, inovasi menggunakan keramik sebagai bahan campuran untuk meningkatkan ketahanan aspal dan juga kualitas keawetan aspal. Analisa kelayakan limbah keramik untuk campuran aspal, menyimpulkan bahwa limbah keramik menggunakan agregat halus pasir dengan [50%] dicampur dengan limbah pecahan keramik [50%] menghasilkan

nilai stabilitas marshall yang memenuhi syarat, sehingga dapat meningkatkan mutu beton (Arliningtyas & Nadia, 2017) .

Pada perkerasan jalan beban yang diterima adalah beban tekan dan beban tarik, sehingga dapat menyebabkan deformasi. Beban tarik juga dapat menyebabkan keretakan pada permukaan aspal. Upaya menanggulungnya dengan cara penambahan campuran natural latex atau getah karet sebagai kekuatan perkerasan. Natural latex ini memiliki sifat yang kuat sebagai bahan pengikat, elastisitas yang tinggi, dan kelekatan yang tinggi.

Berdasarkan permasalahan tersebut inovasi pemanfaatan limbah keramik dan natural latex (getah karet) sebagai campuran aspal, maka dilakukan penelitian dengan bertujuan mengetahui nilai marshall lapisan aspal AC-WC.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah berikut ini dihasilkan berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan di atas:

1. Bagaimana memperoleh job mix formula terbaik pada *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) penambahan agregat halus *Ceramics Fragments* dan *Natural Latexs*?
2. Bagaimana hasil stabilitas marshall pada *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) penambahan agregat halus *Ceramics Fragments* dan *Natural Latex*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian berikut ini dihasilkan berdasarkan latar belakang yang telah disebutkan diatas:

1. Mengetahui job mix formula terbaik dari campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) penambahan agregat halus *Ceramics Fragments* dan *Natural Lateks*.
2. Mengetahui stabilitas *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) penambahan agregat halus *Ceramics Fragments* dan *Natural Latex*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat membantu para pembaca dan peneliti baik secara langsung maupun tidak langsung, dan dapat menjadi sumber yang berguna untuk penelitian-penelitian selanjutnya. Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat Teoritis

Secara teoritis penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman dan pengetahuan dalam proses menganalisa campuran aspal beton modifikasi penambahan agregat halus *Ceramics Fragments* dan *Natural Latex*.

2. Secara praktis, berharap bahwa penelitian ini akan memberikan manfaat sebagai berikut:

a. Bagi Peneliti

Secara teoritis penelitian ini dapat meningkatkan pemahaman dan pengetahuan dalam proses menganalisa campuran aspal beton modifikasi penambahan agregat halus *Ceramics Fragments* dan *Natural Latex*.

b. Bagi masyarakat

Bagi masyarakat umum diharapkan penelitian ini sebagai referensi ataupun menambah wawasan dan pengetahuan mengenai proses menganalisa campuran aspal beton modifikasi penambahan agregat halus *Ceramics Fragments* dan *Natural Latex*.

1.5 Batasan Masalah

Berikut ini adalah batasan masalah dari penelitian ini:

1. Jenis perkerasan bersifat Lapisan Aspal Beton (LASTON) tipe AC-WC.
2. Analisa karakteristik material yang digunakan dalam campuran AC-WC, termasuk agregat, aspal, *filler*, bahan tambah.
3. Aspal yang digunakan dengan penetrasi 60/70.
4. Menggunakan bahan tambah plastik *Ceramic Fragment* dan *Natural Latex*.
5. Variasi penambahan serbuk keramik yang digunakan 0%, 1%, 3%, 5%
6. Variasi penambahan natural lateks yang digunakan 0%, 2%, 3%
7. Lokasi penelitian hanya dilakukan di Laboratorium Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung dan tidak dilakukan penghamparan di lapangan.

1.6 Sistematika Penulisan

Metodologi penyusunan tugas akhir ini dibagi ke dalam beberapa bab dan subbab antara lain:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini terdiri penjelasan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, Batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisi tinjauan dan dasar-dasar teori yang digunakan sebagai pedoman serta acuan dalam pemecahan masalah.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

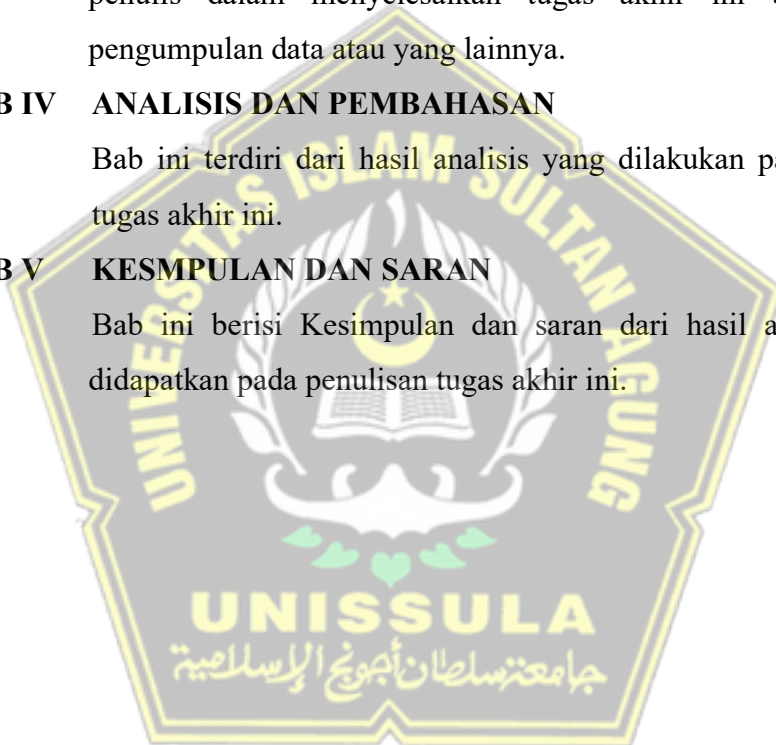
Pada bab ini berisi metode, proses ataupun tata cara yang digunakan penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini baik berupa pengumpulan data atau yang lainnya.

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Bab ini terdiri dari hasil analisis yang dilakukan pada penelitian tugas akhir ini.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi Kesimpulan dan saran dari hasil analisis yang didapatkan pada penulisan tugas akhir ini.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian Jalan

Jalan menjadi prasarana transportasi yang sangat penting dan harus ada di suatu wilayah karena jalan dapat memperlancar perpindahan aktivitas manusia, kendaraan, dan barang dari satu titik ke titik yang lain. Jalan berfungsi sebagai titik akses yang memperlancar mobilitas dan transportasi, baik jalan kecil seperti jalan di suatu wilayah pemukiman, maupun jalan besar seperti jalan Raya Antar Kota atau Jalan Tol (Priana, 2018).

2.1.1 Jalan Kelas I

Perkerasan yang didesain untuk menahan beban lalu lintas berat dengan durabilitas tinggi. Jenis perkerasan ini biasanya digunakan pada area primer yang memerlukan tingkat kehati-hatian tinggi terkait beban lalu lintas berulang dan kondisi cuaca ekstrim (Sulistyo, 2019). Jalan ini mempunyai lebar yang bagus untuk lintas dua arah, dan permukaan berkualitas tinggi untuk beban berat kendaraan. Biasanya terdapat ditemukan di jalan arteria nasional yang menghubungkan jalan antar kota atau provinsi dan mencakup akses tol untuk perjalanan jarak jauh. Menurut (Yamali et al., 2019), agregat yang digunakan di kelas I biasanya memiliki ukuran dan berat tertentu untuk menjamin kestabilan dan keawetan jalan.

2.1.2 Jalan Kelas II

Perkerasan jalan kelas II umumnya terdiri dari berbagai lapisan, seperti lapisan pondasi bawah, pondasi atas, dan lapisan permukaan (Darmawan & Lizar, 2020). Lapisan pondasi bawah sering dibuat dari bahan granular atau tanah yang mestabilkan bahan yang berfungsi untuk memindahkan partikel lepas tanah dasar (subgrade). Tergantung pada jenis perkerasan yang diinginkan, lapisan permukaan dapat dibuat dari beton atau aspal keras jika diinginkan. Menurut (*PermenPUPR05-2018*, n.d.). dibandingkan perkerasan kelas I, perkerasan kelas II memiliki lapisan perkerasan yang lebih bervariasi dan halus, tetapi pengguna memenuhi standar kenyamanan dan ketahanan. Jalan ini biasanya memiliki lebar yaitu yang sesuai untuk lintas dua arah dengan satu atau dua lajur, dan lazimnya terdapat jalan lokal, jalan desa, atau

jalan kabupaten yang menghubungkan daerah untuk satu wilayah, tanpa meliputi jalan raya utama antar provinsi.

2.1.3 Jalan Kelas III

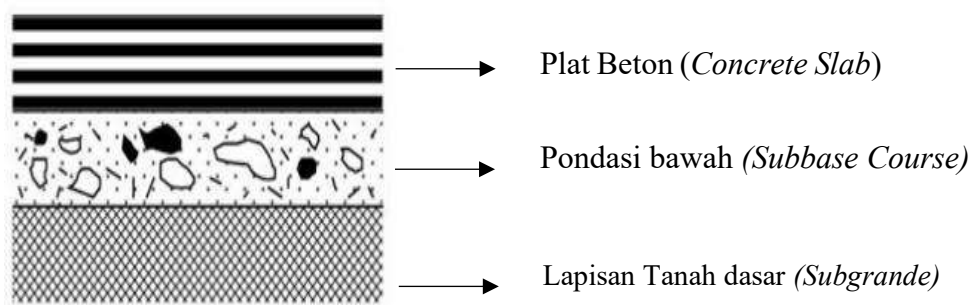
Perkerasan jalan adalah struktur lapisan yang dirancang untuk menghilangkan serpihan dan mendistribusikannya secara efektif dan ke dasar tanah (subgrade). Digunakan pada jalan dengan kapasitas lalu lintas yang rendah sampai ke tanah, biasanya pada daerah pedesaan atau kawasan dengan aktivitas lalu lintas rendah lebih banyak dibandingkan jalan perkotaan (Rulhendri & Nurdiansyah, 2016). Secara aturan umum jalan kelas III mempunyai ruang jalan yang lebih luas dibandingkan jalan kelas II, dengan satu lajur yang cocok untuk lintas satu arah atau dua arah dengan hati-hati. Tergantung pada pemeliharaan, kondisi jalan dapat bervariasi dan mungkin tidak sebaik jalan tingkatan pertama atau kedua.

2.2 Pengertian Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan salah satu komponen penting untuk memastikan lintasan yang tersisa dalam kondisi baik. Secara umum ada 3 jenis perkerasan: perkerasan fleksibel, lentur, dan kaku. Perkerasan adalah kombinasi bahan dan pengikat yang dapat digunakan untuk menciptakan lapisan yang dapat dilewati oleh kendaraan (Purwanto dan Putra 2019)

2.2.1 Rigid Pavement

Dikenal dengan sebutan perkerasan kaku, merupakan jenis perkerasan yang dibuat dengan memakai pelat beton secara umum disebut sebagai jalan beton. Rabat beton, menurut Direktorat Bina Konstruksi dari Balai Penerapan Teknologi Konstruksi, adalah perkerasan kaku yang terbuat dari semen, pasir, dan kerikil split.

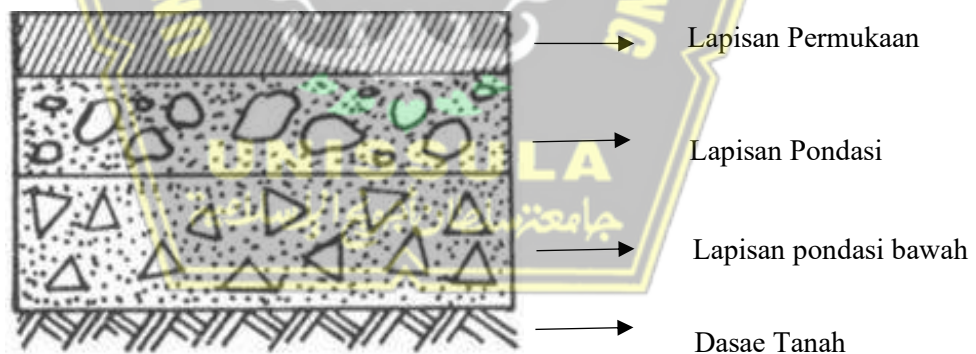


Gambar 2. 1 **Lapisan Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigit Pavement*)**

Sumber: Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat, 2017

2.2.2 *Flexible Pavement*

Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), adalah jenis perkerasan yang memakai aspal sebagai material bangunan dan lapisan - lapisan di bawahnya untuk menyerap dan memindahkan tekanan ke permukaan dasar. Jenis aspal ini digunakan karena memiliki sifat termoplastis yang dapat menyebabkannya naik ketika dipanaskan sampai tingkat tertentu dan turun ketika suhu mulai naik.

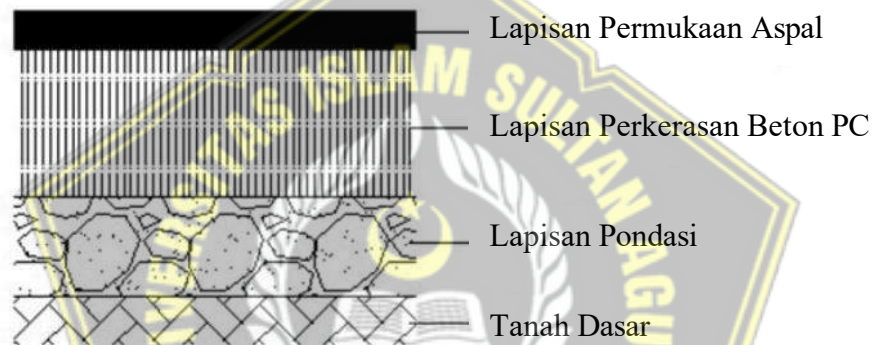


Gambar 2. 2 **Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*)**

Sumber: Dinas Pekerjaan umum dan penataan Ruang, 2014.

2.2.3 Composite Pavement

Perkerasan komposit adalah kesatuan dari lapisan perkerasan keras dan perkerasan lentur di atasnya, yang bekerja sama untuk mendukung beban lalu lintas. Konstruksi ini memerlukan harga yang agak lebih tinggi dibandingkan perkerasan lain, tetapi memiliki ambang batas meningkatkan kenyamanan berkendara. Perbedaan antara struktur kaku dan struktur komposisi terlihat jelas pada luas permukaannya. Perbedaan antara struktur kaku dan struktur komposisi terlihat jelas pada luas permukaannya. Pada struktur komposit, lapisan atas merupakan beraspal, sedangkan pada struktur kaku, merupakan beton semen, struktur komposit, lapisan atasnya beraspal, sedangkan pada struktur kaku, lapisan atasnya beton semen.



Gambar 2. 3 Perkerasan Komposit

Sumber: Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat 2017

2.3 Perkerasan Aspal Jalan Beton

2.3.1 Perkerasan Aspal Jalan Beton (AC-WC)

AC-WC atau *Asphalt Concrete-Wearing Course* adalah lapisan aspal beton yang berfungsi sebagai lapisan aus pada permukaan jalan, yang dirancang buat menahan beban lalu lintas dan melindungi lapisan-lapisan perkerasan di bawahnya (Syahada & Aula, 2024). Salah satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas perkerasan ini adalah Kombinasi agregat dan aspal yang digunakan untuk membuat beton aspal.

Aspal biasa biasanya digunakan sebagai dasar untuk AC - WC, tetapi seiring kemajuan teknologi, ada variasi dalam penggunaan material lain yang dapat meningkatkan kekuatan mekanis dan perkerasan daya tahan perkerasan

Salah satunya adalah penggunaan bahan tambahan yang ramah lingkungan seperti *Natural Lateks* getah karet dan bahan pengikat alternatif lainnya.

2.3.2 Perkerasan Aspal Jalan Beton (AC-BC)

Perkerasan jalan aspal beton (AC-BC) merupakan salah satu jenis perkerasan yang biasa dipakai pada jalan raya di Indonesia, terutama pada jalan dengan volume lalu lintas tinggi. AC-BC disini berfungsi untuk menghubungkan lapisan-lapisan perkerasan jalan dengan memberikan kekuatan struktural (Latif et al., 2019). Perkerasan jalan aspal beton mempunyai beberapa keuntungan, contohnya ketahanan terhadap retakan yang disebabkan oleh perubahan suhu dan ketahanan terhadap buruknya plastis akibat lalu lintas. Kualitas dan daya tahan perkerasan aspal beton sangat dipengaruhi oleh komposisi bahan yang digunakan, serta teknik pencampuran dan perawatan yang tepat.

2.3.3 Perkerasan Jalan Aspal Beton (AC-Base)

Perkerasan jalan aspal beton *Asphalt Concrete-Base Course* (AC-Base, merupakan lapisan pada struktur jalan yang terletak dibawah binder course (AC-BC). Semetara aspal berfungsi sebagai agregat berfungsi di antara elemen structural. Untuk mencapai stabilitas dan kekuatan perkerasan, sangat penting untuk memilih material bahan yang tepat

AC-Base, Lapisan ini berfungsi sebagai bantalan terhadap lapisan permukaan, lapisan penyerapan untuk lapisan pondasi bawah, dan bagian dari perkerasan yang mendistribusikan beban ke lapisan bawah dengan menahan gaya melintang dari beban roda (Bamher, 2020).

2.4 Karakteristik Penyusun Aspal Beton (AC-WC)

2.4.1 Aspal

Aspal adalah zat hidro karbon yang visioelastis, berwarna hitam kecoklatan, dan kedap air. Aspal, yang juga disebut bitumen, adalah pengikat yang digunakan untuk membuat lapisan lentur pada permukaan campuran aspal. Aspal ini dapat berasal dari aspal minyak (aspal yang berasal dari minyak bumi) atau aspal alam (aspal buton). Berdasarkan konsistensinya, aspal dapat dibagi menjadi jenis cair dan padat (Al-Amri, 2013).

Dari perspektif kualitatif, aspal di bagi dua jenis senyawa utama, yaitu

asphaltene dan *maltene*. Asphaltene memiliki kombinasi kompleks hidrokarbon yang ditemukan (5% - 25%) termasuk senyawa heteroaromatik dengan sulfur, amina, amida, senyawa oksigen (keton, fenol, atau asam karboksilat), nikel, dan vanadium, serta cincin radial aromatik yang terkondensasi. Di dalam *maltene* terdiri dari 3 komponen penyusun yaitu saturated, aromatis, dan resin (Sulila, 2015).

2.4.2 Agregat

Agregat adalah komponen inti dalam campuran aspal beton. Agregat memberikan stabilitas, kekuatan, dan sifat mekanis lainnya pada perkerasan. Pemilihan jenis, ukuran, dan distribusi agregat memiliki dampak signifikan terhadap sifat fisik dan mekanis aspal beton. Menurut ASTM, agregat adalah bahan yang terdiri dari mineral padat, baik dalam jumlah yang sangat besar atau dalam potongan yang lebih kecil. Kebanyakan struktur perkerasan jalan terdiri dari agregat, yang mencapai sekitar 90-95% dari total berat atau 75-85% dari total volume. Oleh karena itu, jenis agregat dan kombinasi agregat yang dihasilkan dengan elemen lain mempengaruhi kualitas perkerasan jalan (SNI 2439 2011).

Bahan-bahan yang ada di lokasi, jenis konstruksi, gradasi, ukuran maksimum, kebersihan, daya tahan, bentuk, tekstur, kepatuhan agregat terhadap aspal, berat jenis, dan faktor-faktor lain harus dipertimbangkan ketika memilih agregat yang akan digunakan. Kerikil yang digunakan untuk membangun jalan ini memiliki diameter mulai dari 19 mm hingga 0,075 mm. atau agregat melalui ayakan nomor dua hingga nomor 200.

Ada 3 (Tiga) jenis kualitas agregat yang dapat dibedakan yang menentukan kualitasnya sebagai bahan bangunan perkerasan jalan:

- Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*). Seberapa kuat dan tahan lama lapisan perkerasan jalan dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk gradasi, ukuran maksimum, kandungan lempung, kekerasan dan daya tahan, bentuk butiran, dan tekstur permukaan.
- Kemampuan aspal yang baik, yang dipengaruhi oleh jenis agregat, keterbasahan, dan porositas.
- Ketahanan terhadap selip dan kombinasi yang membuatnya mudah

diaplikasikan (kemampuan kerja campuran aspal) adalah faktor yang berkontribusi terhadap kenyamanan dan keamanan lapisan.

Agregat dengan kadar pori besar akan membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak karena banyak aspal yang terserap akan mengakibatkan aspal menjadi lebih tipis. Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering, yang didapat dengan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \dots\dots\dots (2.1)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{B_s}{B + B_s + B_t} \times 10\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

B : Berat piknometer berisi air, (gram)

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

Bj : Berat sample kering permukaan

jenuh Bk: Berat sample kering oven

2.4.2.1 Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah yang lolos saringan no.8 (2,36mm), yang berfungsi untuk mengisi celah antara agregat kasar dan meningkatkan stabilitas campuran perkerasan. Agregat halus harus menggunakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak diperlukan lainnya. Ketentuan agregat halus menurut (Bina Marga, 2018), dapat dilihat pada tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Pesyaratan Agregat AC – WC

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

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

2.4.2.2 Agregat Kasar

Partikel Agregat kasar untuk rancangan ditahan pada ayakan No. 4 (4,75 mm), partikel agregat kasar untuk desain harus bersih, tahan lama, tidak mengandung lempung atau komponen lain yang tidak diinginkan, dan memenuhi spesifikasi yang tercantum dalam tabel 2.2. Agregat berbentuk sudut sulit dipadatkan tetapi memiliki nilai stabilitas yang baik, sedangkan agregat kasar berbutir bulat membuat pemadatan lebih mudah tetapi memiliki nilai stabilitas yang rendah. Agregat kasar harus mampu menahan gaya abrasi ketika digunakan sebagai bahan campuran *wearing course*, yang mengharuskan nilai uji *los angles abrasion test* terpenuhi.

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		SNI 3407:2008	Maks ,12%
			Maks ,18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran,AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks ,6%
		500 putaran	Maks,30%
	Semua jenis Campuran beraspal bergradasi Lainnya	100 putaran	Maks ,8%
		500 putaran	Maks,40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min,95%
Butir pecah pada agregat kasar		SMA	100/90
		Lainya	95/90

Partikel pipih dan lonjong	SMA	SNI 8287 :2016 Perbandingan 1:5	Maks 5%
	Lainya		Maks 10%
Material Lolos Ayakan No.200		SNI,ASTM C117:2012	Maks,1%

Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Kasar untuk AC-WC

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

Menurut semua persyaratan perkerasan jalan, partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan memiliki proporsi tertentu untuk setiap ukuran. Gradasi agregat adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan distribusi perubahan ukuran butir agregat.

Tabel 2. 3 Amplop Gradasi Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap Total agregat		
ASTM	(mm)	AC-WC	AC-BC	Base
1 ½"	37,5			100
1"	25		100	90-100
¾"	19	100	90-100	76-90
½"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	21-40	18-38	13-30
No.30	0,600	14-30	12-28	10-22
No.50	0,300	9-22	7-20	6-15
No.100	0,150	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Spesifikasi Umum 2018, Tabel 6.3.2.3

Catatan:

1. Abrasi dengan mesin *Los Angeles* dengan 100 putaran harus dilakukan untuk mendapatkan keseragaman mutu agregat dan nilai abrasi dengan 100 putaran tidak boleh melebihi 20% dari nilai abrasi dengan 500 putaran yang sudah ditentukan.
2. 95/90 didapatkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka

bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2.4.3 Filler

Filler adalah material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) yang terdiri dari kapur terhidrasi, abu terbang, semen portland, dan abu batu, didefinisikan sebagai material yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Selain mengurangi sensitivitas suhu, *filler* juga dapat meningkatkan kepadatan campuran dan mengurangi ruang udara, meskipun penggunaannya harus dijaga dalam kisaran yang wajar. Jumlah *filler* yang berlebihan cenderung membuat campuran menjadi rapuh, sehingga lebih mudah pecah akibat tekanan lalu lintas (Hartono et al., 2020). Namun kadar *filler* yang relatif rendah mengakibatkan campuran menjadi lembek pada suhu yang relatif tinggi. Jumlah *filler* ideal antara 0.6 sampai 1.2, yaitu perbandingan prosentase *filler* dengan prosentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*. Pada penelitian ini, *filler* yang baik tidak dicampur dengan kotoran atau agregat lain yang tidak diperlukan dan kering dengan kadar air maks 1%. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah Kapur. Fungsi *filler* dalam campuran adalah:

1. Untuk mengubah agregat halus untuk meningkatkan berat jenis campuran dan mengurangi jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga.
2. *Filler* dan aspal dicampur bersama akan membentuk pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar. Ini akan mengisi ruang antara agregat kasar dan halus, juga meningkatkan kestabilan dan kepadatan.

2.4.4 Ceramic Fragment

Keramik terbuat dari tanah liat yang dibakar dan mencakup benda-benda seperti, gerabah, genteng, porselin, dan sebagainya, bahan baku pembuatan keramik yang biasanya digunakan adalah felspard, ball clay, kwarsa, kaolin, dan air. Komponen kristal, susunan kimiawi, dan mineral yang terkandung di dalamnya berpengaruh dalam menentukan karakter keramik. Keramik biasanya terdiri dari bahan-bahan berikut:

1. *Clay (Tanah Liat)*, Tanah liat terdiri dari aluminium silika terhidrasi ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), yang memiliki sifat plastis sehingga mudah dibentuk dan membantu mempercepat proses pembentukan keramik. memiliki daya ikat yang berbeda dari bahan dasar plastik.
2. Kwarsa (*Flint*), Jenis lain dari batuan silika (SiO_2) adalah kwarsa, yang memiliki kemampuan untuk mengurangi penyusutan kering, yang mencegah terjadinya retakan saat pengeringan dan mengurangi penyusutan saat pembakaran, sehingga kualitasnya tetap stabil.
3. *Feldspard*, *Feldspard* yang terbentuk oleh $\text{K}_2\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{SO}_3 \cdot 6\text{SiO}_2$ ini adalah sekelompok mineral yang berasal dari batuan karang. Pada saat keramik dipanaskan, maka *Feldspard* meleleh dan membentuk lelehan gelas yang menyebabkan partikel – partikel clay menyatu sehingga memberikan kepadatan dan kekuatan pada keramik. *Feldspard* menawarkan banyak manfaat karena mengandung soda dan potash, yang tidak larut dalam air (Hermansyah et al., 2022).

2.4.5 *Natural Lateks*

Lateks yaitu cairan getah yang dihasilkan dari bagian pohon karet. Lateks yang berkualitas memenuhi kriteria sebagai berikut:

1. Tidak terdapat kotoran seperti daun maupun kayu dan benda-benda lainnya.
2. Tidak menyatu dengan bubuk lateks, air dan serum lateks.
3. Warnanya putih dan baunya masih fresh.
4. Mengandung kadar karet kering antara 20 % sampai 28 %.

Supaya pembuatan aspal karet bisa digunakan dengan efektif, maka material campuran harus memenuhi ketentuan. Bahan yang dicampur dengan aspal harus memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

1. Kandungan partikel dari aspal semula harus dipertahankan, termasuk pada saat penyimpanan, pengeringan dan masa pelayanan.
2. Mudah diproses meskipun menggunakan peralatan standar.
3. Baik secara fisik maupun kimia, tetap stabil selama penyimpanan, pengerjaan, dan pelayanan.

Penelitian Leksiminingsih dari Pusat Litbang Jalan Bandung meneliti campuran aspal minyak dengan lateks dengan kadar karet kering 60%. Selain itu, penelitian tersebut sudah selesai tetapi masih terus dikembangkan (Amal, 2012).

2.4.6 Marshall Test

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (=5000 lbf) dan flowmeter. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan flowmeter untuk mengukur kelelahan plastis atau flow. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inci (=10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (=6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau ASTM D 1559-76.

Menurut (Setiawan, 2019) Kinerja beton aspal padat diukur dengan menggunakan pengujian benda uji sebagai berikut:

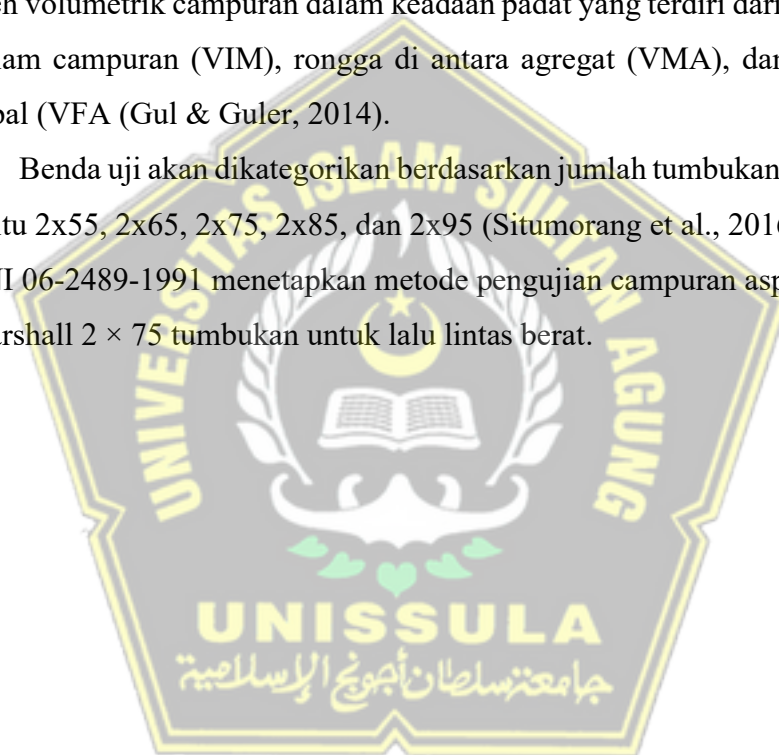
1. Menghitung berat volume benda uji
2. Uji nilai stabilitas, adalah kapasitas beton aspal padat untuk menahan beban maksimum sampai kelelahan plastis.
3. Pengujian kelelahan (*flow*), adalah tingkat perubahan bentuk plastis yang terjadi pada beton aspal padat sebagai akibat dari beban hingga batas keruntuhan.
4. Metode perhitungan kepadatan berat isi campuran aspal.
5. Perhitungan untuk membandingkan rasio partikel bahan lolos saringan no.200 dengan kadar aspal efektif.
6. Menghitung macam - macam jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA, VFA).
7. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

2.4.7 Uji Karakteristik Marshall

Uji *Marshall* adalah metode pengujian yang berperan penting untuk menentukan kualitas dan performa campuran aspal beton, termasuk kestabilan, flow, dan kepadatan. Metode ini sering dipakai untuk mengevaluasi karakteristik dari campuran aspal yang digunakan dalam perkerasan jalan, memastikan bahwa campuran tersebut memiliki kekuatan dan fleksibilitas yang memadai untuk menahan beban lalu lintas.

Sekitar tahun 1940-an, Bruce Marshall dari Misisipi State Highway Department pertama kali menggunakan metode ini. Selain nilai flow dan stabilitas, VIM, VMA, VFA, dan *marshall quotient* juga akan dihitung. Terlepas dari metode campuran aspal yang digunakan dalam desain dan jenis agregat, penelitian elastisitas modulus campuran aspal beton dapat dilakukan dengan menggunakan metode Marshall, yang mengatakan bahwa karakteristik deformasi permanen campuran aspal dapat dipelajari dengan menggunakan benda uji silinder dipadatkan yang dapat dibuat baik dari *superpave* atau perangkat pemadat *Marshall*. Kinerja campuran beraspal sangat ditentukan oleh volumetrik campuran dalam keadaan padat yang terdiri dari: rongga udara dalam campuran (VIM), rongga di antara agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA (Gul & Guler, 2014).

Benda uji akan dikategorikan berdasarkan jumlah tumbukan yang berbeda, yaitu 2x55, 2x65, 2x75, 2x85, dan 2x95 (Situmorang et al., 2016). Di sisi lain, SNI 06-2489-1991 menetapkan metode pengujian campuran aspal dengan alat marshall 2 × 75 tumbukan untuk lalu lintas berat.



2.5 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

Penelitian tentang teknologi dan inovasi perkerasan jalan aspal telah dilakukan sebelumnya, tetapi sejauh penelusuran yang telah dilakukan penelitian, belum ada penelitian yang sama dengan penelitian yang peneliti lakukan. Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya antara lain:

Tabel 2. 4 Keaslian Penelitian

NO	NAMA	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
1	Joti Asri, Febriana Diana Kurniasari, Bunyamin (2022)(ASRI et al., 2022)	pemanfaatan getah karet untuk substitusi aspal modifikasi lapisan asphalt concrete wearing course (Ac-wc) dengan metode basah	Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode eksperimen skala laboratorium. Rancangan penelitian mencakup pengujian berbagai proporsi campuran aspal dengan getah karet.	Getah karet sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal	Penambahan getah karet dapat digunakan sebagai bahan campuran AC-WC. Berdasarkan evaluasi parameter Marshall diperoleh kadar aspal optimum (KAO) 4,50%: 5,00% dan 5,50%.
2	Hamidun Batubara, Ronald H.T. Simbolon, Muhammad Ali Syakban Hasibuan (2023)	Pengaruh Penambahan getah karet (lateks) pada kekuatan ikat campuran aspal wearing course (AC-WC) dengan pengujian Marshall test	Penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan lateks pada campuran Marshall aspal (AC-WC), mengetahui pengaruh stabilitas	penambahan getah yang ditambahkan ke dalam campuran aspal, yang diuji pada tiga level: 5%, 5,5%, dan 6%.	Nilai Stability yang memenuhi spesifikasi Bina Marga, 2018 pada variasi persenan 5% dengan nilai 2108,82 gr, 5,5% dengan nilai 1286,91 gr dan 6%, dengan nilai 1199,82 gr

NO	NAMA	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
			marshall aspal setelah dicampur lateks		tidak memenuhi syarat SNI dengan nilai batas 800 kg.
3	Detha Skar Langit Wahyu Gutama, Dimas Langga Chandra Galuh, Dhani indra Permana (2023)	Penggunaan Limbah Serbuk Keramik Sebagai Filler Pada Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course HRS-WC)	Metode ini dirancang untuk memberikan data yang akurat mengenai performa campuran aspal yang dimodifikasi dengan serbuk keramik, serta untuk Mengevaluasi potensi penggunaan limbah keramik dalam konstruksi jalan.	Menggunakan kadar rencana keramik campuran mulai dari 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25%	menunjukkan hubungan antara stabilitas dan variabilitas serbuk keramik dari proporsi 0% hingga 25%, apabila kadar serbuk keramik meningkat maka nilai stabilitasnya meningkat, hal ini memenuhi persyaratan teknis yang diharapkan minimal yaitu 600 kg, jika lebih rendah dari batas maka tidak memenuhi persyaratan teknis.
4	Serwin Mazmur, Erdawaty, Fatmawaty Rachim (2023)	Study Penggunaan Limbah Keramik Tegel Sebagai Filler Pada Campuran Aspal (AC-WC)	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Pada penelitian ini kadar aspal yang digunakan yaitu sebesar 5,5%. Kemudian	Limbah Keramik Tegel dengan variasi kadar 0%, 60%, 100% dari berat total campuran.	Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada penambahan limbah keramik tegel dengan kadar 100%, yaitu sebesar 930 gr. Kadar 60%

NO	NAMA	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
			untuk penambahan limbah keramik tegel dibedakan berdasarkan kadar.		dengan menunjukkan nilai kepadatan sebesar 1023 gr.
5	Rifki Wahyu Ramadan, Anita Rahmawati (2023)	Pengaruh Lateks Sebagai Penambah Campuran Aspal Dengan Kadar Aspal 5% Terhadap Karakteristik Marshall Pada Perkerasan AC-WC	Menganalisis pengaruh nilai penetrasi, berat jenis, daktilitas, titik lembek, kehilangan berat minyak, dan pengujian marshall dengan penambahan lateks pada aspal penetrasi 60/70	Menggunakan kadar rencana lateks campuran mulai dari 0%, 2%, 4%, dan 6%	Aspal dan lateks 0% didapatkan hasil penetrasi sebesar 66 dengan spesifikasi minimal 60 dan maximal 70. Aspal dan lateks 2% didapatkan hasil penetrasi sebesar 59,4 dengan spesifikasi minimal 50 dan maximal 70. Aspal dan lateks 4% didapatkan hasil penetrasi sebesar 56,8 dengan spesifikasi minimal 50 dan maximal 70. e. Aspal dan lateks 6% didapatkan hasil penetrasi sebesar 55 dengan spesifikasi minimal 50 dan maximal 70.
6	Muhammad Syaiful Arif (2023)	Penggunaan Bahan Pengisi Filler Serbuk Keramik, Ditinjau Dari Parameter Marshall	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Pada penelitian ini kadar aspal yang digunakan yaitu	Serbuk keramik dengan variasi kadar 0%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100% dari berat total campuran.	Sifat dan karakteristik campuran aspal beton tanpa penambahan serbuk keramik yaitu Nilai Stabilitas 4,5% = 1084,20

NO	NAMA	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
		Pada Lapis Aspal Beton (Laston)	sebesar 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% Kemudian untuk penambahan limbah keramik tegel dibedakan berdasarkan kadar.		kg, 5% = 1396,42 kg, 5,5% = 1309,32 kg, 6% = 1290,52 kg, 6,5% = 1219,04 kg, 7% = 1159,16 kg.
7	Annisa Rosida, Ari Widayanti (2024)	Karakteristik Limbah Keramik, Agregat Alam, Dan Filler <i>Fly Ash</i> untuk campuran Lapis Aus <i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i>	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Pada penelitian ini dikumpulkan bervariasi mulai dari pemanfaatan limbah keramik sebagai agregat halus, agregat kasar, serta filler	Penyerapan yang dilakukan untuk agregat keramik diketahui sebesar 1,21%	Karakteristik agregat limbah keramik yang dipakai memiliki berat jenis curah kering 2,131 gr/cm ³ berat jenis SSD 2,157 gr/cm ³ ; dan berat jenis semu 2,188 gr/cm ³ . Nilai absorpsi/penyerapan limbah keramik sebesar 1,2% dan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan untuk dapat digunakan dalam campuran yaitu maksimal 3%
8	Muhammad Daffa Annabil Pramesti, Yunanto Nugroho (2025)	Analisis <i>Asphalt Concrete Wearing Course AC-WC</i> dengan Penambahan <i>Ceramic Fragment</i> dan <i>Natural Lateks</i> Pada Perkerasan Jalan	Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen. Pada penelitian ini kadar aspal yang digunakan yaitu sebesar 4%, 5%, 5,5%, dan 6%, Kemudian untuk	Serbuk keramik dengan variasi kadar 0%, 1%, 3%, 5% serta Getah karet dengan variasi kadar 0%, 2%, dan 3%	Karakteristik stabilisasi marshall tertinggi diperoleh pada variasi SK2BU1 (Serbuk Keramik 3% dan Natural Lateks 2%) dengan nilai stabilitas sebesar 2375,71 Kg.

NO	NAMA	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
			penambahan limbah keramik dan getah karet dibedakan berdasarkan kadar.		



BAB III

METODE PEMBUATAN

3.1 Jenis Pelitian

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Sa'dullah (2016), mengatakan bahwa eksperimen adalah percobaan yang bertujuan untuk menyelidiki suatu peristiwa atau gejala yang terjadi dalam kondisi tertentu dengan melakukan pengamatan dan kontrol yang ketat sehingga dapat diketahui bagaimana faktor-faktor tertentu berkontribusi pada munculnya gejala tersebut. Metode eksperimen yang digunakan untuk mengetahui bagaimana satu perlakuan berdampak pada perlakuan lain dalam kondisi terkendali (Purnama, 2019). Menurut beberapa ahli, penelitian eksperimen adalah jenis penelitian yang dilakukan untuk mengetahui bagaimana suatu variable mempengaruhi objek penelitian.

Dalam penelitian ini, eksperimen dilakukan di laboratorium Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dengan tujuan untuk memperoleh data yang dapat diolah dengan tujuan pengembangan di bidang ketekniksipilan. Eksperimen dilakukan dengan membandingkan hasil tes *marshall* sampel uji dengan memberikan variasi tambahan *ceramic fragment* dan *natural lateks* terhadap campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).

3.2 Bahan dan Alat Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Penelitian ini menggunakan bahan-bahan seperti:

1. Agregat kasar, aggregate halus, dan abu batu diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stone crusher*) di AMP (*Asphalt Mixing Plan*) PT. Semarang Multicons.
2. Bahan aspal yang digunakan Aspal Pen 60/70.
3. *Ceramic Fragment* digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) terhadap campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). *Natural Lateks* diharapkan dapat menambah ketahanan dan stabilitas campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) terhadap beban lalu lintas dan juga suhu di lapangan. Kadar *Ceramic Fragment* yang digunakan antara lain: 0%, 1%, 3%, 5% dari Kadar

Aspal Optimum (KAO). *Ceramic Fragment* yang digunakan berasal dari limbah pada proyek.

4. *Natural Latex* digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) terhadap campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) yang diharapkan mampu menambah stabilitas dan mencegah *stripping* pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC). Getah Karet yang digunakan dengan kadar variasi 0%, 2%, dan 3% terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO).

3.2.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan pada penelitian berasal dari Laboratorium Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Peralatan yang dipakai meliputi:

1. Peralatan Pengujian Analisa Saringan

Peralatan yang dipergunakan dalam pengujian analisa saringan meliputi:

- a. Satu set saringan agregat 1½", 1", ¾", ½", ⅜", no.4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200.
- b. Menggunakan timbangan ketelitian 0,1 gram.
- c. *Pan* dan penutup.
- d. Oven dengan pengatur suhu.
- e. Cawan sebagai tempat benda uji.

2. Peralatan Pengujian Berat Jenis

Peralatan yang dipergunakan dalam pengujian berat jenis agregat kasar dan halus antara lain:

- a. Oven dengan kontrol suhu.
- b. Saringan no. 4 dan no. 8.
- c. Menggunakan timbangan ketelitian 0,1 gram.

3. Peralatan Pengujian Abrasi Agregat

Peralatan yang dipergunakan dalam pengujian abrasi agregat yaitu mesin Los Angeles, yang digunakan untuk mengetahui tingkat abrasi dari suatu agregat, saringan standar untuk mengevaluasi gradasi agregat, dan oven dengan pengatur suhu sebagai alat pengering.

4. Peralatan Pengujian Aspal

Peralatan pengujian aspal meliputi; alat pengujian penetrasi aspal, alat pengujian berat jenis aspal yaitu piknometer dan timbangan, alat pengujian titik nyala dan titik bakar aspal, alat pengujian titik lembek aspal, dan alat pengujian kelarutan aspal yang dipakai.

5. Peralatan Pengujian *Marshall*

Alat pengujian yang digunakan adalah seperangkat alat untuk *Marshall Test*, meliputi:

- 1) Mesin tekan *Marshall* terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji 3000 kg, dan arloji penguji yang mengukur kelelahan plastis.
- 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 4 inchi (10,2 cm) dengan tinggi 3 inchi (7,5 cm) untuk *Marshall* dan diameter 6 inchi (15,24 cm) dengan tinggi 3,7 inchi (9,52 cm) untuk *Marshall* modifikasi dan dilengkapi dengan pelat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual untuk *Marshall* standar memiliki permukaan silinder rata, diameter 3,86 inchi (9,8 cm), berat 4,5 kg, dan tinggi jatuh bebas 18 inchi (45,7 cm).
Ejektor yang digunakan untuk mengeluarkan benda uji setelah pemadatan.
- 4) Bak perendaman (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.

3.3 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini data yang digunakan ada dua jenis, antara lain:

- 1) Data primer, adalah pengumpulan data dengan cara melakukan penelitian di laboratorium teknik Universitas Islam Sultan Agung. Adapun data primer yang didapatkan antara lain:
 - a. Gradasi Agregat.
 - b. Berat Jenis Agregat.
 - c. Karakteristik *Marshall*.
 - d. Abrasi Agregat.
- 2) Data sekunder, yaitu data yang didapatkan dari perusahaan penyedia material yang sudah diuji di balai pengujian material. Adapun data

sekunder yang didapatkan adalah aspal pertamina dengan nilai penetrasi 60-70.

3.4 Prosedur Penelitian

Prosedur yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

- 1) Melakukan studi literatur terhadap penelitian yang akan dilakukan.
- 2) Mempesiapkan bahan-bahan dan peralatan yang dipergunakan.
- 3) Melakukan pengujian terhadap material yang dipergunakan.
- 4) Merancang campuran AC-WC yang sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010.
- 5) Mencari Kadar Aspal Optimum dan Variasi Komposisi.
- 6) Membuat benda uji.
- 7) Melakukan pengujian terhadap benda uji dengan *Marshall Test* untuk mendapatkan nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ.
- 8) Analisa dan Pembahasan
Menganalisa hasil pengujian *Marshall Test* benda uji dari campuran plastik PET dan *bend tire* dan didapatkan parameter nilai (*Stability*, *Flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ). Lalu menguraikan hasil analisa yang didapatkan dari pengujian yang dilakukan dengan grafik dan tabel terhadap parameter nilai karakteristik *marshall* (*Stability*, *Flow*, VIM, VMA, VFA, dan MQ).
- 9) Kesimpulan dan Saran
Menarik Kesimpulan dari hasil analisa dan pembahasan yang sudah dilakukan dan menguraikan komposisi terbaik dari hasil pengujian yang sudah dilakukan

3.5 Pemeriksaan Karakteristik Material

3.5.1 Pemeriksaan Agregat Kasar dan Halus

Pemeriksaan agregat penting dilakukan untuk mendapatkan hasil campuran AC-WC yang konsisten, maka ada beberapa pemeriksaan yang harus dilakukan terhadap agregat yaitu:

1. Penyaringan agregat kasar dan halus dengan menerapkan analisa saringan untuk mendapatkan gradasi yang sesuai dengan mengacu pada

AASHTO T47-82 atau (Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan, 1990).

2. Pedoman yang dipakai dalam menentukan kategori-kategori perhitungan agregat yaitu AASHTO T85-74 atau SNI 1969-2008
3. Kategoripenanganan agregat harus disesuaikan dengan pedoman AASHTO T84-74 atau SNI 1970-2008.
4. Evaluasi Evaluasi sifat campuran dilakukan dengan metode uji *marshall* dengan pedoman SNI-06-2489-1991.
5. Prosedur menghitung jumlah total bahan yang melewati saringan No. 200 dilakukan dengan mengacu pada formulir pemeriksaan yang sesuai pada SNI 03-4142-1996

3.5.2 Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal

Dilakukan pemeriksaan pada bahan aspal untuk mengetahui sifat aspal yang digunakan sehingga campuran AC-WC yang dibuat dengan benar dan konsisten. Pemeriksaan sifat fisis aspal meliputi:

1. Analisa pengujian penetrasi aspal.
2. Analisa uji titik lembek.
3. Analisa uji titik nyala dan titik bakar.
4. Analisa uji daktilitas.
5. Analisa uji berat jenis.

3.6 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Komposisi aspal yang direncanakan yaitu ceramic fragment dengan kadar 0%, 1%, 3%, 5% dan natural lateks dengan variasi kadar 0%, 2%, dan 3% untuk masing-masing setiap campuran AC-WC modifikasi.

Tabel 3. 1 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal (%)	Jumlah Sampel
4%	3
4,5%	3
5%	3
5,5%	3
6%	3

Kadar Aspal (%)	Jumlah Sampel
Total Sampel	15

Tabel 3. 2 Campuran Aspal Beton dengan SK 0% dan NL 0%

No	Komposisi	%	Hasil
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300 g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Total Sampel		3	

Pada tabel 3.1 perhitungan dengan jumlah kadar aspal optimum dengan kadar aspal 4% 4,5% 5% 5,5% 6% dengan masing masing sampel 3 biji dan didapatkan total jumlah sampel 15 biji. Hasil dari tabel 3.2 campuran aspal beton dengan Serbuk Keramik dan Natural Lateks persentase 0% dengan jumlah total 1200 g, dengan total sampel sejumlah 3 biji.

Tabel 3. 3 Campuran Aspal Beton dengan SK 1% dan NL 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	1%	0,696 g
	Natural Lateks	0%	0 g

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
Jumlah Total		101%	1200,696 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 4 Campuran Aspal Beton dengan SK 3% dan NL 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	3%	2,088 g
	Natural Lateks	0%	0 g
Jumlah Total		103%	1202,088 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 5 Campuran Aspal Beton dengan SK 5% dan NL 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	5%	3,48 g

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
	Natural Lateks	0%	0 g
Jumlah Total		105%	1203,48 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 6 Campuran Aspal Beton dengan SK 0% dan NL 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	0%	0 g
	Natural Lateks	2%	1,392 g
Jumlah Total		102%	1201,392 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 7 Campuran Aspal Beton dengan SK 1% dan NL 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
	Serbuk Keramik	1%	0,696 g
	Natural Lateks	2%	1,392 g
Jumlah Total		103%	1202,088 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 8 Campuran Aspal Beton dengan SK 3% dan NL 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	3%	2,088 g
	Natural Lateks	2%	1,392 g
Jumlah Total		105%	1203,48 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 9 Campuran Aspal Beton dengan SK 5% dan NL 2%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	5%	3,48 g
	Natural Lateks	2%	1,392 g
Jumlah Total		105%	1204,872 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 10 Campuran Aspal Beton dengan SK 0% dan NL 3%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	0%	0 g
	Natural Lateks	3%	2,088 g
Jumlah Total		103%	1202,088 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 11 Campuran Aspal Beton dengan SK 1% dan NL 3%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	1%	0,696 g
	Natural Lateks	3%	2,088 g
Jumlah Total		104%	1202,784 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 12 Campuran Aspal Beton dengan SK 3% dan NL 3%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	3%	2,088 g
	Natural Lateks	3%	2,088 g
Jumlah Total		106%	1204,176 g
Total Sampel		3	

Tabel 3. 13 Campuran Aspal Beton dengan SK 5% dan NL 3%

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
1	Aspal	5,8%	69,6 g
2	Abu batu	40%	480 g
3	Coarse Agregat	25%	300 g
4	Medium Agregat	25%	300g
5	Filler (semen)	1,2%	14,4 g

No	Komposisi	%	Hasil (gram)
6	Pasir	3%	36 g
Jumlah		100%	1200 g
Bahan Tambah			
	Serbuk Keramik	5%	3,48 g
	Natural Lateks	3%	2,088 g
Jumlah Total		108%	1205,568 g
Total Sampel		3	

Jadi hasil dari tabel 3.13 campuran aspal beton dengan SK 5% dan NL 3% didapatkan dengan jumlah 1200 g kemudian dijumlah dengan bahan tambah serbuk keramik 5% dengan hasil 3,48 g dan natural lateks 3% dengan hasil 2,088 g maka didapatkan jumlah total 1205,568 g.

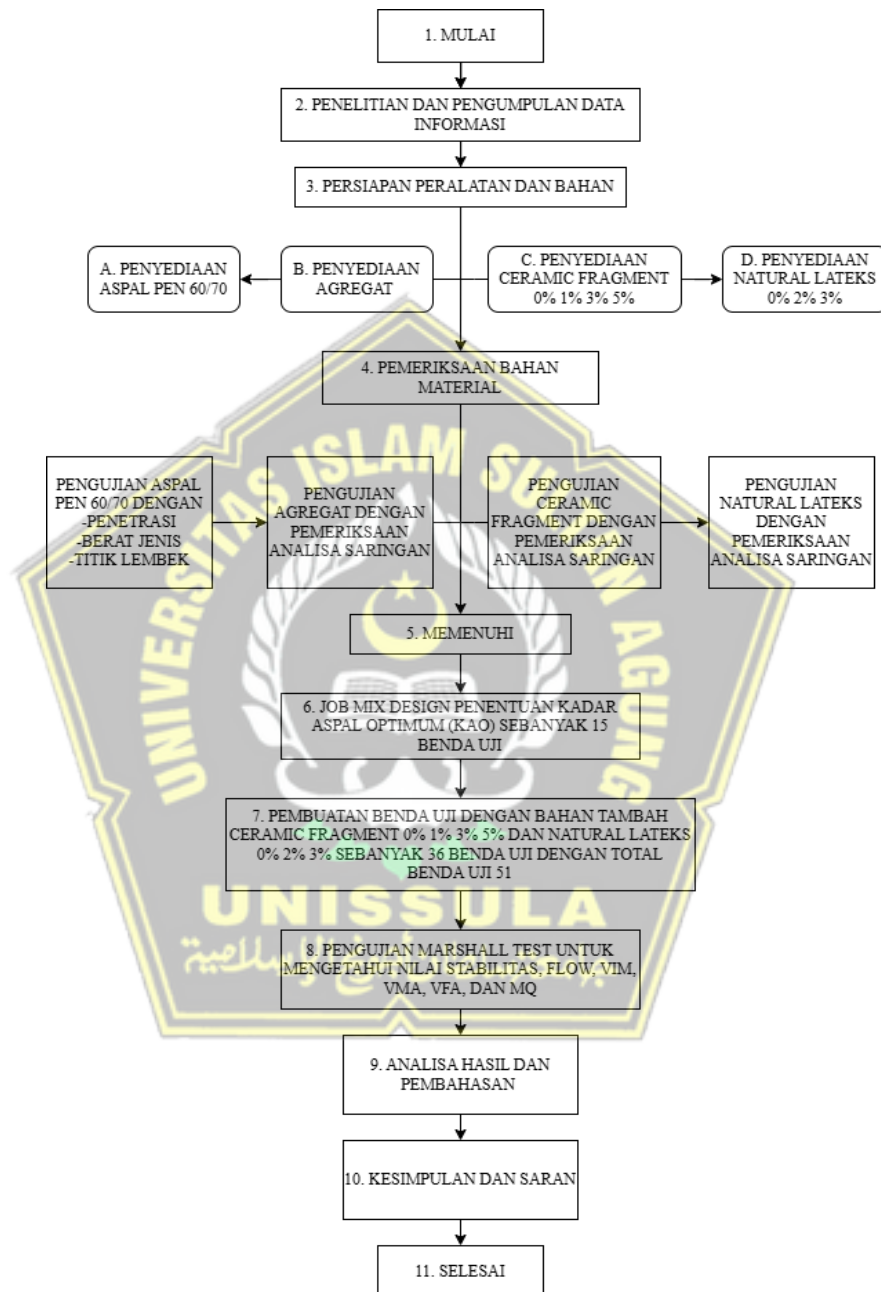


Tabel 3.14 Jumlah Sampel Variasi

Nama Sampel	Agg batu $\frac{3}{4}$		Agg batu $\frac{1}{2}$		Abu batu		Filler		Pasir		Aspal		Serbuk Keramik		Natural Lateks		Total Agg		Jumlah Sempel
	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	(gr)	(%)	
SK0BU1	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0	0%	0	0%	0	100%	3
SK0BU2	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0.696	1%	0	0%	0.696	101%	3
SK0BU3	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	2.088	3%	0	0%	2.088	103%	3
SK1BU1	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	3.48	5%	0	0%	3.48	105%	3
SK1BU2	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0	0%	1.392	2%	1.392	102%	3
SK1BU3	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0.696	1%	1.392	2%	2.088	103%	3
SK2BU1	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	2.088	3%	1.392	2%	3.48	105%	3
SK2BU2	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	3.48	5%	1.392	2%	4.872	107%	3
SK2BU3	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0	0%	2.088	3%	2.088	103%	3
SK3BU1	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	0.696	1%	2.088	3%	2.784	104%	3
SK3BU2	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	2.088	3%	2.088	3%	4.176	106%	3
SK3BU3	300	25%	300	25%	480	40%	14.4	1.20%	36	3%	69.6	5.80%	3.48	5%	2.088	3%	5.568	108%	3
JUMLAH BAHAN TAMBAH																			36
JUMLAH SAMPEL (KAO) 4%;4,5%;5%;%,5,5%;6%																			15
TOTAL SAMPEL																			51

3.7 Rancangan dan Pelaksana Penelitian

Bagan alir penelitian yang berisi tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian ini akan dijelaskan pada gambar berikut:



Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

3.8 Bagan Alir Program Kerja

Pada tahap awal dilakukan studi literatur dan pengolahan bahan dan alat yang akan digunakan dalam penelitian yang dilakukan. Bahan campuran aspal diperiksa untuk memastikan bahan yang digunakan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. *American Society for Testing Materials* (ASTM) Standar Nasional Indonesia (SNI) adalah acuan standar pemeriksaan bahan dan alat yang harus dipatuhi. Pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus antara lain:

- a. Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapan Agregat Kasar (Nasional, 2008).
- b. Tingkat Keausan Agregat Kasar (SNI 2417- 2008).
- c. Partikel Pipih dan Lonjong (ASTM D 4791, 2019).
- d. Daya Lekat Agregat terhadap Aspal (SNI-06-2439-1991).
- e. Uji Sifat Kekekalan Bentuk Agregat (Badan Standardisasi Nasional, 2008).
- f. Berat Jenis Agregat Halus (SNI 1970:2008) dan Penyerapan Agregat Halus (SNI 1970, 2008)
- g. Analisis Butiran (SNI-M-02-1994-03)

Untuk pemeriksaan sifat fisik bahan aspal PEN 60/70 yang digunakan sebagai bahan bitumen dalam penelitian ini antara lain:

- 1) Pemeriksaan Penetrasi Aspal (SNI-06-2456-1991)
- 2) Pemeriksaan Titik Lembek (SNI-06-2434-1991)
- 3) Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI-06-2433-1991)
- 4) Pemeriksaan Daktilitas (SNI-06-2432-1991)
- 5) Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen (SNI-06-2441-1991)

Tahap berikutnya adalah melakukan perancangan campuran aspal atau *job mix design* dan membuat benda uji yang akan diteliti dengan metode *Marshall* setelah semua bahan yang digunakan dalam campuran aspal termasuk aspal yang digunakan, agregat kasar, dan agregat halus telah dilakukan pemeriksaan dan sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pengujian benda uji dengan metode *Marshall* sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, dan ASTM D-2042-76). Setelah dilakukan pengujian terhadap benda uji aspal normal maka didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Perhitungan jumlah sampel dan variasi Ceramics Fragment dan kawat Natural Lateks sebagai berikut:

Suhu pencampuran umumnya ditemukan antara 145 dan 155 derajat Celcius, dan suhu pemadatan ditemukan antara 110 dan 135 derajat Celcius hal ini dikarenakan tidak dilakukannya pengujian viskalitas kinematis aspal, menggunakan palu pemadatan *marshall* pemadatan dilakukan dua kali untuk setiap 75 kali penumbukan. Benda uji lalu disimpan dalam suhu ruangan sebelum nantinya ditimbang kering dan dilakukan pengukuran terhadap tinggi dan diameternya, selanjutnya benda uji direndam selama 24 jam sebelum ditimbang dalam air dan permukaan kering jenuh untuk mendapatkan volume bituminous (densitas, VIM, VMA, dan VFA). Selanjutnya benda uji direndam selama 30 menit dalam *water bath* pada suhu 60 derajat celcius yang setelahnya dilakukan pengujian menggunakan alat *Marshall* untuk mendapatkan stabilitas, kelelahan plastis, dan *Marshall Quotient*.

Setelah dilakukan serangkaian pengujian dan pemeriksaan, maka didapatkan data yang selanjutnya akan dilakukan tahapan sebagai berikut:

- a. Menganalisis hasil pemeriksaan bahan campuran aspal antara lain agregat dan aspal untuk memastikan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga tahun 2018
- b. Menampilkan data nilai stabilitas, kelelahan, *Marshall Quotient*, *Void In Mix* (VIM), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan *Void Filled with Asphalt* (VFA)

3.9 Prosedur Kerja

3.9.1 Perencanaan Campuran

Dalam perencanaan campuran, komposisi dan jumlah sampel yang akan dibuat didasarkan pada gradasi agregat yang digunakan. Gradasi menerus merupakan gradasi ideal yang digunakan dalam penelitian ini. Tahap yang dilakukan sebelum pencampuran adalah melakukan analisa saringan dari setiap fraksi agregat. Komposisi campuran agregat didasarkan pada proporsi *fine aggregate* dan *coarse aggregate*.

3.9.2 Tahapan Pembuatan Benda Uji

Ada beberapa tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, antara lain:

1. Menyiapkan peralatan dan bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian. Kemudian dilakukan penimbangan terhadap masing-masing bahan dengan presentase yang sudah ditetapkan dalam perancangan campuran (*Job Mix Design*).
2. Melakukan pencampuran benda uji. Agregat dan aspal yang sudah ditimbang kemudian dilakukan pencampuran pada suhu 150 °C dan diaduk agar seluruh agregat terlapisi oleh aspal. Total berat dari benda uji adalah ± 1200 gram yang terdiri dari agregat dan aspal. Setelah telah tercampur, benda uji akan dituang ke dalam cetakan dengan ukuran 63,5 mm $\pm$ 1,27 mm (2,5 $\pm$ 0,05 inc).
3. Pemadatan benda uji
 - Membersihkan perlengkapan cetakan yang akan digunakan.
 - Meletakkan cetakan ke atas alas pemadat.
 - Meletakkan kertas saring dengan ukuran cetakan di bawah alas cetakan.
 - Memasukkan campuran ke dalam cetakan dan dipadatkan dengan tusukan sebanyak 15 kali pada pinggiran cetakan dan 10 kali pada bagian tengah cetakan.
 - Meletakkan kertas saring ke atas cetakan dengan ukuran yang sudah disesuaikan dengan cetakan.
 - Melakukan penumbukan sebanyak 75 kali di sisi atas dan sisi bawah cetakan menggunakan alat penumbuk.
 - Diamkan cetakan selama beberapa saat sampai temperatur benda uji turun. Kemudian keluarkan benda uji menggunakan alat *Extruder* dan letakkan pada permukaan yang rata serta beri kode benda uji lalu diamkan dalam suhu ruangan selama 24 jam.

3.9.3 Metode Penguji Sampel

Pengujian *Marshall test* menggunakan prosedur RSNI M-01-2003

1. Alat uji *Marshall*, perangkat uji listrik yang beroperasi dengan daya 220 volt dan dirancang untuk memberikan beban pada sampel dalam pengujian semi-circular testing head dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inci) per menit. Untuk mengukur stabilitas pada beban pengujian

maksimum, alat ini dilengkapi dengan proving ring dan arloji tekan. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan flow meter atau arloji kelelahan yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kelelahan pada beban pengujian tertinggi.

2. *Water Bath*, alat yang dilengkapi dengan pengaturan suhu minimal 20°C, kedalaman 150 mm (6 inci), serta dilengkapi rak bagian bawah setinggi 50 mm.
3. *Thermometer*, Alat pengukur suhu yang mampu menahan suhu sampai $\pm 200^{\circ}\text{C}$.

Setelah uji *Marshall* test dilakukan, lalu dilanjutkan dengan analisa perhitungan untuk mendapatkan:

1. Berat volume benda uji.
2. *Marshall Quotient*.
3. Volume pori dalam benda uji.
4. Volume antara agregat dalam benda uji.
5. Volume agregat yang terisi oleh aspal.
6. Stabilitas.
7. Kelelahan.

3.10 Metode Analisis

Untuk penelitian ini, metode eksperimen berlokasi di Laboratorium Bahan Perkerasan UNISSULA. Penelitian dilakukan pada bahan baku aspal dalam 18 (delapan belas) tahap yang berbeda.:

- 1) Memulai penelitian yang akan dilakukan.
- 2) Melakukan studi literatur dan mengumpulkan data mengenai peneletian yang akan dilakukan, antara lain mengenai perkerasan jalan, perkerasan lapis laston aus (AC-WC), *Natural Lateks*, *Ceramics fragment*, dan lain sebagainya.
- 3) Melakukan persiapan alat yang digunakan untuk menunjang penelitian antara lain; alat pengujian aspal, alat pengujian agregat, alat uji *marshall*, dan lain sebagainya. Selain itu juga menyiapkan bahan yang akan digunakan dalam penelitian antara lain aspal PEN 60/70, agregat, filler, abu batu, *Natural Lateks*, *Ceramics Fragment*, dan lain sebagainya. Serta menyiapkan formulir pengujian guna untuk mengelola hasil pengujian.

- 4) Menyediakan aspal dengan jenis Aspal PEN 60/70 yang akan digunakan sebagai bitumen dalam penelitian ini.
- 5) Menyediakan *Ceramics fragment* yang digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) terhadap campuran AC-WC. *Ceramics Fragment* yang digunakan antara lain: 0%, 1%, 3%, 5% dari Kadar Aspal Optimum (KAO). *Ceramics Fragments* (CF) yang digunakan berasal dari limbah pecahan keramik proyek. ini diperoleh dari limbah pecahan keramik yang berada di daerah Genuk, Kota Semarang.
- 6) Menyediakan *Natural Lateks* yang digunakan untuk bahan tambah campuran aspal. *Natural Lateks* bendrat yang digunakan yaitu dengan panjang 2 cm dan kadar variasi 0%, 2%, dan 3% terhadap Kadar Aspal Optimum (KAO). *Natural Lateks* didapatkan dari online shop.
- 7) Menyediakan agregat kasar yang berupa batu pecah dengan ukuran 3/4 sebagai *Coarse Aggregate* dan batu pecah dengan ukuran 1/2 sebagai *Medium Aggregate*. Agregat kasar diperoleh dari AMP (*Asphalt Mixing Plan*) PT. Semarang Multicons. Dan juga menyediakan agregat halus yaitu pasir dan *filler*.
- 8) Melakukan pengujian terhadap material yang akan digunakan, antara lain:
 - a.) Pengujian Aspal PEN 60/70.
 - b.) Pengujian agregat halus.
 - c.) Pengujian *filler*.
 - d.) Pengujian agregat kasar.
- 9) Pengujian Aspal PEN 60/70 yang meliputi:
 - a.) Pengujian Penetrasi Aspal.
 - b.) Pengujian Titik Lembek.
 - c.) Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar.
 - d.) Pengujian Daktilitas.
 - e.) Pengujian Berat Jenis.
- 10) Pengujian Agregat halus yang meliputi:
 - a.) Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.
 - b.) Analisa Saringan.
- 11) Pengujian *filler* yang berupa analisa saringan.

- 12) Pengujian Agregat Kasar meliputi
 - a.) Berat Jenis Agregat Kasar dan Penyerapan Agregat Kasar.
 - b.) Tingkat Keausan Agregat Kasar.
 - c.) Partikel Pipih dan Lonjong.
 - d.) Analisa Saringan.
- 13) Perancangan campuran (Mix Design) yang pertama. Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (mix design) dan pembuatan benda uji dengan kadar Aspal 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%, untuk menentukan Kadar Aspal Optimum.
- 14) Perancangan campuran dan pembuatan 36 benda uji dengan variasi kadar *Ceramics Fragment* 0%, 1%, 3%, 5%, serta variasi *Natural Lateks* 0%, 2%, dan 3%.
- 15) Tes *Marshall* untuk mendapatkan hasil stabilitas, kelelahan dan *marshall quotient* dari benda uji dengan penambahan variasi *Ceramics Fragment* dan *Natural Lateks*. Sebelum ini, benda uji telah ditimbang berat kering, berat SSD, dan berat sampel dalam air untuk mendapatkan densitas, VIM, VMA, dan VFA.
- 16) Setelah dilakukan pengujian *Marshall Test* maka dapat diambil data yang akan dianalisa untuk mendapatkan nilai parameter marshall
- 17) Data yang sudah didapatkan dari pengujian *marshall* selanjutnya dianalisa untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelahan, plastis, VIM, VMA, VFA dan stabilitas *marshall* sisa.
- 18) Setelah dilakukan inventarisasi dan analisa terhadap seluruh data pemeriksaan agregat, aspal, dan campuran beton aspal, diperoleh berbagai rekomendasi dan kesimpulan dari seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakuka

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Material

Penelitian ini dilakukan beberapa proses sistematis, salah satunya dilakukan pengambilan material sebagai bahan baku sampel, menyiapkan bahan penelitian, pembuatan benda uji yang telah ditentukan, dan mengevaluasi komponen bahan uji. Pada tahap penyediaan bahan, material yang kita gunakan diperoleh dari PT. Semarang Multicons. Seluruh proses pembuatan benda uji, propertis material, pengujian aspal dan pengujian marshall dilakukan di Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4. 1 Pengambilan material

4.1.1 Analisa Saringan

Umumnya bertujuan untuk menemukan pembagian atau gradasi butiran agregat, meliputi agregat kasar, medium, halus, dan filler. Jika gradasi agregat mempunyai ukuran yang seragam, maka terbentuk volume pori besar. Namun jika ukuran butiran variasi akan terbentuk volume pori kecil. Dikarenakan butiran yang ukurannya lebih kecil nantinya mengisi rongga yang terbentuk diantara pori yang besar, daan nantinya rongga porinya akan menjadi berkurang, dengan kata lain jaraknya akan bertambah rapat. Berikut tsbel mengenai perencanaan Analisa saringan:

4.1.1.1 Agregat Kasar

Colarsel Agregat kasar yang lolos saringan $1\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ dan tertahan mulai dari saringan $\frac{1}{2}$ sampai dengan saringan #200, yang dapat dilihat pada **Tabel 4.1**

Tabel 4. 1 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTOI T.27-88)

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19		-	100.00		-	100.00	
1/2"	12.5	860	28.66	71.34	739	24.65	75.35	73.35
3/8"	9.5	2,277	75.89	24.11	2,203	73.45	26.55	25.33
# 4	4.75	2,955	98.49	1.51	2,954	98.45	1.55	1.53
# 8	2.36	2,966	98.87	1.13	2,970	99.02	0.98	1.06
# 16	1.15	2,991	99.71	0.29	2,993	99.78	0.22	0.26
# 30	0.6	2,992	99.74	0.26	2,993	99.78	0.22	0.24
# 50	0.3	2,993	99.76	0.24	2,993	99.78	0.22	0.23
#100	0.15	2,993	99.76	0.24	2,993	99.78	0.22	0.23
# 200	0.075	2,993	99.76	0.24	2,993	99.78	0.22	0.23
Weight Of Sample (gr)		3,000			3,000			

4.1.1.2 Agregat Kasar Medium

Medium Agregat atau agregat kasar yang lolos saringan $1\frac{1}{2}$ - $\frac{1}{2}$ dan tertahan mulai dari saringan 3/8 sampai dengan saringan #200, yang dapat dilihat pada **Tabel 4.2**

Tabel 4. 2 Hasil Analisa Pelmbagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTOI T.27-88)

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12.5	-	-	100.00	-	-	100.00	100.00
3/8"	9.5	324	21.59	78.41	306	20.37	79.63	79.02
# 4	4.75	995	66.32	33.68	1,042	69.44	30.56	32.12
# 8	2.36	1,404	93.60	6.40	1,414	94.24	5.76	6.08
# 16	1.15	1,469	97.92	2.08	1,459	97.28	2.72	2.40
# 30	0.6	1,471	98.10	1.90	1,465	97.64	2.36	2.13
# 50	0.3	1,474	98.28	1.72	1,472	98.15	1.85	1.79
#100	0.15	1,479	98.58	1.42	1,478	98.54	1.46	1.44
# 200	0.075	1,485	98.97	1.03	1,491	99.37	0.63	0.83
Weight Of Sample (gr)		1,500			1,500			

4.1.1.3 Agregat Halus (Pasir)

Agrelgat Halus yang lolos saringan 1 ½ - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8, yang terdiri Abu Batu dapat dilihat pada **Tabel 4.3**

Tabel 4. 3 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTOI T.27-88)

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12.5							
3/8"	9.5							
# 4	4.75		-	100.00		-	100.00	100.00
# 8	2.36	40	8.04	91.96	40	8.04	91.96	91.96
# 16	1.15	90	17.94	82.06	86	17.20	82.80	82.43
# 30	0.6	210	42.06	57.94	205	41.06	58.94	58.44
# 50	0.3	312	62.36	37.64	309	61.76	38.24	37.94
#100	0.15	408	81.50	18.50	411	82.10	17.90	18.20
# 200	0.075	479	95.84	4.16	475	95.04	4.96	4.56
Weight Of Sample (gr)		500			500			

4.1.1.4 Agregat Halus (Abu Batu)

Agrelgat Halus yang lolos saringan 1 ½ - #4 dan tertahan mulai dari saringan #8, yang terdiri Abu Batu dapat dilihat pada **Tabel 4.4**

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTOI T.27-88)

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
SIEVE SIZE		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12.5							
3/8"	9.5							
# 4	4.75	-	-	100.00		-	100.00	100.00
# 8	2.36	121	24.13	75.87	106	21.30	78.70	77.29
# 16	1.15	259	51.86	48.14	250	50.06	49.94	49.04
# 30	0.6	348	69.66	30.34	341	68.16	31.84	31.09
# 50	0.3	368	73.57	26.43	381	76.29	23.71	25.07
#100	0.15	418	83.55	16.45	424	84.76	15.24	15.85
# 200	0.075	460	92.08	7.92	460	91.92	8.08	8.00
Weight Of Sample (gr)		500			500			

4.1.1.5 Filler

Filler yang digunakan adalah semen portland, yang lolos saringan #8 sampai #100 dan tertahan mulai dari saringan #200, yang akan dapat dilihat pada **Tabel 4.5**

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Butiran

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

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	TERTAHAN		LOLOS	Rata -rata
		gr	%	%	gr	%	%	
inch	mm							
1"	25							
3/4"	19							
1/2"	12,5							
3/8"	9,5							
# 4	4,75		-	100,00		-	100,00	100,00
# 8	2,36	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 16	1,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 30	0,6	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 50	0,3	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
#100	0,15	-	-	100,00	-	-	100,00	100,00
# 200	0,075	1,10	1,10	98,90	1,30	1,30	98,70	98,80
Weight Of Sample (gr)		100,00			100,00			

4.1.2 Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Hasil pengujian bahan yang digunakan pada campuran lapis aspal beton dengan pen. 60/70, berdasarkan hasil uji laboratorium didapat hasil yang dapat dilihat pada **Tabel 4.6** sebagai berikut.

Tabel 4. 6 Hasil uji sifat fisik agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat Kasar				
1	Partikel pipih dan lonjong	ASTMD4791-10	Maks. 10%	3,59%	Memenuhi
2	Material lolos saringan no.200	ASTMC117:2012	Maks. 1%	0,24%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat Agregat kasar ½. Agregat kasar ¾	SNI 03-1969-1990	Maks.3%	2,3% 2,18%	Memenuhi
4	Berat jenis (bulk specific gravity)	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%	2,77% 2,69%	Memenuhi

	Agregat kasar 1/2				
	Agregat kasar 3/4				

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
B	Agregat Halus				
1	Material lolos saringan no.200	SNI 03-4141-1996	Maks. 15%	1,03%	Memenuhi
2	Penyerapan air oleh agregat Agregat kasar ½. Agregat kasar 3/4	SNI 03-1969-1990	Maks.3%	2,58% 2,27%	Memenuhi
3	Berat jenis (bulk specific gravity) Agregat kasar 1/2 Agregat kasar 3/4	SNI 03-1969-1990	Min. 2,5%	2,61% 2,54%	Memenuhi

4.1.3 Hasil Pemeriksaan Aspal

Hasil pengujian bahan aspal yang digunakan untuk campuran pada penelitian ini yaitu aspal AC pen 60/70, didapat hasil sebagaimana dapat dilihat pada **Tabel 4.7** sebagai berikut.

Tabel 4. 7 Hasil pengujian karateristik aspal

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	65,7	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>Cleaveland 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	-	1.035	SNI-06-2432-1991	Memenuhi

4.2 Hasil Perencanaan Proporsi Agregat Gabungan

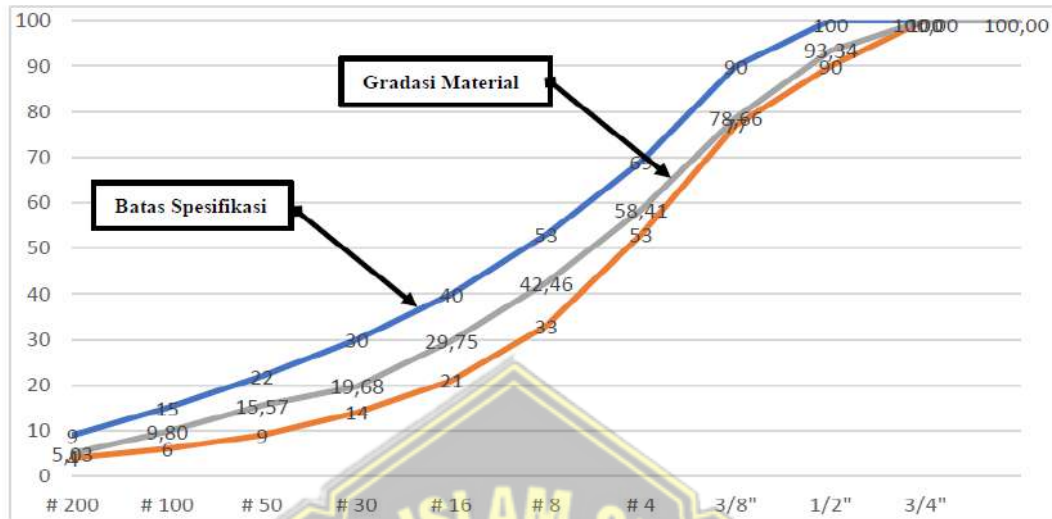
Kombinasi agregat adalah pengambungan dari masing-masing agregat yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ dan tertahan mulai dari saringan ukuran $\frac{1}{2}$ sampai dengan # 200, yang terdiri dari Agregat kasar, Agregat medium, Pasir, Abu batu dan Filler. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada **Tabel 4.8**



Tabel 4. 8 Perhitungan Kombinasi Agregat
(SNI 03-1968 1990 /AASHTO T.27-88)

Uraian		1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Inch		25	19	12.7	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
mm		25	19	12.7	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Data Material												
Batu Pecah Max 3/4'		100.00	100.00	73.35	25.33	1.53	1.06	0.26	0.24	0.23	0.23	0.00
Batu Pecah Max 1/2'		100.00	100.00	100.00	79.02	32.12	6.08	2.40	2.13	1.79	1.44	0.83
Abu Batu		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	77.29	49.04	31.09	25.07	15.85	8.00
Pasir		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	91.96	82.43	82.43	58.44	37.94	4.56
Filler Semen		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.80
Komposisi Campuran												
Batu Pecah Max 3/4'	12.00%	12.00	12.00	8.80	3.04	0.18	0.13	0.03	0.03	0.03	0.03	0.00
Batu Pecah Max 1/2'	40.00%	40.00	40.00	40.00	31.61	12.85	2.43	0.96	0.85	0.71	0.58	0.33
Abu Batu	44.00%	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	34.01	21.58	13.68	11.03	6.97	3.52
Pasir	3.00%	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	2.76	2.47	2.47	1.75	1.14	0.14
Filler Semen	1.00%	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	0.99
Total Campuran		100.00	100.00	96.80	82.65	61.03	40.32	26.04	18.03	14.53	9.71	4.98
Spesifikasi Gradasi												
Max		100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9
Min		100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4
Toleransi Komposisi												
max		100.00		100.00	88.50	66.00	46.00	33.50	25.00	18.50	12.50	7.50
min		95.00		90.00	78.50	56.00	40.00	27.50	19.00	12.50	8.50	5.50
Luas Permukaan Agregat	:	5.55										

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 **Grafik 4.1** Kombinasi Agregat.



Grafik 4. 1 Kombinasi Agregat

Berdasarkan hasil **Grafik 4.1** material agregat yang berasal dari (AMP) PT. Semarang Multi Cons Setelah dilakukan pengujian hasilnya semua material memenuhi persyaratan spesifikasi 2018, maka agregat dapat digunakan sebagai campuran aspal *AC-WC*. Untuk filler yang digunakan adalah material semen *Portland* (PC).

Jika tidak memenuhi persyaratan maka tidak dapat digunakan sebagai material atau diganti dengan material lain yang kemudian diuji dengan hasil sesuai dengan spesifikasi teknis.

4.3 Pengujian Berat Jenis Aspal Komposisi Normal

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal normal ada 5 variasi kadar aspal yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% dengan benda uji *Maximum specific gravity* (GMM) sebanyak 2 buah.

Tabel 4. 9 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum Komposisi Normal

No.	Normal		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)									
	Contoh No :		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Berat Botol + Contoh	gr	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368	1,368
2	Berat Botol	gr	767	767	767	767	767	767	767	767	767	767
3	Berat Contoh (1 - 2)	gr	600	601	600	601	600	601	600	601	600	600
4	Berat Botol+Contoh+Air(batas kalibera	gr	2,238	2,236	2,242	2,239	2,235	2,238	2,230	2,233	2,228	2,221
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	gr	1,888	1,886	1,899	1,896	1,893	1,896	1,890	1,893	1,874	1,867
6	Berat air (4 - 5)	gr	350	350	343	343	342	342	340	340	354	354
7	Volume contoh (3 - 6)	gr	250	251	257	258	258	259	260	261	246	246
8	Max Specific Gravity (Gmm (3 : 7)	gr/cc	2.404	2.404	2.335	2.329	2.324	2.320	2.303	2.303	2.439	2.439
9	Temperatur air T °C	gr	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	gr	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm (8 x 10)	gr/cc	2.404	2.404	2.335	2.329	2.324	2.320	2.303	2.303	2.439	2.439
Rata - rata GMM			2.404		2.332		2.322		2.303		2.439	
Variasi Kadar Aspal %			4.00%		4.50%		5.00%		5.50%		6.00%	

Sumber: Data Penelitian 2025

Berdasarkan hasil dari **Tabel 4.9.** pemeriksaan berat jenis campuran aspal normal dengan aspal 5 variasi kadar aspal yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dengan jenis maksimum aspal adalah 1,774 gr/cc.

4.4 Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994)

Kadar aspal dalam campuran adalah banyaknya aspal dalam campuran beraspal yang diperbolehkan dengan cara ekstraksi menggunakan alat refluks ekstraktor. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kadar aspal dalam suatu campuran (agregat+ aspal) yang akan digunakan dalam perencanaan perkerasan jalan.

Tabel 4. 10 Pengujian Ekstraksi

No	Uraian Pemeriksaan	Rumus	Nilai	Sat
A	Berat Pan / Cawan		105,6	Gr
B	Berat Material + Pan Sebelum		557,4	Gr
C	Berat Material + Pan Sesudah		535	Gr
D	Berat Sebelum Ekstraksi	(B - A)	451,8	Gr
E	Berat Setelah Ekstraksi	(C - A)	429,4	Gr
F	Berat Kertas Filter		3,8	Gr
G	Berat Total Mineral	(C - A - F)	425,6	Gr
H	Berat Aspal Dalam Campuran	(D - G)	26,2	Gr
I	Prosen (%) Aspal Dalam Campuran	(H / D x 100)	5,80	%
Rata-Rata			5,80	%

Sumber : Data Penelitian 2025

Berdasarkan **Tabel 4.10** hasil dari pengujian kadar aspal dan ekstraksi digunakan sebagai penentuan kadar aspal optimum sebesar 5,80%. Hasil ini dianggap memenuhi dikarenakan nilai KAO tersebut telah memenuhi syarat karakteristik *marshall* sesuai dengan spesifikasi bina marga 2018 revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi.

4.4.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

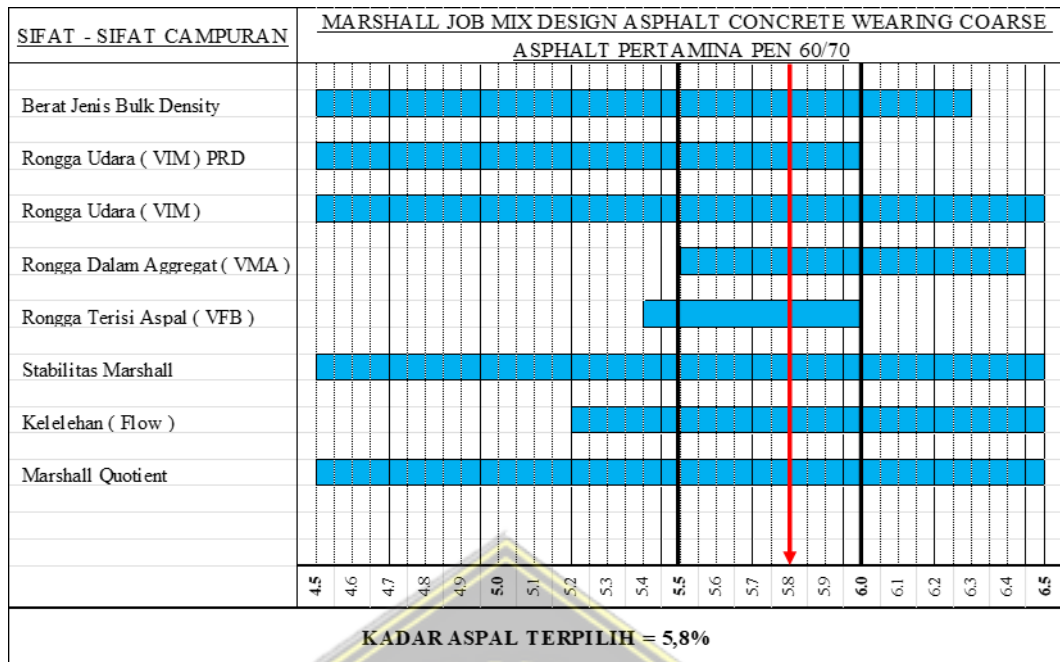
Dalam penelitian ini, kadar aspal optimum (KAO) ditetapkan pada nilai-nilai 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%, sesuai dengan enam kriteria esensial yang diuraikan dalam standar bina marga. Parameter-parameter yang diacu dalam menentukan KAO ini meliputi: stabilitas, aliran (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), volume rongga yang diisi aspal (VFA), volume rongga dalam campuran (VIM), serta volume rongga dalam agregat (VMA).

Karakteristik <i>Marshall</i>	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)
4%	588,12	2,10	280,05	7,83	12,18	35,71
	765,85	8,10	94,55	8,60	12,92	33,44
	606,90	6,20	97,89	9,90	14,15	30,04
Rata-rata	653,62	5,47	157,50	8,78	13,08	33,06
4,5%	635,80	4,20	151,38	10,39	15,07	31,06
	411,83	8,20	50,22	7,99	12,79	37,53
	1127,10	5,20	216,75	11,47	16,09	28,71
Rata-rata	724,91	5,87	139,45	9,95	14,65	32,43
5%	780,30	6,40	121,92	8,87	14,08	37,00
	202,30	2,80	72,25	8,43	13,67	38,33
	1170,45	5,00	234,09	12,27	17,29	29,03
Rata-rata	717,68	4,73	142,75	9,86	15,01	34,79
5,5%	679,15	6,40	106,12	10,59	16,14	34,39
	693,60	6,10	113,70	15,54	20,79	25,25
	491,30	4,20	116,98	13,34	18,73	28,78
Rata-rata	621,35	5,57	112,27	13,16	18,55	29,47
6%	823,65	3,40	242,25	7,51	13,71	45,22
	881,45	1,80	489,69	6,40	12,68	49,53
	809,20	9,80	82,57	9,47	15,54	39,06
Rata-rata	838,10	5,00	271,51	7,79	13,98	44,60

Sumber: Data Penelitian

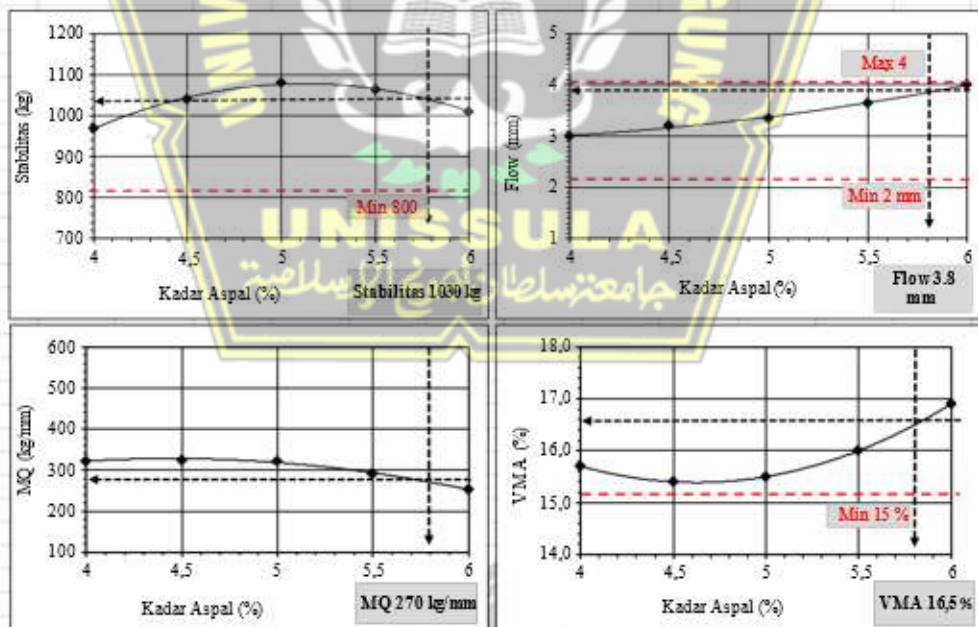
Tabel 4. 11 Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

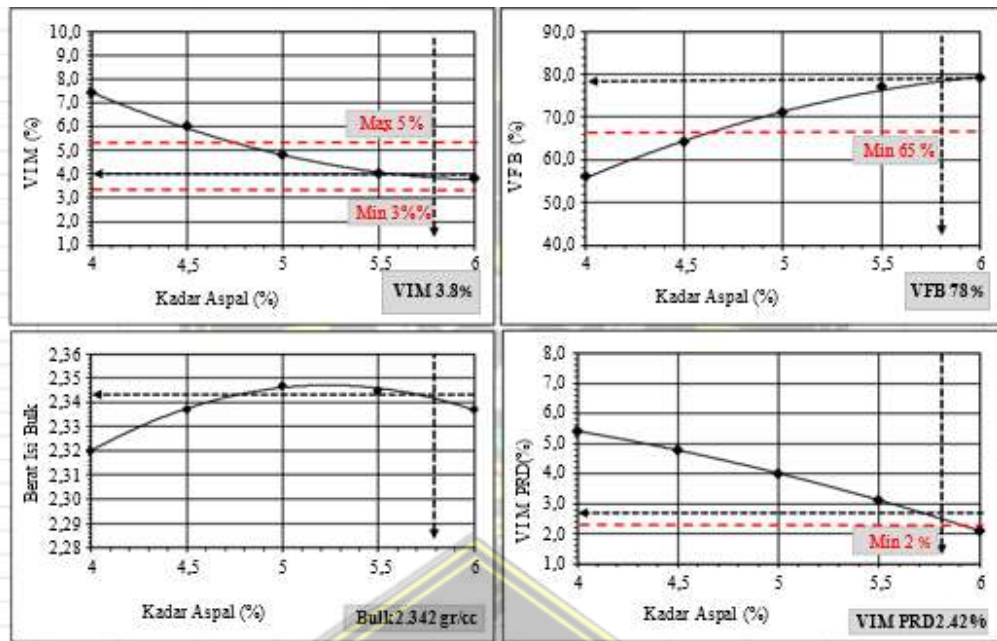
Berdasarkan **Tabel 4.11.** hasil pengujian untuk penentuan kadar aspal optimum diperoleh pada kadar aspal 5,8% sedangkan untuk kadar aspal efektif pada kadar 5,5% dan 6%. Hal tersebut berdasarkan nilai rongga udara (VIM) dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test marshall diatas yang memenuhi spesifikasi binamarga dengan nilai 3.00 – 5.00.



Grafik 4. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari Grafik berikut menunjukkan bahwa hasil dari *Bulk Density*, VIM, VMA, Stabilitas, VMA, VFB, Flow, MQ, dan VIMPRD memiliki hasil kadar aspal optimum 5,8%.





Grafik 4. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum

4.4.2 Ringkasan Hasil Pengujian AC-WC

Setelah didapatkan presentase dari setiap fraksi agregat dan aspal maka ditentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas mold yang ada. Contoh untuk campuran AC – WC sebagai berikut:

- Kadar Aspal = 5,8%
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat Aspal = $5,8\% \times 1200$ = 69,6 gr
- Berat Total Agregat = $(100 - 5,8)\% \times 1200$ = 1130,4 gr
- Coarse Agg. (1/2') = $25\% \times 1200$ gr = 300 gr
- Medium Agg. (3/8') = $25\% \times 1200$ gr = 300 gr
- Abu Batu = $40\% \times 1200$ gr = 480 gr
- Pasir = $3\% \times 1200$ gr = 36 gr
- Filler = $1,2\% \times 1200$ = 14,4 gr
- Total Agregat = 1130,4 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada **Tabel 4.12**

Tabel 4. 12 Komposisi Material AC-WC

Jenis Material	Komposisi	Berat	Kumulatif
<i>Course Agg.</i> (1/2')	25 %	300	300
<i>Medium Agg.</i> (3/8')	25 %	300	300
Abu Batu	40 %	516	1080
Pasir	3 %	36	1116
<i>Filler</i> Semen	1,2 %	14,4	1130.4
Aspal	5,8 %	69,6	1200

4.5 Pembuatan Benda Uji

Dari hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) didapatkan hasil kadar aspal terpilih sebesar 5,8% dan dengan modifikasi *Ceramics Fragment* (Pecahan Keramik) dan *Natural Lateks* (Getah Karet). Terdapat 12 variasi dengan setiap variasi dibuat sebanyak 3 benda uji, sehingga benda yang dihasilkan sebanyak 36 sampel.

Tabel 4. 13 Rincian Benda Uji

No	Variasi	Benda Uji
1	SK0BU1 (Pecahan Keramik 0% NL 0%)	3
2	SK0BU2 (Pecahan Keramik 1% NL 0%)	3
3	SK0BU3 (Pecahan Keramik 3% NL 0%)	3
4	SK1BU1 (Pecahan Keramik 5% NL 0%)	3
5	SK1BU2 (Pecahan Keramik 0% NL 2%)	3
6	SK1BU3 (Pecahan Keramik 1% NL 2%)	3
7	SK2BU1 (Pecahan Keramik 3% NL 2%)	3
8	SK2BU2 (Pecahan Keramik 5% NL 2%)	3
9	SK2BU3 (Pecahan Keramik 0% NL 3%)	3
10	SK3BU1 (Pecahan Keramik 1% NL 3%)	3
11	SK3BU2 (Pecahan Keramik 3% NL 3%)	3
12	SK3BU3 (Pecahan Keramik 5% NL 3%)	3

TOTAL SAMPEL	36
---------------------	-----------

Pada pembuatan benda uji setiap variasi dibuat 3 buah sampel untuk dilakukan perbandingan apabila salah satu sampel ada yang tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2 dan 2 sampel lainnya memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi 2 maka dapat dibandingkan hasilnya dari ketiga sampel tersebut.

4.6 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (GMM) Pada Aspal Modifikasi

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi 12 variasi Pecahan Keramik dan Getah Karet dengan benda uji *Maximum specific gravity* (GMM) sebanyak 1 buah untuk masing – masing variasi.

Tabel 4. 14 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran GMM Pada Aspal Modifikasi

No.	Contoh No :	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh Grm	1,658	1,658	1,638	1,638	1,618	1,618	1,598	1,598	1,578	1,578
2	Berat Botol Grm	858	858	858	858	858	858	858	858	858	858
3	Berat Contoh (1-2) Grm	800	800	780	780	760	760	740	740	720	720
4	Berat Botol + Contoh + Air Grm	2,473	2,473	2,462	2,462	2,444	2,444	2,449	2,449	2,429	2,429
5	Berat botol + Air Grm	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001
6	Berat air (4-5) Grm	472	472	461	461	442	442	448	448	428	428
7	Volume contoh (3-6) Grm	328	328	319	319	318	318	292	292	292	292
8	Max Specific Gravity ((3:7) Grm / Gmm) cc	2,441	2,441	2,444	2,444	2,393	2,393	2,536	2,536	2,466	2,466
9	Temperatur air T °C Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity ((8x10) Grm / Gmm) cc	2,441	2,441	2,444	2,444	2,393	2,393	2,536	2,536	2,466	2,466
Rata - rata Variasi		2.441		2.444		2.393		2.536		2.466	
		SK0BU1		SK0BU2		SK0BU3		SK1BU1		SK1BU2	
No.	Contoh No :	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh Grm	1,558	1,558	1,538	1,538	1,498	1,498	1,478	1,478	1,458	1,458
2	Berat Botol Grm	858	858	858	858	858	858	858	858	858	858
3	Berat Contoh (1-2) Grm	700	700	680	680	640	640	620	620	600	600
4	Berat Botol + Contoh + Air Grm	2,418	2,418	2,398	2,398	2,378	2,378	2,358	2,358	2,338	2,338
5	Berat botol + Air Grm	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001	2,001
6	Berat air (4-5) Grm	417	417	397	397	377	377	357	357	337	337
7	Volume contoh (3-6) Grm	283	283	283	283	263	263	263	263	263	263

8	Max Specific Gravity ((3:7) Grm / Gmm)	2.473	2.473	2.403	2.403	2.433	2.433	2.357	2.357	2.281	2.281
9	Temperatur air T °C	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity ((8 x 10) Grm / Gmm)	2.473	2.473	2.403	2.403	2.433	2.433	2.357	2.357	2.281	2.281
Rata - rata Variasi		2.473	2.403	2.433	2.357	2.281					
		SK1BU3	SK2BU1	SK2BU2	SK2BU3	SK3BU1					

No.	Contoh No :	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh Grm	1,438	1,438	1,418	1,418
2	Berat Botol Grm	858	858	858	858
3	Berat Contoh (1 - 2) Grm	580	580	560	560
4	Berat Botol + Contoh + Air Grm	2,318	2,318	2,298	2,298
5	Berat botol + Air Grm	2,001	2,001	2,001	2,001
6	Berat air (4 - 5) Grm	317	317	297	297
7	Volume contoh (3 - 6) Grm	263	263	263	263
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7) Grm / cc	2.205	2.205	2.129	2.129
9	Temperatur air T °C	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10) Grm / cc	2.205	2.205	2.129	2.129
Rata - rata Variasi		2.205	2.129		
		SK3BU2	SK3BU3		

4.7 Hasil Pemeriksaan *Marshall Test*

Setelah menetapkan formula campuran rancangan dan desain campuran untuk pekerjaan, penelitian ini melibatkan pembuatan 36 sampel uji aspal. Tiap sampel diukur beratnya dalam tiga kondisi berbeda: saat kering, setelah perendaman selama 24 jam, dan dalam kondisi *Saturated Surface-Dry* (SSD). Proses perendaman ini dilakukan dalam *waterbath* (pemanasan sampel dengan merendamnya dalam air yang sudah dipanaskan) pada suhu 60°C selama 30 menit, sebelum pengukuran berat berikutnya dilakukan. Untuk mendapatkan data mengenai stabilitas dan *flow* (kelelehan) sampel aspal, semua sampel yang telah direndam dalam *waterbath* perlu segera diuji dengan menggunakan alat uji Marshall.

Uji Marshall dilakukan dengan tujuan untuk mengukur parameter-parameter berikut: stabilitas, flow, MQ (Marshall Quotient), VMA (Void in Mineral)

Aggregates), VIM (Void in Mix), dan VFA (Void Filled Asphalt). Tabel yang disajikan di bawah ini menyediakan ringkasan hasil dari Uji Marshall tersebut. Tabel ini juga termasuk grafik yang menampilkan nilai-nilai untuk semua parameter Uji Marshall, termasuk VMA, VIM, VFA, stabilitas, flow, dan MQ. Hasil-hasil ini sesuai dengan persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (revisi 2).

4.7.1 Hasil Pemeriksaan Marshall Test Modifikasi Cetramics Fragment dan Natural Latex

Hasil pengujian *marshall* untuk benda uji komposisi modifikasi plastik PET dan kawat bendrat dengan 15 variasi dan setiap variasi ada 3 benda uji. Dengan perolehan nilai marshall dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4. 15 Hasil *Marshall* Modifikasi



Pengujian (modifikasi Serbuk Keramik dan Natural Latex)													
BJ Aspal (T)	1.0348	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :2.629				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		
benda	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	kelelahan
uji							camp. Agg	agg.(vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	plastis
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)			
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i			m/n
	campuran						gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
SK0BU1	5.8	1135.6	655	1153	498	2.280	2.441	21.86	6.56	69.97	112	1099.50	2.50
SK0BU1	5.8	1137.6	650.6	1146.2	495.6	2.295	2.441	21.34	5.95	72.14	235	2307.00	5.00
SK0BU1	5.8	1144.2	656.2	1145.6	489.4	2.338	2.441	19.88	4.20	78.87	156	1531.45	5.35
Rata-rata	5.8					2.305	2.441	21.03	5.57	73.66	168	1645.98	4.28
SK0BU2	5.8	1170.2	662.2	1151.6	489.4	2.391	2.444	18.06	2.15	88.10	119	1168.22	4.50
SK0BU2	5.8	1143.4	656.8	1153.8	497	2.301	2.444	21.17	5.85	72.35	123	1207.49	4.55
SK0BU2	5.8	1144.6	671	1182.6	511.6	2.237	2.444	23.33	8.44	63.82	203	1992.85	4.60
Rata-rata	5.8					2.310	2.444	20.85	5.48	74.76	148	1456.19	4.55
SK0BU3	5.8	1126.2	686.8	1190	503.2	2.238	2.393	23.31	6.47	72.23	143	1403.83	4.30
SK0BU3	5.8	1184.8	651.2	1133.8	482.6	2.455	2.393	15.87	-2.59	116.35	158	1551.09	4.60
SK0BU3	5.8	1123.2	709.2	1222.6	513.4	2.188	2.393	25.03	8.57	65.75	254	2493.52	5.70
Rata-rata	5.8					2.294	2.393	21.40	4.15	84.77	185	1816.15	4.87
SK1BU1	5.8	1190.4	671.6	1165.2	493.6	2.412	2.536	17.36	4.90	71.76	175	1717.98	4.20
SK1BU1	5.8	1173.6	672.6	1175.6	503	2.333	2.536	20.05	8.00	60.12	193	1894.68	4.70
SK1BU1	5.8	1160.3	681.4	1191.2	509.8	2.276	2.536	22.01	10.25	53.42	183	1796.51	4.90
Rata-rata	5.8					2.340	2.536	19.81	7.72	61.76	184	1803.06	4.60
SK1BU2	5.8	1218.8	669	1176.2	507.2	2.403	2.466	17.66	2.55	85.59	130	1276.21	5.60
SK1BU2	5.8	1215.6	685.2	1230.8	545.6	2.228	2.466	23.65	9.64	59.24	163	1600.17	5.15
SK1BU2	5.8	1169.6	694.2	1222.4	528.2	2.214	2.466	24.12	10.20	57.73	157	1541.27	5.30
Rata-rata	5.8					2.282	2.466	21.81	7.46	67.52	150	1472.55	5.35
SK1BU3	5.8	1209.2	676	1194.4	518.4	2.333	2.473	20.07	5.70	71.61	130	1276.21	5.60
SK1BU3	5.8	1221.8	691	1228.2	537.2	2.274	2.473	22.06	8.05	63.52	159	1560.90	4.50
SK1BU3	5.8	1188.2	692.2	1220.4	528.2	2.250	2.473	22.92	9.05	60.49	194	1904.50	4.70
Rata-rata	5.8					2.285	2.473	21.68	7.60	65.20	161	1580.54	4.93
SK2BU1	5.8	1172.8	678.4	1182.8	504.4	2.325	2.403	20.32	3.23	84.09	178	1747.43	4.40
SK2BU1	5.8	1246	711.6	1250.6	539	2.312	2.403	20.79	3.79	81.75	242	2375.71	6.30
SK2BU1	5.8	1180.2	668.8	1177.2	508.4	2.321	2.403	20.45	3.39	83.43	178	1747.43	4.45
Rata-rata	5.8					2.319	2.403	20.52	3.47	83.09	199	1956.86	5.05
SK2BU2	5.8	1168.6	661.2	1165.8	504.6	2.316	2.433	20.64	4.83	76.59	135	1325.30	8.25
SK2BU2	5.8	1195.8	682.2	1198.4	516.2	2.317	2.433	20.62	4.80	76.70	205	2012.49	6.50
SK2BU2	5.8	1171.2	660.2	1176.8	516.6	2.267	2.433	22.31	6.84	69.37	165	1619.81	7.80
Rata-rata	5.8					2.300	2.433	21.19	5.49	74.22	168	1652.53	7.52
SK2BU3	5.8	1137.2	656	1143	487	2.335	2.357	19.98	0.95	95.27	155	1521.64	5.50
SK2BU3	5.8	1162	664.8	1167.6	502.8	2.311	2.357	20.81	1.97	90.55	153	1502.00	6.20
SK2BU3	5.8	1136.8	655	1141.4	486.4	2.337	2.357	19.91	0.86	95.69	148	1452.92	5.50
Rata-rata	5.8					2.328	2.357	20.23	1.26	93.83	152	1492.18	5.73
SK3BU1	5.8	1170.6	676.4	1191	514.6	2.275	2.281	22.05	0.29	98.69	165	1619.81	5.90
SK3BU1	5.8	1169.4	668.4	1167.2	498.8	2.344	2.281	19.66	-2.76	114.06	165	1619.81	3.70
SK3BU1	5.8	1185	669.8	1175.2	505.4	2.345	2.281	19.65	-2.78	114.12	175	1717.98	3.65
Rata-rata	5.8					2.321	2.281	20.46	-1.75	108.95	168	1652.53	4.42
SK3BU2	5.8	1150.8	675.4	1191	515.6	2.232	2.205	23.52	-1.21	105.14	153	1502.00	3.50
SK3BU2	5.8	1170.2	665	1177.8	512.8	2.282	2.205	21.80	-3.48	115.94	170	1668.89	4.30
SK3BU2	5.8	1182	656	1156.6	500.6	2.361	2.205	19.09	-7.07	137.02	190	1865.23	4.70
Rata-rata	5.8					2.292	2.205	21.47	-3.92	119.37	171	1678.71	4.17
SK3BU3	5.8	1105.6	639.8	1102.6	462.8	2.389	2.129	18.14	-12.19	167.23	190	1865.23	3.10
SK3BU3	5.8	1142.6	659.2	1148	488.8	2.338	2.129	19.90	-9.78	149.16	183	1796.51	3.40
SK3BU3	5.8	1155.6	661.2	1162.4	501.2	2.306	2.129	20.99	-8.28	139.46	205	2012.49	3.35
Rata-rata	5.8					2.344	2.129	19.68	-10.09	151.95	193	1891.41	3.28

Dari **Tabel 4.15** Menunjukkan hasil dari pengujian *marshall* bervariasi sesuai dengan presentase komposisinya. Untuk hasil parameternya dapat dilihat dari grafik hasil pengujian di bawah ini.

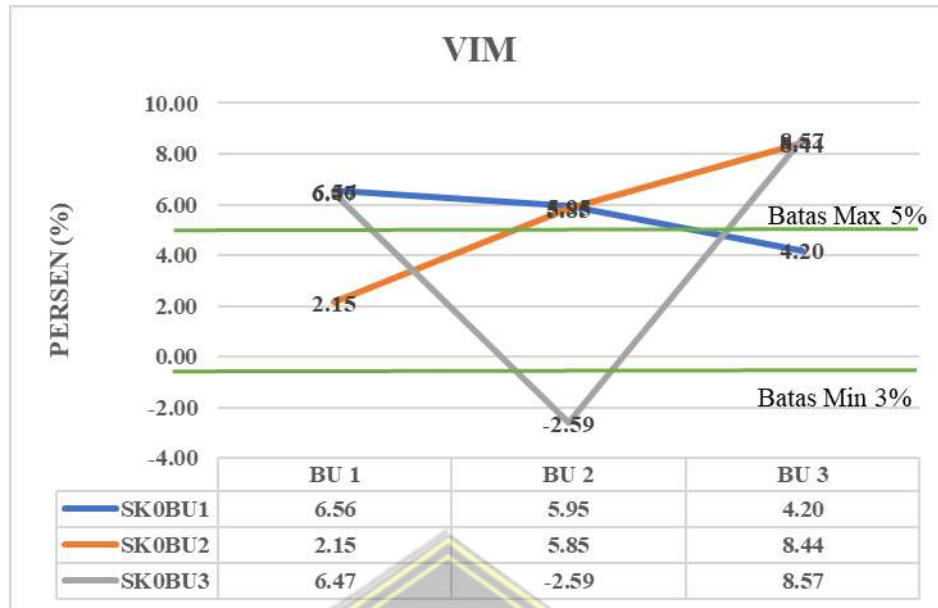
4.7.2 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode Marshall Test Variasi SK0 (Serbuk Keramik 0%, 1%, 3%, dan Natural Latex 0%).

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan Serbuk Keramik 0%, 1%, 3% dan Natural Latex 0%, bisa dilihat pada **Tabel 4.16**.

Tabel 4. 16 Hasil *Marshall Test* Variasi (Serbuk Keramik 0%, Natural Latex 0%, 2%, 3%)

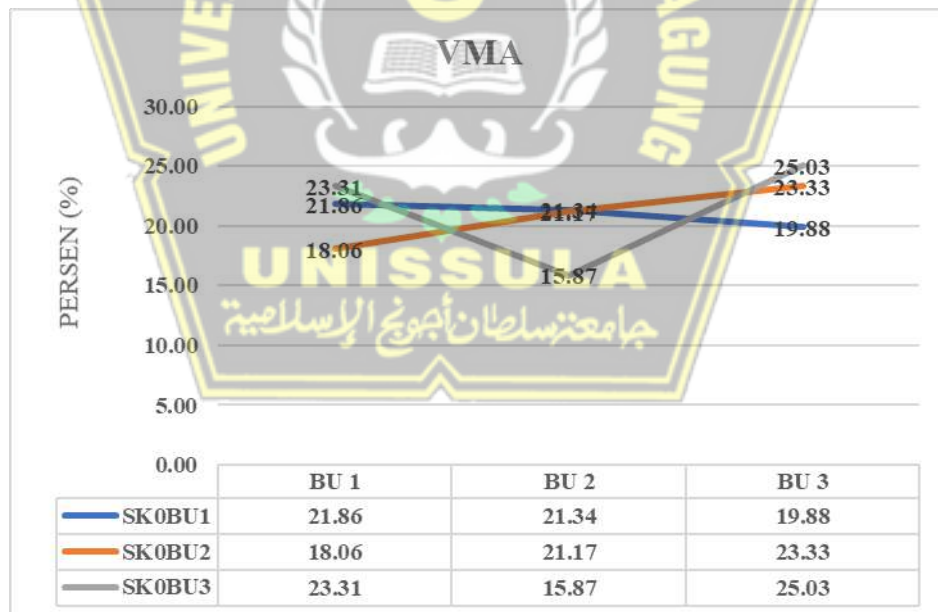
Parameter Pengujian Marshaall	Variasi Benda Uji			Spesifikasi
	SK0BU1	SK0BU2	SK0BU3	
Rongga udara (VIM)	6.56	2.15	6.47	3.0 – 5.0 %
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	21.86	18.06	23.31	Min. 15%
Rongga terisi aspal (VFB)	69.97	88.10	72.23	Min. 65%
Stabilitas marshall	1099.50	1168.22	1403.83	Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2.50	4.50	4.30	2.0 – 4.0
Marshall Quotient (MQ)	439.80	259.61	326.47	-

Hasil pengujian marshall untuk Serbuk Keramik 0%, 1%, 3% dan Natural Latex 0%, yang ditampilkan pada **Tabel 4.16** untuk semua variasi campuran tidak memenuhi spesifikasi, jadi untuk campuran tersebut tidak bisa digunakan.



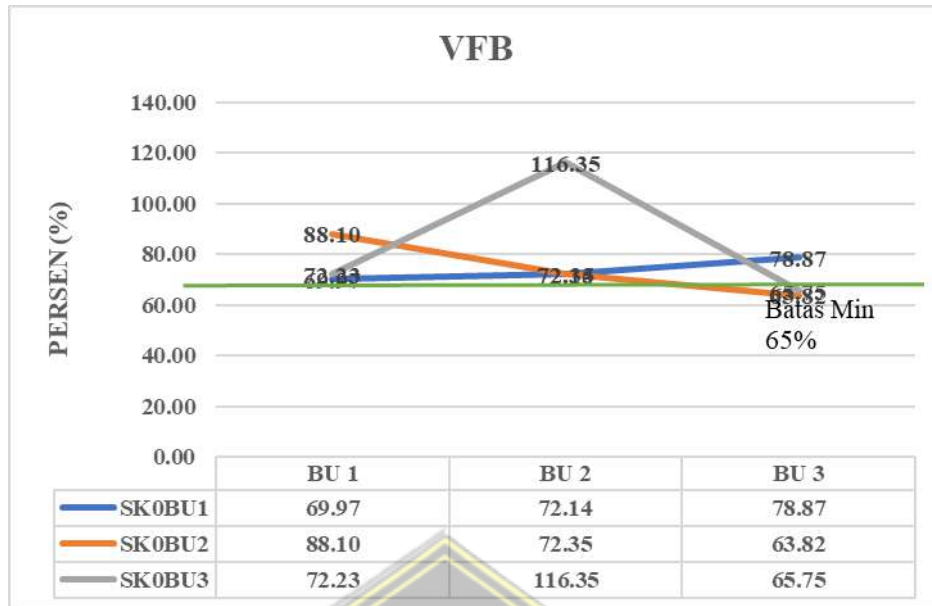
Grafik 4. 4 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.4** pada variasi Serbuk Keramik 0%, 1%, 3% dan Natural Latex 0%, (SK0) terdapat satu benda uji yang tidak memiliki nilai rongga udara (VIM) yang tidak sesuai spesifikasi nilai dengan VIM 3% - 5%.



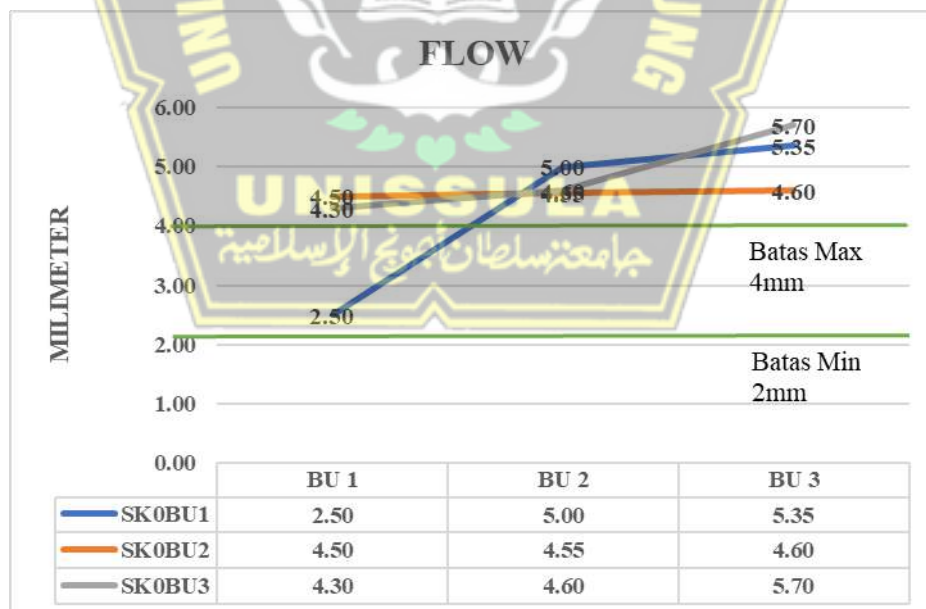
Grafik 4. 5 Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.5** pada variasi Serbuk Keramik 0%, 1%, 3% dan Natural Latex 0%, (SK0) semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



Grafik 4. 6 Nilai VFB

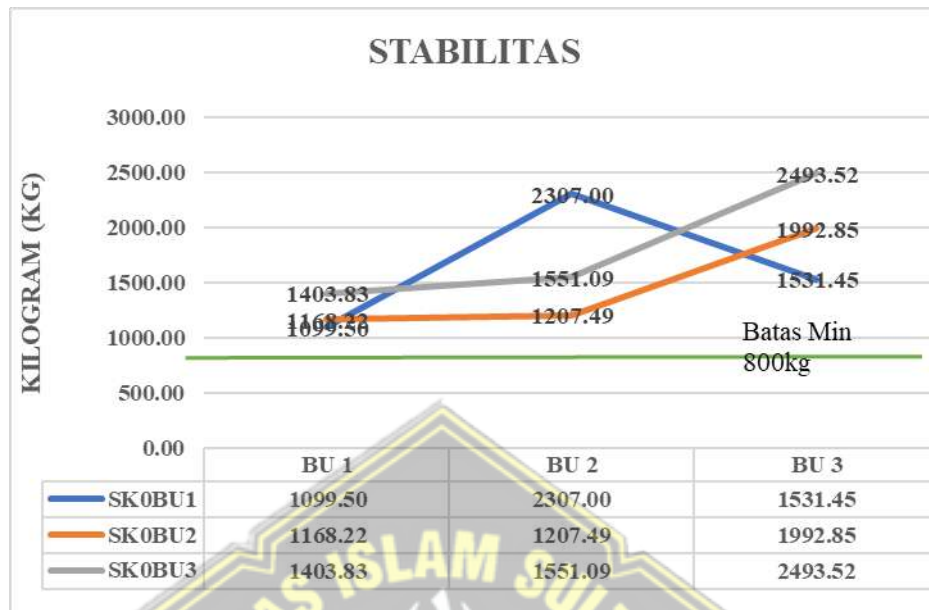
Berdasarkan **Grafik 4.6** pada variasi Serbuk Keramik 0%, 1%, 3% dan Natural Latex 0%, (SK0) terdapat satu benda uji yang tidak memenuhi spesifikasi VFB yang disyaratkan. Yaitu terdapat pada benda uji dengan kadar Serbuk Keramik 0%, 1%, 3% dan Natural Latex 0%, (SK0).



Grafik 4. 7 Nilai Flow

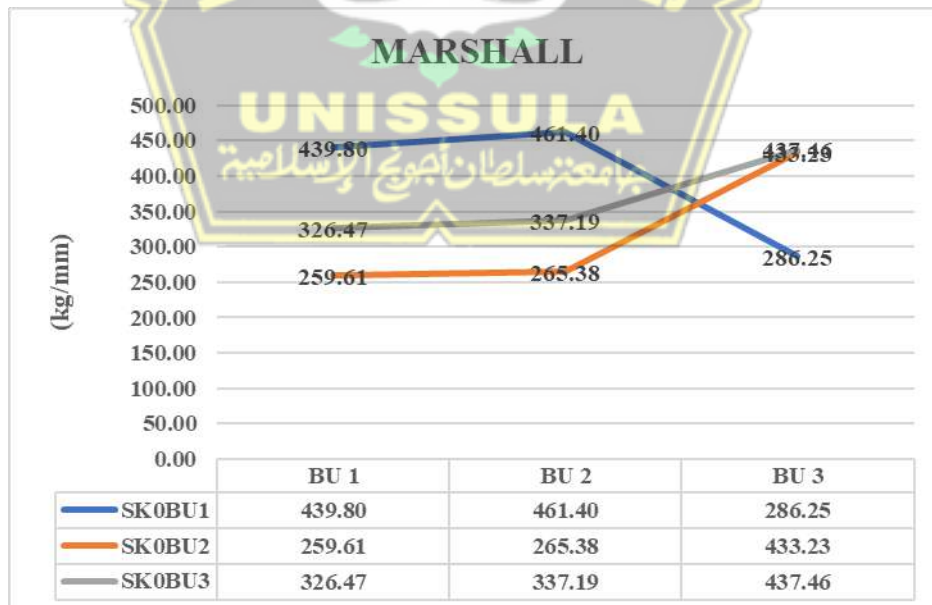
Berdasarkan **Grafik 4.7** pada variasi Serbuk Keramik 0%, 1%, 3% dan Natural Latex 0%, (SK0) hanya terdapat 8 variasi benda uji yang melebihi batas

max nilai *flow*. Selain itu variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai kelehan (flow) yaitu 2 – 4%.



Grafik 4. 8 Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.8** pada variasi Serbuk Keramik 0%, 1%, 3% dan Natural Latex 0%, (SK0), semua benda uji variasi memenuhi syarat minimal Stabilitas 800 Kg.



Grafik 4. 9 Nilai Marshall

Berdasarkan **Grafik 4.9** pada variasi Serbuk Keramik 0%, 1%, 3% dan Natural Latex 0%, (SK0) variasi benda uji memiliki hasil nilai *marshall* yang berbeda beda.

4.7.3 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode *Marshall Test* Variasi SK1

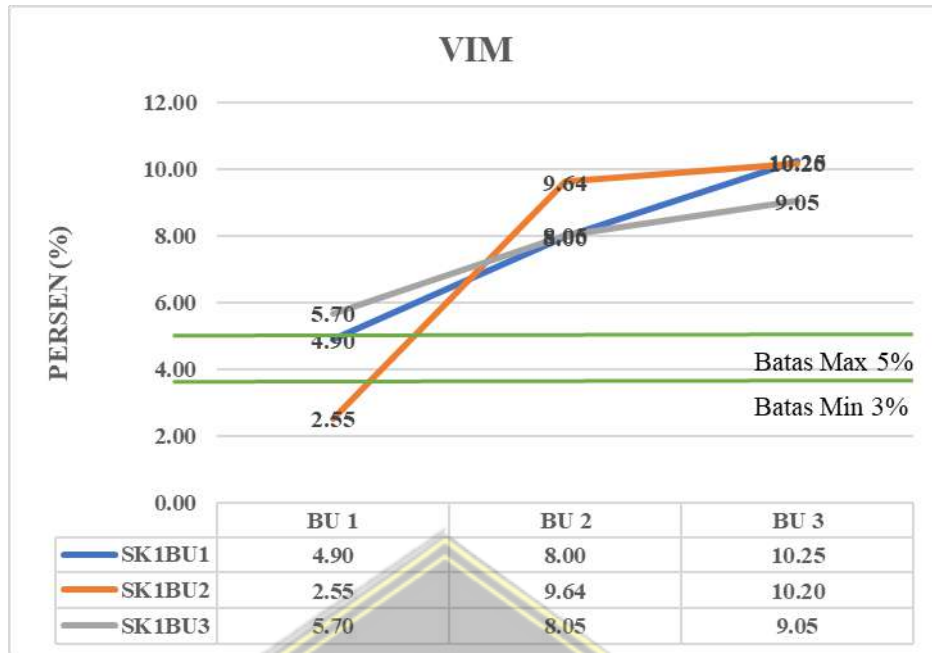
(Serbuk Keramik 5%, 0%, 1%, Natural Latex 0%, 2%)

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan Serbuk Keramik 5%, 0%, 1% dan Natural Latex 0%, 2%, bisa dilihat pada **Table 4.17**.

Tabel 4. 17 Hasil *Marshall Test* Variasi (Serbuk Keramik 2%, Natural Latex 0%, 2%, 3%)

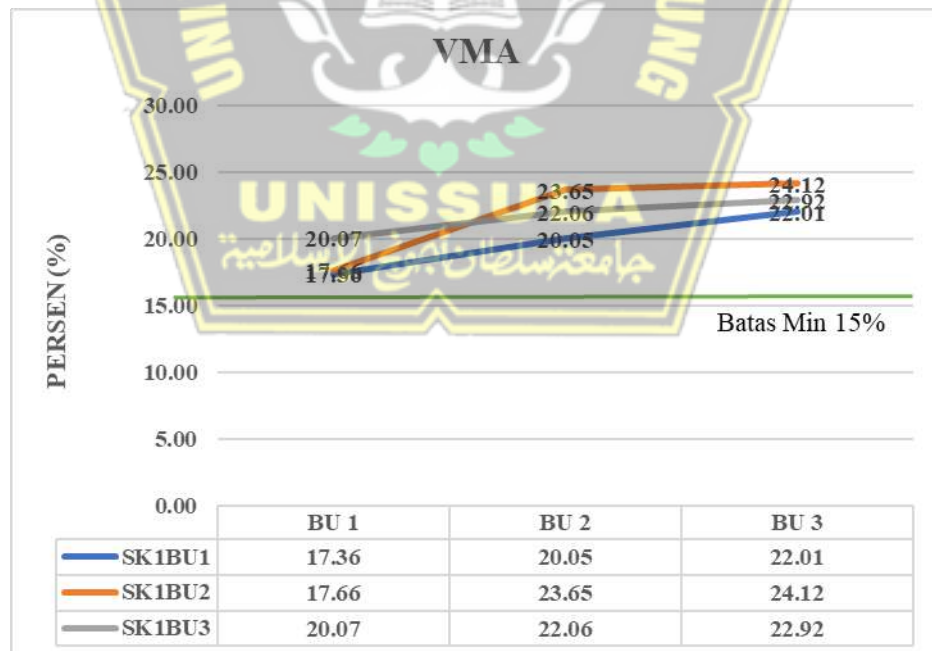
Parameter Pengujian Marshaall	Variasi Benda Uji			Spesifikasi
	SK1BU1	SK1BU2	SK1BU3	
Rongga udara (VIM)	4.90	2.55	8.05	3.0 – 5.0 %
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	17.36	17.66	22.06	Min. 15%
Rongga terisi aspal (VFB)	71.76	85.59	63.52	Min. 65%
Stabilitas marshall	1717.98	1276.21	1560.90	Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	4.20	5.60	4.50	2.0 – 4.0
Marshall Quotient (MQ)	409.04	227.89	346.87	-

Hasil pengujian marshall untuk Serbuk Keramik 5%, 0%, 1% dan Natural Latex 0%, 2%, yang ditampilkan pada **Tabel 4.17** untuk semua variasi campuran memenuhi spesifikasi, jadi untuk campuran tersebut bisa digunakan.



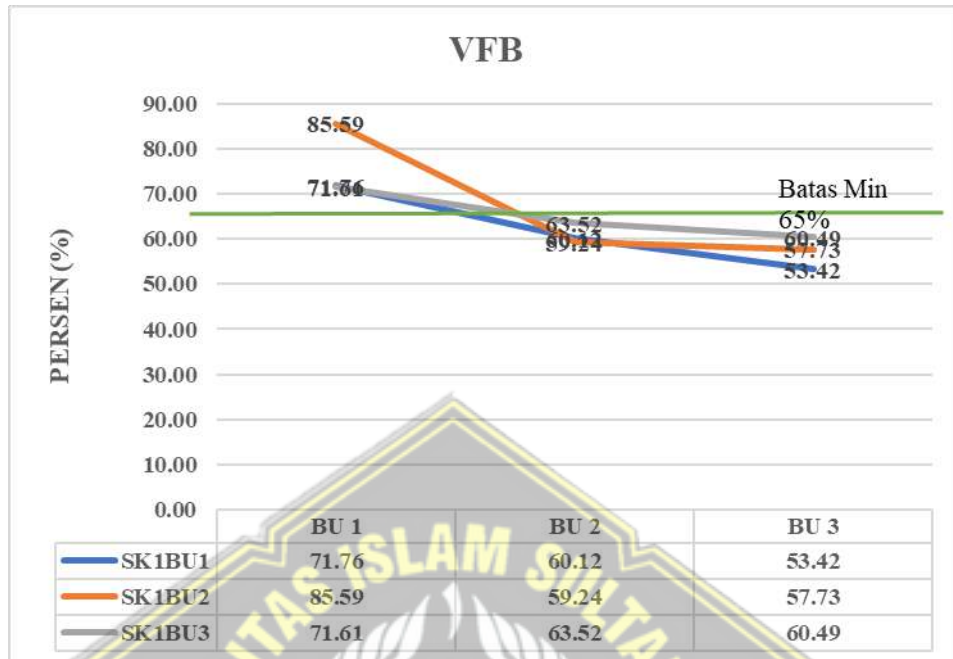
Grafik 4. 10 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.10** pada variasi Serbuk Keramik 5%, 0%, 1% dan Natural Latex 0%, 2%, (SK1) memiliki nilai rongga udara (VIM) yang tidak sesuai spesifikasi dengan nilai VIM 3% - 5%.



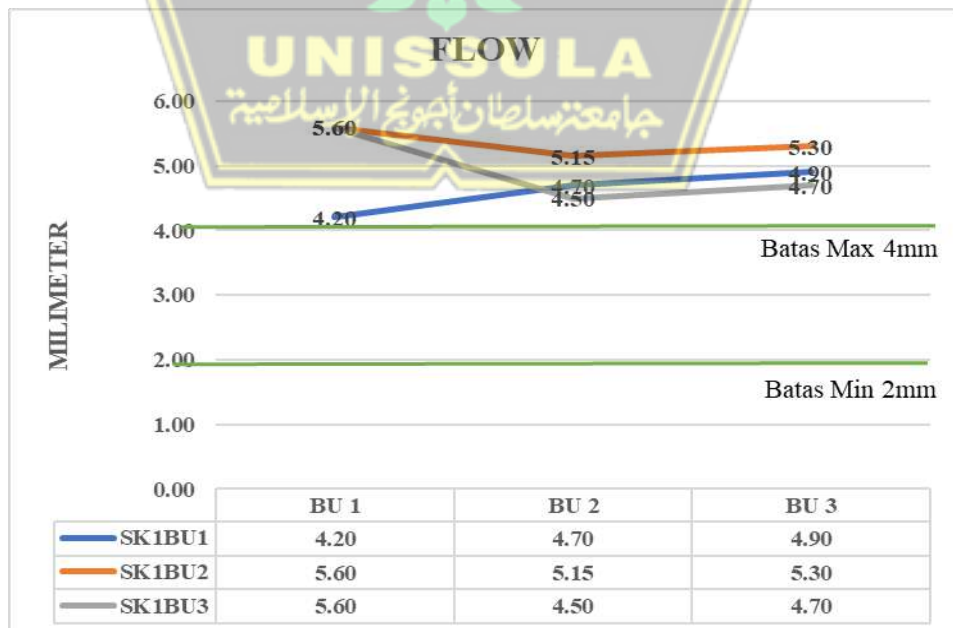
Grafik 4. 11 Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.11** pada variasi Serbuk Keramik 5%, 0%, 1% dan Natural Latex 0%, 2%, (SK1) semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



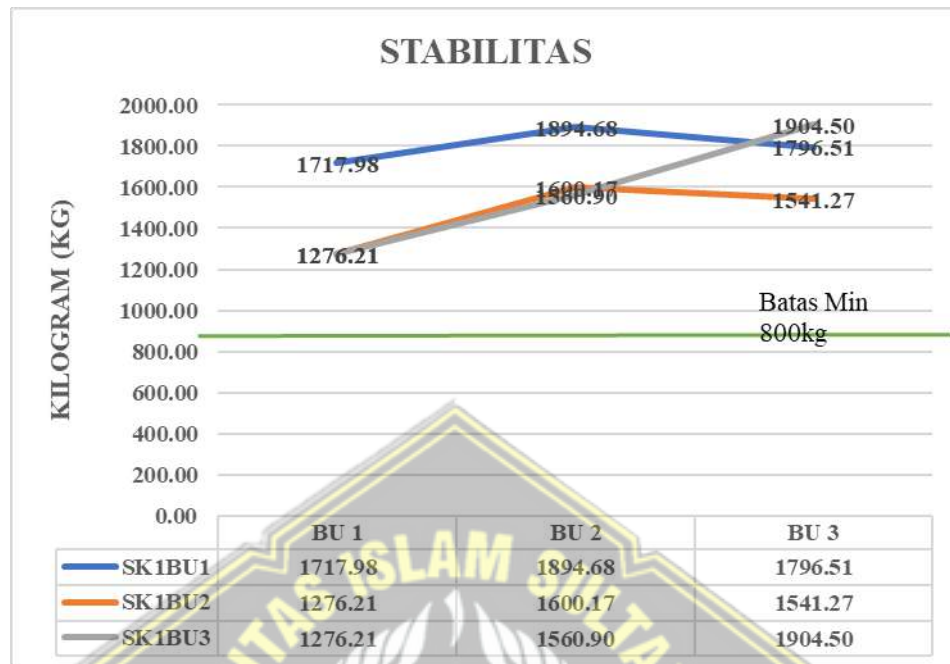
Grafik 4. 12 Nilai VFB

Berdasarkan **Grafik 4.12** pada variasi Serbuk Keramik 5%, 0%, 1% dan Natural Latex 0%, 2%, ada 6 benda uji yang tidak memenuhi persyaratan VFB yaitu sebesar 65%



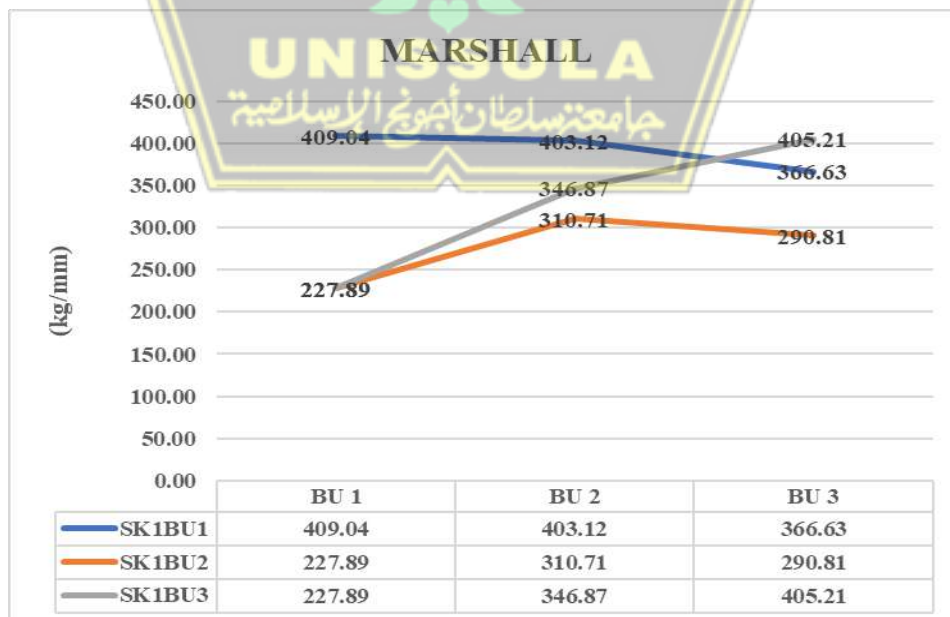
Grafik 4. 13 Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.13** pada variasi Serbuk Keramik 5%, 0%, 1% dan Natural Latex 0%, 2%, (SK1) tidak ada benda uji yang masuk dalam spesifikasi *flow*.



Grafik 4. 14 Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.14** pada variasi plastik Serbuk Keramik (SK1), stabilitas tertinggi berada di angka 1904,50 Kg yang merupakan variasi dari kadar Serbuk Keramik 5%, 0%, 1% dan Natural Latex 0%, 2%.



Grafik 4. 15 Nilai Marshall

Berdasarkan **Grafik 4.15** pada variasi Serbuk Keramik 5%, 0%, 1% dan Natural Latex 0%, 2%, (SK1) variasi benda uji memiliki hasil nilai *marshall* yang berbeda beda.

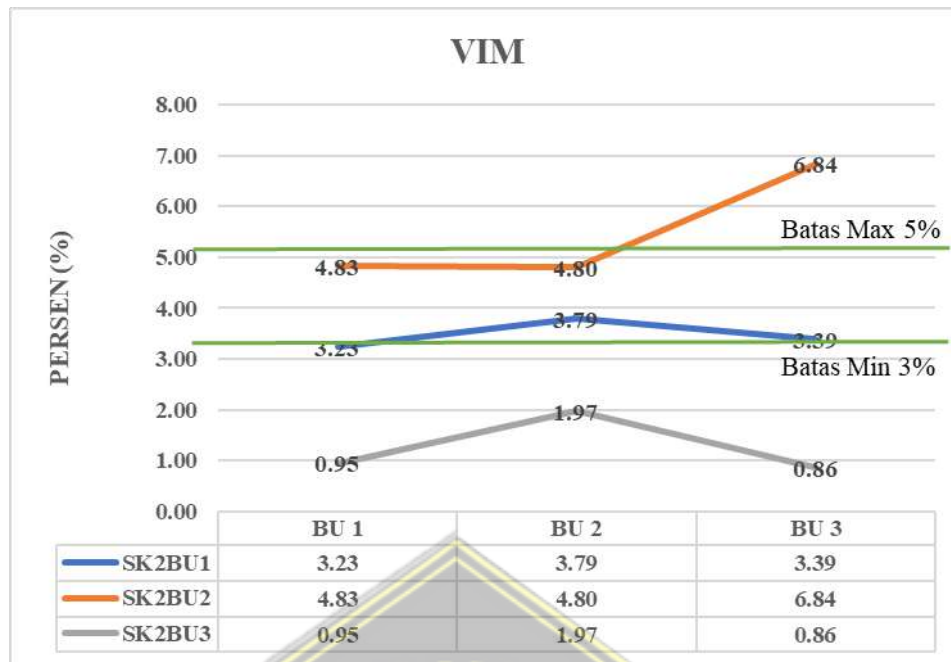
4.7.4 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode *Marshall Test* Variasi SK2 (Serbuk Keramik 3%, 5%, 0% Natural Latex 2%, 3%)

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan Serbuk Keramik 3%, 5%, 0% dan Natural Latex 2%, dan 3% bisa dilihat pada **Tabel 4.18**.

Tabel 4. 18 Hasil *Marshall Test* Variasi (Serbuk Keramik 3%, 5%, dan 0% Natural Latex 2%, 3%)

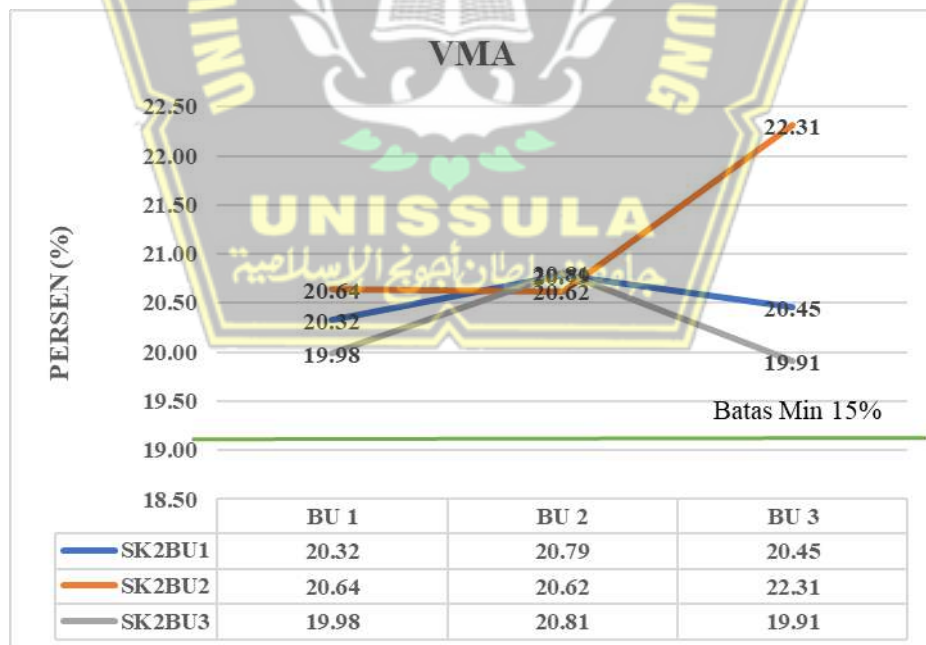
Parameter Pengujian Marshaall	Variasi Benda Uji			Spesifikasi
	SK2BU1	SK2BU2	SK2BU3	
Rongga udara (VIM)	3.39	4.80	1.97	3.0 – 5.0 %
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	20.45	20.62	20.81	Min. 15%
Rongga terisi aspal (VFB)	83.43	76.70	90.55	Min. 65%
Stabilitas marshall	1747.43	2012.49	1502.00	Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	4.45	6.50	6.20	2.0 – 4.0
Marshall Quotient (MQ)	392.68	309.61	242.26	-

Hasil *Marshall Test* Variasi (Serbuk Keramik 3%, 5%, dan 0% Natural Latex 2%, 3%) yang ditampilkan pada **Tabel 4.18** untuk semua variasi campuran memenuhi spesifikasi, jadi untuk campuran tersebut bisa digunakan



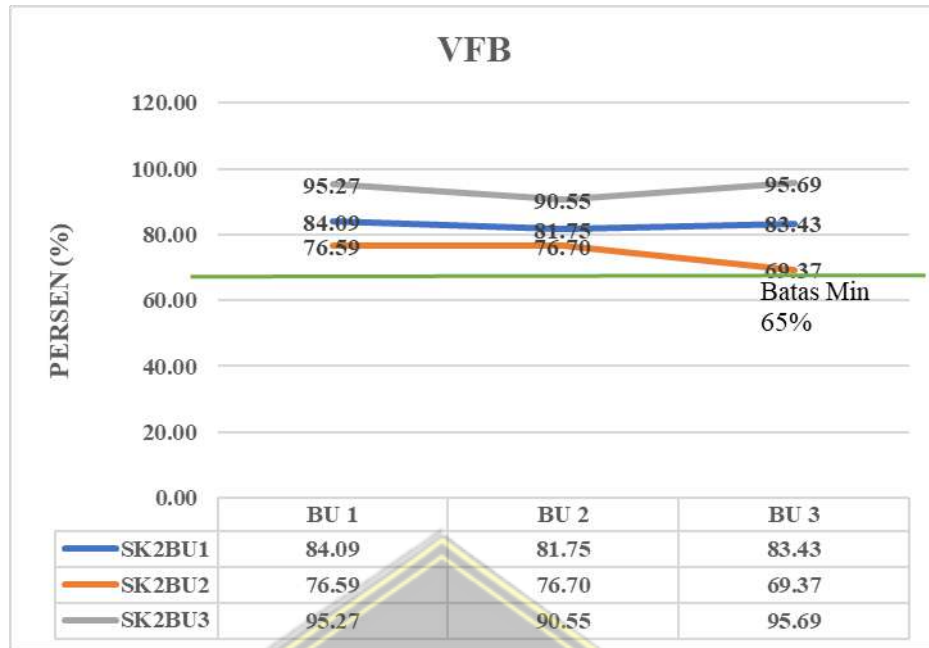
Grafik 4. 16 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.16** pada variasi Serbuk Keramik 3%, 5%, dan 0% (SK2) memiliki 4 benda uji dengan nilai rongga udara (VIM) yang tidak sesuai spesifikasi dengan nilai VIM 3% - 5%.



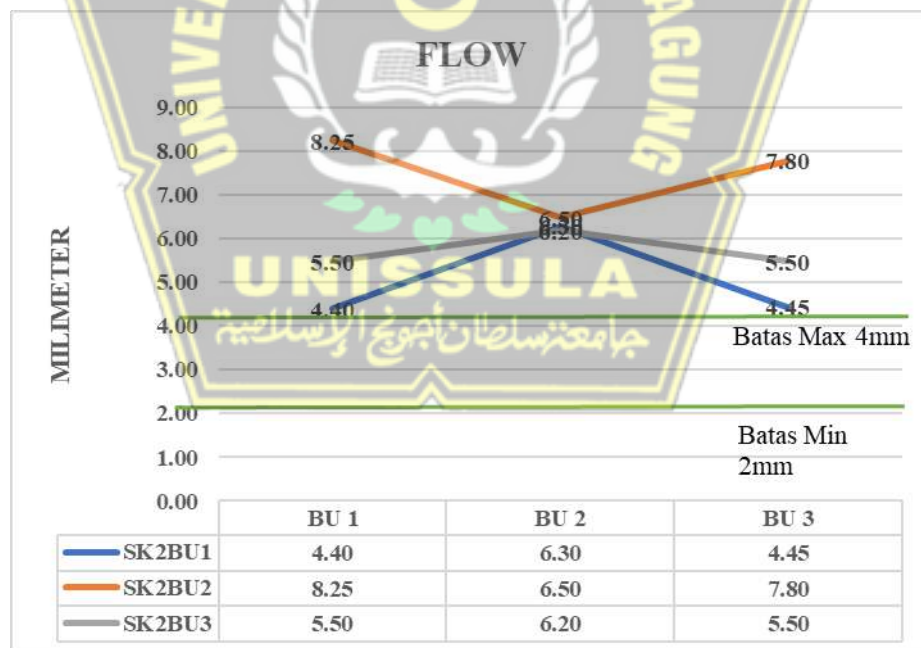
Grafik 4. 17 Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.17** pada variasi Serbuk Keramik 3%, 5%, dan 0% (SK2) semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



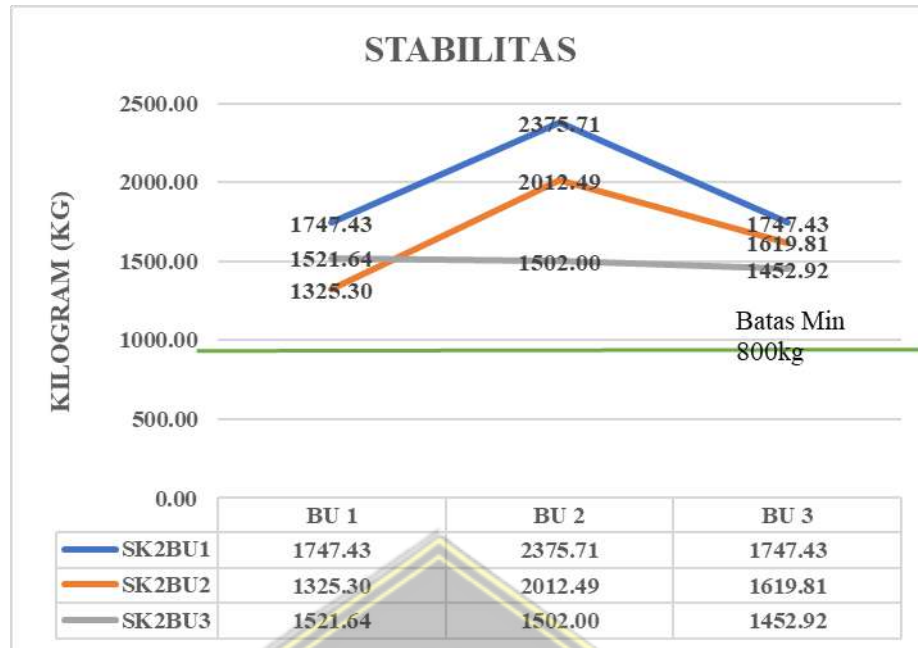
Grafik 4. 18 Nilai VFB

Berdasarkan **Grafik 4.18** pada variasi Serbuk Keramik 3%, 5%, dan 0% (SK2), semua benda uji yang memenuhi persyaratan VFB yaitu sebesar 65%.



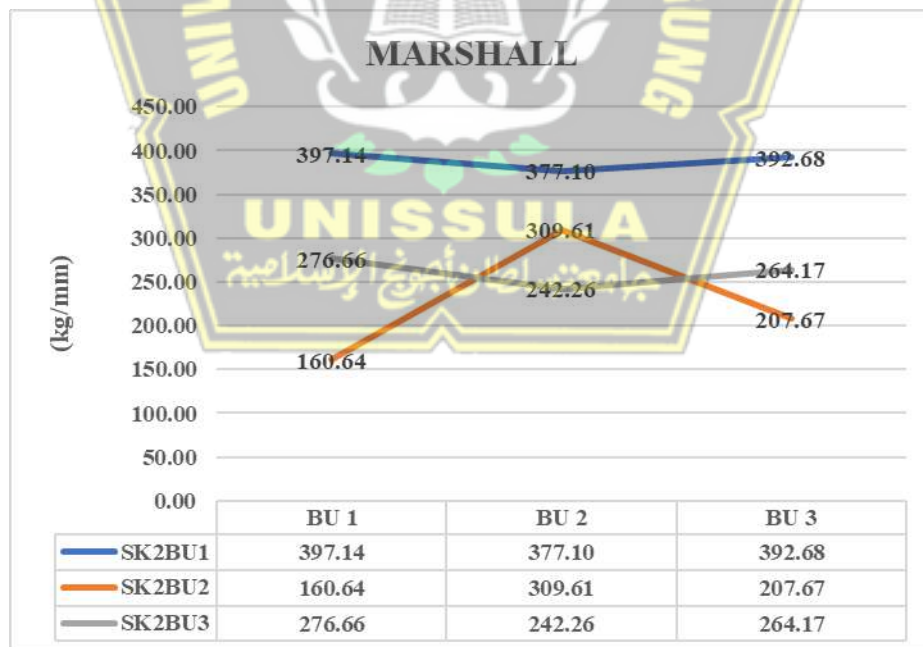
Grafik 4. 19 Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.19** pada variasi Serbuk Keramik 3%, 5%, dan 0% (SK2), semua benda uji dengan variasi masuk dalam spesifikasi *flow*.



Grafik 4. 20 Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.20** pada variasi Serbuk Keramik 3%, 5%, dan 0% (SK2), stabilitas tertinggi berada di angka 2375,71 Kg yang merupakan variasi dari kadar Serbuk Keramik 3% (SK2), Natural Latex 2%.



Grafik 4. 21 Nilai Marshall

Berdasarkan **Grafik 4.21** pada variasi Serbuk Keramik 3%, 5%, dan 0% (SK2), variasi benda uji memiliki hasil nilai *marshall* yang berbeda beda.

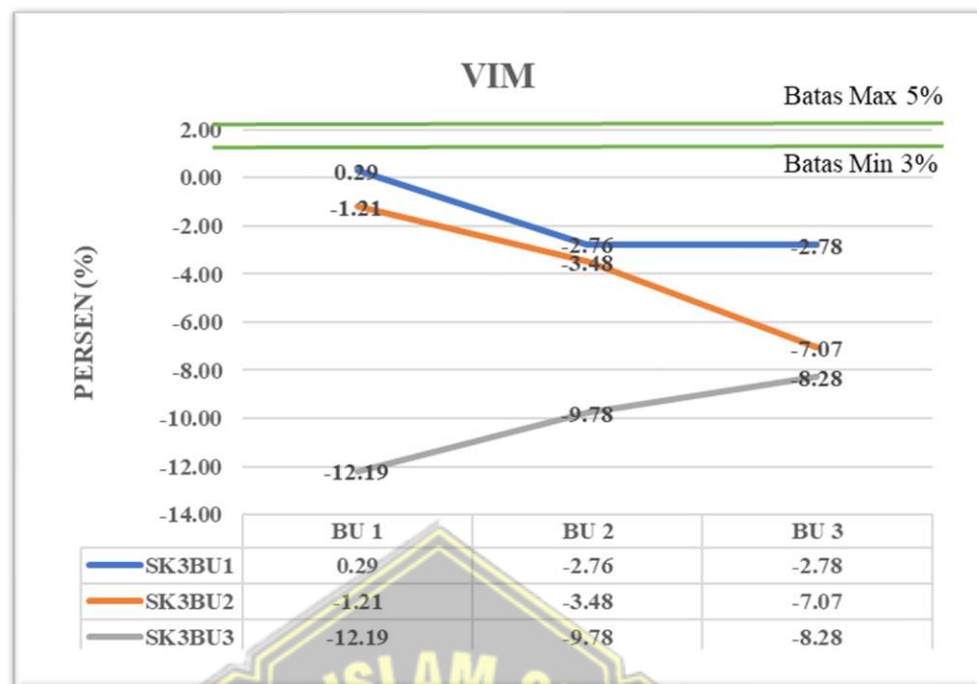
4.7.5 Hasil Pengujian Aspal dengan Metode *Marshall Test* Variasi SK3 (Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% dan Natural Latex 3%)

Metode pelaksanaan pengujian marshall untuk semua benda uji sama, yang membedakan adalah variasi campuran kombinasinya. Untuk hasil variasi dengan Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% dan Natural Latex 3% bisa dilihat pada **Table 4.19**.

Tabel 4. 19 Hasil *Marshall Test* Variasi (Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% Natural Latex 3%)

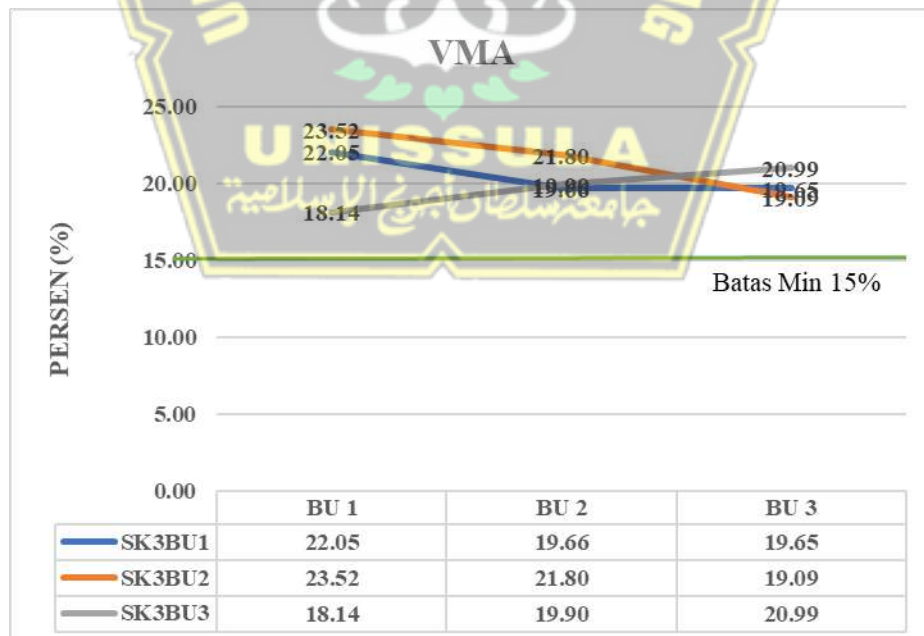
Parameter Pengujian Marshaall	Variasi Benda Uji			Spesifikasi
	SK3BU1	SK3BU2	SK3BU3	
Rongga udara (VIM)	-2.76	-1.21	-8.28	3.0 – 5.0 %
Rongga dalam mineral agregat (VMA)	19.66	23.52	20.99	Min. 15%
Rongga terisi aspal (VFB)	114.06	105.14	139.46	Min. 65%
Stabilitas marshall	1619.81	1502.00	2012.49	Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	3.70	3.50	3.35	2.0 – 4.0
Marshall Quotient (MQ)	437.79	429.14	600.74	-

Hasil pengujian marshall untuk Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% dan Natural latex 3% yang ditampilkan pada **Tabel 4.19** semua variasi campuran yang tidak memenuhi spesifikasi.



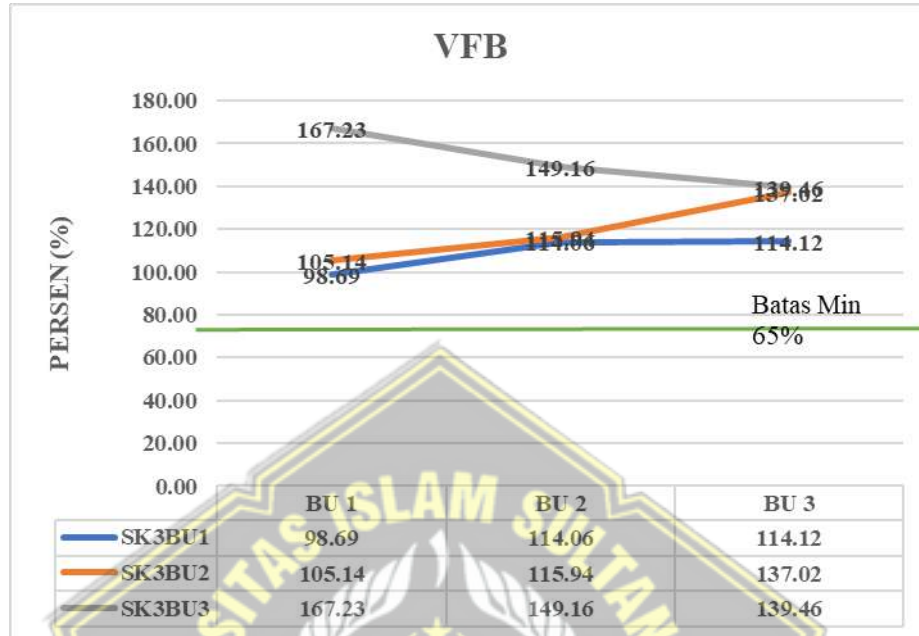
Grafik 4. 22 Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.22** pada variasi Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% (SK3) dan Natural Latex 3% terdapat variasi benda uji campuran memiliki nilai rongga udara (VIM) yang tidak sesuai spesifikasi dengan nilai VIM 3% - 5%.



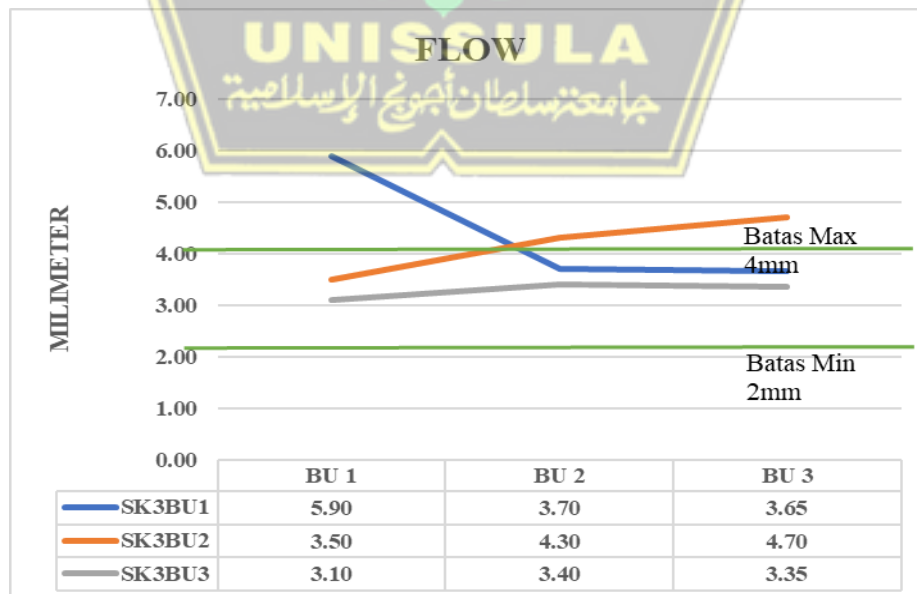
Grafik 4. 23 Nilai VMA

Berdasarkan **Grafik 4.23** pada variasi Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% (SK3) semua variasi benda uji masuk ke dalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



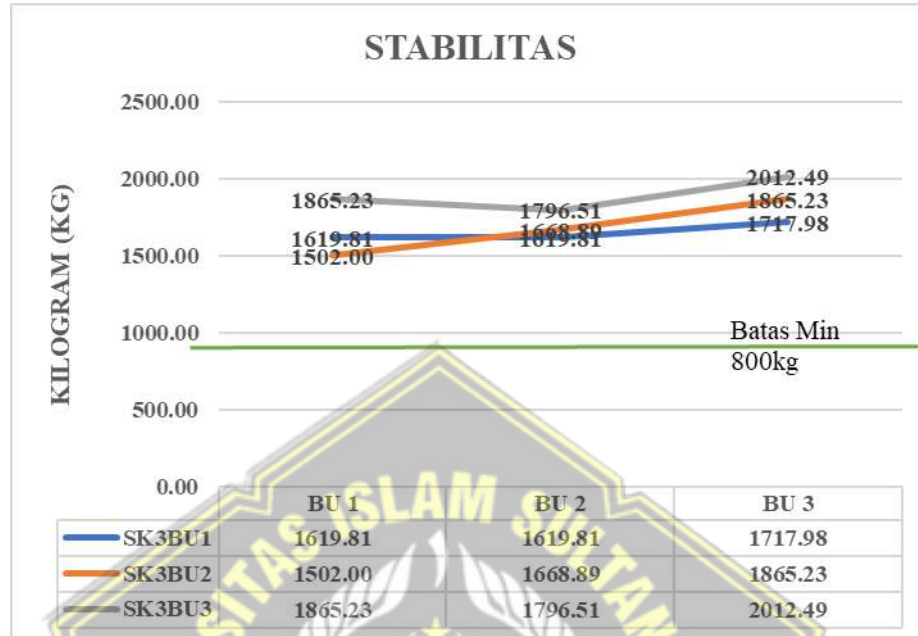
Grafik 4. 24 Nilai VFB

Berdasarkan **Grafik 4.24** pada variasi Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% (SK3) untuk variasi Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% (SK3) dan Natural Latex 3% ketiga benda uji memenuhi persyaratan batas minimal VFB yaitu sebesar 65%.



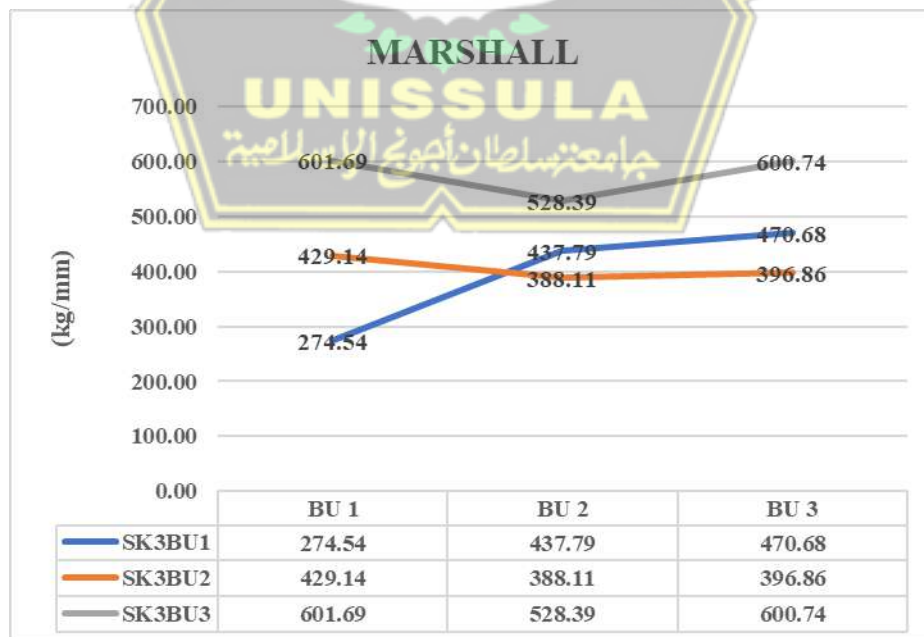
Grafik 4. 25 Nilai Flow

Berdasarkan **Grafik 4.25** pada variasi Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% (SK3) terdapat 3 benda uji yang tidak memenuhi persyaratan *flow*. Dengan nilai antar 2-4 mm.



Grafik 4. 26 Nilai Stabilitas

Berdasarkan **Grafik 4.26** pada variasi Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% (SK3) Semua variasi kadar dan benda uji memenuhi persyaratan minimal stabilitas.



Grafik 4. 27 Nilai Marshall

Berdasarkan **Grafik 4.27** pada variasi Serbuk Keramik 1%, 3%, 5% (SK3) variasi benda uji memiliki hasil nilai *marshall* yang berbeda beda

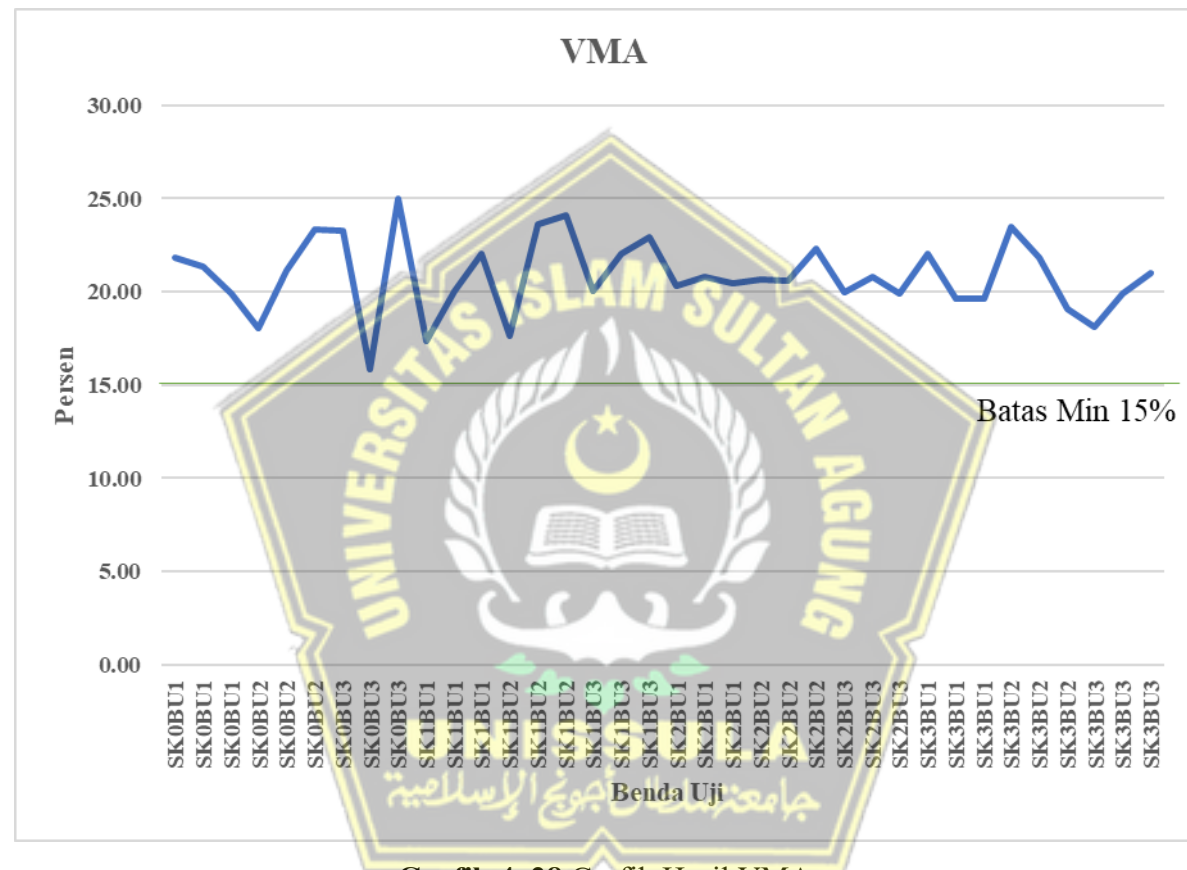


4.7.6 Rangkuman Hasil Penguji

Pengujian (modifikasi Serbuk Keramik dan Natural Latex)														
BJ Aspal (T) :	1.034799	BJ Efektif Total Agregat (Gse) :			2.629	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	aspal	di udara	dlm air	ssd	isi	campuran	kombinasi	diantara	dalam	terisi	dibaca	di	plastis	marshall
uji							camp. Agg	agg (vma)	camp(vim)	aspal(vfb)	arloji	sesuaikan	(flow)	(mq)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	% berat	data	data	data				100 -	100 -	100(i-j)				
	total	timbang	timbang	timbang	e - d	c / f	GMM	(100 - b)g	(100*g)	i				m / n
	campuran							gsb	h					
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
SK0BU1	5.8	1135.6	655	1153	498	2.280	2.441	21.86	6.56	69.97	112	1099.50	2.50	439.80
SK0BU1	5.8	1137.6	650.6	1146.2	495.6	2.295	2.441	21.34	5.95	72.14	235	2307.00	5.00	461.40
SK0BU1	5.8	1144.2	656.2	1145.6	489.4	2.338	2.441	19.88	4.20	78.87	156	1531.45	5.35	286.25
Rata-rata	5.8					2.305	2.441	21.03	5.57	73.66	168	1645.98	4.28	384.28
SK0BU2	5.8	1170.2	662.2	1151.6	489.4	2.391	2.444	18.06	2.15	88.10	119	1168.22	4.50	259.61
SK0BU2	5.8	1143.4	656.8	1153.8	497	2.301	2.444	21.17	5.85	72.35	123	1207.49	4.55	265.38
SK0BU2	5.8	1144.6	671	1182.6	511.6	2.237	2.444	23.33	8.44	63.82	203	1992.85	4.60	433.23
Rata-rata	5.8					2.310	2.444	20.85	5.48	74.76	148	1456.19	4.55	320.04
SK0BU3	5.8	1126.2	686.8	1190	503.2	2.238	2.393	23.31	6.47	72.23	143	1403.83	4.30	326.47
SK0BU3	5.8	1184.8	651.2	1133.8	482.6	2.455	2.393	15.87	-2.59	116.35	158	1551.09	4.60	337.19
SK0BU3	5.8	1123.2	709.2	1222.6	513.4	2.188	2.393	25.03	8.57	65.75	254	2493.52	5.70	437.46
Rata-rata	5.8					2.294	2.393	21.40	4.15	84.77	185	1816.15	4.87	373.18
SK1BU1	5.8	1190.4	671.6	1165.2	493.6	2.412	2.536	17.36	4.90	71.76	175	1717.98	4.20	409.04
SK1BU1	5.8	1173.6	672.6	1175.6	503	2.333	2.536	20.05	8.00	60.12	193	1894.68	4.70	403.12
SK1BU1	5.8	1160.3	681.4	1191.2	509.8	2.276	2.536	22.01	10.25	53.42	183	1796.51	4.90	366.63
Rata-rata	5.8					2.340	2.536	19.81	7.72	61.76	184	1803.06	4.60	391.97
SK1BU2	5.8	1218.8	669	1176.2	507.2	2.403	2.466	17.66	2.55	85.59	130	1276.21	5.60	227.89
SK1BU2	5.8	1215.6	685.2	1230.8	545.6	2.228	2.466	23.65	9.64	59.24	163	1600.17	5.15	310.71
SK1BU2	5.8	1169.6	694.2	1222.4	528.2	2.214	2.466	24.12	10.20	57.73	157	1541.27	5.30	290.81
Rata-rata	5.8					2.282	2.466	21.81	7.46	67.52	150	1472.55	5.35	275.24

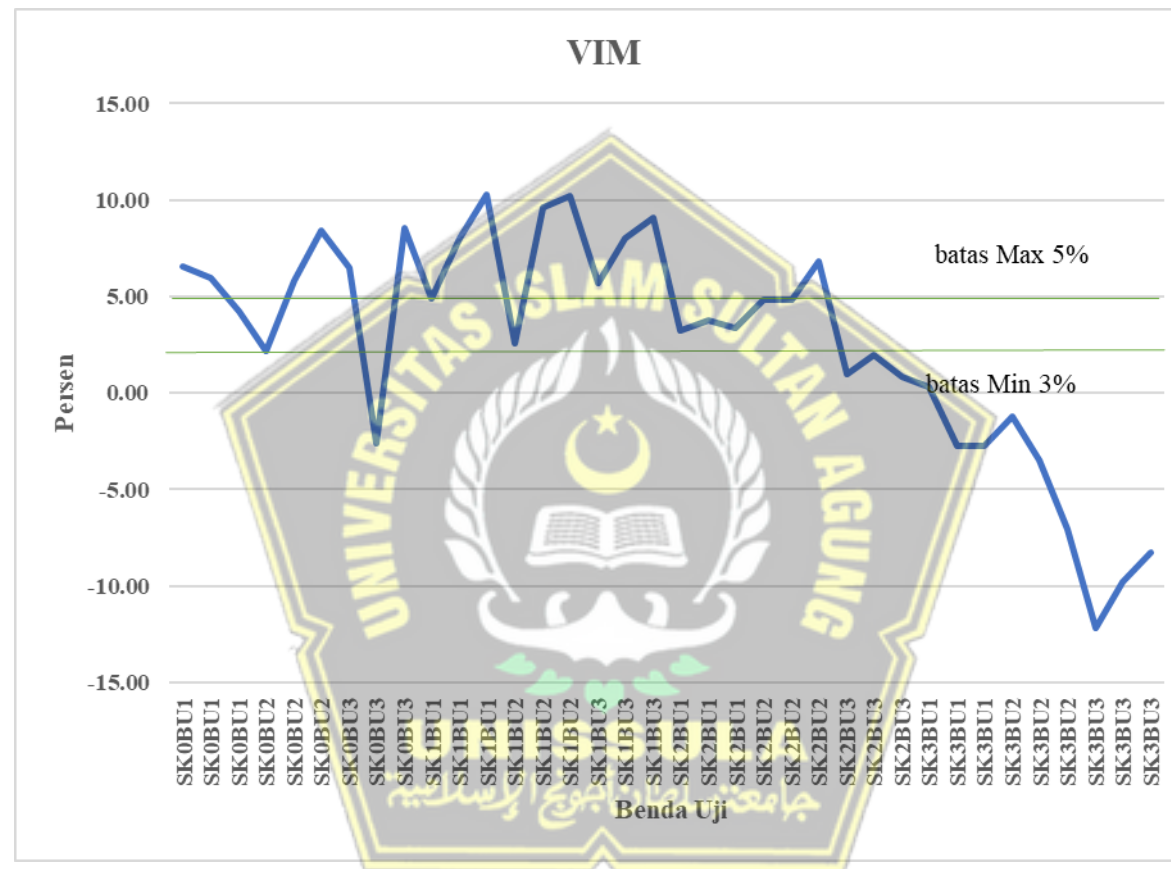
SK1BU3	5.8	1209.2	676	1194.4	518.4	2.333	2.473	20.07	5.70	71.61	130	1276.21	5.60	227.89
SK1BU3	5.8	1221.8	691	1228.2	537.2	2.274	2.473	22.06	8.05	63.52	159	1560.90	4.50	346.87
SK1BU3	5.8	1188.2	692.2	1220.4	528.2	2.250	2.473	22.92	9.05	60.49	194	1904.50	4.70	405.21
Rata-rata	5.8					2.285	2.473	21.68	7.60	65.20	161	1580.54	4.93	320.38
SK2BU1	5.8	1172.8	678.4	1182.8	504.4	2.325	2.403	20.32	3.23	84.09	178	1747.43	4.40	397.14
SK2BU1	5.8	1246	711.6	1250.6	539	2.312	2.403	20.79	3.79	81.75	242	2375.71	6.30	377.10
SK2BU1	5.8	1180.2	668.8	1177.2	508.4	2.321	2.403	20.45	3.39	83.43	178	1747.43	4.45	392.68
Rata-rata	5.8					2.319	2.403	20.52	3.47	83.09	199	1956.86	5.05	387.50
SK2BU2	5.8	1168.6	661.2	1165.8	504.6	2.316	2.433	20.64	4.83	76.59	135	1325.30	8.25	160.64
SK2BU2	5.8	1195.8	682.2	1198.4	516.2	2.317	2.433	20.62	4.80	76.70	205	2012.49	6.50	309.61
SK2BU2	5.8	1171.2	660.2	1176.8	516.6	2.267	2.433	22.31	6.84	69.37	165	1619.81	7.80	207.67
Rata-rata	5.8					2.300	2.433	21.19	5.49	74.22	168	1652.53	7.52	219.85
SK2BU3	5.8	1137.2	656	1143	487	2.335	2.357	19.98	0.95	95.27	155	1521.64	5.50	276.66
SK2BU3	5.8	1162	664.8	1167.6	502.8	2.311	2.357	20.81	1.97	90.55	153	1502.00	6.20	242.26
SK2BU3	5.8	1136.8	655	1141.4	486.4	2.337	2.357	19.91	0.86	95.69	148	1452.92	5.50	264.17
Rata-rata	5.8					2.328	2.357	20.23	1.26	93.83	152	1492.18	5.73	260.26
SK3BU1	5.8	1170.6	676.4	1191	514.6	2.275	2.281	22.05	0.29	98.69	165	1619.81	5.90	274.54
SK3BU1	5.8	1169.4	668.4	1167.2	498.8	2.344	2.281	19.66	-2.76	114.06	165	1619.81	3.70	437.79
SK3BU1	5.8	1185	669.8	1175.2	505.4	2.345	2.281	19.65	-2.78	114.12	175	1717.98	3.65	470.68
Rata-rata	5.8					2.321	2.281	20.46	-1.75	108.95	168	1652.53	4.42	374.16
SK3BU2	5.8	1150.8	675.4	1191	515.6	2.232	2.205	23.52	-1.21	105.14	153	1502.00	3.50	429.14
SK3BU2	5.8	1170.2	665	1177.8	512.8	2.282	2.205	21.80	-3.48	115.94	170	1668.89	4.30	388.11
SK3BU2	5.8	1182	656	1156.6	500.6	2.361	2.205	19.09	-7.07	137.02	190	1865.23	4.70	396.86
Rata-rata	5.8					2.292	2.205	21.47	-3.92	119.37	171	1678.71	4.17	402.89
SK3BU3	5.8	1105.6	639.8	1102.6	462.8	2.389	2.129	18.14	-12.19	167.23	190	1865.23	3.10	601.69
SK3BU3	5.8	1142.6	659.2	1148	488.8	2.338	2.129	19.90	-9.78	149.16	183	1796.51	3.40	528.39
SK3BU3	5.8	1155.6	661.2	1162.4	501.2	2.306	2.129	20.99	-8.28	139.46	205	2012.49	3.35	600.74
Rata-rata	5.8					2.344	2.129	19.68	-10.09	151.95	193	1891.41	3.28	576.06





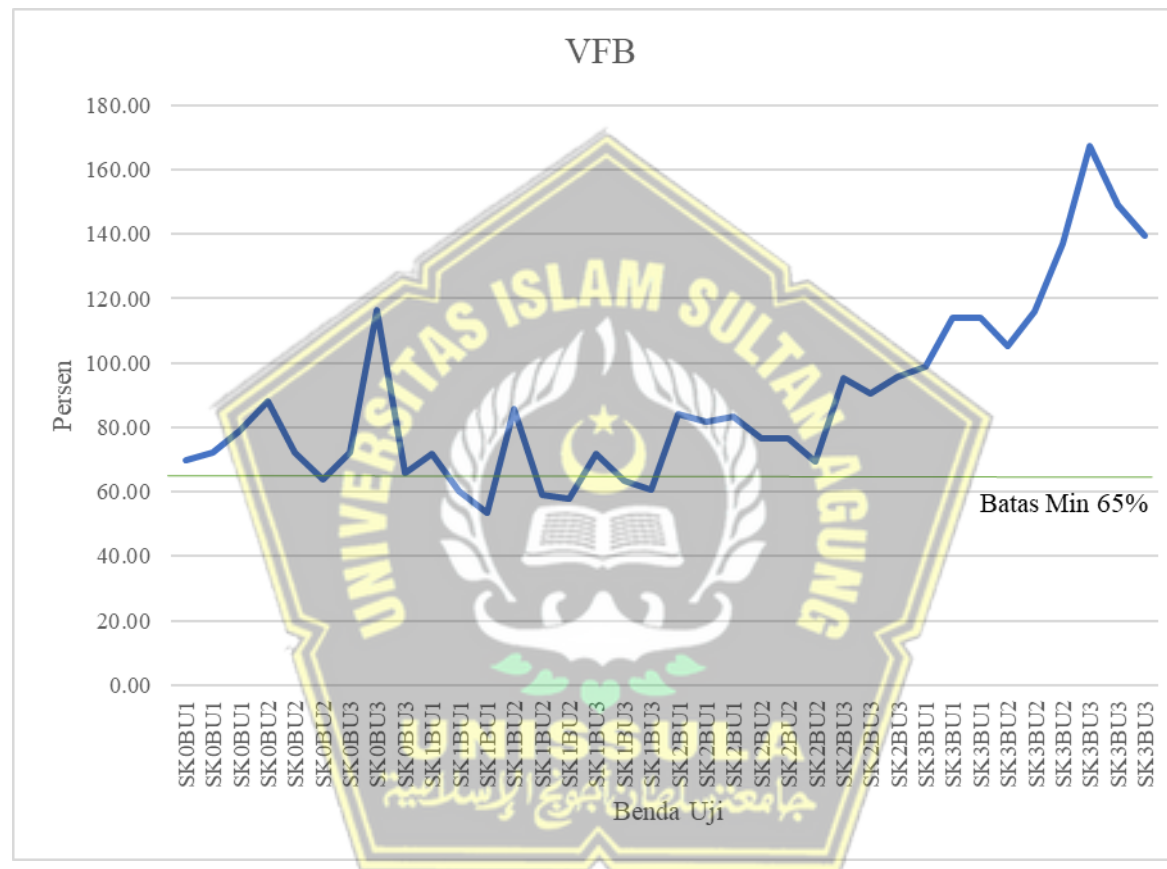
Grafik 4. 28 Grafik Hasil VMA

Berdasarkan Grafik **4.28** diatas semua variasi benda uji masuk kedalam spesifikasi nilai rongga dalam mineral agregat (VMA) yaitu minimal 15%.



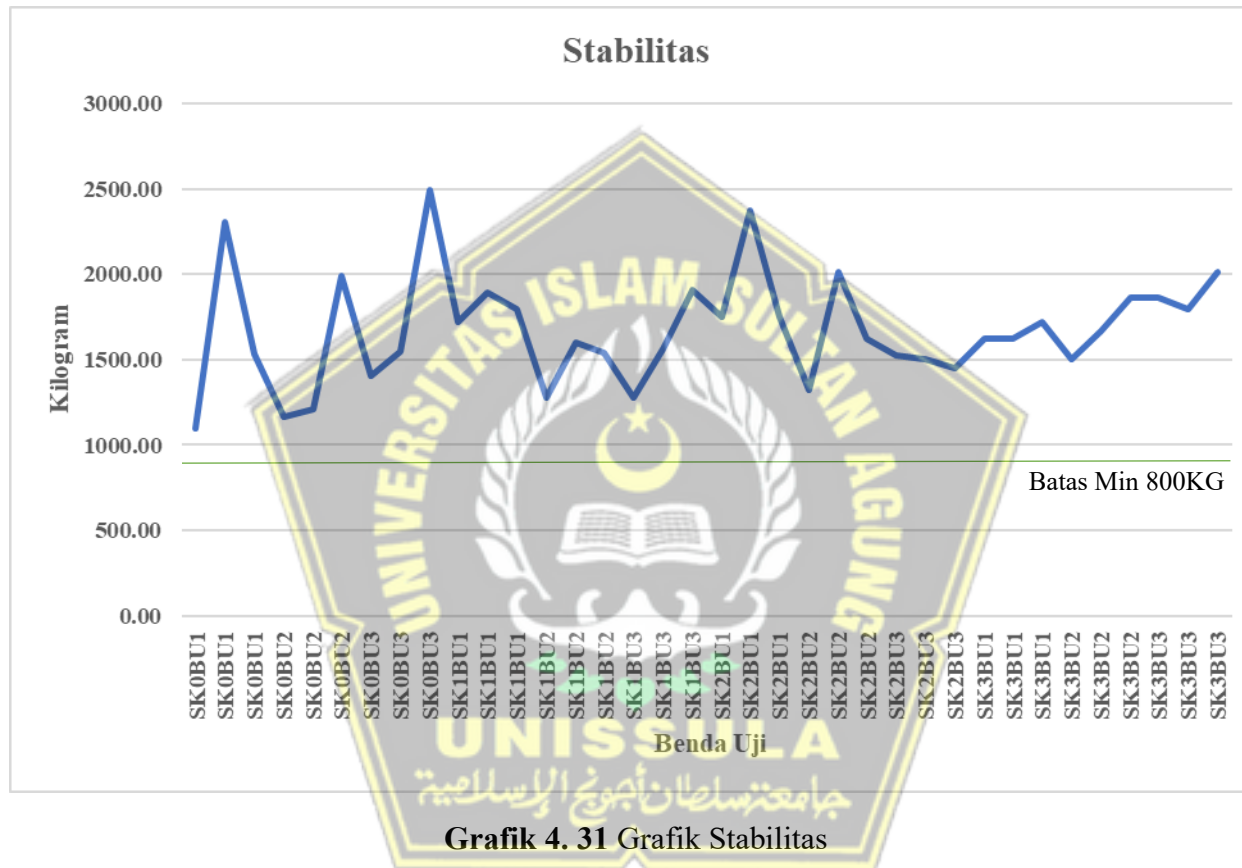
Grafik 4. 29 Grafik VIM

Berdasarkan Grafik **4.29** diatas terdapat 4 variasi benda uji yang masuk kedalam spesifikasi nilai rongga udara (VIM) yang sesuai spesifikasi nilai dengan VIM 3%-5%. Yaitu (SK0BU1), (SK1BU1), (SK2BU1), (SK2BU2)



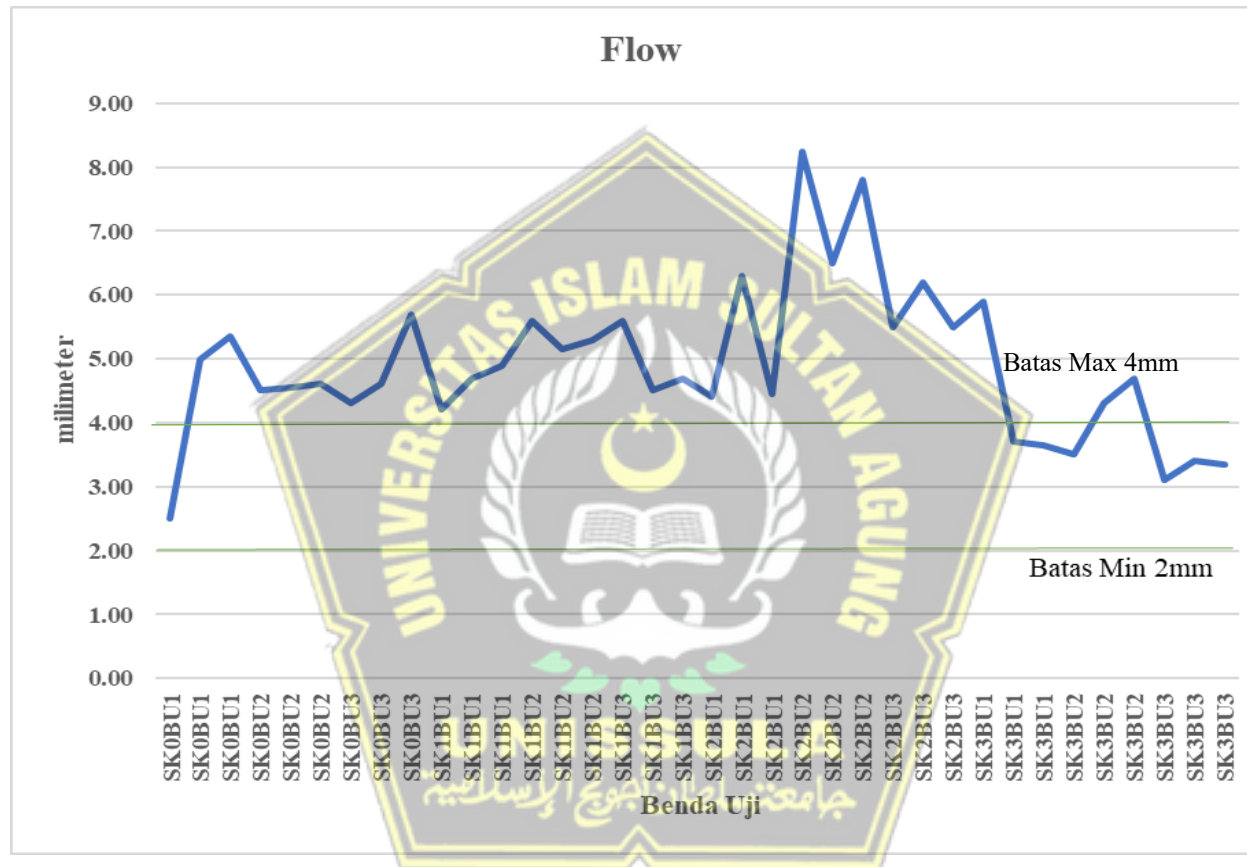
Grafik 4. 30 Grafik VFB

Berdasarkan Grafik 4.30 diatas terdapat 3 variasi benda uji yang tidak masuk kedalam spesifikasi nilai (VFB) yang sesuai spesifikasi nilai dengan VFB Min 65%. Yaitu (SK0BU2), (SK1BU1), (SK1BU2).



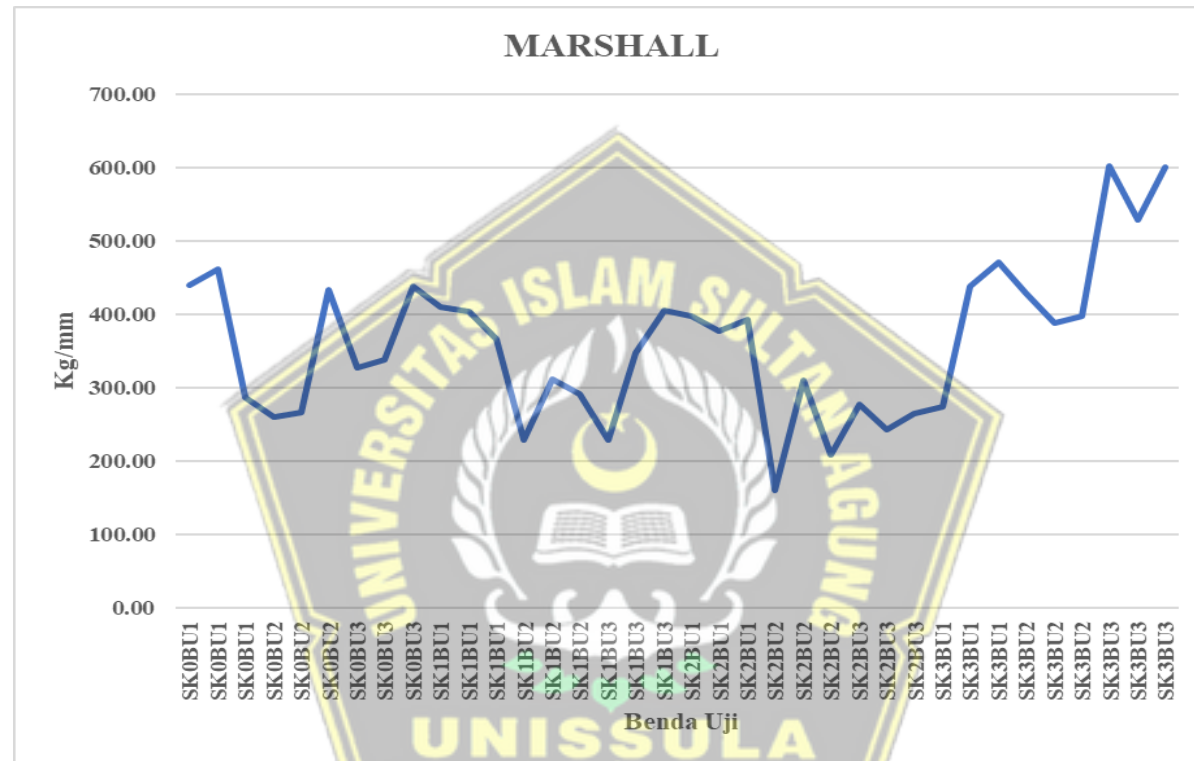
Grafik 4. 31 Grafik Stabilitas

Berdasarkan Grafik **4.31** diatas nilai stabilitas tertinggi berada diangka 2493,52 dari batas minimal 800kg



Grafik 4. 32 Grafik Flow

Berdasarkan Grafik 4.32 diatas terdapat 2 variasi benda uji yang memenuhi persyaratan flow. Dengan nilai antara 2-4mm. Yaitu (SK0BU1) dan (SK3BU3)



Grafik 4. 33 Grafik MQ

Berdasarkan Grafik 4.33 diatas nilai tertinggi untuk nilai Marshall yaitu di benda uji SK3BU3 dengan nilai 601,69Kg.

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 *job mix formula* pada pengujian marshall yang hampir memenuhi semua parameter dan terbaik yaitu pada variasi SK2BU1 (Serbuk Keramik 3% dan Natural Latex 2%) dengan nilai rongga udara (VIM) 3,79%, nilai rongga diantara agregat (VMA) 20,79%, rongga terisi aspal (VFB) 81,75%, stabilitas 2375,71 kg, kelelahan (flow) 4,40 mm, dan *marshall quention* (MQ) 377,10 kg/mm.
2. Stabilitas marshall tertinggi diperoleh pada variasi SK2BU1 (Serbuk Keramik 3% dan Natural Latex 2%) dengan nilai stabilitas sebesar 2375,71 kg.

5.2 Saran

Agar penelitian mendapatkan hasil sesuai apa yang diinginkan serta merekomendasikan untuk penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang harus diperhatikan, diantaranya:

1. Untuk peneliti selanjutnya perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk modifikasi variasi Serbuk Keramik dan Natural Latex agar mendapatkan nilai stabilitas yang terbaik.
2. Melakukan pengembangan terhadap modifikasi variasi penambahan material lain terhadap campuran AC-WC.
3. Ketika pengujian Marshall Test disarankan untuk menggunakan alat perekam digital agar hasil pembacaan stabilitas dan kelelahan dapat dibaca secara akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- (Amal, 2012)Al-Amri, F. (2013). Dengan Aspal Buton Lawele Pada Campuran Aspal Concrete Base Course (Ac-Bc) Menggunakan Metode Marshall Test. *RADIAL-Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 4(2), 181–190. <https://stitek-binataruna.e-journal.id/radial/article/view/137%0Ahttps://stitek-binataruna.e-journal.id/radial/article/download/137/123>
- Amal, A. S. (2012). Pemanfaatan Getah Karet Pada Aspal AC 60/70 Terhadap Stabilitas Marshall Pada Asphalt Treated Base (Atb). *Jurnal Media Teknik Sipil*, 9(1). <https://doi.org/10.22219/jmts.v9i1.1111>
- Arliningtyas, S., & Nadia, N. (2017). Analisa Kelayakan Limbah Keramik Sebagai Pengganti Agregat Halus Untuk Campuran Aspal Beton Ditinjau Dari Nilai Stabilitas Marshall. *Konstruksia*, 8(1), 47. <https://doi.org/10.24853/jk.8.1.47-59>
- ASRI, J., Kurniasari, F. D., & Bunyamin, B. (2022). pemanfaatan getah karet untuk substitusi aspal modifikasi lapisan asphalt concrete wearing course (Ac-wc) dengan metode basah. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*, 8(1), 60–68. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v8i1.5051>
- ASTM D 4791. (2019). Standard Test Method for Flat Particles, Elongated Particles, or Flat and Elongated Particles in Coarse Aggregate. *ASTM International*, i, 1–4.
- Badan Standardisasi Nasional. (2008). SNI 3407:2008 Cara uji sifat kekekalan agregat dengan cara perendaman menggunakan larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat. *Badan Standarisasi Nasional*.
- Bamher, B. G. (2020). Analisis tebal perkerasan lentur menggunakan metode manual desain perkerasan jalan 2017 pada proyek jalan baru batas kota singaraja-mengwitani, buleleng. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia (Jtsc)*, 1–43.
- Bina Marga. (2018). *General Spesification of Indonesia Highways and Bridges*. 104.
- Darmawan, R., & Lizar, L. (2020). PERENCANAAN TEBAL PERKERASAN KAKU (RIGID PAVEMENT) MENGGUNAKAN METODE BM - 2017. *Jurnal TeKLA*, 2(2), 97. <https://doi.org/10.35314/tekla.v2i2.1823>
- Gul, W. A., & Guler, M. (2014). Rutting susceptibility of asphalt concrete with recycled concrete aggregate using revised Marshall procedure. *Construction and Building Materials*, 55, 341–349. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.01.043>
- Hartono, J., Dian Eksana, W., & Fajari, A. (2020). PENGARUH VARIASI BAHAN TAMBAH KAWAT BENDRAT DAN FILLER ABU SEKAM PADI PADA LASTON (AC-BC) TERHADAP dari lapis aspal beton dalam menerima dan VMA yang tinggi akan mempunyai Faktor-faktor. 16(2), 124–131.

- Hermansyah, H., Suryanto, D., & Rasdiati, R. (2022). Pengaruh Penambahan Serbuk Limbah Keramik Terhadap Peningkatan Nilai Kuat Tekan Beton. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 5(1), 113. <https://doi.org/10.31602/jk.v5i1.7234>
- Latif, A., Irwan, Rusdi, M., Mustanir, A., & Sutrisno, M. (2019). Partisipasi Masyarakat Dalam Pembangunan Infrastruktur Di Desa Timoreng Panua Kecamatan Panca Rijang Kabupaten Sidenreng Rappang. *Jurnal MODERAT*, 5(1), 1–15. <https://jurnal.unigal.ac.id/index.php/moderat/article/view/1898>
- Nasional, B. S. (2008). SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20.
- PermenPUPR05-2018. (n.d.).
- Priana, S. E. (2018). EISSN 2599-2090 Fak . Teknik UMSB. *PERbandingan Kuat Tekn Beton Antara Campuran Agregat Kasar Batu Pecah (Split) Dengan Batu Alam Palembang Untuk Beton Struktur*, I(1), 53.
- Purnama, A. (2019). Pengaruh Pendekatan Taktis dan Teknik dalam pembelajaran Permainan Sepak Bola (Study Eksperimen pada siswa kelas V SDN 150 GATOT SUBROTO). *Molecules*, 9(1), 23.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. (1990). Metode Pengujian Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. SNI 03-1968-1990. *Bandung: Badan Standardisasi Indonesia*, 1–17.
- Rulhendri, & Nurdiansyah. (2016). Perencanaan Perkerasan dan Peningkatan Geometrik Jalan. *Astonjadro*, 5(1), 1–10.
- Setiawan, D. (2019). Kompterisasi Perhitungan Parameter Marshall Untuk Rancangan Campuran Beton Aspal. *Jurnal Teknik Sipil*, 4(1), 9–27. <https://doi.org/10.28932/jts.v4i1.1293>
- Situmorang, A., Pratomo, P., & Herianto, D. (2016). Variasi Jumlah Tumbukan Terhadap Uji Karakteristik Marshall Untuk Campuran Laston (AC-BC). *Jrsdd*, 4(1), 89–98.
- SNI 1970. (2008). Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 7–18.
- SNI 2417-2008. (2008). Cara uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–20.
- Sulila, W. (2015). Analisa Mutu Material Aspal Retona Blend 55 Dan Aspal Minyak. *Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, 3(1), 29–34.
- Sulistyo, J. A. (2019). *Analisi Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) Terhadap Aspal Wearing Course*. <http://repository.unissula.ac.id/20551/>
- Susilowati, A., Wiyono, E., & Pratikno. (2021). Pemanfaatan Limbah Plastik sebagai Bahan Tambah pada Beton Aspal Campuran Panas [Utilization of Plastic Waste as an Additive in Hot Mixed Asphalt Concrete]. *Bangun Rekaprima*, 7(2), 15–23.

- Syahada, A. M., & Aula, L. K. (2024). *Analisa Aspal Wearing Course (AC-WC) Modifikasi dengan Bahan Tambah Fly Ash (Substitusi Abu Batu) dan Tanah (Substitusi Pasir)*. <https://repository.unissula.ac.id/34361/>
- Yamali, F. R., Nuklirullah, M., & Saparudin, A. R. (2019). Kajian Perkerasan Jalan Menggunakan Metode Analisa Komponen (Studi Kasus Peningkatan Jalan Simpang Talang Babat – Pangkal Bulian Kabupaten Tanjung Jabung Timur). *Jurnal Talenta Sipil*, 2(2), 57. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v2i2.19>

