

TUGAS AKHIR

ANALISIS ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH SERBUK BESI DAN RESIN UNTUK PERKERASAN JALAN

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



Disusun oleh :

Aizh Devi Fitridiana
30202100022

Bunga Permata Ellendra
30202100056

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH SERBUK BESI DAN RESIN UNTUK PERKERASAN JALAN

Diajukan oleh:



Aizh Devi Fitridiana
30202100022



Bunga Permata Ellendra
30202100056

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 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

Muhamad Ruli Ahyar, ST., M.Eng

NIDN: 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 16 / A.2 / SA -T / IX / 2024

Pada hari ini tanggal 14 Desember 2024 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 :

Aizh Devi Fitridiana

30202100022

Bunga Permata Ellendra

30202100056

Judul : "ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH SERBUK BESI DAN RESIN UNTUK PERKERASAN JALAN".

Denga tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	23 September 2024	ACC
2	Seminar Proposal	19 November 2024	ACC
3	Pengumpulan Data	1 Desember 2024	ACC
4	Analisis Data	15 Desember 2024	ACC
5	Penyusunan Laporan	30 Desember 2024	ACC
6	Selesai Laporan	12 Januari 2025	ACC

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

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dosen Pembimbing

Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST, MT

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M. Eng

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Aizh Devi Fitridiana
NIM : 30202100022
2. NAMA : Bunga Permata Ellendra
NIM : 30202100056

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

ANALISIS ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH SERBUK BESI DAN RESIN 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, Januari 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Aizh Devi Fitridiana

30202100022



Bunga Permata Ellendra

30202100056

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Aizh Devi Fitridiana
NIM : 30202100022
2. NAMA : Bunga Permata Ellendra
NIM : 30202100056

JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH SERBUK BESI DAN RESIN 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 akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, Januari 2025

Yang Membuat Pernyataan,



Aizh Devi Fitridiana
30202100022



Bunga Permata Ellendra
30202100056

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ
أَمَّنْ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ

“Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik”. (Qs. Ali Imran : 110)

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبَثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكِدًّا كَذَلِكَ نُصَرِّفُ الْآيَاتِ لِقَوْمٍ
يَشْكُرُونَ

“Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan izin Tuhan; dan tanah yang buruk, tanaman-tanamannya yang tumbuh merana. Demikianlah Kami menjelaskan berulang-ulang tanda-tanda (kebesaran Kami) bagi orang-orang yang bersyukur”. (Qs. Al A’raf : 58)

مِنْهَا خَلَقْنَاكُمْ وَفِيهَا نُعِيدُكُمْ وَمِنْهَا نُخْرِجُكُمْ تَارَةً أُخْرَى ﴿٥٨﴾

“Darinya (tanah) itulah Kami menciptakan kamu dan kepadanyalah Kami akan mengembalikan kamu dan dari sanalah Kami akan mengeluarkan kamu pada waktu yang lain”. (Qs. At Taha :55)

“Maka jika kamu tidak dapat membuat(Nya) – dan pasti kamu tidak akan dapat membuat(Nya), peliharalah dirimu dari neraka yang bahan bakarnya manusia dan batu, yang disediakan bagi orang-orang kafir” (Q.S. Al-Baqarah : 24)

"Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan Bersama kesempitan, dan kesulitan bersama kemudahan". (HR Tirmidzi)

“waktu itu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu”. (HR. Muslim)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Saya persembahkan laporan tugas akhir ini kepada :

1. Kepada kedua orang tua saya Ayahanda Suparman dan Ibunda Nurifah yang selalu mendoakan untuk kebaikan anak-anaknya, selalu memberikan kasih sayang, cinta, dukungan dan motivasi. Suatu kebanggaan memiliki orang tua yang selalu mendukung anaknya untuk memcapi cita-cita.
2. Saudara kandung saya Fajar Chaerul Anam, Afif Budiarto, Arif Triyatma Widada, dan Andika Catur Wicaksono serta kakak ipar saya Hevi Eka, Wahyu Fajarwati, Dilla Wulandari, dan Zullekha yang turut menberika dukungan. Tak lupa lima keponakan saya yang selalu menghibur ketika penulis merasa jenuh dan bosan
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST,MT. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir. Terimakasih telah memberi bimbingan, nasihat, dan dukungan hingga bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Partner tugas akhir saya Bunga Permata Ellendra yang selalu menemani serta berjuang bersama dalam mengerjakan tugas akhir ini.
5. Pengurus Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu penulis dalam melakukan kegiatan penelitian.
6. Kepada pemilik NRP 205803026 terimakasih telah berjasa dalam penulisan tugas akhir, yang selalu menemani dalam suka dan duka serta selalu mendengarkan keluh kesah penulis.
7. Teman-teman penulis yang tidak dapat dapat disebutkan satu persatu tapi selalu memberikan dukungan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.

Aizh Devi Fitridiana

30202100022

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW. Saya persembahkan laporan tugas akhir ini kepada :

1. Cinta pertama dan pintu surgaku, ayahanda Hendro Suwoyo dan Ibunda Elik Ermawati. Beliau memang tidak sempat merasakan Pendidikan sampai bangku perkuliahan, namun beliau bekerja keras serta mendidik, memberi motivasi, memberikan dukungan sehingga Bunga mampu menyelesaikan program studi sampai Sarjana.
2. Adik tercinta Sherlita Zivanna Ellendra. Terimakasih atas dukungan serta memberikan do'a dan kasih sayang yang luar biasa.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST,MT. Selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir. Terimakasih telah memberi bimbingan, nasihat, dan dukungan hingga bisa menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Partner tugas akhir saya Aizh Devi Fitridiana yang selalu menemani serta berjuang bersama dalam mengerjakan tugas akhir ini.
5. Pengurus Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu penulis dalam melakukan kegiatan penelitian.
6. Kepada Nim 30202100055, terima kasih karena selalu menemani dalam keadaan suka maupun duka, yang selalu mendengarkan keluh kesah serta memberikan dukungan dan masukan hingga saat ini.
7. Teman-teman penulis yang tidak dapat dapat disebutkan satu persatu tapi selalu memberikan dukungan selama penulis mengerjakan Tugas Akhir.

Bunga Permata Ellendra

30202100056

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “ Analisa *Asphalt Concrete Wearing Coarse* (AC-WC) Dengan Bahan Serbuk Besi dan Resin Untuk Perkerasan Jalan.” guna untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis memperoleh bantuan dari beberapa pihak, dalam kesempatan kali ini kami ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST.,M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu dalam urusan akademik.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan wawasan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menempuh Program Studi S-1 Teknik Sipil.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang, Januari 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR GRAFIK	xviii
ABSTRAK	xx
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian.....	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Lokasi Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Klasifikasi jalan	6
2.1.1 Jalan Arteri.....	6
2.1.2 Jalan Kolektor.....	6
2.1.3 Jalan Lokal.....	6
2.1.4 Jalan Lingkungan.....	7

2.2	Jenis Perkerasan Jalan.....	7
2.2.1	Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>).....	7
2.2.2	Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>).....	7
2.2.3	Perkerasan Komposit (<i>Composite Pavement</i>)	8
2.3	Struktur Perkerasan Jalan Lentur.....	8
2.3.1	Tanah Dasar (<i>Subgrade</i>).....	9
2.3.2	Lapis Pondasi Bawah (<i>Subbase Course</i>).....	9
2.3.3	Lapis Pondasi Atas (<i>Base Course</i>)	10
2.3.4	Lapis Permukaan (<i>Surface Course</i>).....	10
2.4	Aspal, Agregat, dan Bahan Pengisi	11
2.4.1	Definisi Aspal	11
2.4.2	Jenis-Jenis Lapisan Aspal	11
2.4.3	Jenis-Jenis Agregat	13
2.4.4	Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	15
2.5	Sifat Bahan Tambah Pada Aspal	15
2.5.1	Karakteristik Serbuk Besi	15
2.5.2	Manfaat Penggunaan Serbuk Besi.....	16
2.5.3	Resin <i>Epoxy</i>	17
2.6	Metode Pengujian <i>Marshall</i>	18
2.6.1	Prinsip Pengujian <i>Marshall</i>	18
2.6.2	Formula untuk Menghitung Parameter-parameter <i>Marshall</i>	19
2.6.3	Parameter yang Diuji.....	21
2.7	Penelitian Terdahulu.....	24
BAB III METODOLOGI		30
3.1	Tipe Penelitian	30
3.2	Bahan Penelitian	30
3.3	Peralatan Pengujian Material.....	31
3.3.1	Berat jenis	31
3.3.2	Analisa Saringan.....	32
3.4	Pengujian Aspal.....	34
3.4.1	Penetrasi.....	34
3.4.2	Titik Lembek (<i>Softening Point</i>)	35

3.5	Rancangan Penelitian.....	36
3.6	Tahap Pelaksanaan Penelitian.....	37
3.7	Menentukan Sampel	41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Persiapan Material	48
4.2	Hasil pengujian Laboratorium	49
4.2.1	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal	49
4.2.2	Hasil Pengujian Agregat	49
4.2.3	Hasil Pengujian Analisa Saringan	50
4.3	Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat	53
4.4	Pengujian Berat Jenis Aspal	55
4.4.1	Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal Normal.....	55
4.4.2	Hasil Pengujian Berat Jenis Dengan Campuran Serbuk Besi dan Resin.....	57
4.5	Hasil Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi	62
4.5.1	Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	62
4.5.2	Ringkasan Hasil Pengujian AC-WC.....	65
4.6	Hasil Pemeriksaan <i>Marshall</i>	65
4.6.1	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 0% dan Resin 0%	65
4.6.2	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 0% dan Resin 2%	67
4.6.3	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 0% dan Resin 4%	68
4.6.4	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 0% dan Resin 6%	70
4.6.5	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 2% dan Resin 0%	71
4.6.6	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 2% dan Resin 2%	73
4.6.7	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 2% dan Resin 4%	74
4.6.8	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 2% dan Resin 6%	76
4.6.9	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 4% dan Resin 0%	77
4.6.10	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 4% dan Resin 2%.....	79
4.6.11	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 4% dan Resin 4%.....	80
4.6.12	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 4% dan Resin 6%.....	82
4.6.13	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 6% dan Resin 0%.....	83
4.6.14	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 6% dan Resin 2%.....	85
4.6.15	Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 6% dan Resin 4%.....	86

4.6.16 Hasil <i>Marshall</i> Serbuk Besi 6% dan Resin 6%.....	88
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	94
5.1 Kesimpulan	94
5.2 Saran	94
DAFTAR PUSTAKA.....	95
LAMPIRAN.....	97



DAFTAR TABEL

xiv

Tabel 3.20	Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 6% dan Resin 2%....	45
Tabel 3.21	Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 6% dan Resin 4%....	46
Tabel 3.22	Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 6% dan Resin 6%....	46
Tabel 3.23	Perhitungan Jumlah Sampel Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	47
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Aspal	49
Tabel 4.2	Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat	50
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Kasar $\frac{3}{4}$	51
Tabel 4.4	Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Kasar $\frac{1}{2}$	51
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Halus (abu batu)	52
Tabel 4.6	Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Halus (pasir)	52
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan <i>Filler</i> (semen)	53
Tabel 4.8	Perhitungan Kombinasi Agregat (SNI 03-1968-1990).....	53
Tabel 4.9	Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan (SNI 03-1968-1990).....	54
Tabel 4.10	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum Komposisi Normal .	56
Tabel 4.11	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum Komposisi Normal .	56
Tabel 4.12	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal dengan Serbuk Besi dan Resin.....	57
Tabel 4.13	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal dengan Serbuk Besi dan Resin.....	58
Tabel 4.14	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal dengan Serbuk Besi dan Resin.....	59
Tabel 4.15	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal Dengan Serbuk Besi dan Resin.....	60
Tabel 4.16	Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal Dengan Serbuk Besi dan Resin.....	61
Tabel 4.17	Hasil Pengujian Kadar Aspal	62
Tabel 4.18	Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum	63
Tabel 4.19	Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 0% dan Resin 0%	66
Tabel 4.20	Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 0% dan Resin 2%	67

Tabel 4.21 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 0% dan Resin 4%	69
Tabel 4.22 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 0% dan Resin 6%	70
Tabel 4.23 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 2% dan Resin 0%	72
Tabel 4.24 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 2% dan Resin 2%	73
Tabel 4.25 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 2% dan Resin 4%	75
Tabel 4.26 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 2% dan Resin 6%	76
Tabel 4.27 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 4% dan Resin 0%	78
Tabel 4.28 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 4% dan Resin 2%	79
Tabel 4.29 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 4% dan Resin 4%	81
Tabel 4.30 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 4% dan Resin 6%	82
Tabel 4.31 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 6% dan Resin 0%	84
Tabel 4.32 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 6% dan Resin 2%	85
Tabel 4.33 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 6% dan Resin 4%	87
Tabel 4.34 Hasil <i>Marshall</i> Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 0% dan Resin 6%	88
Tabel 4.35 Rekapitulasi Rata-rata Komposisi Serbuk Besi dan Resin dengan Aspal	90

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Lentur	7
Gambar 2.2 Lapisan Perkerasan Kaku	8
Gambar 2.3 Lapisan Perkerasan Komposit	8
Gambar 2.4 Lapisan Perkerasan Lentur	9
Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian.....	36
Gambar 4.1 Pengambilan Serbuk Besi	48
Gambar 4.2 Pengambilan Material.....	49



DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Kombinasi Agregat.....	54
Grafik 4.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum	64
Grafik 4.3 Stabilitas Serbuk Besi 0% dan Resin 0%	66
Grafik 4.4 <i>Flow</i> Serbuk Besi 0% dan Resin 0%	66
Grafik 4.5 VIM Serbuk Besi 0% dan Resin 0%	67
Grafik 4.6 Stabilitas Serbuk Besi 0% dan Resin 2%	67
Grafik 4.7 <i>Flow</i> Serbuk Besi 0% dan Resin 2%	68
Grafik 4.8 VIM Serbuk Besi 0% dan Resin 2%	68
Grafik 4.9 Stabilitas Serbuk Besi 0% dan Resin 4%	69
Grafik 4.10 <i>Flow</i> Serbuk Besi 0% dan Resin 4%	69
Grafik 4.11 VIM Serbuk Besi 0% dan Resin 4%	70
Grafik 4.12 Stabilitas Serbuk Besi 0% dan Resin 6%	70
Grafik 4.13 <i>Flow</i> Serbuk Besi 0% dan Resin 6%	71
Grafik 4.14 VIM Serbuk Besi 0% dan Resin 6%	71
Grafik 4.15 Stabilitas Serbuk Besi 2% dan Resin 0%	72
Grafik 4.16 <i>Flow</i> Serbuk Besi 2% dan Resin 0%	72
Grafik 4.17 VIM Serbuk Besi 2% dan Resin 0%	73
Grafik 4.18 Stabilitas Serbuk Besi 2% dan Resin 2%	73
Grafik 4.19 <i>Flow</i> Serbuk Besi 2% dan Resin 2%	74
Grafik 4.20 VIM Serbuk Besi 2% dan Resin 2%	74
Grafik 4.21 Stabilitas Serbuk Besi 2% dan Resin 4%	75
Grafik 4.22 <i>Flow</i> Serbuk Besi 2% dan Resin 4%	75
Grafik 4.23 VIM Serbuk Besi 2% dan Resin 4%	76
Grafik 4.24 Stabilitas Serbuk Besi 2% dan Resin 6%	76
Grafik 4.25 <i>Flow</i> Serbuk Besi 2% dan Resin 6%	77
Grafik 4.26 VIM Serbuk Besi 2% dan Resin 6%	77
Grafik 4.27 Stabilitas Serbuk Besi 4% dan Resin 0%	78

Grafik 4.28 <i>Flow</i> Serbuk Besi 4% dan Resin 0%	78
Grafik 4.29 VIM Serbuk Besi 4% dan Resin 0%	79
Grafik 4.30 Stabilitas Serbuk Besi 4% dan Resin 2%	79
Grafik 4.31 <i>Flow</i> Serbuk Besi 4% dan Resin 2%	80
Grafik 4.32 VIM Serbuk Besi 4% dan Resin 2%	80
Grafik 4.33 Stabilitas Serbuk Besi 4% dan Resin 4%	81
Grafik 4.34 <i>Flow</i> Serbuk Besi 4% dan Resin 4%	81
Grafik 4.35 VIM Serbuk Besi 4% dan Resin 4%	82
Grafik 4.36 Stabilitas Serbuk Besi 4% dan Resin 6%	82
Grafik 4.37 <i>Flow</i> Serbuk Besi 4% dan Resin 6%	83
Grafik 4.38 VIM Serbuk Besi 4% dan Resin 6%	83
Grafik 4.39 Stabilitas Serbuk Besi 6% dan Resin 0%	84
Grafik 4.40 <i>Flow</i> Serbuk Besi 6% dan Resin 0%	84
Grafik 4.41 VIM Serbuk Besi 6% dan Resin 0%	85
Grafik 4.42 Stabilitas Serbuk Besi 6% dan Resin 2%	85
Grafik 4.43 <i>Flow</i> Serbuk Besi 6% dan Resin 2%	86
Grafik 4.44 VIM Serbuk Besi 6% dan Resin 2%	86
Grafik 4.45 Stabilitas Serbuk Besi 6% dan Resin 4%	87
Grafik 4.46 <i>Flow</i> Serbuk Besi 6% dan Resin 4%	87
Grafik 4.47 VIM Serbuk Besi 6% dan Resin 4%	88
Grafik 4.48 Stabilitas Serbuk Besi 6% dan Resin 6%	88
Grafik 4.49 <i>Flow</i> Serbuk Besi 6% dan Resin 6%	89
Grafik 4.50 VIM Serbuk Besi 6% dan Resin 6%	89
Grafik 4.51 Rekapitulasi Stabilitas Campuran Aspal	93
Grafik 4.52 Rekapitulasi <i>Flow</i> Campuran Aspal	93
Grafik 4.53 Rekapitulasi VIM Campuran Aspal	93

ABSTRAK

Salah satu komponen utama dalam perancangan dan pembangunan infrastruktur jalan adalah perkerasan jalan. Permasalahan yang selalu muncul pada perkerasan jalan di Indonesia adalah kerusakan yang diakibatkan oleh pertumbuhan populasi, sehingga menyebabkan kerusakan yang lebih cepat karena semakin berkurangnya kemampuan jalan dalam menopang beban dan kapasitas kendaraan yang diterima. Tujuan dari penelitian yaitu untuk menganalisis *Job Mix Formula* terbaik dan mengetahui persentase serbuk besi dan resin untuk mencapai standar yang baik.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen dengan percobaan campuran aspal dengan bahan tambah serbuk besi sebesar 0%, 2%, 4%, 6% dan resin sebesar 0%, 2%, 4%, 6% untuk mendapatkan hasil yang baik. Pengujian yang akan dilakukan yaitu *Marshall Test* dengan 7 Parameter yaitu, *Stability*, *Flow*, VIM, VMA, VFA, *Density* dan MQ.

Stabilitas yang paling terbaik yaitu S6R4 (Serbuk Besi 6% dan Resin 4%) dengan nilai 1083,14 kg, *Flow* 3,90 mm dan VIM 3,65%. 2. Semua campuran aspal dengan penambahan serbuk besi dan resin tetap stabil dan memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 kecuali variasi serbuk besi 0% resin 4% yang tidak memenuhi yaitu nilai Stabilitas 657,74 kg dan serbuk besi 0% resin 6% yang tidak memenuhi yaitu nilai Stabilitas 631,56 dan nilai MQ 233,91 kg/mm.

Kata Kunci: *Asphalt Concrete Wearing Course*; serbuk besi; resin

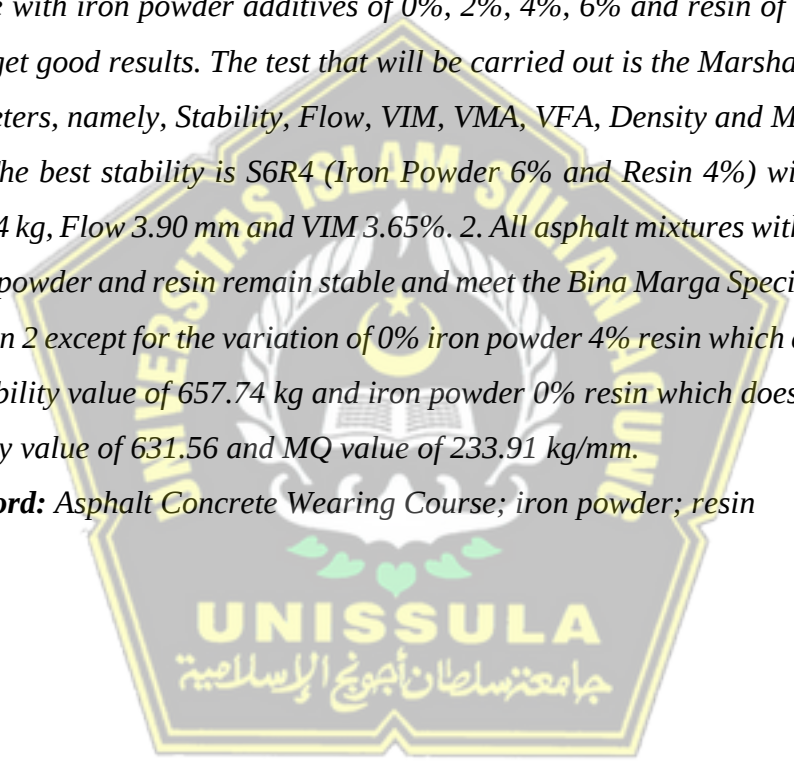
ABSTRACT

One of the main components in the design and development of road infrastructure is road pavement. The problem that always arises in road pavement in Indonesia is damage caused by population growth, causing faster damage due to the decreasing ability of the road to support the load and capacity of the vehicles received. The purpose of the study is to analyze the best Job Mix Formula and find out the percentage of iron powder and resin to achieve a good standard.

This study uses an experimental method with an experiment with asphalt mixture with iron powder additives of 0%, 2%, 4%, 6% and resin of 0%, 2%, 4%, 6% to get good results. The test that will be carried out is the Marshall Test with 7 parameters, namely, Stability, Flow, VIM, VMA, VFA, Density and MQ.

The best stability is S6R4 (Iron Powder 6% and Resin 4%) with a value of 1083.14 kg, Flow 3.90 mm and VIM 3.65%. 2. All asphalt mixtures with the addition of iron powder and resin remain stable and meet the Bina Marga Specification 2018 Revision 2 except for the variation of 0% iron powder 4% resin which does not meet the Stability value of 657.74 kg and iron powder 0% resin which does not meet the Stability value of 631.56 and MQ value of 233.91 kg/mm.

Key Word: Asphalt Concrete Wearing Course; iron powder; resin



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Dalam meningkatkan konektivitas, mobilitas serta pertumbuhan ekonomi di Indonesia, infrastruktur jalan merupakan bagian integral yang memegang peranan penting. Salah satu komponen utama dalam perancangan dan pembangunan infrastruktur jalan adalah perkerasan jalan. Permasalahan yang selalu muncul pada perkerasan jalan di Indonesia adalah kerusakan yang diakibatkan oleh pertumbuhan populasi, sehingga menyebabkan kerusakan yang lebih cepat karena semakin berkurangnya kemampuan jalan dalam menopang beban dan kapasitas kendaraan yang diterima. Perkerasan jalan yang baik akan memudahkan pergerakan kendaraan dan mengurangi biaya pemeliharaan jalan apabila masalah ini terjadi. Peningkatan kualitas aspal sebagai bahan pengikat agregat merupakan salah satu cara untuk meningkatkan kualitas permukaan jalan.

Adanya urgensi dilakukannya penelitian aspal AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) untuk kehidupan masyarakatnya, yaitu demi keamanan lalu lintas harus dipastikan bahwa permukaan jalan dapat memberikan traksi yang baik terutama dalam cuaca buruk karena jalan yang baik dan berkualitas tinggi dapat mengurangi risiko kecelakaan, dengan memahami karakteristik aspal AC-WC penelitian ini membantu mengembangkan material yang lebih tahan lama sehingga jalan yang tahan lama mengurangi frekuensi perbaikan dan mengurangi biaya masyarakat. infrastruktur jalan yang baik dapat meningkatkan kualitas hidup masyarakat dengan memudahkan mobilitas, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan akses ke berbagai layanan.

Agregat merupakan elemen penting dalam sebuah konstruksi yang terdiri dari batu, pasir, kerikil dan yang lainnya yang digunakan sebagai komponen utama dalam pembuatan aspal. Klasifikasi agregat terbagi menjadi dua, yaitu agregat kasar yang umumnya berukuran lebih besar dari 4,75 mm seperti kerikil dan batu pecah dan agregat halus yang berukuran lebih kecil dari 4,75 mm seperti pasir. Kelebihan menggunakan agregat pada sebuah konstruksi yaitu dapat memberikan kekauan, mengurangi biaya, dan memperbaiki sifat campuran.

Di suatu daerah seringkali terjadi kekurangan akan ketersediaan bahan baku alam untuk pembangunan infrastruktur. Telah diketahui bahwa bahan baku material agregat kasar dan halus diperoleh dari eksplorasi batu alam, jika konsumsinya terus meningkat maka akan terjadi kerusakan lingkungan apabila terus diambil secara berlebihan. Oleh karena itu, pemanfaatan bahan alternatif sebagai bahan tambah campuran aspal, seperti serbuk besi dan resin, harus dibarengi dengan penggunaan agregat alami untuk mencapai keseimbangan yang diinginkan.

Menurut (Khalamudillah et al., 2017) besi adalah logam yang paling banyak ditemukan di alam dan diketahui merupakan unsur yang paling banyak membentuk kerak bumi, dengan porsi kira-kira 4,7% hingga 5%. Sebagian besar, besi ditemukan dalam bentuk oksida besi, seperti magnetit (Fe_3O_4) yang mengandung 65% besi, hematit (Fe_2O_3) yang mengandung 60% hingga 75% besi, limonit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) yang mengandung 20% besi, dan siderit (Fe_2CO_3) mengandung 10% besi.

Resin adalah cairan yang terbuat dari bahan alami yaitu getah pohon yang dapat mengeras dan senyawa kimia. Resin, yang berasal dari campuran kimia, dapat berkembang dan membantu produsen produk yang terbuat dari resin. Resin digunakan dalam campuran aspal untuk meningkatkan kualitas dan performa lapisan perkerasan jalan. Ada beberapa jenis resin, yaitu: resin epoxy, resin polyester, resin polyurethane, resin akrilik, resin urea-formaldehyde, resin polietilen, resin polistiren, resin polikarbonat, dan resin fenolik. Resin bisa digunakan untuk tambahan komposisi pada campuran aspal yaitu resin *epoxy* adalah resin sintesis terdiri dari dua bagian utama yaitu resin dan pengeras. Resin *epoxy* dikenal karena kekuatannya yang kuat dan kedap air. Untuk bahan tambah komposisi serbuk besi menggunakan kadar 0%, 2%, dan 4% sedangkan untuk resin menggunakan kadar 0%, 2%, 4%, dan 6%.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan pada informasi sebelumnya, rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil job mix formula terbaik?
2. Ketika campuran aspal ditambahkan dengan serbuk besi dan resin, apakah campuran aspal tetap stabil?

1.3 Tujuan Penelitian

Rumusan masalah yang didapat berdasarkan latar belakang sebagai berikut:

1. Menganalisis *Job Mix Formula* terbaik dari *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* dengan serbuk besi dan resin untuk perkerasan jalan.
2. Mengetahui persentase serbuk besi dan resin yang sesuai untuk mencapai standar yang baik untuk tambahan pada *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah beberapa keuntungan dari penelitian yang kami lakukan, serta diharapkan dapat bermanfaat bagi peneliti dan pembaca baik secara langsung maupun tidak langsung.

1. Manfaat Teoritis

Melalui penelitian ini, peneliti berharap dapat memperoleh pengetahuan dan wawasan tambahan dalam menganalisa ketahanan dari perkerasan AC-WC dengan tambahan serbuk besi dan resin.

2. Manfaat Praktis

Untuk manfaat secara praktis peneliti mengharapkan penelitian ini dapat bermanfaat sebagai berikut:

a. Bagi Peneliti

Diharapkan penelitian ini akan menambah pengetahuan dan wawasan mengenai penelitian dari pengaruh serbuk besi dan resin pada perkerasan *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* yang digunakan sebagai tambahan dan menjadi bekal sebagai bahan pembelajaran nantinya saat pelaksanaan suatu proyek konstruksi.

b. Bagi Masyarakat

Diharapkan penelitian ini menjadi referensi analisa durabilitas perkerasan *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)* dengan serbuk besi dan resin sebagai tambahan campuran aspal pada kadar yang bervariasi dalam campuran aspal berdasarkan prosedur pengujian standar SNI bagi masyarakat.

c. Bagi Dunia Konstruksi

Bagi dunia konstruksi diharapkan penelitian ini dapat digunakan implikasinya dalam pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas dan tahan lama. Serta

pembuat kebijakan dalam pengembangan dan pemeliharaan perkerasan jalan yang efisien dan berkelanjutan.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian pada penyusunan proposal Tugas Akhir ini terencana dan terarah maka dilakukan pembatasan masalah pada ruang lingkup penelitian. Berikut adalah batasan-batasan dalam penelitian. Ruang lingkup penelitian meliputi:

1. Analisis karakteristik material yang digunakan dalam campuran aspal beton, termasuk agregat, *filler*, dan bahan tambah.
2. Menggunakan bahan tambahan yaitu serbuk besi yang diambil dari CV. Akur Jaya Tambak Aji dan resin.
3. Variasi penambahan serbuk besi 0%, 2%, 4%, 6% dan resin 0%, 2%, 4%, 6%.
4. Dilakukan dengan menggunakan pengujian *Marshall Test*.
5. Lokasi penelitian hanya dilakukan di Laboratorium Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan tidak dilakukan penghampanan pada lapangan.

1.6 Lokasi Penelitian

Selama tugas akhir, lokasi yang digunakan adalah Laboratorium Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika disusun sebagai pedoman penulisan agar tetap terarah untuk mencapai tujuan penelitian sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Bab ini memberikan gambaran umum tentang latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan proses penelitian.

BAB II : TINJAUAN PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang adanya aspek legalitas dan teknis yang berkaitan dengan analisis dalam penelitian, pengembangan berkelanjutan

dari teori-teori yang digunakan sebagai dasar untuk mengatasi masalah yang muncul selama penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan tentang metode pelaksanaan penelitian, mulai dari tahapan penelitian, lokasi penelitian, bahan penelitian, alat survei, waktu, serta cara dan proses pengumpulan data lapangan.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian aktual yang dilakukan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil dan membuat beberapa rekomendasi yang dapat diterapkan untuk mendukung penelitian.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Klasifikasi Jalan

Salah satu komponen yang sangat penting dalam kehidupan sehari-hari adalah jalan raya. Jalan telah digunakan oleh manusia sejak lama untuk beraktivitas dan selalu dilalui oleh para pejalan kaki dan kendaraan bermotor untuk berpindah tempat dari satu tempat ke tempat lainnya. Jalan raya adalah salah satu jenis yang paling sering digunakan, dan konsep ini berasal dari Amerika Serikat. Jalan yang paling dikenal biasanya adalah jalan raya atau jalan utama. Peraturan Pemerintah (PP) No. 34 Tahun 2006 tentang jalan mengatur berbagai klasifikasi jalan. Di Indonesia klasifikasi jalan dibedakan menjadi 4, yaitu:

2.1.1 Jalan Arteri

Jalan arteri adalah jenis jalan yang digunakan secara utama untuk menghubungkan wilayah yang lebih besar, seperti kota atau wilayah, dan biasanya digunakan untuk lalu lintas kendaraan dengan volume yang lebih besar. Jalan arteri dirancang untuk tulang punggung jaringan transportasi, mengurangi kemacetan dan meningkatkan kecepatan perjalanan. Ciri – ciri nya yaitu memiliki kapasitas tinggi, dirancang untuk mendukung lalu lintas dengan volume besar, dan biasanya memiliki beberapa lajur. Akses *property* terbatas untuk menjaga kelancaran arus lalu lintas.

2.1.2 Jalan Kolektor

Jalan kolektor mengumpulkan dan mendistribusikan lalu lintas dari jalan lokal ke jalan arteri. Jalan ini biasanya berjalan dengan kecepatan yang lebih rendah dibandingkan dengan jalan arteri, dan memberikan akses ke area pemukiman dan fasilitas publik.

2.1.3 Jalan Lokal

Jalan lokal berfungsi sebagai angkutan lokal dengan jarak perjalanan pendek, kecepatan rendah, dan tidak dibatasi, menghubungkan pusat kegiatan nasional dengan pusat kegiatan lingkungan, pusat kegiatan wilayah dengan pusat kegiatan lingkungan, antar pusat kegiatan lokal, atau pusat kegiatan lokal. Jalan lokal

beroperasi sebagai angkutan lokal dengan jarak perjalanan pendek, kecepatan rendah, dan jalan masuk tidak dibatasi.

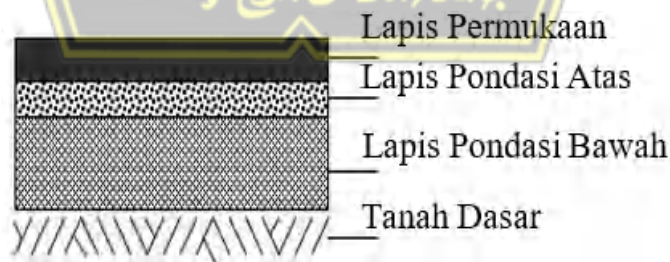
2.1.4 Jalan Lingkungan

Jalan lingkungan berfungsi untuk menyambungkan pusat kegiatan di daerah pedesaan dengan jalan di daerah pedesaan. Jalan lingkungan beroperasi sebagai angkutan lokal dengan jarak perjalanan pendek, kecepatan rata – rata rendah, dan Batasan jalan masuk.

2.2 Jenis Perkerasan Jalan

2.2.1 Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur merupakan perkerasan yang dibuat dengan aspal sebagai bahan pengikat. Metode perkerasan lentur dibuat oleh *America Asociation of State Highway Traffic Official* (AASHTO) pada tahun 1993 dan metode perkerasan jalan manual dibuat oleh Direktorat Jendral Bina Marga pada tahun 2017. Umumnya di Indonesia menggunakan jenis perkerasan ini. Menurut (Kamil & RISDIANTO, n.d.) ada beberapa jenis perkerasan lentur, salah satunya adalah jenis *Asphalt Concrete* (AC) yang merupakan campuran aspal, agregat kasar, agregat halus, dan filler. Agregat kasar biasanya digunakan oleh *asphlat concrete*. *Asphlat Concrete-Wearing Coarse* (AC-WC) bersentuhan langsung dengan roda kendaraan di bagian atas lapis perkerasan. Beban lalu lintas didistribusikan ke tanah dasar melalui lapisan perkerasan. timbulnya rutting (lendutan jalur roda) dan efeknya terhadap penurunan tanah dasar, yang menyebabkan jalan bergelombang

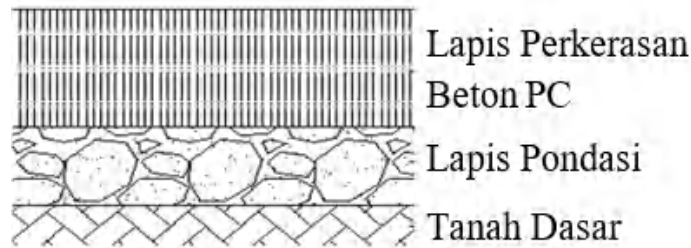


Gambar 2.1 Lapisan Perkerasan Lentur

2.2.2 Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Perkerasan kaku adalah pelat beton yang terbuat dari semen portland dengan atau tanpa tulangan yang diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa pondasi bawah. Memikul sebagian besar beban lalu lintas adalah karakteristik utama lapisan

beton. Pengaruhnya terhadap repetisi beban menimbulkan retakan pada permukaan jalan dan berdampak pada penurunan tanah dasar, sehingga menjadi balok di atas permukaan.



Gambar 2.2 Lapisan Perkerasan Kaku

2.2.3 Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)

Dalam teknik sipil, perkerasan komposit biasanya terdiri dari beberapa lapisan aspal dan beton, masing-masing dengan tujuan dan karakteristik yang berbeda. Sistem perkerasan komposit mencapai kinerja yang lebih baik dengan menggabungkan dua atau lebih jenis material daripada hanya menggunakan satu jenis material.

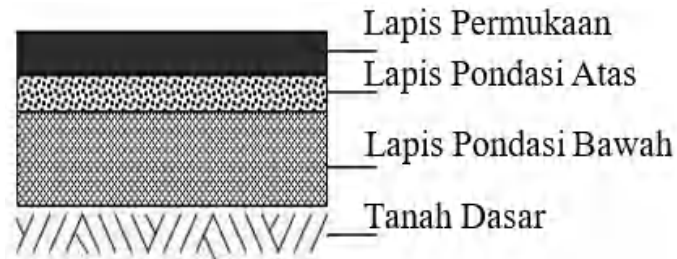


Gambar 2.3 Lapisan Perkerasan Komposit

2.3 Struktur Perkerasan Jalan Lentur

Perkerasan jalan lentur umumnya digunakan di Indonesia karena kondisi iklim yang menyesuaikan diri dengan perubahan suhu dan kelembapan sehingga lebih tahan terhadap deformasi akibat perubahan cuaca, perkerasan lentur umumnya lebih murah dalam biaya awal dibandingkan *rigid pavement* dan pemeliharaan perkerasan lentur cenderung lebih ekonomis, perkerasan lentur dapat mendistribusikan beban kendaraan secara lebih merata ke lapisan bawahnya sehingga mengurangi risiko kerusakan pada lapisan dasar, desain perkerasan lentur dapat disesuaikan dengan kondisi tanah dan lalu lintas yang ada memungkinkan untuk lebih mudah beradaptasi dengan berbagai kondisi geografis, material untuk perkerasan lentur yaitu aspal yang relatif mudah didapat dan tersedia di banyak

lokasi di Indonesia, dan perkerasan lentur dapat dibuat dari bahan daur ulang sehingga lebih ramah lingkungan. Menurut Standar Bina Marga Indonesia konstruksi perkerasan lentur terdiri dari:



Gambar 2.4 Lapisan Perkerasan Lentur

2.3.1 Tanah Dasar (*subgrade*)

Menurut (Haniza et al., 2020) lapisan tanah dasar adalah tanah asli yang menjadi bagian paling bawah dari suatu perkerasan jalan raya. Tanah asli ini dapat dipadatkan jika tanahnya bagus. Konstruksi perkerasan menyebarkan atau menyalurkan beban lalu lintas ke tanah dasar ini. Penyiapan tanah dasar (*subgrade*) harus memenuhi syarat keseragaman kepadatan, lebar, dan kerataan kemiringan melintang daya dukung. Dibawah lapisan pondasi bawah, ada lapisan tanah dasar (*subgrade*) dengan ketebalan 50 hingga 100 cm. Lapisan ini dapat berupa tanah asli dari lokasi, tanah yang dibawa dari tempat, atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya. Padatan ideal akan dicapai jika kondisi kadar air ideal dan air harus tetap konstan selama umur rencana. Lapisan tanah dasar dibedakan dari muka tanah asli sebagai berikut:

1. Lapisan tanah galian
2. Lapisan tanah timbunan
3. Lapisan tanah asli

2.3.2 Lapis Pondasi Bawah (*Subbase Course*)

Lapis pondasi bawah yaitu suatu lapisan di antara lapis pondasi atas dan lapis tanah dasar. Lapis ini memiliki tujuan sebagai berikut:

- a. Bagian dari Pembangunan struktur yang bertujuan untuk mendistribusikan beban roda ke tanah dasar.
- b. Lapis peresapan agar air tidak mengumpul di pondasi.
- c. sebagai lapisan pertama untuk memastikan bahwa pekerjaan berjalan dengan lancar karena kondisi yang memerlukan penutup tanah dasar segera untuk

melindungi tanah dasar dari cuaca atau kurangnya daya dukung tanah dasar untuk menahan kendaraan besar.

2.3.3 Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapisan pondasi atas (*base course*) adalah lapis perkerasan yang berada di bawah Permukaan perkerasan dan menerima tekanan muatan yang paling besar. Oleh karena itu, harus dibangun dengan hati-hati dan menggunakan material berkualitas tinggi. Fungsi *base course* meliputi:

- a. Untuk menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya.
- b. Lapis peresapan yang digunakan untuk lapisan pondasi bawah
- c. Bantalan yang digunakan untuk lapisan permukaan.

Lapisan pondasi atas harus dibuat dengan bahan – bahan yang kokoh. Bahan-bahannya seperti batu yang pecah, kerikil yang pecah, atau stabilisasi tanah dengan semen dan kapur dapat digunakan sebagai bahan untuk lapisan ini.

2.3.4 Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Lapis permukaan adalah lapisan yang berada di bagian atas yaitu setelah lapisan pondasi atas. Untuk lapisan ini mempunyai beberapa fungsi, yaitu:

- a. Lapis perkerasan harus stabil untuk menahan beban roda selama masa pakai.
- b. Lapisan kedap air, menyebabkan air hujan sulit meresap ke dalam la[isan yang ada di bawahnya.
- c. Lapisan yang mudah aus karena gesekan rem kendaraan.
- d. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah membuat lapisan lain memiliki daya dukung yang lebih sedikit untuk memikulnya.

Untuk melengkapi fungsi tersebut, pada dasarnya lapisan ini digunakan untuk bahan pengikat aspal, agar menghasilkan lapisan yang kedap air, tahan lama dan stabil.

2.4 Aspal, Agregat, dan Bahan Pengisi

2.4.1 Definisi Aspal

Aspal atau bitumen adalah cairan lengket yang berwarna hitam kental yang berfungsi sebagai bahan pengikat agregat dan pengisi yang kerap digunakan untuk membangun dan memelihara jalan. Aspal biasanya dibuat dari agregat, yang terdiri

dari batu hancur, pasir, dan kerikil (terak), bersama dengan bahan pengikat seperti semen. Aspal yang berasal dari alam harus dipanaskan terlebih dahulu agar menjadi cairan yang kental sebelum membuat jalan menjadi halus dan nyaman dilewati. Ini akan membuat penerapan aspal lebih mudah.

Untuk memastikan bahwa proses pengerjaan aspal berhasil, berbagai macam campuran aspal dapat digunakan untuk memenuhi berbagai persyaratan, seperti jumlah lalu lintas, jumlah kendaraan berat, suhu, kondisi cuaca, dan persyaratan pengurangan kebisingan. Campuran aspal yang digunakan harus memiliki kekuatan, kekakuan, dan ketahanan terhadap deformasi yang cukup untuk menahan beban roda kendaraan. Berikut campuran aspal yang dapat diproduksi pada suhu yang berbeda:

1. Campuran Aspal Panas / *Hot Mix Asphalt* (HMA)

Campuran ini biasanya diproduksi pada suhu antara 150°C sampai dengan 180°C.

2. Campuran Aspal Hangat / *Warm Mix Asphalt* (WMA)

Campuran ini biasanya diproduksi pada suhu antara 20°C sampai dengan 40°C yang dimana suhu tersebut lebih rendah dari HMA.

3. Campuran Aspal Dingin / *Cold Mix Asphalt*

Campuran ini biasanya diproduksi pada suhu yang optimal antara 70°C sampai dengan 90°C yang dimana suhu tersebut menghasilkan campuran aspal setengah hangat.

2.4.2 Jenis-Jenis Lapisan Aspal

Suatu jenis bahan konstruksi yang dikenal sebagai bahan campuran aspal yang terdiri dari aspal, bahan pengisi, agregat kasar, dan agregat halus yang biasa disebut dengan lapis aspal beton. Berikut ini adalah jenis-jenis lapis aspal beton, yaitu:

1. *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC)

Lapisan atas struktur perkerasan yang mengenai langsung ke roda kendaraan disebut dengan laston sebagai lapisan aus atau biasa disebut dengan *Asphalt Concrete-Wearing Course*. Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 lapisan ini memiliki ketebalan minimum 4 cm dan dibuat untuk beradaptasi dengan perubahan kondisi cuaca, gaya geser, dan tekanan ban kendaraan serta

menyediakan lapisan yang tidak terkontaminasi oleh air untuk lapisan di bawahnya. Menurut (Tenrisuki Tenriajeng, 2019) kadar aspal lebih banyak dari lapisan *binder* dan lapisan *base*. Komposisi ini menggunakan ukuran agregat maksimum 3/8 – 3/4 in.

2. Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)

Lapisan ini terletak di bawah lapisan aus (AC-WC) dan di atas lapisan pondasi (*Concrete-Base*) yang berfungsi sebagai pengikat antara lapisan atas dan bawah. Lapisan ini biasa disebut dengan lapisan antara. Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 lapisan ini memiliki ketebalan minimum 6 cm dan dibuat untuk mendistribusikan beban dari lapisan atas ke lapisan bawah serta menyediakan kekuatan tambahan dan stabilitas pada struktur perkerasan. Komposisi lapisan ini menggunakan agregat kasar dan halus dengan proporsi yang lebih besar maksimum agregat 3/4 - 1,5 in. dibandingkan dengan lapisan aus, filler untuk meningkatkan kepadatan campuran, dan aspal sebagai bahan pengikat.

3. Asphalt Concrete-Base

Lapisan ini biasa disebut dengan lapisan pondasi atas terletak paling bawah setelah lapisan antara yang berfungsi sebagai pondasi perkerasan jalan yaitu untuk memberi dukungan struktural yang kuat untuk seluruh perkerasan dan mencegah deformasi serta memberikan stabilitas jangka panjang pada jalan. Menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 lapisan ini memiliki ketebalan minimum 7,5 cm. Komposisi ini menggunakan agregat kasar dengan ukuran lebih besar, biasanya lebih dari 25 mm, dan aspal sebagai bahan pengikat, terkadang campuran aspal lebih sedikit dibandingkan dengan lapisan lainnya.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,6		
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

Tabel 2.2 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston Modifikasi (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 ⁽³⁾
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,6		
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	1000		2250 ⁽³⁾
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6 ⁽³⁾
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 C ⁽⁵⁾	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal) ⁽⁶⁾	Min	2		
Stabilitas Dinamis, lintasan/mm ⁽⁷⁾	Min	2500		

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

Tabel 2.3 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal

Jenis Campuran		Simbol ⁽¹⁾	Tebal Nominal Minimum (cm)
<i>Stone Matrix Asphalt</i> Tipis		SMA Tipis	3,0
<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Halus		SMA-Halus	4,0
<i>Stone Matrix Asphalt</i> - Kasar		SMA-Kasar	5,0
Lataston	Lapis Aus	HRS-WC	3,0
	Lapis Fondasi	HRS-Base	3,5
Laston	Lapis Aus	AC-WC	4,0
	Lapis Antara	AC-BC	6,0
	Lapis Fondasi	AC-Base	7,5

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

2.4.3 Jenis-Jenis Agregat

Agregat adalah salah satu material konstruksi yang digunakan sebagai komposisi campuran aspal untuk memberikan perkuatan pada aspal. Berikut adalah jenis-jenis agregat:

1. Agregat Kasar (*coarse aggregate*) adalah partikel yang berukuran besar, biasanya berdiameter lebih dari 4,75 mm dan memiliki ketentuan yang telah ditetapkan. Contohnya: kerikil dan batu pecah.

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
		magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran		Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8%
		500 putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
		Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	SNI 8287: 2016 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
		Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

- Agregat Halus (*fine aggregate*) biasanya lebih kecil dari 4,75 mm. Contohnya : pasir dan serbuk batu. Agregat halus memiliki ketentuan yang telah ditetapkan.

Tabel 2.5 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C 117: 2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

- Agregat Mineral yaitu agregat yang berasal dari batuan dan memiliki sifat fisik dan mekanik yang unggul. Contohnya: batu granit dan batu andesit.
- Agregat Sintetis yaitu agregat yang dihasilkan dari proses industri. Contohnya: agregat daur ulang dan serbuk besi.
- Agregat Spesifik, dari beberapa agregat bisa ditambahkan untuk meningkatkan sifat tertentu dari campuran aspal. Contohnya agregat berpori (untuk meningkatkan drainase) dan agregat berwarna (untuk estetika).
- Agregat Buatan (*artificial aggregate*), agregat yang dihasilkan dari proses industri. Contohnya: Agregat clay (dari tanah liat yang dipanaskan dan membentuk butiran) dan agregat terak (sisa pembakaran batu bara atau logam).

Tabel 2.6 Gradasi Agregat untuk Menentukan KAO

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Laston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1 1/2"	37,5								100
1"	25			100				100	90 - 100
3/4"	19		100	90 - 100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
1/2"	12,5	100	90 - 100	50 - 88	90 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
3/8"	9,5	70 - 95	50 - 80	25 - 60	75 - 85	65 - 90	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No.4	4,75	30 - 50	20 - 35	20 - 28			53 - 69	46 - 64	35 - 54
No.8	2,36	20 - 30	16 - 24	16 - 24	50 - 72	35 - 55	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No.16	1,18	14 - 21					21 - 40	18 - 38	13 - 30
No.30	0,600	12 - 18			35 - 60	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No.50	0,300	10 - 15					9 - 22	7 - 20	6 - 15
No.100	0,150						6 - 15	5 - 13	4 - 10
No.200	0,075	8 - 12	8 - 11	8 - 11	6 - 10	2 - 9	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Bina Marga Revisi 2

2.4.4 Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi adalah partikel yang berukuran sangat halus dan berfungsi untuk mengisi kekosongan antara butiran halus dan butiran kasar. Semen portland biasanya digunakan sebagai pengisi. Ketika diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C13: 2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.

2.5 Sifat Bahan Tambah Pada Aspal

2.5.1 Karakteristik Serbuk Besi

Besi dalam bahasa kimia yaitu *Ferrum* (Fe) dengan nomor atom 26 yang merupakan unsur yang paling banyak di bumi dan selalu digunakan selama ribuan tahun. Besi biasa digunakan untuk bahan konstruksi terutama dalam pembuatan baja. Besi memiliki berat sebesar 7,86 gcm³, besi ditemukan diberbagai sumber alam, tetapi yang paling sering digunakan adalah bijih besi. Material ini biasa digunakan di berbagai industri dan disetiap hasil akhir akan menghasilkan limbah-limbah, sehingga limbah serbuk besi jarang sekali digunakan dan akan menyebabkan polusi pada lingkungan.

Menurut (Bahri, 2017), limbah serbuk besi adalah sisa atau produk sampingan yang dihasilkan dari proses pemotongan, penggilingan, atau pengolahan logam besi. Limbah ini biasanya berupa partikel-partikel halus atau serbuk yang dihasilkan selama proses produksi. Tujuan digunakannya limbah serbuk besi ini adalah sebagai berikut.

- a. Untuk mengurangi jumlah limbah industri.
- b. Serbuk besi dapat meningkatkan kekuatan mekanik aspal, sehingga aspal menjadi lebih tahan lama dan mampu menahan beban yang lebih berat dari pada aspal normal.
- c. Adanya penambahan agregat halus dengan serbuk besi untuk meningkatkan *thermal* aspal, sehingga membantu untuk mencegah deformasi pada suhu yang tinggi.
- d. Untuk mengurangi bahan baku biaya terhadap aspal.
- e. Adanya penggunaan limbah serbuk besi pada aspal menjadikan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap keretakan, sehingga dapat memperpanjang umur pakai jalan.

Serbuk besi diperoleh dari limbah besi yang digiling atau dihancurkan menjadi partikel-partikel halus. Partikel ini mempunyai ukuran diameter bervariasi yaitu antara 10 hingga 100 mikrometer, akan tetapi jika ukuran yang lebih halus bisa diperoleh dengan proses penggilingan yang lebih detail.

Berikut adalah contoh dari hasil analisis pengujian *marshall test* menurut (Devi & Affandy, 2021), yaitu:

Tabel 2.7 Hasil pengujian *marshall test* rata-rata

(%) Serbuk Besi	Stabilitas (Kg)	VFA (%)	VIM (%)	VMA (%)	Flow (%)	MQ (%)
0	977	74.97	4.14	17.29	3.17	309.31
4	788	83.28	2.46	15.84	3.33	236.74
4.5	769	85.75	2.02	15.46	2.93	242.11
5	731	88.76	1.5	15.01	2.97	246.80
Spesifikasi	Min 800	Min 65%	3-5%	Min 15%	2-4 mm	Min 250
Pemadatan	75x2					
Kadar Aspal	5.7%					

Hasil yang didapat dari analisis diatas yaitu untuk campuran aspal dengan bahan tambah serbuk besi dari kadar 4%, 4,5%, 5%, yang paling mendekati syarat spesifikasi adalah menggunakan kadar 4%.

2.5.2 Manfaat Penggunaan Serbuk Besi

Selain itu, serbuk besi juga bisa dimanfaatkan pada komposisi aspal sebagai penguatan mekanik aspal, membantu menstabilkan campuran aspal yang bertujuan untuk mengurangi risiko retak dan kerusakan akibat suhu ekstrem, mencegah kecelakaan di jalan yang licin, serbuk besi dapat membantu meredam suara, dan

memberikan sifat elastis pada aspal. Menurut (Devi & Affandy, 2021) gergaji atau bubutan besi dengan tekstur pasir yang berukuran 0,3 mm dan lolos ayakan no.50. Bentuk serbuk besi sangat berbeda-beda dan tergantung pada proses pembuatan bentuknya, seperti bulat, pipih, dan tidak teratur, mempunyai berat jenis semu dalam kg/m^3 , dan harganya harus selalu tetap supaya jumlah pada waktu tidak berubah memberikan kehalusan dengan ayakan mesh standar untuk mengukur ukuran dan distribusi partikel, dan memiliki sifat sinter, yang berarti bahwa partikel terikat selama proses pemanasan.

Ada banyak tujuan mengapa dilakukannya penambahan serbuk besi sebagai penambahan agregat halus terhadap komposisi aspal, yaitu:

1. Kekuatan dan daya tahan: kekuatan tarik dan tekan pada campuran aspal dapat ditingkatkan oleh serbuk besi dikarenakan adanya partikel logam dapat memberikan penguatan tambahan, aspal lebih tahan terhadap kerusakan deformasi plastis karena beban berat (terutama di lingkungan dengan banyak kendaraan), dan serbuk besi dapat meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap perubahan suhu agar dapat mengurangi keretakan.
2. Potensi pengurangan biaya material: jika serbuk besi dapat digunakan sebagai penambahan agregat halus maka dapat mengurangi biaya keseluruhan, Upaya daur ulang untuk mengurangi limbah, dan jangka panjang untuk biaya pemeliharaan.
3. Kualitas dan penelitian lebih lanjut: adanya analisis lingkungan, uji laboratorium, dan menentukan rasio optimal antara serbuk besi dan agregat halus supaya mencapai keseimbangan terbaik antara performa dan biaya.

2.5.3 Resin Epoxy

Resin *epoxy* adalah cairan kental yang hampir padat dan lebih keras serta tahan gores, dikarenakan reaktivitas kimia lebih tinggi dan proses pengeringan yang lebih kompleks. Proses pengeringan resin *epoxy* yaitu disaat resin *epoxy* mengeras, molekul-molekulnya berikatan erat, membentuk struktur padat yang kokoh dan resisten terhadap fisik stressors (suhu ekstrem). Sebelum digunakan untuk penelitian, biasanya resin *epoxy* dikeraskan dulu menggunakan alat *hardener* adalah bahan yang dicampurkan dengan resin *epoxy* untuk memulai reaksi kimia

yang mengubah resin dari keadaan cair menjadi padat dan keras. Alat pengeras untuk resin *epoxy* yang digunakan dalam proses curing resin *epoxy*.

Untuk memaksimalkan kinerja aspal, penting untuk memilih jenis resin yang tepat dan memastikan bahwa resin digunakan dengan benar terutama resin *epoxy* meskipun demikian, resin *epoxy* dapat memberikan fleksibilitas pada campuran aspal, dapat meningkatkan kekerasan total campuran aspal, dapat menahan beban lalu lintas tanpa mudah deformasi, resin *epoxy* memiliki sifat tahan air, dan resin *epoxy* umumnya tahan terhadap asam dan basa, yang relevan jika campuran aspal akan terkena kondisi lingkungan yang agresif, meningkatkan durabilitas (kekuatan) aspal dengan memperkuat ikatannya dengan agregat, dapat melunakkan aspal yang telah kaku agar bisa mengembalikan elastisitas aspal, dan ramah lingkungan karena dapat membantu mengurangi emisi gas-gas berbahaya selama produksi aspal.

2.6 Metode Pengujian Marshall

2.6.1 Prinsip Pengujian Marshall

Pengujian *Marshall Test* adalah metode untuk mengukur kekuatan aspal. Bruce Marshall menciptakan rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* yang distandarisasi oleh ASTM D 1559-76 dan AASHTO T-245-90. Metode *marshall test* mematuhi SNI 06-2489-1991, AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76. Dalam pengujian *marshall* menggunakan alat tekan yang biasa disebut *Marshall Stability Test Apparatus* dilengkapi dengan *proving ring* atau biasa disebut dengan cincin penguji. Dalam *marshall test*, cincin penguji digunakan untuk menentukan stabilitas campuran pada aspal dengan kapasitas 22,2 kN yang menunjukkan bahwa cincin tersebut dapat menahan tekanan maksimum sebesar 22,2 kN sekitar 5000 lbs (2,250 kg) sebelum terjadinya deformasi dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis.

Deformasi adalah perubahan bentuk atau kerusakan yang apabila terjadi pada sampel aspal ketika dikenai beban. Sampel aspal akan mulai mengalami perubahan bentuk seperti penekanan, penyebaran, atau keretakan ketika beban pada cincin penguji melebihi kapasitas maksimumnya (22,2 kN atau sekitar 5000 lbs). Akibat dari deformasi ini, campuran aspal mungkin tidak dapat digunakan untuk konstruksi

jalan. Benda uji *marshall* berbentuk silinder dengan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm) dan diameter 4 inchi (10,2 cm). Metode pengujian ini sesuai dengan SNI 06-2489-1991, AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76. Pengujian *marshall* biasanya mencakup hal-hal berikut: persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, nilai stabilitas dan *flow*, dan menghitung sifat volumenya. Selain alat *Marshall Stability Test Apparatus* diperlukan alat untuk menguji sifat fisik aspal yaitu *Water Bath* yang berfungsi untuk merendam sampel aspal dalam air pada suhu tertentu selama beberapa waktu sebelum diuji.

2.6.2 Formula untuk Menghitung Parameter-parameter *Marshall*

1. Kadar Aspal Optimum (KAO)

untuk mengetahui nilai ideal aspal dan untuk mencari perkiraan pada kadar aspal optimum. KAO dilakukan setelah analisa saringan, dengan rumus:

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

Keterangan:

Pb = Kadar aspal rencana (hasilnya dibulatkan ke 0,5%)

CA = Nilai presentase agregat kasar

FA = Nilai presentase agregat halus

FF = Nilai presentase *filler*

K = Konstanta (kira-kira 0,5-1,0)

2. Berat Jenis dan Penyerapan

$$BJ \text{ kering} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$BJ \text{ kering permukaan jenuh} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \dots\dots\dots(2.3)$$

$$BJ \text{ semu} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(2.5)$$

Bk = Berat benda uji kering oven (gr)

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air (gr)

3. Berat Jenis Setelah Pemadatan

$$Gmb = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

Gmb = BJ *bulk* campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Bk = Berat kering campuran (gr)

Bssd = Berat kering permukaan dari campuran setelah pemadatan

Ba = Berat campuran di dalam air (gr)

Bssd-Ba = Volume *bulk* campuran yang dipadatkan (jika bj air diasumsikan)

4. Berat Jenis Efektif Agregat

$$Gse = \frac{\frac{Pmm - Pb}{Gmm} - \frac{Pb}{Gb}}{\dots} \dots \dots (2.7)$$

Keterangan:

Gse = Berat jenis efektif (gr/cm³)

Gmm = Berat jenis campuran max teoritis setelah pemadatan

Pmm = Berat total campuran (%)

Pb = Kadar aspal rencana (%)

Gb = Berat jenis aspal

5. Berat Jenis Maksimum Campuran

$$Gmm = \frac{Pmm}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots \dots \dots (2.8)$$

Gse = Berat jenis efektif (gr/cm³)

Gmm = Berat jenis campuran max teoritis setelah pemadatan

Pmm = Berat total campuran (%)

Pb = Kadar aspal rencana (%)

Ps = Kadar aspal terhadap total campuran (%)

Gb = Berat jenis aspal

6. Berat Jenis Dari Total Agregat

Berat jenis kering dan berat jenis semu dari total agregat

$$Gsb_{tot\ agregat} = \frac{P1+P2+P3+\dots+Pn}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{P3}{G3} + \dots + \frac{Pn}{Gn}} \dots \dots \dots (2.9)$$

Gsb_{tot agregat} = Bj kering agregat gabungan (gr/cm³)

Gsb1, Gsb2, ..., Gsbn = Bj kering dari masing-masing agregat

P1, P2, ..., Pn = Berat dari masing-masing agregat (%)

2.6.3 Parameter yang Diuji

Metode pengujian *marshall* digunakan untuk mengukur sifat-sifat campuran aspal panas. Karakteristiknya termasuk stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*),

marshal quotient (MQ), VITM (Void In The Total Mix), VFWA (Void Filled With Asphalt), VMA (Void in Mineral Aggregate) dan kepadatan (density).

1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas mengacu pada kemampuan campuran aspal untuk menahan beban vertikal tanpa mengalami kerusakan atau deformasi. Stabilitas ini diukur dengan cara memberi beban pada sampel aspal yang dipadatkan hingga sampel mulai gagal. Stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa campuran dapat bertahan di bawah lalu lintas kendaraan, sedangkan stabilitas yang rendah dapat menunjukkan potensi kerusakan.

$$S = p \times q \dots\dots\dots(2.10)$$

Keterangan:

S = Angka stabilitas yang sesungguhnya

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = Angka koreksi benda uji Kelelehan (*flow*)

2. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan adalah ukuran seberapa jauh sampel aspal dapat terdeformasi di bawah beban tertentu. Ini biasanya diukur dalam satuan milimeter. Kelelehan memberikan informasi tentang sifat plastis dan fleksibilitas campuran aspal. Campuran yang memiliki kelelehan yang sesuai dapat menyesuaikan diri dengan perubahan suhu dan beban, yang penting untuk ketahanan jangka panjang. Nilai *flow* didapatkan dari yang ditunjukkan oleh jarum dial dan sudah dalam satuan mm.

3. Marshal Quotient (MQ)

Marshal Quotient (MQ) adalah rasio antara stabilitas dan kelelehan (*stability/flow*). Nilai MQ memberikan gambaran tentang keseimbangan antara kekuatan dan deformabilitas campuran aspal. MQ yang tinggi menunjukkan campuran yang lebih stabil dengan kapasitas deformasi yang baik, sementara MQ yang rendah bisa menunjukkan risiko kerusakan pada lapisan aspal.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(2.11)$$

Keterangan:

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

MS = *Marshall Stability* (kg)

MF = *Flow Marshall* (mm)

4. *VITM (Void In The Mix)*

VITM adalah persentase ruang kosong dalam campuran aspal yang dihitung berdasarkan volume total campuran. Ini penting untuk mengetahui seberapa baik campuran dapat menahan aspal dan memberikan informasi tentang komposisi campuran. *VITM* yang terlalu tinggi dapat mengindikasikan bahwa campuran kurang padat, yang dapat mempengaruhi kinerja.

$$VIM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \dots\dots\dots (2.12)$$

Keterangan:

VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

G_{mm} = Berat jenis campuran *max* teoritis setelah pemadatan (gr/cm³)

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

5. *VFWA (Void Filled With Asphalt)*

VFWA adalah persentase ruang kosong yang terisi oleh aspal dalam campuran. Ini menunjukkan seberapa efektif aspal mengisi ruang kosong di antara agregat. Nilai *VFWA* yang ideal menunjukkan bahwa aspal cukup mengisi void (ruang kosong), sehingga meningkatkan daya tahan dan ketahanan terhadap kerusakan. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung nilai *VFA*:

$$VFA = \left(100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA} \right) \% \dots\dots\dots (2.13)$$

Keterangan:

VFA = Rongga udara yang berisi aspal, diambil dari persentase VMA (%)

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

VIM = Setelah pemadatan, rongga udara pada campuran diambil dari persentase volume total (%)

6. *VMA (Void in Mineral Aggregate)*

VMA adalah total volume void yang tersedia dalam agregat mineral setelah pengisian dengan aspal. Ini mencakup ruang kosong yang tidak terisi oleh aspal. *VMA* yang tepat sangat penting untuk memungkinkan pergerakan air dan material, serta memberikan stabilitas.

Rumus untuk mengetahui berat campuran total:

$$VMA = \left(100 \times \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right) \% \dots\dots\dots (2.14)$$

$$VMA = \left(100 - \left[\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+Pb)} 100 \right] \right) \% \dots\dots\dots (2.15)$$

VMA = Rongga udara mineral agregat, diambil dari persentase volume total (%)

Gmb = Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cm³)

Gsb = Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

Ps = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

Pb = KAO (%)

7. Kepadatan (*density*)

Kepadatan adalah massa per unit volume dari campuran aspal. Ini diukur untuk menentukan seberapa padat campuran tersebut. Kepadatan yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki kompaksi yang baik, yang dapat meningkatkan daya tahan dan ketahanan terhadap kerusakan. Kepadatan juga berpengaruh pada nilai *VITM* dan *VMA*.

Parameter-parameter ini saling terkait dan memberikan gambaran menyeluruh tentang kualitas dan performa campuran aspal, terutama ketika menggunakan serbuk besi sebagai tambahan agregat halus. Analisis parameter-parameter ini penting untuk memastikan bahwa campuran aspal memenuhi spesifikasi yang diperlukan untuk aplikasi konstruksi jalan.

$$g = \frac{c}{f} \dots\dots\dots (2.16)$$

$$f = \frac{d-e}{Y} \dots\dots\dots (2.17)$$

Keterangan:

g = Nilai Density

c = Berat kering sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cc)

Y = Berat jenis air (gr/cc)

2.7 Penelitian Terdahulu

Dalam bidang perkerasan aspal, penelitian sebelumnya berfokuskan kepada inovasi dan teknologi. Namun, penelitian sebelumnya tidak menemukan hasil yang sebanding dengan penelitian kami, sejauh pengetahuan saat ini. Studi sebelumnya mencakup:

Tabel 2.8 Penelitian Terdahulu

No	Tahun	Penulis	Judul	Tujuan	Metode	Hasil
1	2016	Jason Kartolo, Aditya Sanjaya Putra, Deviyanti Yosuanita, Enma Mediawati Sebayang	Pengaruh penambahan dempul <i>epoxy</i> pada campuran beton aspal.	Berdasarkan permasalahan tersebut beberapa perekat <i>epoxy</i> diaplikasikan dalam penelitian ini untuk meningkatkan kekuatan dan umur lapisan perkerasan. Parameter jalan dapat ditingkatkan dengan resin dan pengeras yang terdapat pada perekat aspal.	<i>Flow</i> dan stabilitas dempul <i>epoxy</i> pada tingkat 8%, 10%, dan 15% telah diperiksa dan dianalisa untuk penelitian ini. Untuk menentukan % penambahan dempul <i>epoxy</i> .	Penambahan 8% perekat <i>epoxy</i> dapat meningkatkan stabilitas menjadi 1.066,97 dan aliran menjadi 5,177. Dengan menambah perekat <i>epoxy</i> sebesar 10%, stabilitas dapat meningkat menjadi 1.073,81 dan <i>Flow</i> dapat meningkat menjadi 4,583. Penambahan <i>epoxy</i> sebesar 15% juga dapat meningkatkan stabilitas menjadi 1.615,84 dan <i>Flow</i> -nya menjadi 3,99. Mengoptimalkan nilai <i>Flow</i> dan meningkatkan stabilitas dapat dicapai dengan menambahkan 10% perekat resin <i>epoxy</i> .
2	2017	Samsul Bahri	Pemanfaatan Limbah Serbuk	Untuk mengetahui perbandingan nilai	<i>Marshall test</i>	Untuk variasi penggantian 0% dan 25% memenuhi

			Besi Sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas	karakteristik <i>marshall</i> antara campuran aspal panas normal dengan campuran aspal panas dan agregat halusnya disubstitusikan dengan limbah serbuk besi.		spesifikasi KAO sehingga termasuk parameter <i>marshall</i> . Dengan demikian agregat halus dapat disubstitusikan dengan limbah serbuk besi sebesar 25% dengan nilai efisiensi penggunaan aspalnya yaitu 17,86%.
3	2018	M. Yusuf Arif Rahman	Pemanfaatan Serbuk Besi Sebagai Bahan Tambah Agregat Halus Terhadap Nilai Stabilitas Uji <i>Marshall</i> dalam Campuran AC-WC	Untuk mengetahui nilai <i>stability</i> , berat jenis bulk, dan KAO.	Eksperimen yang dilakukan menggunakan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%. Pengujian benda uji menggunakan alat uji <i>marsh</i> test.	Dengan stabilitas 1180 kg, semen portland sebagai <i>filler</i> dalam campuran AC-WC menunjukkan nilai stabilitas dan berat jenis yang lebih tinggi dari pada abu besi..
4	2020	Nugroho Utomo, Iwan Wahjudijanto & Fitri Sri Rizki Yasin	Penggunaan Limbah Serbuk Besi sebagai Material Pengisi (<i>Filler</i>) pada Campuran Struktur Perkerasan Jalan Kolektor Ponco Jatirogo (STA.	Dengan memanfaatkan material pengisi (<i>filler</i>) dalam perencanaan campuran pada struktur di perkerasan ruas jalan Ponco-Janigoro (STA. 130 + 200-STA. 138 + 700), penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kualitas campuran Laston AC-WC	Mengetahui nilai VFA, VMA, VIM, nilai stabilitas, <i>flow</i> , dan MQ.	Limbah serbuk besi dapat digunakan untuk <i>filler</i> dengan kadar 22% dalam waktu rendaman 1 jam, dengan nilai VMA 67,93%, FVA 92,91%, VIM 4,82%, stabilitas 1371,6 kg, <i>flow</i> 4,77% mm dan MQ 288,93% yang tepat untuk campuran struktur

			130 + 200 – STA. 138+ 700)	yang dimodifikasi dengan penambahan gilsonite resin dan untuk meningkatkan kekuatan struktur jalan.		perkerasan jalan dan sesuai standar spesifikasi Bina Marga.
5	2020	Shazna Dinda Yuskiyani Putri & Kurnia Hadi Putra	Modifikasi Campuran Perkerasan Laston AC-WC dengan penambahan Kadar 8% Gilsonite Resin	Untuk mengetahui kualitas dari modifikasi campuran Laston AC-WC dengan penambahan gilsonite resin.	Penelitian ini menggunakan metode kualitatif yaitu menganalisis benda uji nilai <i>marshall</i> .	Dengan menambah kadar gilsonite resin sebanyak 8%, data tes <i>marshall</i> menunjukkan bahwa nilai stabilitas sebesar 1274,6 kg dengan alisan sebesar 2,70 mm, nilai MQ 472,092 kg/mm, nilai VIM 3,45%, nilai VMA 15,12% dan nilai VFB 77,20%.
6	2021	Umma Chintya Dewi & Nur Azizah Affandy	Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Campuran Agregat Halus pada Asphalt Concrete Wearing Coarse (AC-WC)	Untuk mengetahui pengaruh dari limbah serbuk besi terhadap parameter <i>marshall</i> properties.	Peneliti yang akan diuji adalah Stabilitas (kg), VIM (%), VMA (%), VFA (%), Flow dan Marshal Quotien.	Hasil yang bagus adalah kadar 4% karena memenuhi standart dari kadar 0%, 4%, 4,5%, dan 5%.
7	2023	Aditya Kurniawan & Jorgi Dwi Agung Budiarto	Analisis Aspal Beton Lapis AUS (AC-WC) Modifikasi dengan	Untuk mengkaji pengaruh campuran aspal (AC-WC) dengan penambahan resin dan slag baja terhadap stabilitas aspal (AC-WC)	Menggunakan metode penelitian eksperimen yang di uji di laboratorium	Hasil pengujian <i>marshall</i> menunjukkan bahwa benda uji dengan kadar resin 0%, 3%, 7%, dan 10% setelah perendaman selaman 3 dan 7

			Penambahan Slag Baja dan Resin untuk Kondisi Jalan yang Terendam Air Pasang (ROB)			hari yang memenuhi spesifikasi Bina Marga. Namun, setelah perendaman selama 14 hari, benda uji dengan campuran kadar tersebut tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga, karena nilai stabilitasnya masih dibawah 800 kg.
8	2023	M. Ikhsan Oktariman, Rahmat & Veronika	Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti terhadap Campuran Aspal Beton AC-BC	Untuk mengetahui KAO dan bagaimana substitusi <i>filler</i> limbah serbuk besi pada lapisan aspal AC-BC yang berdampak pada karakteristik <i>marshall</i> .	Dalam penelitian ini, pemeriksaan awal dilakukan terhadap bahan campuran aspal yang termasuk memeriksa agregat dengan mesini <i>Los Angeles</i> untuk menguji abrasi, berat jenis, dan penyerapan agregat, serta saringan. Selanjutnya, menentukan KAO dan nilai karakteristiknya.	Untuk hasil terbaik adalah 5,75% yang didapat dari kadar aspal optimum 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan nilai variasi untuk substitusi <i>filler</i> limbah serbuk besi adalah 15%, 20%, 25%, 30% dan 35%, yang memenuhi spesifikasi yaitu kadar 30%.
9.	2024	Nisa Ul Azizah & Carlen Rama Riska Ricardo	Analisa <i>Asphalt Concrete Wearing Coarse</i> (AC-WC) Modifikasi	Mengetahui kriteria <i>marshall</i> pada bahan tambah campuran AC-WC yaitu menggunakan resin dan serat baja (<i>Dramix</i>)	Eksperimen membuat benda uji dan <i>marshall test</i> .	Untuk hasil yang didapat adalah semakin banyak jumlah resin yang digunakan maka nilai vim juga akan mengalami kenaikan. Dari

			Dengan Penambahan Resin <i>Epoxy</i> Dan Serat Baja Dramix Untuk Perkerasan Jalan			masing-masing komposisi yang didapat dengan serat baja maka nilai stabilitas <i>marshall</i> yang tertinggi pada kombinasi resin 2% dan serat baja <i>Dramix</i> 4% sebesar 2159,74 kg.
10	2024	Roby Octavian	Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Material Pengganti <i>Filler</i> terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt	Untuk memahami bagaimana limbah serbuk besi sebagai pengganti <i>filler</i> berdampak pada kekuatan struktur, parameter volumetrik, dan durabilitas campuran <i>stone matrix asphalt</i> .	Penelitian ini mengumpulkan data melalui serangkaian kegiatan percobaan atau pengamatan	Hasil penelitian menunjukkan variasi kadar substitusi filler serbuk besi terbaik pada kadar 50% yang dimana menghasilkan campuran yang lebih berongga.
11	2023	Dr. Ir. Juny Andry Sulisty,ST, MT	Perilaku Aspal Wearing Course Terhadap Pengaruh Rendaman Air Pasang (Rob) Dengan Bahan Tambah Polyethylene dan fine Agregat Slag	Memperoleh campuran formula “slag” agregat halus lapis aspal beton modifikasi yang menggunakan limbah plastik polyethylene (PE) yang tahan air banjir.	Menggunakan metode eksperimen dengan cara perendaman terhadap AC-WC dalam air standar laboratorium, air rob, dan air dengan rob Sayung Jawa Tengah.	Job Mix Formula yang dapat digunakan pada Asphalt Concrete Wearing Course modifikasi adalah kombinasi agregat Slag 50% dan LDPE (Low Density Polyethylene) 6% sedangkan Asphalt Concrete Wearing Course modifikasi kadar Agregat Slag 0% dan 100% dengan LDPE (Low Density Polyethylene) 0%, 2%, 4%,

						8 %, 10% dan 18 % tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan karena tidak memenuhi persyaratan spesifikasi teknis Bina Marga karena nilai Void in Mineral (VIM) kurang dari 3% - 5%.
12	2025	Aizh Devi Fitriana & Bunga Permata Ellendra	Analisis Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi Dan Resin Untuk Perkerasan Jalan	Untuk menganalisis Job Mix Formula terbaik dan mengetahui persentase serbuk besi dan resin untuk mencapai standar yang baik.	Menggunakan metode eksperimen dan menggunakan pengujian 7 parameter yaitu, Stabilitas, <i>Flow</i> , MQ, VIM, VMA, VFA, dan <i>Density</i> .	Stabilitas yang paling terbaik yaitu S6R4 (Serbuk Besi 6% dan Resin 4%) dengan nilai 1083,14 kg, Flow S2R6 dengan nilai 3,10 mm dan VIM yang terbaik adalah S2R4 dengan nilai 4,05%.

BAB III

METODOLOGI

3.1 Tipe Penelitian

Metode penelitian adalah suatu metode dengan cara pengumpulan data, pengolahan data, analisis, dan penyajian data secara sistematis untuk digunakan dalam penelitian. Informasi yang didapat bisa dalam bentuk apa saja, seperti jurnal, artikel, tesis, buku, koran dan bisa melalui media elektronik atau bisa melalui dari eksperimen, survei dan wawancara. Oleh karena itu, menentukan metodologi penelitian adalah langkah pertama. Dengan mengidentifikasi metodologi penelitian, peneliti memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang proses penelitian. Selain itu, peneliti akan lebih mudah menemukan solusi untuk alur penelitian, yang memungkinkan penelitian akan cepat selesai dengan hasil yang optimal.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen (percobaan). Dalam penelitian, metode eksperimen digunakan untuk menguji hipotesis melalui pengamatan dan pengukuran yang sistematis. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk besi dan resin terhadap sifat mekanik dan sifat fisik dari *asphalt concrete-wearing course* serta untuk mengetahui perbandingan nilai-nilai dari parameter *marshall* yang sesuai dengan syarat Standar Nasional Indonesia dan Bina Marga 2010. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang terletak di Terboyo Kulon, Kec. Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112.

3.2 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian:

1. Aspal yang berasal dari PT. Mohandas Oeloeng Kaliwungu dan menggunakan *Hot Mix Asphal* dengan penetrasi pen 60/70
2. *Filler* yang siap untuk penambahan pada campuran aspal.
3. Menggunakan agregat kasar dan agregat halus dari PT. Mohandas Oeloeng Kaliwungu.

4. Menggunakan serbuk besi yang berasal dari CV. Akur Jaya Tambak Aji dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6% dan menggunakan resin dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6%.

3.3 Peralatan Pengujian Material

3.3.1 Berat Jenis

Agregat Halus SNI 1970:2016

1. Timbangan

Harus sesuai dengan SNI 05-6414-2000.

2. Piknometer

Memasukkan benda uji agregat halus sebanyak $\pm 100 \text{ mm}^3$ secara berulang dalam labu atau wadah yang sesuai. Volume wadah yang akan diisi sampai bagian yang ditandai harus lebih besar dari ruang yang diperlukan untuk benda uji, paling tidak setengahnya yaitu 50%. Suatu labu 500 mL cukup untuk 500 gram rata-rata benda uji agregat halus. Labu Le Chatelier yang diuraikan dalam AASHTO T 133 dapat digunakan untuk 55 gram benda uji

3. Cetakan Kerucut

Cetakan yang terbuat dari baja dengan ketebalan 0,8 mm berbentuk kerucut terpancung dengan ukuran diameter dalam bagian atas $(40 \pm 3) \text{ mm}$, diameter dalam bagian bawah $(90 \pm 3) \text{ mm}$ dan tinggi kerucut terpancung $(75 \pm 3) \text{ mm}$.

4. Batang Penumbuk

Batang penumbuk logam dengan berat $(340 \pm 15) \text{ gram}$ dan permukaan lingkaran yang rata dengan diameter $(25 \pm 3) \text{ mm}$.

5. Oven

Alat oven yang digunakan harus memiliki kapasitas yang tepat, memiliki pengatur suhu, dan dapat memanaskan suhu hingga $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

6. Alat Pengukur Temperatur

Alat pengukur temperatur seperti termometer baik analog maupun elektronik, yang memiliki rentang pengukuran suhu yang tepat dan memiliki ketelitian pengukuran $1 ^\circ\text{C}$.

Agregat Kasar SNI 1969:2016

1. Timbangan

Timbangan harus memenuhi persyaratan SNI 05-6414-2000 dan dilengkapi dengan peralatan yang sesuai untuk menempatkan wadah uji contoh di dalam air di bagian tengah alat penimbang.

2. Wadah Contoh Uji

Untuk agregat dengan ukuran maksimum 37,5 mm atau lebih kecil, gunakan keranjang kawat ayakan No. 6 atau yang lebih halus atau ember dengan tingi dan lebar yang sama, dengan kapasitas 4 liter sampai 7 liter. Wadah harus dibuat agar dapat mencegah terperangkapnya udara ketika wadah ditenggelamkan.

3. Tangki Air

Sebuah tangki air yang kedap air sehubungan contoh uji dan wadahnya akan ditempatkan dengan benar-benar terendam ketika digantung pada timbangan, dilengkapi dengan suatu saluran pengeluaran air berlebih untuk menjaga agar ketinggian air tetap.

4. Alat Penggantung (kawat)

Untuk mengurangi efek yang dapat disebabkan oleh perbedaan panjang kawat yang terendam, kawat yang digunakan untuk menggantung wadah harus memiliki ukuran yang paling kecil.

5. Ayakan

Ayakan No. 4 atau ukuran lain jika dibutuhkan (Pasal 7).

3.3.2 Analisa Saringan

Untuk mengetahui gradasi material agregat yang nantinya ukuran tersebut tergolong dari syarat-syarat spesifikasi yang dapat digunakan untuk mendapatkan data yang maksimal.

SNI ASTM C136:2012

1. Timbangan

Nilai yang lebih tinggi dipilih pada kisaran nilai yang digunakan untuk agregat halus dengan pembacaan hingga 0,1 gram dan ketelitian 0,1 gram, atau 0,1% dari massa uji.

Untuk agregat kasar atau gabungan dari agregat halus dan agregat kasar, pembacaan dan ketelitian sampai 0,5 g atau 0,1% dari massa uji. Nilai yang lebih tinggi dipilih pada kisaran nilai yang digunakan.

2. Saringan

Untuk mengurangi kemungkinan beban berlebih pada saringan selama pengujian agregat kasar, disarankan untuk menggunakan saringan dengan diameter lebih besar dari diameter standar 203,2 mm (8 inci).

Tabel 3.1 Jumlah contoh uji maksimum yang diizinkan tertahan pada saringan, kg

Bukaan saringan mm	Dimensi nominal saringan ^a				
	203,2 mm Diameter ^b	254 mm Diameter ^b	304,8 mm Diameter ^b	(350 x 350 mm)	(372 x 580 mm)
	Luas bidang penyaringan, m ²				
	0,0285	0,0457	0,0670	0,1225	0,2158
125	c	c	c	c	67,4
100	c	c	c	30,6	53,9
90	c	c	15,1	27,6	48,5
75	c	8,6	12,6	23,0	40,5
63	c	7,2	10,6	19,3	34,0
50	3,6	5,7	8,4	15,3	27,0
37,5	2,7	4,3	6,3	11,5	20,2
25,0	1,8	2,9	4,2	7,7	13,5
19,0	1,4	2,2	3,2	5,8	10,2
12,5	0,89	1,4	2,1	3,8	6,7
9,5	0,67	1,1	1,6	2,9	5,1
4,75	0,33	0,54	0,80	1,5	2,6

Perhitungan jumlah contoh uji maksimum yang diizinkan tertahan pada saringan diperhitungkan dengan $2,5 \times [\text{bukaan saringan, mm} \times (\text{luas efektif bidang saringan, m}^2)]$ dalam satuan kg.

a. Dimensi bingkai saringan dalam satuan inci. Diameter 8,0 inci: diameter 10,0 inci ; diameter 12,0 inci ; 13,8 x 13,8 inci (nominal 14 inci x 14 inci); 14,6 inci x 22,8 inci (nominal 16 inci x 24 inci).

b. Bidang saringan lingkaran didasarkan pada diameter efektif 12,7 mm (1/2 inci) kurang dari diameter nominal bingkai karena M 92 mengizinkan perekat antara kain saringan dan bingkai sampai 6,35 mm (1.4 inci) melebihi kain saringan. Diameter efektif penyaringan untuk diameter bingkai saringan 203,2 mm (83,0 inci) adalah diameter bingkai saringan 190,5 mm (7,5 inci). Pada beberapa produk saringan perekatnya mungkin tidak penuh 6,35 mm (1/4 inci).

c. Menandai saringan yang memiliki kurang dari lima bukaan penuh yang tidak boleh digunakan untuk pengujian saringan.

Sumber: SNI ASTM C136:2012

Tabel 3.2 Berat Minimum Contoh Uji Agregat Kasar

Ukuran nominal maksimum bukaan saringan		Massa minimum contoh uji	
mm	inci	kg	lb
9,5	3/8	1	2
12,5	1/2	2	4
19,0	3/4	5	11
25,0	1	10	22
37,5	1 1/2	15	33
50,0	2	20	44
63,0	2 1/2	35	77
75,0	3	60	130
90,0	3 1/2	100	220
100,0	4	150	330
125,0	5	300	660

Sumber: SNI ASTM C136:2012

3. Pengguncang saringan mekanis

Kelebihan waktu (kurang lebih 10 menit) untuk mencapai penyaringan yang cukup dapat mengakibatkan degradasi pada contoh uji. Pengguncang saringan mekanis yang sama tidak bisa digunakan untuk semua ukuran contoh uji karena luasan penyaringan besar hanya digunakan untuk agregat kasar dengan ukuran nominal besar, apabila digunakan untuk contoh agregat kasar dengan ukuran kecil atau agregat halus, akan menyebabkan hilangnya sebagian contoh uji.

4. Oven

Oven yang digunakan harus memiliki ukuran yang tepat dan dapat mempertimbangkan suhu yang merata pada $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

3.4 Pengujian Aspal

3.4.1 Penetrasi

SNI 2456:2011

Kekerasan yang dinyatakan sebagai kedalaman masuknya jarum penetrasi standar secara vertikal yang dinyatakan dalam satuan 0,1 mm pada kondisi beban, waktu, dan temperatur. Pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi konsistensi aspal. Nilai penetrasi yang tinggi menunjukkan aspal yang lebih lunak. Peralatan yang digunakan selama uji penetrasi, yaitu:

1. Penetrometer
2. Jarum penetrasi
3. Cawan benda uji

4. Bak perendam
5. *Transfer dish*
6. Pengatur waktu
7. Termometer, harus sesuai dengan SNI 19-6421-2000

Tabel 3.3 Syarat Termometer

No. ASTM	Rentang
17 C	19 sampai dengan 27 °C
63 C	8 sampai dengan +32 °C
64 C	25 sampai dengan 55 °C

Sumber: SNI 2456:2011

Apabila kondisi pengujian tidak ditentukan maka temperatur, berat total dan pengujian adalah 25 °C, 100 gram dan 5 detik. Kondisi lain dapat digunakan untuk pengujian khusus antara lain seperti kondisi pada **Tabel 3.4**

Tabel 3.4 Kondisi lain untuk pengujian khusus

Temperatur °C	Berat Total (gram)	Waktu (detik)
0	200	60
4	200	60
45	50	5
46,1	50	5

Sumber: SNI 2456:2011

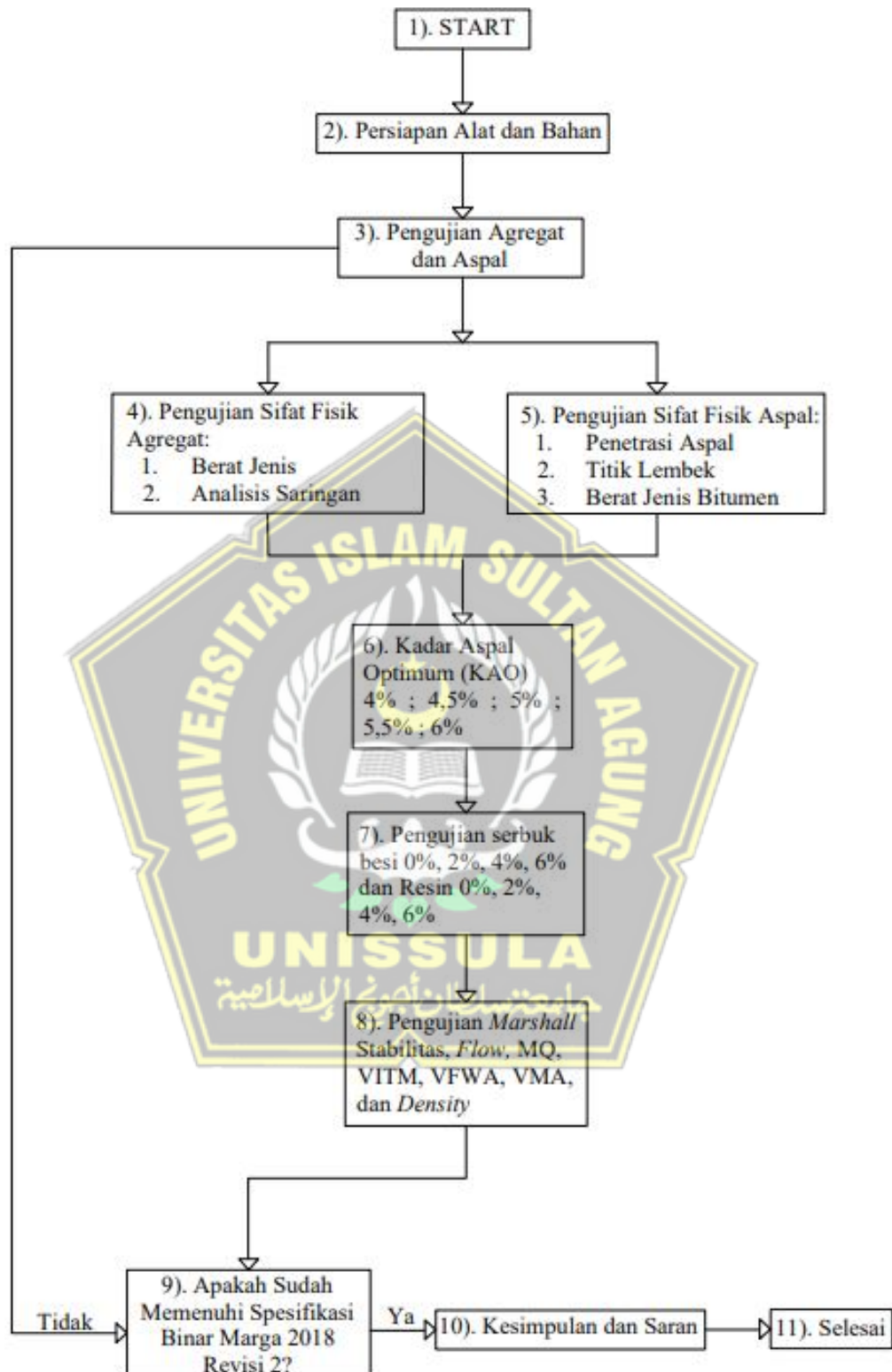
3.4.2 Titik Lembek (*Softening Point*)

SNI 2434:2011

Saat bola baja memiliki berat tertentu, suhu menurunkan lapisan aspal yang tertahan dalam cincin sehingga aspal menyentuh pelat dasar di bawah cincin pada jarak 25,4 mm. Peralatan selama pengujian titik lembek, yaitu:

1. Cincin; dua cincin yang terbuat dari bahan kuningan, bentuk dan dimensi cincin.
2. Pelat persiapan benda uji; dengan permukaan halus terbuat dari bahan kuningan ukuran $\pm 50 \text{ mm} \times 75 \text{ mm}$.
3. Bola; dua bola baja dengan diameter 9,5 mm, setiap bola mempunyai berat $3,5 \text{ g} \pm 0,05 \text{ g}$.
4. Pengarah bola; dua pengarah bola terbuat dari bahan kuningan, untuk meletakkan bola di tengah cincin, satu untuk setiap bola, bentuk dan dimensi.
5. Bejana perendam, gelas kimia tahan panas, mempunyai ukuran diameter dalam tidak kurang dari 85 mm dan tinggi tidak kurang dari 120 mm dari dasar bejana yang mendapat pemanasan.
6. Dudukan benda uji yang terdiri dari pemegang cincin dan peralatannya.
7. Termometer

3.5 Rancangan Penelitian



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

3.6 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini akan dilakukan dalam beberapa tahap, dari awal sampai akhir dalam secara sistematis.

1. *Start*

Memulai tahap penelitian sesuai dengan prosedur yang sudah ditentukan.

2. Persiapan alat dan bahan

Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan untuk pengerjaan pengujian benda uji.

a. Alat

Alat yang digunakan untuk penelitian berasal dari Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Berikut adalah alat yang digunakan untuk penelitian ini:

1. Timbangan
2. Piknometer
3. Cetakan kerucut
4. Batang penumbuk
5. Oven
6. Alat pengukur temperatur
7. Timbangan
8. Wadah contoh uji
9. Tangki air
10. Alat penggantung
11. Ayakan

b. Bahan

1. Air
2. Serbuk besi
3. Agregat halus, kasar, dan abu batu yang diperoleh dari PT. Mohandas Oeloeng Kaliwungu.
4. Resin
5. Aspal, menggunakan aspal *Hot Mix Asphalt* dengan pen 60/70
6. *Filler*

3. Pengujian agregat dan bahan

Melakukan pengujian sesuai dengan Bina Marga 2018 Revisi 2 dan SNI.

4. Pengujian sifat fisik agregat

Untuk memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, dilakukan pemeriksaan material campuran aspal. Semua pengujian yang dilakukan harus mengikuti standar *American Society for Testing Materials (ASTM)* dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pemeriksaan agregat kasar dan halus meliputi:

- a. Berat jenis agregat kasar (berdasarkan SNI 1969:2016).
- b. Kelekatan aspal terhadap agregat (berdasarkan SNI-06-2439-1991).
- c. Berat jenis dan penyerapan agregat halus (berdasarkan SNI 1970-2016).
- d. Pemeriksaan kadar lumpur/*Sand Equivalent Test* (berdasarkan SNI 3423:2008).
- e. Analisa butiran (berdasarkan SNI-M-02-1994-03).

5. Pengujian Sifat Fisik Aspal

Untuk menguji bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal pen 60/70. Pemeriksaan sifat fisik yang dilakukan dalam pengujian sebagai berikut:

- a. Pemeriksaan penetrasi aspal (berdasarkan SNI 06-2456-1991).
- b. Pemeriksaan titik lembek (berdasarkan SNI 06-2434-1991).
- c. Pemeriksaan berat jenis bitumen (berdasarkan SNI 06-2441-1991).

Setelah semua pengujian material dilakukan, selanjutnya melakukan perancangan dan pembuatan *sample* yang akan digunakan untuk penelitian dengan pengujian *Marshall*. Pembuatan sampel benda uji dilakukan setelah mendapatkan komposisi campuran aspal.

6. Kadar Aspal optimum

Kadar aspal yang digunakan sebagai sampel adalah 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, masing-masing menggunakan 3 sampel.

Tabel 3.5 Jumlah Sampel Penentuan KAO

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
4%	3
4,5%	3
5%	3
5,5%	3
6%	3
Total	15 sampel benda uji

7. Pengujian Serbuk Besi dan resin

Untuk bahan tambah komposisi serbuk besi menggunakan kadar 0%, 2%, dan 4% sedangkan untuk resin menggunakan kadar 0%, 2%, 4%, dan 6%.

Tabel 3.6 Jumlah Benda Uji untuk Variasi Serbuk Besi dan Resin

Jumlah Benda Uji Variasi Serbuk Besi dan Resin		
Kadar Resin	Kadar Serbuk Besi	Jumlah Benda Uji
Kadar 0%	Kadar 0%	3
	Kadar 2%	3
	Kadar 4%	3
	Kadar 6%	3
Kadar 2%	Kadar 0%	3
	Kadar 2%	3
	Kadar 4%	3
	Kadar 6%	3
Kadar 4%	Kadar 0%	3
	Kadar 2%	3
	Kadar 4%	3
	Kadar 6%	3
Kadar 6%	Kadar 0%	3
	Kadar 2%	3
	Kadar 4%	3
	Kadar 6%	3
Jumlah		48

8. Pengujian *Marshall*

SNI 2489:2018

a. Pembuatan benda uji

1. Menyiapkan semua alat dan bahan yang akan digunakan dalam penelitian, kemudian menimbang untuk menentukan presentase masing-masing material yang akan digunakan agar mempermudah dalam proses pencampuran.
2. Memanaskan aspal untuk proses pencampuran dan mencampur agregat, aspal, serbuk besi dan resin dengan menggunakan pemanas kemudian diaduk sampai menyatu semuanya.

3. Memastikan suhu campuran material mencapai 140 °C sebelum ditempatkan ke dalam cetakan yang sudah dibersihkan dan dipanaskan hingga mencapai suhu 90 °C-150 °C.
 4. Letakan cetakan di atas landasan pematik dan tahan menggunakan pemegang cetakan.
 5. Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan padatkan dengan menusuk-nusuk campuran menggunakan spatula yang sudah dipanaskan sebanyak 15 kali sekeliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya. Kemudian lakukan pemadatan scrap dan letakan di atas landasan pematik.
 6. Setelah itu lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 75 kali pada bagian atas dan 75 kali pada bagian bawah.
 7. Setelah proses pemadatan selesai, benda uji bisa diambil menggunakan alat *extruder* dan letakan benda uji pada permukaan yang rata serta diberi tanda atau label pada setiap benda uji kemudian diamkan selama 24 jam pada suhu ruang.
- b. Pengujian benda uji
- Proses pengujian benda uji menggunakan alat *Marshall Test* yang meliputi beberapa tahap sebagai berikut:
1. Rendam benda uji dalam bak perendam selama 30-40 menit di suhu sekitar 60 °C.
 2. Bersihkan secara menyeluruh bagian dalam permukaan kepala penekan dan dikasi pelumas agar benda uji dapat dilepaskan dengan mudah tanpa risiko terhambat atau terjepit setelah pengujian. Kemudian penting untuk periksa dan pastikan bahwa dial pada *paving ring* diatur sedemikian rupa sehingga jarum pada penunjuk berada pada angka nol ketika tidak ada beban yang ditetapkan, hal ini untuk menjamin akurasi pengukuran yang konsisten.
 3. Setelah perendaman sampel dalam *water bath* letakkan di tengah bagian bawah dari *test head*. *Flow* meter diletakkan di atas tanpa *guide road* dan jarum petunjuk dinolkan.

4. Pasang bagian atas alat penekan *Marshall Test* di atas sampel dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*. Sesuaikan posisi piston agar berada pada poros cetakan stabilitas.
5. Lakukan pembebanan dengan cara menekan tombol UP, kemudian hentikan tekanan dengan tombol OFF setelah mencapai kelelahan maksimum. Catat nilai kelelahan maksimum yang didapat.
6. Setelah pengujian selesai, turunkan pembebanan dengan menekan tombol *Down*, keluarkan benda uji kemudian buka bagian atas cetakan.

3.7 Menentukan Sampel

Dengan berat total = 1200 g

Tabel 3.7 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 0% dan Resin 0%

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

Tabel 3.8 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 0% dan Resin 2%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1.200
7	Resin	2%	1,392
Jumlah Sampel			3
Total			1.201

Tabel 3.9 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 0% dan Resin 4%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	Resin	4%	2,784
Jumlah Sampel		3	
Total		1.203	

Tabel 3.10 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 0% dan Resin 6%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	Resin	6%	4,176
Jumlah Sampel		3	
Total		1.204	

Tabel 3.11 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 2% dan Resin 0%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	2%	1,392
8	Resin	0%	0
Jumlah Sampel		3	
Total		1.201,4	

Tabel 3.12 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 2% dan Resin 2%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	2%	1,392
8	Resin	2%	1,392
Jumlah Sampel		3	
Total		1.202,8	

Tabel 3.13 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 2% dan Resin 4%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	2%	1,392
8	Resin	4%	2,784
Jumlah Sampel		3	
Total		1.204,2	

Tabel 3.14 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 2% dan Resin 6%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	Resin	2%	1,392
8	SB	6%	4,176
Jumlah Sampel		3	
Total		1.205,6	

Tabel 3.15 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 4% dan Resin 0%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	4%	2,784
8	Resin	0%	0
Jumlah Sampel		3	
Total		1.202,8	

Tabel 3.16 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 4% dan Resin 2%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	4%	2,784
8	Resin	2%	1,392
Jumlah Sampel		3	
Total		1.204,2	

Tabel 3.17 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 4% dan Resin 4%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	4%	2,784
8	Resin	4%	2,784
Jumlah Sampel		3	
Total		1.205,6	

Tabel 3.18 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 4% dan Resin 6%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	4%	2,784
8	Resin	6%	4,176
Jumlah Sampel		3	
Total		1.207	

Tabel 3.19 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 6% dan Resin 0%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	6%	4,176
8	Resin	0%	0
Jumlah Sampel		3	
Total		1.204,2	

Tabel 3.20 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 6% dan Resin 2%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	6%	4,176
8	Resin	2%	1,392
Jumlah Sampel		3	
Total		1.205,6	

Tabel 3.21 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 6% dan Resin 4%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	6%	4,176
8	Resin	4%	2,784
Jumlah Sampel		3	
Total		1.207	

Tabel 3.22 Rancangan Campuran Aspal (JMD) dengan SB 6% dan Resin 6%

No	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40%	480
2	Medium Agregat	25%	300
3	Coarse Agregat	25%	300
4	Pasir	3%	36
5	Filler	1,2%	14,4
6	Aspal	5,8%	69,6
Total		100%	1200
7	SB	6%	4,176
8	Resin	6%	4,176
Jumlah Sampel		3	
Total		1.208,4	

Masing-masing variasi memiliki 3 buah sampel untuk membandingkan benda uji, jika salah satu sampel tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 maka masih ada 2 sampel yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.

Tabel 3.23 Perhitungan Jumlah Sampel Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Nama Sampel	Agg Batu 3/4"		Agg Batu 1/2"		Abu Batu		Resin		Pasir		Serbuk Besi		Filler		Aspal		Total Agregat		Jumlah Sampel
	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	(gr)	%	
S0R0	300	25%	300	25%	480	40%	0	0%	36	3%	0	0%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1200	100%	3
S0R2	300	25%	300	25%	480	40%	1,392	2%	36	3%	0	0%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1201	102%	3
S0R4	300	25%	300	25%	480	40%	2,784	4%	36	3%	0	0%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1203	104%	3
S0R6	300	25%	300	25%	480	40%	4,176	6%	36	3%	0	0%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1204	106%	3
S2R0	300	25%	300	25%	480	40%	0	0%	36	3%	1,392	2%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1201,39	102%	3
S2R2	300	25%	300	25%	480	40%	1,392	2%	36	3%	1,392	2%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1202,78	104%	3
S2R4	300	25%	300	25%	480	40%	2,784	4%	36	3%	1,392	2%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1204,18	106%	3
S2R6	300	25%	300	25%	480	40%	4,176	6%	36	3%	1,392	2%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1205,57	108%	3
S4R0	300	25%	300	25%	480	40%	0	0%	36	3%	2,784	4%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1202,78	104%	3
S4R2	300	25%	300	25%	480	40%	1,392	2%	36	3%	2,784	4%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1204,18	106%	3
S4R4	300	25%	300	25%	480	40%	2,784	4%	36	3%	2,784	4%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1205,57	108%	3
S4R6	300	25%	300	25%	480	40%	4,176	6%	36	3%	2,784	4%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1206,96	110%	3
S6R0	300	25%	300	25%	480	40%	0	0%	36	3%	4,176	6%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1204,18	106%	3
S6R2	300	25%	300	25%	480	40%	1,392	2%	36	3%	4,176	6%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1205,57	108%	3
S6R4	300	25%	300	25%	480	40%	2,784	4%	36	3%	4,176	6%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1206,96	110%	3
S6R6	300	25%	300	25%	480	40%	4,176	6%	36	3%	4,176	6%	14,4	1,2%	69,6	5,80%	1208,35	112%	3
TOTAL SAMPEL																			48

Jadi, total keseluruhan sampel adalah 48 sampel.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Material

Persiapan material yang tepat sangat penting dalam pembuatan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). Material yang digunakan harus memenuhi spesifikasi teknis untuk memastikan kinerja optimal dari campuran aspal. Untuk studi ini dilakukan melalui berbagai tahapan termasuk pembuatan sampel uji, melakukan eksperimen laboratorium, penyusunan materi penelitian, dan mengevaluasi komposisi aspal. Pada tahap penyediaan bahan, disiapkan agregat kasar, agregat halus serta aspal pen 60/70 diambil dari PT. Mohandas Oeloeng Kendal, serbuk besi diambil dari CV. Akur Jaya Tambakaji dan Resin dari Toko Bahan kimia Indrasari. Penggunaan bahan tambah seperti serbuk besi dan resin dapat meningkatkan performa campuran, namun harus dilakukan dengan perencanaan yang matang dan pengujian yang menyeluruh untuk mencapai hasil terbaik dalam perkerasan jalan. Semua proses pembuatan benda uji dan properties material, uji aspal, dan pengujian *marshall* dilakukan di Laboratorium Transportasi Jalan Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4.1 Pengambilan Serbuk Besi



Gambar 4.2 Pengambilan Material

4.2 Hasil Pengujian Laboratorium

4.2.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal

Dalam penelitian ini, aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70. Dalam pengujian yang kita lakukan ada 4 parameter yaitu penetrasi, titik lembek dan berat jenis aspal. Hasil pengujian menggunakan perbandingan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 6.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian 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	61	SNI 2456:2011	Memenuhi
2	Titik Lembek 5°C (<i>Ring and Ball Test</i>)	°C	48	-	50	SNI 2434:2011	Memenuhi
3	Berat jenis	%	Min 1,0	-	79,13	SNI 2441:2011	Memenuhi

Catatan:

Untuk titik lembek PEN 60 adalah 50 °C – 58 °C (RSNI S-01-2003)

AC PEN 60/70, yaitu dengan penetrasi antara 60-70

4.2.2 Hasil Pengujian Agregat

Berat jenis, yang dinyatakan dalam gram/cm³, merupakan ukuran kepadatan material. Dalam konteks AC-WC, berat jenis menunjukkan seberapa padat campuran aspal

setelah diterapkan dan dipadatkan di lapangan. Ini berpengaruh langsung terhadap kekuatan dan ketahanan perkerasan jalan terhadap beban lalu lintas dan kondisi lingkungan. Berikut adalah hasil pengujian agregat kasar dan agregat halus.

Tabel 4.2 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat Kasar				
1	Kelekatan agregat terhadap aspal pen 60/70	SNI 2439- 2011	Min. 95%	98%	Memenuhi
2	Material lolos saringan no 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,6%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat kasar $\frac{3}{4}$ b. Agregat kasar $\frac{1}{2}$	SNI 1969-2016	Maks. 3%	2,733% 0,986%	Memenuhi
B	Agregat Halus				
1	Material lolos saringan no. 200	ASTM C117:2012	Maks. 5%	4,55%	Memenuhi
2	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat halus (abu batu) b. Agregat halus (pasir)	SNI 1970-2016	Maks. 3%	2,114% 2,642%	Memenuhi

Berdasarkan hasil diatas material agregat yang berasal dari PT. Mohandas Oeloeng Kendal setelah dilakukan pengujian hasilnya semua material memenuhi persyaratan spesifikasi 2018, maka agregat dapat digunakan sebagai campural 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 di uji dengan hasil sesuai dengan spesifikasi teknis.

4.2.3 Hasil Pengujian Analisa Saringan

Pengujian analisa sarigan terdiri dari agregat kasar yang lolos saringan 1 $\frac{1}{2}$ - $\frac{3}{4}$ dan tertahan mulai dari saringan $\frac{1}{2}$ sampai saringan 200 dapat dilihat pada **Tabel 4.3**.

Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Kasar 3/4

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	Rata-rata	TERTAHAN		LOLOS
SIEVE SIZE		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm							
1 1/2"	37,5	0.00	0.00	100	100	0.00	0.00	100
1"	25,0	0.00	0.00	100	100	0.00	0.00	100
3/4"	19,0	90	2,89	97,11	97,09	92	2,94	97,06
1/2"	12,5	111	3,56	96,44	96,39	115	3,66	96,34
3/8"	9,5	1.000	32,05	67,95	64,87	1.200	38,22	61,78
# 4	4,75	2.115	67,79	32,21	32,19	2.130	67,83	32,17
# 8	2,36	2.190	70,19	29,81	29,88	2.200	70,06	29,94
# 16	1,15	2.920	93,59	6,41	6,39	2.940	93,63	6,37
# 30	0,6	2.930	93,91	6,09	6,15	2.945	93,79	6,21
# 50	0,3	2.960	94,87	5,13	5,27	2.970	94,60	5,40
#100	0,15	2.973	95,29	4,71	4,84	2.984	95,03	4,97
# 200	0,075	2.993	95,93	4,07	4,43	2.990	95,22	4,78
Weight Of Sample (gr)		3.120				3.140		

Pada analisa saringan agregat kasar yang merupakan lolos saringan 3/4 sebanyak 96,48 dan 56,08% tertahan pada saringan 1/2. Untuk agregat medium yaitu lolos saringan 3/8 dan tertahan pada saringan No. 4 atau 4,75 sebanyak 3,01

Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Kasar 1/2

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN		LOLOS	Rata-Rata	TERTAHAN		LOLOS
SIEVE SIZE		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm							
1"	25	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00
3/4"	19	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00
1/2"	12,5	0.00	0.00	100,00	100,00	0.00	0.00	100,00
3/8"	9,5	44	2,91	97,09	97,00	50	3,09	96,91
# 4	4,75	800	52,98	47,02	44,19	950	58,64	41,36
# 8	2,36	1.000	66,23	33,77	32,94	1.100	67,90	32,10
# 16	1,15	1.040	68,87	31,13	32,23	1.080	66,67	33,33
# 30	0,6	1.150	76,16	23,84	23,34	1.250	77,16	22,84
# 50	0,3	1.289	85,36	14,64	15,66	1.350	83,33	16,67
#100	0,15	1.400	92,72	7,28	6,11	1.540	95,06	4,94
# 200	0,075	1.485	98,36	1,64	1,83	1.587	97,98	2,02
Weight Of Sample (gr)		1.510				1.620		

Pada analisa saringan, agregat kasar yang lolos saringan 1/2 dan tertahan pada saringan 3/8 sebanyak 89,75%. Untuk agregat yang tertahan pada saringan No. 4 atau 4,75 mm sebanyak 53,62%.

Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Halus (Abu Batu)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		TERTAHAN		LOLOS	Rata-Rata	TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm							
1"	25	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	2,0	0,38	99,62	98,99	10,0	1,64	98,36
# 8	2,36	130,0	25,00	75,00	74,39	160,0	26,23	73,77
# 16	1,15	200,0	38,46	61,54	54,54	320,0	52,46	47,54
# 30	0,6	312,0	60,00	40,00	37,22	400,0	65,57	34,43
# 50	0,3	384,0	73,85	26,15	23,73	480,0	78,69	21,31
#100	0,15	450,0	86,54	13,46	11,65	550,0	90,16	9,84
# 200	0,08	476,9	91,71	8,29	6,08	586,4	96,13	3,87
Weight Of Sample (gr)		520,0				610,0		

Pada analisa saringan agregat halus yaitu abu batu dalam saringan 3/8 atau 9,50 mm yang lolos adalah 100% agregat dalam analisa saringan. Untuk kedua sampel lolos hingga 100% dari saringan 3/4" sampai 3/8". Untuk agregat 4,75 mm atau lolos saringan No. 4 hingga 94%.

Tabel 4.6 Hasil Pemeriksaan Saringan Agregat Halus (Pasir)

UKURAN SARINGAN		KOMULATIF			Rata - rata	KOMULATIF		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
inch	mm	gr	%	%		gr	%	%
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	6	1,24	98,76	98,34	12	2,08	97,92
# 8	2,36	125,8	20,29	79,71	76,61	165,6	26,50	73,50
# 16	1,15	149,0	24,03	75,97	71,99	200,0	32,00	68,00
# 30	0,6	215,0	34,68	65,32	61,46	265,0	42,40	57,60
# 50	0,3	287,0	46,29	53,71	52,22	308,0	49,28	50,72
#100	0,15	306,4	49,42	50,58	36,38	486,4	77,82	22,18
# 200	0,075	485,6	78,32	21,68	14,71	576,6	92,26	7,74
Berat Contoh		620,0				625,0		

Pada analisa saringan agregat halus yaitu pasir dalam saringan 3/8 atau 9,50 mm yang lolos adalah 100% agregat dalam analisa saringan. Untuk kedua sampel lolos hingga 100% dari saringan 3/4" sampai 3/8". Untuk agregat 4,75 mm atau lolos saringan No. 4 hingga 93,39%.

Tabel 4.7 Hasil Pemeriksaan Filler (Semen)

UKURAN SARINGAN		TERTAHAN			Rata-Rata	TERTAHAN		
SIEVE SIZE		gr		LOLOS		gr		LOLOS
inch	mm		%	%			%	%
11/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,36	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 16	1,15	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 30	0,6	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 50	0,3	26,6	21,28	78,72	64,76	73,8	49,20	50,80
#100	0,15	38,4	30,72	69,28	57,51	81,4	54,27	45,73
# 200	0,075	90,4	72,32	27,68	15,98	143,6	95,73	4,27
Weight Of Sample (gr)		125,0				150,0		

Untuk agregat halus terbagi disetiap saringan kecuali saringan No. 200 yang tertahan sebanyak 94,60. Pada tabel analisa, jenis material *filler* semen semua material lolos saringan 11/2" sampai saringan No. 30 kecuali pada saringan No. 200 lolos sebanyak 4,84%.

4.3 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

Kombinasi agregat adalah penggabungan dari masing-masing agregat yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ dan tertahan mulai dari saringan ukuran 1/2 sampai dengan #200, yang terdiri dari agregat kasar $\frac{3}{4}$, agregat kasar $\frac{1}{2}$, abu batu, pasir, dan semen.

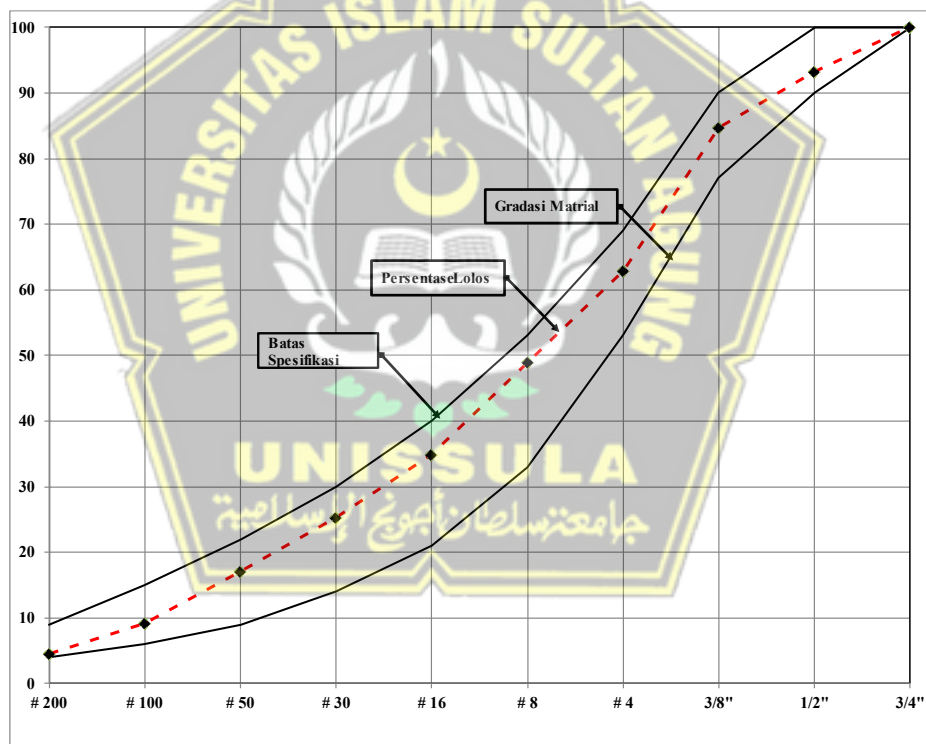
Tabel 4.8 Perhitungan Kombinasi Agregat (SNI 03-1968-1990)

Uraian		1"	3/4"	1/2"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Inch	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	97,09	96,39	64,87	32,19	29,88	6,39	6,15	5,27	4,84	4,43
Batu Pecah Max 1/2'		100,00	100,00	100,00	97,00	44,19	32,94	32,23	23,34	15,66	6,11	1,83
Abu Batu		100,00	100,00	100,00	100,00	98,99	74,39	54,54	37,22	23,73	11,65	6,08
Pasir		100,00	100,00	100,00	100,00	98,34	76,61	71,99	61,46	52,22	36,38	14,71
Filler Semen		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	64,76	57,51	15,98
Batu Pecah Max 3/4'		25,0%	25,00	24,27	24,10	16,22	8,05	7,47	1,60	1,54	1,32	1,11
Batu Pecah Max 1/2'		25,0%	25,00	25,00	25,00	24,25	11,05	8,23	8,06	5,84	3,91	1,53
Abu Batu		40,0%	40,00	40,00	40,00	39,60	29,75	21,82	14,89	9,49	4,66	2,43
Pasir		3,0%	3,00	3,00	3,00	2,95	2,30	2,16	1,84	1,57	1,09	0,44
Filler Semen		1,2%	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	0,78	0,69	0,19
Total Campuran		100%	100,00	100,00	93,30	84,67	62,84	48,95	34,83	25,30	17,07	9,18
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 Agr		5,83										

Tabel 4.9 Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan (SNI 03-1968-1990)

No. Saringan	Presentase Lolos Kombinasi Lolos	Spesifikasi	
		Batas Bawah	Batas Atas
#200	4,12	2	7
#100	7,13	5	12
#50	11,61	8	18
#30	15,11	12	25
#16	21,72	23	35
#8	31,34	33	48
#4	56,65	50	65
3/8"	69,59	70	80
1/2"	87,5	85	95
3/4"	100	100	100
1"	100	100	100

Hasil total campuran gradasi agregat dari setiap saringan, yang ditunjukkan dalam **Tabel 4.9**, tidak boleh melebihi batas maksimum dan minimum dari spesifikasi gradasi yang telah ditetapkan, seperti grafik dibawah.



Grafik 4.1 Kombinasi agregat

Grafik diatas menunjukkan bahwa kombinasi agregat presentase yang lolos saringan 200 sampai dengan 1" tidak boleh melewati batas atas dan batas bawah masing-masing agregat yang disaring. Jika agregat ini melewati batas maka tidak bisa digunakan untuk penggunaan AC-WC.

4.4 Pengujian Berat Jenis Aspal

Berat jenis campuran beraspal ditentukan dengan menentukan mengukur berat dan isi dari benda uji serta menentukan kadar udara dalam campuran yang dimana udara berada diantara butir-butir benda uji yang dikeluarkan dengan cara pengisapan.

4.4.1 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal Normal

Pengujian 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 3 buah.



Tabel 4.10 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
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.367,8	1.367,8	1.379,8	1.370,8	1.370,8	1.370,8	1.370,8	1.370,8	1.357,0
2	Berat Botol	Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh	(1 - 2) Grm	600	600	612	603	603	603	603	603	589
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2.290,4	2.290,1	2.289,8	2.296,6	2.294,3	2.295,5	2.294,0	2.292,5	2.293,6
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.929,6	1.820,0	1.897,8	1.926,6	1.899,0	1.911,6	1.928,6	1.926,7	1.925,7
6	Berat air	(4 - 5) Grm	361	470	392	370	395	384	365	366	368
7	Volume contoh	(3 - 6) Grm	239	130	220	233	208	219	238	237	221
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7) Grm / cc	2,508	4,619	2,782	2,588	2,903	2,752	2,538	2,542	2,662
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10) Grm / cc	2,508	4,619	2,782	2,588	2,903	2,752	2,538	2,542	2,662
Rata - rata GMM			3,303				2,748		2,581		
Variasi Kadar Aspal Optimum (%)			4%			4,5%		5%			

Tabel 4.11 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum Komposisi Normal

No.	Normal		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)					
	Contoh No :		10	11	12	13	14	15
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.302,0	1.355,8	1.355,8	1.367,8	1.369,8	1.361,8
2	Berat Botol	Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh (1 - 2)	Grm	534	588	588	600	602	594
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2.230,4	2.235,7	2.240,4	2.227,6	2.230,9	2.229,3
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.900,0	1.900,0	1.904,3	1.873,6	1.875,6	1.900,0
6	Berat air (4 - 5)	Grm	330	336	336	354	355	329
7	Volume contoh (3 - 6)	Grm	204	252	252	246	247	265
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm / cc	2,621	2,331	2,334	2,439	2,440	2,244
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm / cc	2,621	2,331	2,334	2,439	2,440	2,244
Rata - rata GMM			2,478					2,342
Variasi Kadar Aspal Optimum (%)			5,5%				6%	

Hasilnya menunjukkan bahwa campuran aspal yang memiliki Kadar Aspal Optimum 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% dengan berat jenis aspal maksimum 2,690 gr/cc.

4.4.2 Hasil Pengujian Berat Jenis Dengan Campuran Serbuk Besi dan Resin

Pengujian berat jenis campuran aspal dengan serbuk besi dan resin ada 16 variasi kadar aspal yaitu 0%, 2%, 4% dan 6% dengan benda uji Maximum Specific Gravity (GMM) sebanyak 3 buah.

Tabel 4.12 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal dengan Serbuk Besi dan Resin

No.	Serbuk Besi + Resin			Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)					
	Contoh No :			1	2	3	4	5	6
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1.365,9	1.368,4	1.362,0	1.364,0	1.366,7	1.363,5
2	Berat Botol		Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	598,1	600,6	594,2	596,2	598,9	595,7
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)		Grm	2.290,4	2.291,2	2.290,8	2.296,6	2.294,9	2.295,8
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)		Grm	1.929,6	1.930,3	1.930,0	1.926,6	1.925,0	1.925,8
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	360,8	360,9	360,9	370,0	369,9	370,0
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	237,3	239,7	233,4	226,2	229,0	225,7
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	Grm / cc	2,520	2,506	2,546	2,636	2,615	2,639
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2,520	2,506	2,546	2,636	2,615	2,639
Rata - rata GMM				2,524			2,630		
Variasi Campuran Aspal				Serbuk Besi 0% + Resin 0%			Serbuk Besi 0% + Resin 2%		

Tabel 4.13 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal dengan Serbuk Besi dan Resin

No.	Serbuk Besi + Resin		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)						
	Contoh No :		7	8	9	10	11	12	
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1.364,6	1.366,6	2,0	- 8,0	1.359,6	1.360,6
2	Berat Botol		Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	596,8	598,8	- 765,8	- 775,8	591,8	592,8
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)		Grm	2.294,2	2.292,1	2.293,2	2.266,0	2.264,2	2.265,1
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)		Grm	1.928,2	1.926,9	1.927,6	1.921,2	1.920,0	1.920,6
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	366,0	365,2	365,7	344,8	344,2	344,5
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	230,8	233,6	- 1.131,5	- 1.120,6	247,6	248,3
8	Max Specific Gravity (Gmm)		(3 : 7) Grm / cc	2,586	2,563	0,677	0,692	2,390	2,387
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2,586	2,563	0,677	0,692	2,390	2,387
Rata - rata GMM				1,942			1,823		
Variasi Campuran Aspal				Serbuk Besi 0% + Resin 4%			Serbuk Besi 0% + Resin 6%		

No.	Serbuk Besi + Resin		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)						
	Contoh No :		13	14	15	16	17	18	
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1.360,0	1.358,9	1.359,5	1.367,4	1.364,5	1.366,6
2	Berat Botol		Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	592,2	591,1	591,7	599,6	596,7	598,8
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)		Grm	2.294,4	2.295,2	2.294,8	2.283,0	2.285,0	2.284,0
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)		Grm	1.923,4	1.920,9	1.922,2	1.929,8	1.925,6	1.927,7
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	371	374	373	353	359	356
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	221	217	219	246	237	243
8	Max Specific Gravity (Gmm)		(3 : 7) Grm / cc	2,677	2,726	2,702	2,433	2,515	2,469
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2,677	2,726	2,702	2,433	2,515	2,469
Rata - rata GMM				2,702			2,472		
Variasi Campuran Aspal				Serbuk Besi 2% + Resin 0%			Serbuk Besi 2% + Resin 2%		

Tabel 4.14 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal dengan Serbuk Besi dan Resin

No.	Serbuk Besi + Resin		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)					
	Contoh No :		19	20	21	22	23	24
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.359,8	1.364,4	1.362,1	1.367,0	1.367,2	1.367,9
2	Berat Botol	Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh (1 - 2)	Grm	592,0	596,6	594,3	599,2	599,4	600,1
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2.292,2	2.280,8	2.286,5	2.292,2	2.289,8	2.291,0
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.928,0	1.925,6	1.926,8	1.932,6	1.932,3	1.932,5
6	Berat air (4 - 5)	Grm	364	355	360	360	358	359
7	Volume contoh (3 - 6)	Grm	228	241	235	240	242	242
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm / cc	2,599	2,471	2,533	2,501	2,478	2,484
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm / cc	2,599	2,471	2,533	2,501	2,478	2,484
Rata - rata GMM			2,534			2,488		
Variasi Campuran Aspal			Serbuk Besi 2% + Resin 4%			Serbuk Besi 2% + Resin 6%		

No.	Serbuk Besi + Resin		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)					
	Contoh No :		25	26	27	28	29	30
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.363,5	1.364,6	1.366,6	1.366,0	1.358,7	1.359,6
2	Berat Botol	Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh (1 - 2)	Grm	595,7	596,8	598,8	598,2	590,9	591,8
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2.281,5	2.280,4	2.280,7	2.262,4	2.268,0	2.265,9
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.933,6	1.930,8	1.931,6	1.930,1	1.929,2	1.930,5
6	Berat air (4 - 5)	Grm	348	350	349	332	339	335
7	Volume contoh (3 - 6)	Grm	248	247	250	266	252	256
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm / cc	2,404	2,414	2,398	2,250	2,344	2,308
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm / cc	2,404	2,414	2,398	2,250	2,344	2,308
Rata - rata GMM			2,405			2,301		
Variasi Campuran Aspal			Serbuk Besi 4% + Resin 0%			Serbuk Besi 4% + Resin 2%		

Tabel 4.15 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal dengan Serbuk Besi dan Resin

No.	Serbuk Besi + Resin		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)					
	Contoh No :		31	32	33	34	35	36
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.367,0	1.366,6	1.359,8	1.364,4	1.362,1	1.367,0
2	Berat Botol	Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh (1 - 2)	Grm	599,2	598,8	592,0	596,6	594,3	599,2
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2.271,0	2.271,5	2.272,0	2.275,2	2.276,6	2.275,8
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.920,0	1.921,3	1.922,5	1.920,2	1.919,0	1.919,7
6	Berat air (4 - 5)	Grm	351	350	350	355	358	356
7	Volume contoh (3 - 6)	Grm	248	249	243	242	237	243
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm / cc	2,414	2,409	2,441	2,469	2,511	2,465
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm / cc	2,414	2,409	2,441	2,469	2,511	2,465
Rata - rata GMM			2,422			2,482		
Variasi Campuran Aspal			Serbuk Besi 4% + Resin 4%			Serbuk Besi 4% + Resin 6%		

No.	Serbuk Besi + Resin		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)					
	Contoh No :		37	38	39	40	41	42
1	Berat Botol + Contoh	Grm	1.365,9	1.368,4	1.362,0	1.364,0	1.366,7	1.363,5
2	Berat Botol	Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh (1 - 2)	Grm	598,1	600,6	594,2	596,2	598,9	595,7
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)	Grm	2.281,4	2.280,2	2.280,2	2.292,2	2.291,8	2.290,0
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)	Grm	1.923,1	1.922,9	1.923,4	1.935,2	1.936,0	1.935,8
6	Berat air (4 - 5)	Grm	358	357	357	357	356	354
7	Volume contoh (3 - 6)	Grm	240	243	237	239	243	242
8	Max Specific Gravity (Gmm) (3 : 7)	Grm / cc	2,494	2,469	2,503	2,492	2,464	2,467
9	Temperatur air T °C	Grm	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu	Grm	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm) (8 x 10)	Grm / cc	2,494	2,469	2,503	2,492	2,464	2,467
Rata - rata GMM			2,489			2,474		
Variasi Campuran Aspal			Serbuk Besi 6% + Resin 0%			Serbuk Besi 6% + Resin 2%		

Tabel 4.16 Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Aspal dengan Serbuk Besi dan Resin

No.	Serbuk Besi + Resin			Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)					
	Contoh No :			43	44	45	46	47	48
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1.370,8	1.370,8	1.357,0	1.365,9	1.368,4	1.362,0
2	Berat Botol		Grm	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8	767,8
3	Berat Contoh	(1 - 2)	Grm	603,0	603,0	589,2	598,1	600,6	594,2
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)		Grm	2.275,9	2.276,0	2.276,8	2.270,0	2.269,8	2.271,3
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)		Grm	1.921,6	1.921,2	1.920,8	1.896,5	1.896,4	1.897,0
6	Berat air	(4 - 5)	Grm	354	355	356	374	373	374
7	Volume contoh	(3 - 6)	Grm	249	248	233	225	227	220
8	Max Specific Gravity (Gmm)	(3 : 7)	Grm / cc	2,425	2,429	2,527	2,663	2,643	2,702
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)	(8 x 10)	Grm / cc	2,425	2,429	2,527	2,663	2,643	2,702
Rata - rata GMM				2,460			2,670		
Variasi Campuran Aspal				Serbuk Besi 6% + Resin 4%			Serbuk Besi 6% + Resin 6%		

Hasilnya menunjukkan bahwa campuran aspal dengan serbuk besi dan resin menggunakan variasi 0%, 2%, 4%, dan 6% dengan berat jenis aspal maksimum 2,497 gr/cc.

4.5 Hasil Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi

Pengujian kadar aspal dan ekstraksi adalah proses analisis kimia untuk menentukan kadar aspal optimum dalam campuran beraspal.

Tabel 4.17 Hasil Pengujian Kadar Aspal

No	Uraian Pemeriksaan	Rumus	Sampel 1	Sampel 2	Satuan
1	Berat Cawan		105.6	105.6	gr
2	Berat Material + Cawan Sebelum		554.4	542.3	gr
3	Berat Material + Cawan Sesudah		534.2	524.1	gr
4	Berat Sebelum Ekstraksi	2 - 1	448.8	436.7	gr
5	Berat Setelah Ekstraksi	3 - 1	428.6	418.5	gr
6	Berat Kertas <i>Filter</i>		6.5	6.5	gr
7	Berat Total Mineral	3 - 1 - 6	422.1	412	gr
8	Berat Aspal Dalam Campuran	4 - 7	26.7	24.7	gr
9	Persen Aspal Dalam Campuran	$(8 / 4) \cdot 100$	5.95	5.66	%
Rata-rata			5.80		%

Dari hasil tabel diatas didapatkan Kadar Aspal Optimum sebesar 5,80% dan digunakan untuk campuran aspal modifikasi yaitu serbuk besi dan resin. Hasil pengujian diatas telah memenuhi persyaratan karakteristik *Marshall* yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 3.

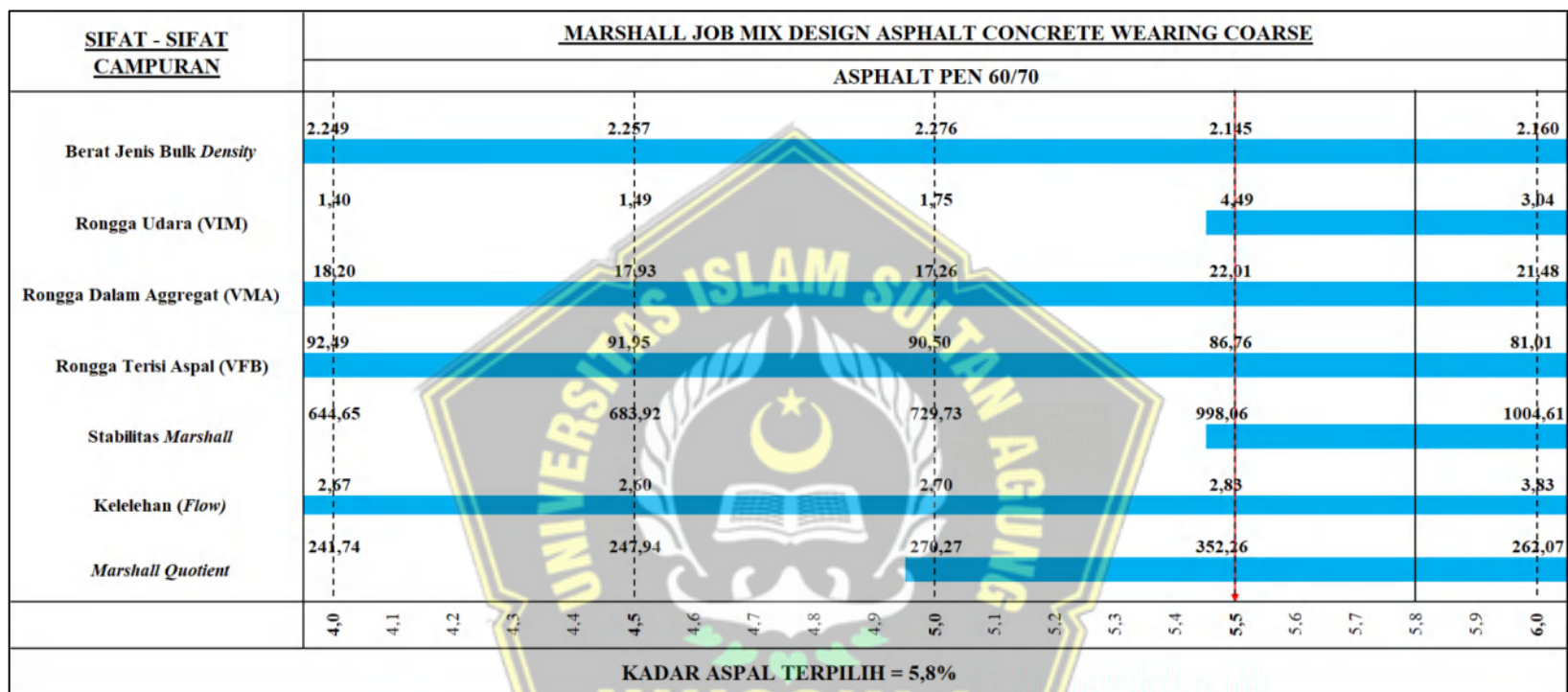
4.5.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

Untuk penelitian ini, kadar aspal optimum untuk campuran lapisan aspal beton adalah 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Hasil pengujian dan analisis parameter disajikan pada tabel 4.17. selanjutnya, kadar aspal optimum ditentukan dengan menggunakan Spesifikasi Bina Marga, yang memenuhi 7 parameter, yaitu Stabilitas, *Flow*, *Marshall*, VIM, VFA, VMA dan *Density*.

Tabel 4.18 Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Beraspal		Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFA (%)	Density (%)
Spesifikasi	Min	800	2	250	3	15	65	2
	Maks	-	4	-	5	-	-	-
4		6253.43	3.00	2084.5	2.63	19.23	86.31	2.22135
		7407.91	2.00	3704.0	0.63	17.57	96.40	2.26696
		2856.75	2.50	1142.7	0.93	17.81	94.78	2.26017
Rata-rata		5506.03	2.50	2202.4	1.40	18.20	92.49	2.249
4,5		5868.60	3.00	1956.2	1.80	18.62	90.36	2.23809
		4040.68	2.50	1616.3	0.66	17.68	96.29	2.26403
		11063.76	3.00	3687.9	2.03	18.82	89.21	2.23274
Rata-rata		6991.01	2.83	2467.4	1.49	18.37	91.95	2.24495
5		6253.43	3.00	2084.5	1.54	18.20	91.53	2.24976
		6253.43	3.50	1786.7	1.81	18.42	90.19	2.2437
		9909.28	4.00	2477.3	1.89	18.49	89.79	2.24187
Rata-rata		7472.05	3.50	2134.9	1.75	18.37	90.50	2.245
5,5		6734.46	4.00	1683.6	2.47	20.36	87.86	2.19046
		6734.46	3.50	1924.1	9.10	25.77	64.69	2.04159
		4810.33	3.50	1374.4	1.89	19.89	90.49	2.20351
Rata-rata		6093.08	3.67	1661.8	4.49	22.01	81.01	2.145
6		5387.57	4.00	1346.9	1.06	19.88	94.65	2.19081
		5483.78	4.00	1370.9	0.75	19.62	96.20	2.08226
		5868.60	3.00	1956.2	0.54	19.46	97.21	2.20667
Rata-rata		5579.98	3.67	1521.8	0.78	19.65	96.02	2.160

Berikut adalah hasil rekapitulasi dari 7 nilai parameter untuk menentukan Kadar Aspal Optimum yang baik, yang akan digunakan dalam campuran aspal modifikasi.



Grafik 4.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* terhadap campuran AC-WC dengan variasi Kadar Aspal Optimum 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% didapatkan KAO 5,8%. Berdasarkan grafik diagram batang KAO tidak semua kadar memenuhi persyaratan maka untuk mencari Kadar Aspal Optimum dapat dihitung dengan batas minimum dan maksimum, yaitu:

$$x = \frac{5,5+6}{2} = 5,8\%$$

4.5.2 Ringkasan Hasil Pengujian AC-WC

Contoh campuran untuk *Asphalt Concrete-Wearing Course* sebagai berikut:

Kadar aspal	= 5,8%	
Berat total	= 1200 gr	
Berat aspal	= 5,8% x 1200	= 69,6 gr
Berat total agregat	= (100 – 5,8%) x 1200	= 1130,4 gr
-) Coarse Agregat 3/4	= 25% x 1200 gr	= 300 gr
-) Medium Agregat 1/2	= 25% x 1200 gr	= 300 gr
-) Pasir	= 3% x 1200 gr	= 36 gr
-) Abu Batu	= 40% x 1200 gr	= 480 gr
-) Filler	= 1,2% x 1200 gr	= 14,4 gr
Total Agregat		= 1130,4 gr

4.6 Hasil Pemeriksaan Marshall

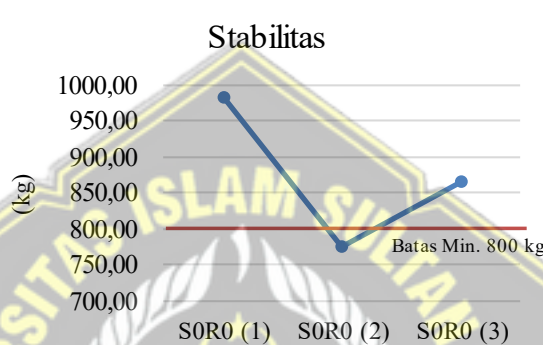
Setelah menentukan *Job Mix Design*, *Job Mix Formula* dan pembuatan benda uji sebanyak 48 sampel maka, setelah itu benda uji ditimbang saat masih kering. Setelah itu, dimasukkan kedalam air untuk ditimbang berat dalam air lalu dikeringkan untuk ditimbang berat jenis SSD. Setelah dilakukannya pengujian berat jenis, benda uji dimasukkan kedalam *water bath* selama 30 menit dalam suhu 60 °C. Kemudian, benda uji harus segera diuji pada alat Marshall untuk mengetahui nilai Stabilitas dan *flow*. Untuk mengetahui nilai dari aspal modifikasi yang bagus maka dilakukannya 7 parameter, yaitu Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFA, *Density* dan MQ.

4.6.1 Hasil Marshall Serbuk Besi 0% dan Resin 0%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 0% dan resin 0%. Berikut adalah hasil Marshall dengan kadar serbuk besi 0% dan resin 0%.

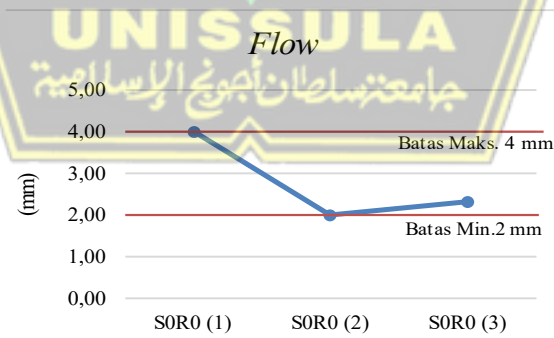
Tabel 4.19 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 0% dan Resin 0%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gst)2,516			BJ Total Agg (Gsb) :			2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg		
Nama Sampel		Kadar Aspal	Berat di udara	Berat dalam air	Berat SSD	Volume/ Isi	Bj. Bulk Campuran	Bj. Maks Kombinasi Campuran Agg	Rongga diantara Agg (VMA)	Rongga dlm Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFA)	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk Besi	Resin											Dibaca Arloji	di sesuaikan	Kelebihan Plastis	hasil bagi marshall
a		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100 - h}{g_{sb}} \cdot g \right)$	$100 - \left(\frac{100 \cdot g}{h} \right)$	$100 \cdot \left(\frac{i-j}{i} \right)$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
0%	0%	5,8	1105	620	1115	495	2.232	2.301	23.5	3,0	87.3	100	981.70	4,0	245.43
0%	0%	5,8	1120	635.3	1130.7	495.4	2.261	2.301	22.5	1.7	92.2	79	775.54	2,0	387.77
0%	0%	5,8	1124	625	1135.6	510.6	2.201	2.301	24.6	4.3	82.4	88	863.90	2.3	375.61
Rata-rata							2.231	2.301	23.5	3,0	87.3	89.00	873.71	2.77	315.80



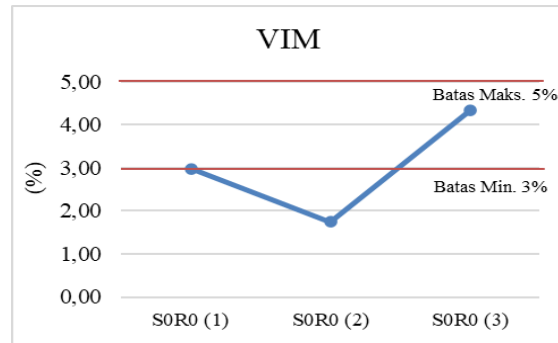
Grafik 4.3 Stabilitas Serbuk Besi 0% dan Resin 0%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 981,70 kg, sampel kedua 775,54 kg dan ketiga 863,90 kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.



Grafik 4.4 Flow Serbuk Besi 0% dan Resin 0%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4 mm, sampel kedua 2 mm dan ketiga 2,3 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.5 VIM Serbuk Besi 0% dan Resin 0%

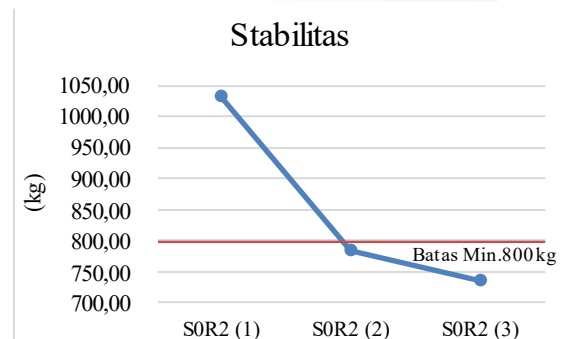
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 3,0%, sampel kedua 1,7% dan ketiga 4,3%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.

4.6.2 Hasil Marshall Serbuk Besi 0% dan Resin 2%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 0% dan resin 2%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 0% dan resin 2%.

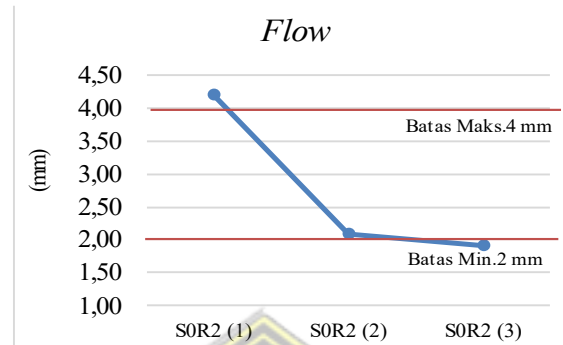
Tabel 4.20 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 0% dan Resin 2%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gst) 2,516			BJ Total Agg (Gsb) :			2,749		Kalibrasi Proving Ring :			9,817 Kg	
Nama Sampel		Kadar Aspal	Berat di udara	Berat dalam air	Berat SSD	Volume/ Isi	Bj. Bulk Campuran	Bj. Maks Kombinasi Campuran Agg	Rongga diantara Agg (VMA)	Rongga dlm Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFA)	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk Besi	Resin											Dibaca Arloji	di sesuaikan	Kelelahan Plastis	hasil bagi marshall
a		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		berat total campura	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100 - h}{g_{gsb}} \cdot g \right)$	$100 - \left(\frac{100 \cdot g}{h} \right)$	$100 \cdot \left(\frac{i-j}{i} \right)$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
0%	2%	5,8	1130,7	625	1147,2	522,2	2,165	2,269	25,8	4,6	82,2	105	1030,785	4,20	245,43
0%	2%	5,8	1136,4	627,5	1150,5	523	2,173	2,269	25,5	4,2	83,4	80	785,36	2,10	373,98
0%	2%	5,8	1129,9	629,7	1135,2	505,5	2,235	2,269	23,4	1,5	93,6	75	736,275	1,90	387,51
Rata-rata							2,191	2,269	24,9	3,4	86,4	86,67	850,81	2,73	311,27



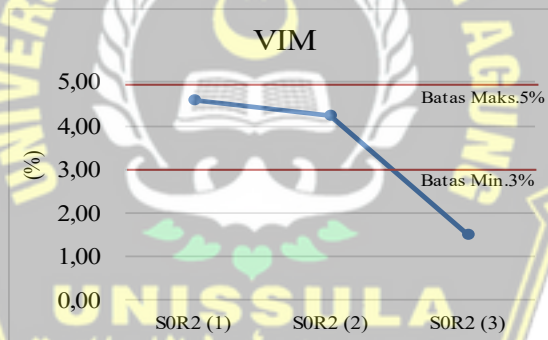
Grafik 4.6 Stabilitas Serbuk Besi 0% dan Resin 2%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 1030,785 kg, sampel kedua 785,36 kg dan ketiga 736,275 kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 1 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan tidak lolos.



Grafik 4.7 *Flow* Serbuk Besi 0% dan Resin 2%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4,20 mm, sampel kedua 2,10 mm dan ketiga 1,90 mm. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 1 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan tidak lolos.



Grafik 4.8 VIM Serbuk Besi 0% dan Resin 2%

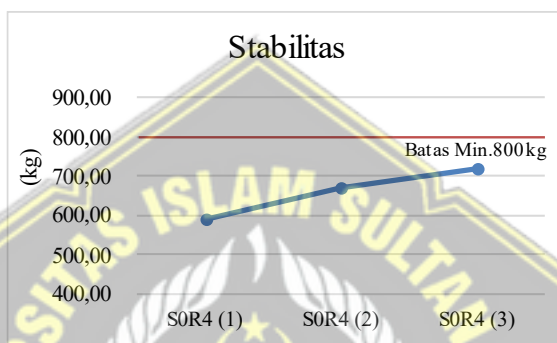
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4,6%, sampel kedua 4,2% dan ketiga 1,5%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.

4.6.3 Hasil Marshall Serbuk Besi 0% dan Resin 4%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 0% dan resin 4%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 0% dan resin 4%.

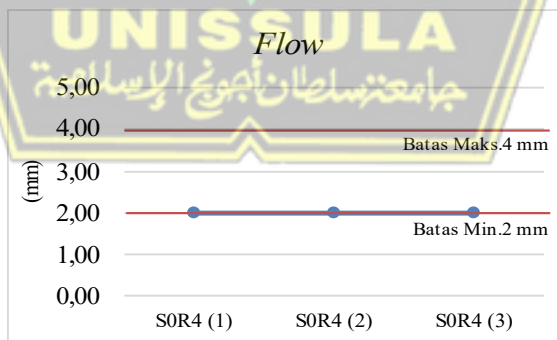
Tabel 4.21 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 0% dan Resin 4%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)																
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gs 2,516			BJ Total Agg (Gsb) :			2,749			Kalibrasi Proving Ring :			9,817 Kg	
Nama Sampel		Kadar	Berat	Berat	Berat	Volume/	Bj. Bulk	Bj. Maks	Rongga	Rongga dlm	Rongga	Stabilitas		Flow	MQ	
Serbuk	Resin	Aspal	di udara	dalam air	SSD	Isi	Campuran	Kombinasi	diantara Agg	Campuran	Terisi Aspal	Dibaca	di	Kelelahan	hasil bagi	
Besi								Campuran Agg	(VMA)	(VIM)	(VMA)	Arloji	sesuaikan	Plastis	marshall	
a		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100 - h}{gzb} \right) \times g$	$100 - \left(\frac{100 - j}{h} \right)$	$100 \times \left(\frac{i - l}{i} \right)$				m/n	
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
0%	4%	5,8	1145,6	636,4	1158,3	521,9	2,195	2.250	24,8	2,4	90,1	60	589,02	2,00	294,51	
0%	4%	5,8	1157,3	630	1170,8	540,8	2,140	2.250	26,7	4,9	81,7	68	667,56	2,00	333,78	
0%	4%	5,8	1145,9	631,3	1159,2	527,9	2,171	2.250	25,6	3,5	86,2	73	716,64	2,00	358,32	
Rata-rata							2,169	2.250	25,7	3,6	86,0	67,00	657,74	2,00	328,87	



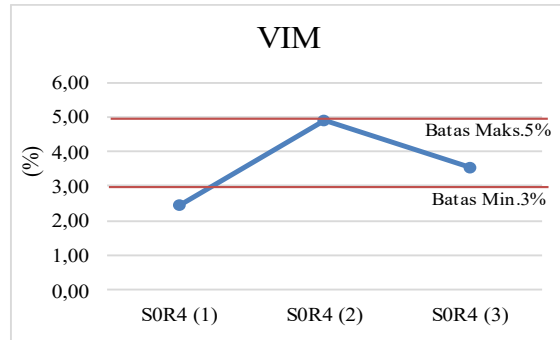
Grafik 4.9 Stabilitas Serbuk Besi 0% dan Resin 4%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 589,02 kg, sampel kedua 667,56 kg dan ketiga 716,64 kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga maka dinyatakan tidak lolos.



Grafik 4.10 Flow Serbuk Besi 0% dan Resin 4%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2 mm, sampel kedua 2 mm dan ketiga 2 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.11 VIM Serbuk Besi 0% dan Resin 4%

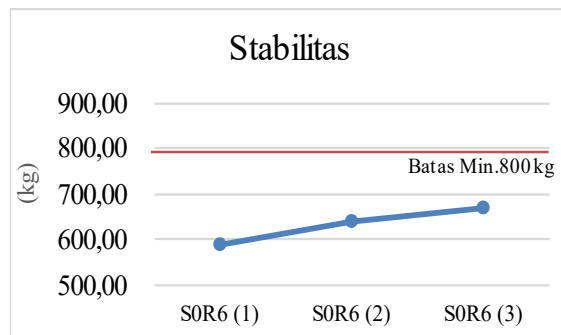
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2,4%, sampel kedua 4,9% dan ketiga 3,5%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.

4.6.4 Hasil Marshall Serbuk Besi 0% dan Resin 6%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 0% dan resin 6%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 0% dan resin 6%.

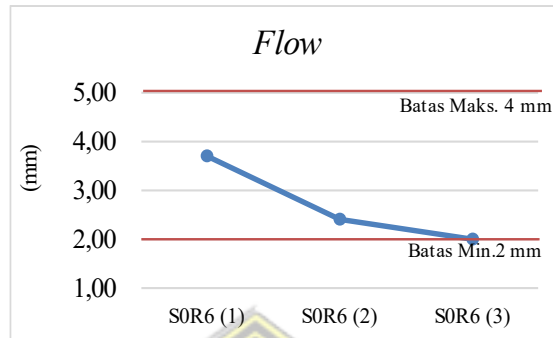
Tabel 4.22 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 0% dan Resin 6%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)													
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gsc) 2,516			BJ Total Agg (Gsb) :			Kalibrasi Proving Ring :			9,817 Kg	
Nama Sampel	Kadar	Berat	Berat	Berat	Volume	Bj. Bulk	Bj. Maks	Rongga	Rongga dlm	Rongga	Stabilitas	Flow	MQ
Serbuk Besi	Resin	Aspal	di udara	dalam air	Isi	Campuran	Kombinasi Campuran Agg	diantara Agg (VMA)	Campuran (VIM)	Terisi Aspal (VFA)	Dibaca Arloji	di sesuaikan	hasil bagi
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
		berat total campuran	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \frac{(100-h) \cdot g}{g_{sb}}$	$100 - \frac{(100-j) \cdot g}{h}$	$100 \cdot \frac{(1-k)}{i}$			m/n
		(%)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
0%	6%	5,8	1155	645	1152,4	2,276	2,400	22,0	5,2	76,6	60	589,02	3,70
0%	6%	5,8	1160	650	1146,5	2,336	2,400	19,9	2,7	86,7	65	638,11	2,40
0%	6%	5,8	1157,5	642,3	1149,5	2,282	2,400	21,8	4,9	77,5	68	667,56	2,00
Rata-rata						2,298	2,400	21,2	4,2	80,3	64,33	631,56	2,70



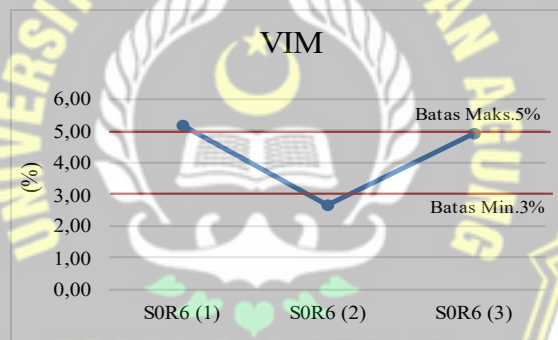
Grafik 4.12 Stabilitas Serbuk Besi 0% dan Resin 6%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 589,02 kg, sampel kedua 638,11 kg dan ketiga 667,56 kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga maka dinyatakan tidak lolos.



Grafik 4.13 *Flow* Serbuk Besi 0% dan Resin 6%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 3,70 mm, sampel kedua 2,40 mm dan ketiga 2 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.14 VIM Serbuk Besi 0% dan Resin 6%

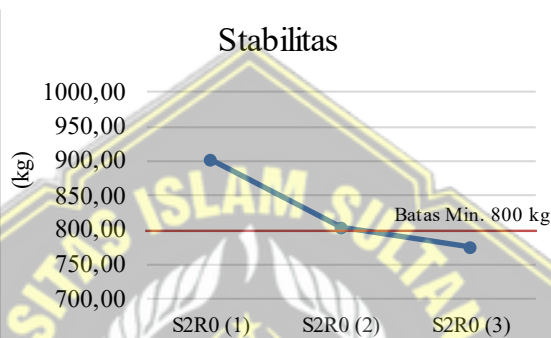
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 5,2%, sampel kedua 2,7% dan ketiga 4,9%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 1 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan tidak lolos.

4.6.5 Hasil *Marshall* Serbuk Besi 2% dan Resin 0%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 2% dan resin 0%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 2% dan resin 0%.

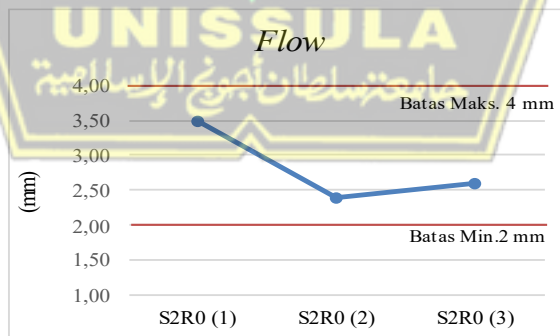
Tabel 4.23 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 2% dan Resin 0%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gst)2,516			BJ Total Agg (Gsb) :			2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg		
Nama Sampel		Kadar	Berat	Berat	Berat	Volume/	Bj. Bulk	Bj. Maks	Rongga	Rongga dlm	Rongga	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk	Resin	Aspal	di udara	dalam air	SSD	Isi	Campuran	Kombinasi	diantara Agg	Campuran	Terisi Aspal	Dibaca	di	Kelelahan	hasil bagi
Besi								Campuran Agg	(VMA)	(VIM)	(VFA)	Arloji	sesuaikan	Plastis	marshall
a		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		berat total campura	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$\left(\frac{100 - (100 - h) \cdot g}{gsb} \right)$	$\left(\frac{100 - (100 - j) \cdot k}{h} \right)$	$100 \cdot \left(\frac{i - l}{i} \right)$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
2%	0%	5,8	1104	610,2	1115	504,8	2,187	2,251	25,1	2,8	88,7	92	903,16	3,50	258,05
2%	0%	5,8	1127	620	1131	511	2,205	2,251	24,4	2,0	91,7	82	804,99	2,40	335,41
2%	0%	5,8	1136	622,5	1149	526,5	2,158	2,251	26,1	4,1	84,1	79	775,54	2,60	298,29
Rata-rata							2,183	2,251	25,2	3,0	88,2	84,33	827,90	2,83	292,20



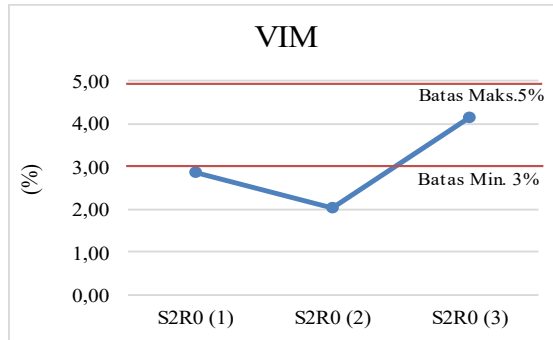
Grafik 4.15 Stabilitas Serbuk Besi 2% dan Resin 0%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 903,16 kg, sampel kedua 804,99 kg dan ketiga 775,54 kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.



Grafik 4.16 Flow Serbuk Besi 2% dan Resin 0%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 3,50 mm, sampel kedua 2,40 mm dan ketiga 2,60 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.17 VIM Serbuk Besi 2% dan Resin 0%

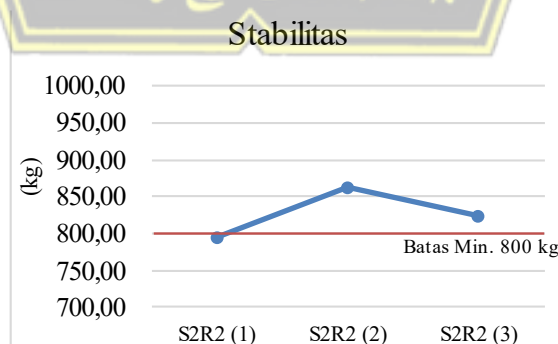
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2,8%, sampel kedua 2,0% dan ketiga 4,1%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang memenuhi hanya 1 sampel, maka dinyatakan tidak lolos.

4.6.6 Hasil Marshall Serbuk Besi 2% dan Resin 2%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 2% dan resin 2%. Berikut adalah hasil Marshall dengan kadar serbuk besi 2% dan resin 2%.

Tabel 4.24 Hasil Marshall Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 2% dan Resin 2%

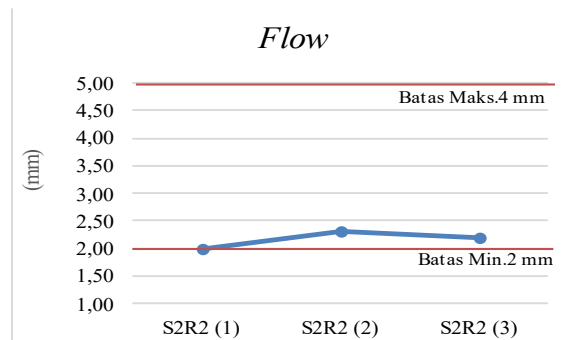
Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)														
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gst) 2,516			BJ Total Agg (Gsb) :			2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg	
Nama Sampel		Kadar Aspal	Berat di udara	Berat dalam air	Berat SSD	Volume/ Isi	Bj. Bulk Campuran	Bj. Maks Kombinasi Campuran Agg	Rongga diantara Agg (VMA)	Rongga dlm Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFA)	Stabilitas Dibaca Arloji	Flow di sesuaikan	MQ hasil bagi marshall
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
	berat total campura	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100 \cdot g}{g_{sb}} \right)$	$100 - \left(\frac{100 \cdot j}{h} \right)$	$100 \cdot \left(\frac{i-j}{i} \right)$				m/n
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
2%	2%	5,8	1112	628	1120,8	492,8	2,256	2,3	22,7	1,9	91,7	81	795,18	2,00 397,59
2%	2%	5,8	1138	631,2	1145,4	514,2	2,213	2,3	24,2	3,8	84,4	88	863,90	2,30 375,61
2%	2%	5,8	1158	635,5	1162	526,5	2,199	2,3	24,6	4,4	82,2	84	824,63	2,20 374,83
Rata-rata						2,223	2,300	23,8	3,3	86,1	84,33	827,90	2,17	382,11



Grafik 4.18 Stabilitas Serbuk Besi 2% dan Resin 2%

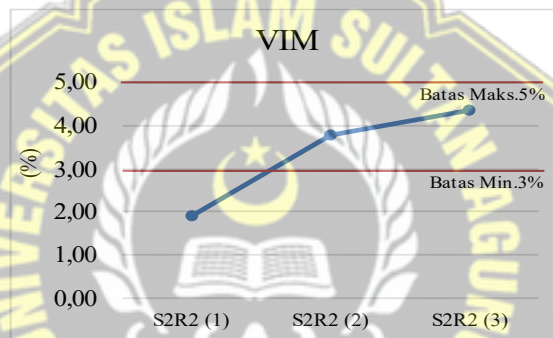
Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 795,18 kg, sampel kedua 863,90 kg dan ketiga 824,63

kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.



Grafik 4.19 Flow Serbuk Besi 2% dan Resin 2%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2 mm, sampel kedua 2,30 mm dan ketiga 2,20 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.20 VIM Serbuk Besi 2% dan Resin 2%

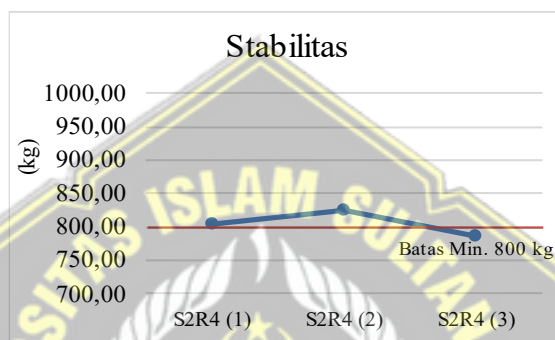
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 1,9%, sampel kedua 3,8% dan ketiga 4,4%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang memenuhi hanya 2 sampel, maka dinyatakan lolos.

4.6.7 Hasil Marshall Serbuk Besi 2% dan Resin 4%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 2% dan resin 4%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 2% dan resin 4%.

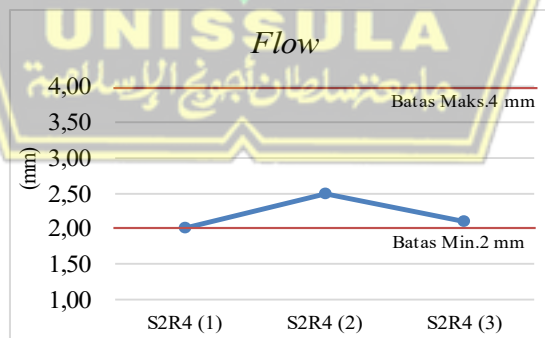
Tabel 4.25 Hasil Marshall Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 2% dan Resin 4%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gst)2,516			BJ Total Agg (Gsb) :			2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg		
Nama Sampel		Kadar	Berat	Berat	Berat	Volume/	Bj. Bulk	Bj. Maks	Rongga	Rongga dlm	Rongga	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk	Resin	Aspal	di udara	dalam air	SSD	Isi	Campuran	Kombinasi	diantara Agg	Campuran	Terisi Aspal	Dibaca	di	Kelelahan	hasil bagi
Besi								Campuran Agg	(VMA)	(VIM)	(VFA)	Arloji	sesuaikan	Plastis	marshall
a	b	c	d	e	f	g	h		i	j	k	l	m	n	o
		berat total	data	data	data	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100 - h}{g_{gd}} \cdot g \right)$	$100 - \left(\frac{100 - j}{h} \cdot g \right)$	$100 * \left(\frac{i-j}{i} \right)$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
2%	4%	5,8	1130	610,4	1142,4	532	2,124	2,200	27,2	3,5	87,3	82	804,99	2,00	402,50
2%	4%	5,8	1127,8	605,7	1138,5	532,8	2,117	2,200	27,5	3,8	86,2	84	824,63	2,50	329,85
2%	4%	5,8	1125,6	602,4	1140,5	538,05	2,092	2,200	28,3	4,9	82,7	80	785,36	2,10	373,98
Rata-rata							2,111	2,200	27,7	4,0	85,4	82,00	804,99	2,20	365,91



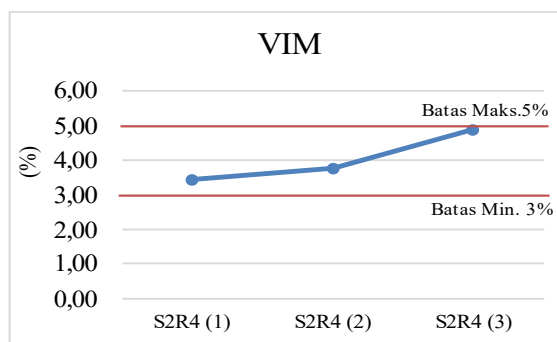
Grafik 4.21 Stabilitas Serbuk Besi 2% dan Resin 4%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 804,99 kg, sampel kedua 824,63 kg dan ketiga 785,36 kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.



Grafik 4.22 Flow Serbuk Besi 2% dan Resin 4%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2 mm, sampel kedua 2,5 mm dan ketiga 2,10 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.23 VIM Serbuk Besi 2% dan Resin 4%

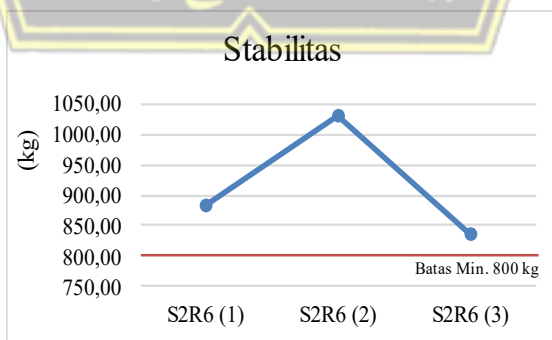
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 3,5%, sampel kedua 3,8% dan ketiga 4,9%. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.

4.6.8 Hasil Marshall Serbuk Besi 2% dan Resin 6%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 2% dan resin 6%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 2% dan resin 6%.

Tabel 4.26 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 2% dan Resin 6%

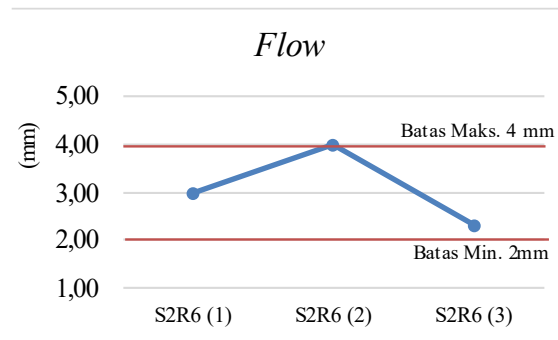
Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034		Efektif Total Agregat (G _{se}) 2,516				BJ Total Agg (G _{sb}) :		2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg			
Nama Sampel	Kadar Resin	Berat Aspal	Berat di udara	Berat dalam air	Berat SSD	Volume/ Isi	Bj. Bulk Campuran	Bj. Maks Kombinasi Campuran Agg	Rongga diantara Agg (VMA)	Rongga dlm Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFA)	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk Besi												Dibaca Arloji	di sesuaikan	Kelelahan Plastis	hasil bagi Marshall
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k		l	m	n	o
	berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \frac{(100 - h) \cdot g}{g_{sub}}$	$100 - \frac{(100 \cdot g)}{h}$	$100 \cdot \left(\frac{i-j}{i} \right)$					m/n
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
2%	6%	5.8	1143	618,4	1151	532,6	2.146	2.245	26.5	4.4	83.3	90,00	883,53	3,00	294,51
2%	6%	5.8	1184	625	1189	564	2.099	2.245	28.1	6.5	76.9	105,00	1030,79	4,00	257,70
2%	6%	5.8	1128	621,7	1133	511,3	2.206	2.245	24.4	1.7	92.9	85,00	834,45	2,30	362,80
Rata-rata							2.151	2.245	26.3	4.2	84.4	93.33	916.25	3.10	295.57



Grafik 4.24 Stabilitas Serbuk Besi 2% dan Resin 6%

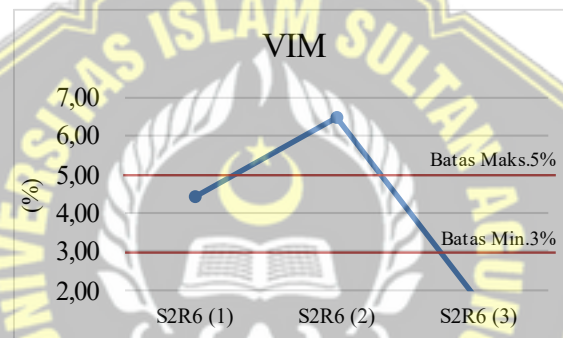
Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 883,53 kg, sampel kedua 1030,79 kg dan ketiga

834,45 kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.



Grafik 4.25 *Flow* Serbuk Besi 2% dan Resin 4%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 3 mm, sampel kedua 4 mm dan ketiga 2,13 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.26 VIM Serbuk Besi 2% dan Resin 4%

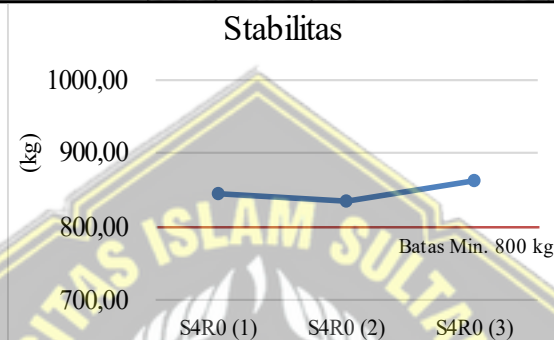
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4,4%, sampel kedua 6,5% dan ketiga 1,7%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 1 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan tidak lolos.

4.6.9 Hasil *Marshall* Serbuk Besi 4% dan Resin 0%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 4% dan resin 0%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 4% dan resin 0%.

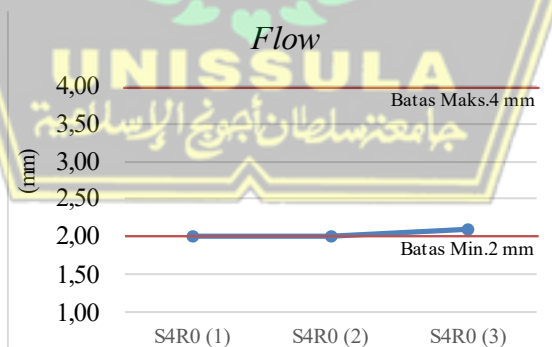
Tabel 4.27 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 4% dan Resin 0%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034		Efektif Total Agregat (Gst)2,516				BJ Total Agg (Gsb) :		2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg			
Nama Sampel		Kadar Aspal	Berat di udara	Berat dalam air	Berat SSD	Volume/ Isi	Bj. Bulk Campuran	Bj. Maks Kombinasi Campuran Agg	Rongga diantara Agg (VMA)	Rongga dlm Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFA)	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk Besi	Resin											Dibaca Arloji	di sesuaikan	Kelelahan Plastis	hasil bagi marshall
a		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		berat total campura	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100 - h}{g_{sb}} \right) \cdot g$	$100 - \left(\frac{100 - j}{h} \right) \cdot g$	$100 \cdot \left(\frac{i-j}{i} \right)$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
4%	0%	5,8	1124	599,9	1129	529,1	2,124	2,242	27,2	5,2	80,7	86	844,262	2,00	422,13
4%	0%	5,8	1130	617	1135	518	2,181	2,242	25,2	2,7	89,3	85	834,445	2,00	417,22
4%	0%	5,8	1122	620	1127	507	2,213	2,242	24,2	1,3	94,7	88	863,896	2,10	411,38
Rata-rata							2,173	2,242	25,5	3,1	88,2	86,33	847,53	2,03	416,82



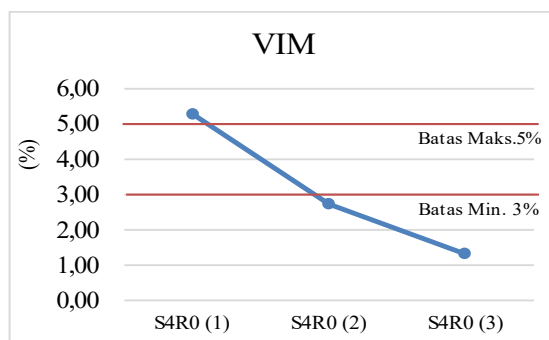
Grafik 4.27 Stabilitas Serbuk Besi 4% dan Resin 0%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 844,262 kg, sampel kedua 834,445 kg dan ketiga 863,896 kg. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.28 Flow Serbuk Besi 4% dan Resin 0%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2 mm, sampel kedua 2 mm dan ketiga 2,10 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.29 VIM Serbuk Besi 4% dan Resin 0%

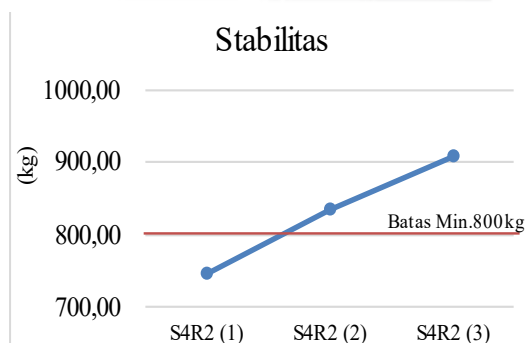
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 5,2%, sampel kedua 2,7% dan ketiga 1,3%. Dari 3 sampel tersebut bahwa tidak memenuhi Spesifikasi Bina Marga maka dinyatakan tidak lolos.

4.6.10 Hasil Marshall Serbuk Besi 4% dan Resin 2%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 4% dan resin 2%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 4% dan resin 2%.

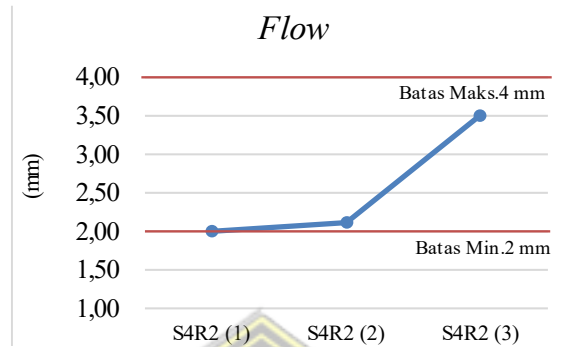
Tabel 4.28 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 4% dan Resin 2%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034		Efektif Total Agregat (Gst) 2,516				BJ Total Agg (Gsb) :		2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg			
Nama Sampel		Kadar	Berat	Berat	Berat	Volume	Bj. Bulk	Bj. Maks	Rongga	Rougga dlm	Rongga	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk	Resin	Aspal	di udara	dalam air	SSD	Isi	Campuran	Kombinasi	diantara Agg	Campuran	Terisi Aspal	Dibaca	di	Kelelahan	hasil bagi
Besi								Campuran Agg	(VMA)	(VIM)	(VFA)	Arloji	sesuaikan	Plastis	marshall
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100-h}{g} \cdot g \right)$	$100 - \left(\frac{100-g}{h} \cdot g \right)$	$100 \cdot \left(\frac{i-j}{i} \right)$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
4%	2%	5.8	1136	615	1142	527	2.156	2.240	26.1	3.8	85.6	76	746.09	2.00	373.05
4%	2%	5.8	1130	622	1138	516	2.190	2.240	25.0	2.2	91.0	85	834.45	2.10	397.35
4%	2%	5.8	1147	618.5	1150	531.5	2.158	2.240	26.1	3.7	86.0	92.5	908.07	3.50	259.45
Rata-rata							2.168	2.240	25.7	3.2	87.5	84.5	829.54	2.53	327.45



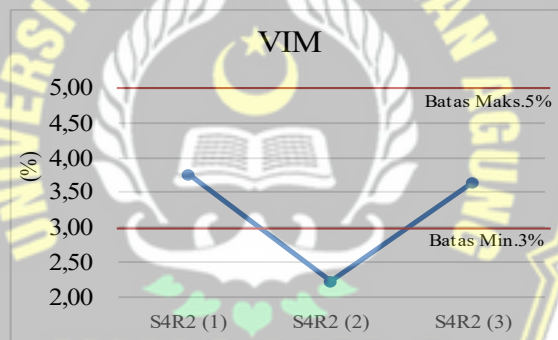
Grafik 4.30 Stabilitas Serbuk Besi 4% dan Resin 2%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 746,09 kg, sampel kedua 834,45 kg dan ketiga 908,07 kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.



Grafik 4.31 *Flow* Serbuk Besi 4% dan Resin 2%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2 mm, sampel kedua 2,10 mm dan ketiga 3,50 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.32 VIM Serbuk Besi 4% dan Resin 2%

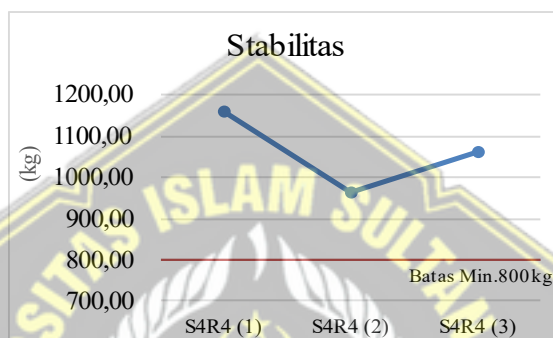
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 3,8%, sampel kedua 2,2% dan ketiga 2,7%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.

4.6.11 Hasil *Marshall* Serbuk Besi 4% dan Resin 4%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 4% dan resin 4%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 4% dan resin 4%.

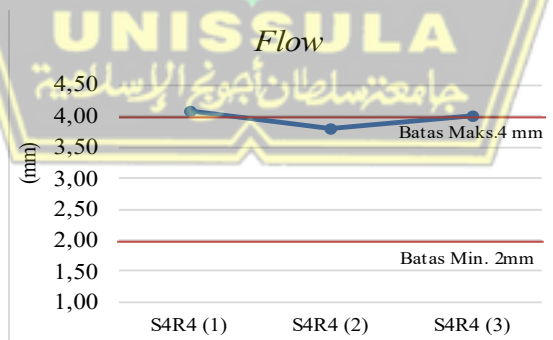
Tabel 4.29 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 4% dan Resin 4%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034		Efektif Total Agregat (G _s) 2,516				BJ Total Agg (G _{sb}) :		2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg			
Nama Sampel		Kadar	Berat	Berat	Berat	Volume/	Bj. Bulk	Bj. Maks	Rongga	Rongga dlm	Rongga	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk	Resin	Aspal	di udara	dalam air	SSD	Isi	Campuran	Kombinasi	diantara Agg	Campuran	Terisi Aspal	Dibaca	di	Kelelahan	hasil bagi
Besi								Campuran Agg	(VMA)	(VIM)	(VFA)	Arloji	sesuaikan	Plastis	marshall
a		b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
		berat total campura	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100 - h}{g_{\text{grd}}} \cdot g \right)$	$100 - \left(\frac{100 \cdot g}{h} \right)$	$100 \cdot \left(\frac{i-j}{i} \right)$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
4%	4%	5,8	1158,5	619	1167,3	548,3	2,113	2,200	27,6	4,0	85,7	118	1158,41	4,10	282,54
4%	4%	5,8	1164,2	628,4	1172,6	544,2	2,139	2,200	26,7	2,8	89,7	98	962,07	3,80	253,18
4%	4%	5,8	1161,4	623,7	1170	546,25	2,126	2,200	27,1	3,4	87,6	108	1060,24	4,00	265,06
Rata-rata							2,126	2,200	27,1	3,4	87,6	108	1060,24	3,97	267,29



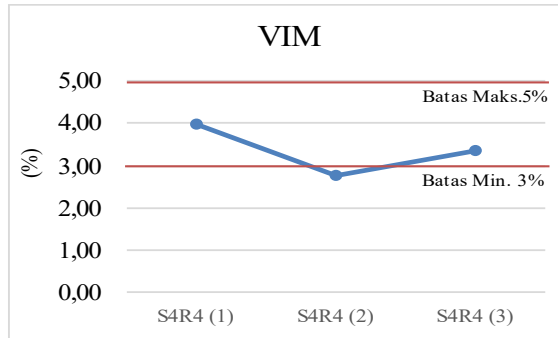
Grafik 4.33 Stabilitas Serbuk Besi 4% dan Resin 4%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 1158,41 kg, sampel kedua 962,07 kg dan ketiga 1060,24 kg. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.34 Flow Serbuk Besi 4% dan Resin 4%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4,10 mm, sampel kedua 3,60 mm dan ketiga 4 mm. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.



Grafik 4.35 VIM Serbuk Besi 4% dan Resin 4%

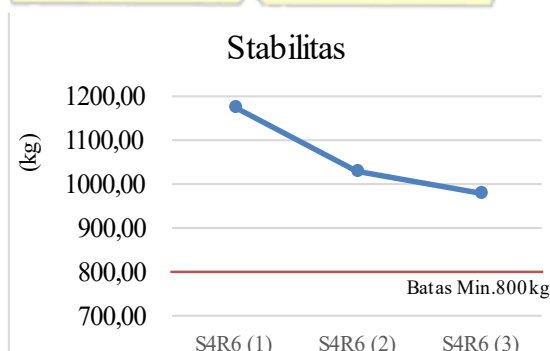
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4%, sampel kedua 2,8% dan ketiga 3,4%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.

4.6.12 Hasil Marshall Serbuk Besi 4% dan Resin 6%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 4% dan resin 6%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 4% dan resin 6%.

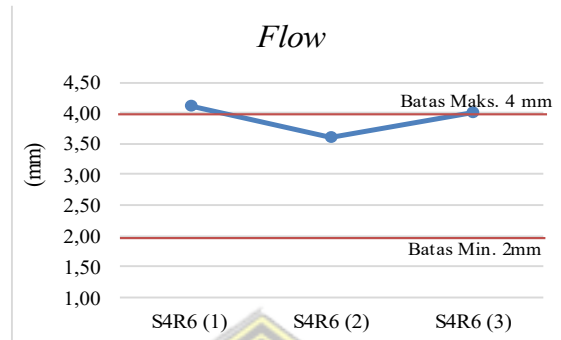
Tabel 4.30 Hasil Marshall Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 4% dan Resin 6%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)													
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gst) 2,516			BJ Total Agg (Gsb) : 2,749			Kalibrasi Proving Ring : 9,817 Kg				
Nama Sampel	Kadar	Berat	Berat	Berat	Volume	Bj. Bulk	Bj. Maks	Rongga	Rongga dlm	Rongga	Stabilitas		Flow
Serbuk Besi	Resin	Aspal	di udara	dalam air	SSD	Isi	Kombinasi	diantara Agg	Campuran	Terisi Aspal	Dibaca	di	Kelelahan
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
		berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 \cdot \left(\frac{100-h}{g \cdot b} \right) \cdot g$	$100 \cdot \left(\frac{100-j}{h} \right)$	$100 \cdot \left(\frac{l-f}{i} \right)$		
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
4%	6%	5,8	1167,4	633,5	1168,2	534,7	2,183	2,270	25,2	3,8	84,8	120	1178,04
4%	6%	5,8	1160	629,6	1161,3	531,7	2,182	2,270	25,2	3,9	84,6	105	1030,79
4%	6%	5,8	1165	630,7	1166,5	535,8	2,174	2,270	25,5	4,2	83,5	100	981,70
Rata-rata							2,180	2,270	25,3	4,0	84,3	108,33	1063,51
												3,90	272,69



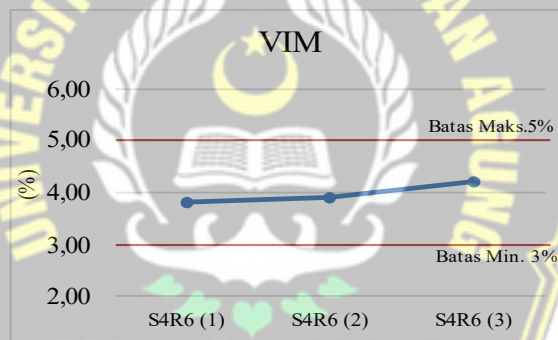
Grafik 4.36 Stabilitas Serbuk Besi 4% dan Resin 6%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 1178,34 kg, sampel kedua 1030,79 kg dan ketiga 981,70 kg. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.37 *Flow* Serbuk Besi 4% dan Resin 6%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4,10 mm, sampel kedua 3,60 mm dan ketiga 4 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.38 VIM Serbuk Besi 4% dan Resin 6%

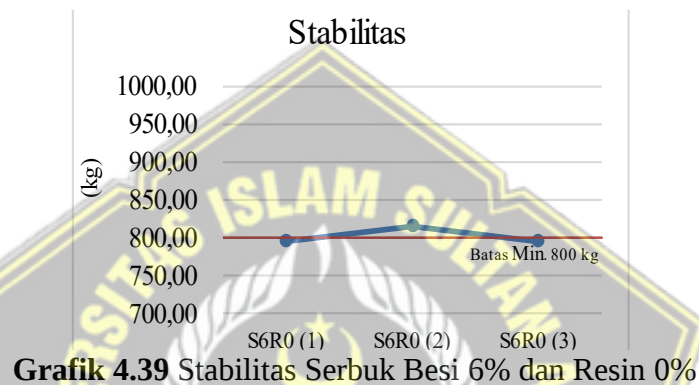
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 3,8%, sampel kedua 3,9% dan ketiga 4,2%. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.

4.6.13 Hasil *Marshall* Serbuk Besi 6% dan Resin 0%

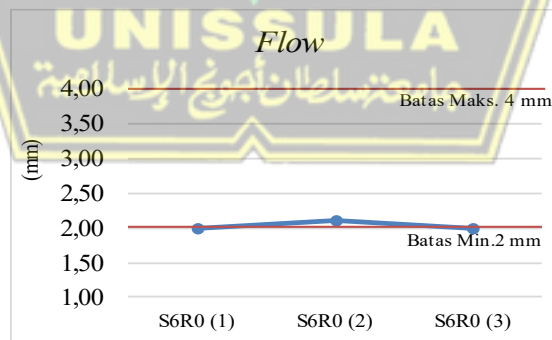
Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 6% dan resin 0%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 6% dan resin 0%.

Tabel 4.31 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 6% dan Resin 0%

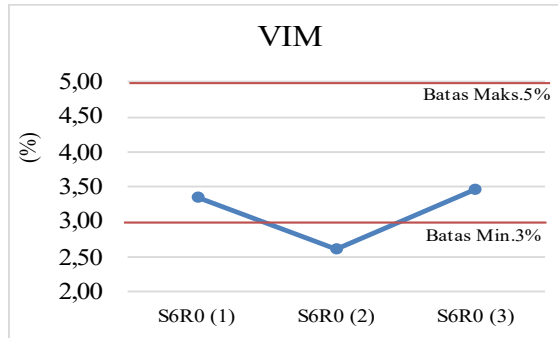
Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gst) 2,516			BJ Total Agg (Gsb) :			2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg		
Nama Sampel		Kadar Aspal	Berat di udara	Berat dalam air	Berat SSD	Volume/ Isi	Bj. Bulk Campuran	Bj. Maks Kombinasi Campuran Agg	Rongga diantara Agg (VMA)	Rongga dlm Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFA)	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk Besi	Resin											Dibaca Arloji	di sesuaikan	Kelelahan Plastis	hasil bagi marshall
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		berat total campura	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100 - h}{g} \cdot g \right)$	$100 - \left(\frac{100 - g}{h} \right)$	$100 \cdot \left(\frac{i - j}{i} \right)$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
6%	0%	5,8	1167	621,8	1168,2	546,4	2,136	2,210	26,8	3,4	87,5	81	795,18	2,00	397,59
6%	0%	5,8	1153,2	618,6	1154,4	535,8	2,152	2,210	26,2	2,6	90,1	83	814,81	2,10	388,01
6%	0%	5,8	1165	628,2	1174,2	546	2,134	2,210	26,9	3,5	87,2	81	795,18	2,00	397,59
Rata-rata							2,141	2,210	26,6	3,1	88,2	81,67	801,72	2,03	394,29



Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 795,18 kg, sampel kedua 814,81 kg dan ketiga 795,18 kg. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 1 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan tidak lolos.



Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2 mm, sampel kedua 2,10 mm dan ketiga 2 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.41 VIM Serbuk Besi 6% dan Resin 0%

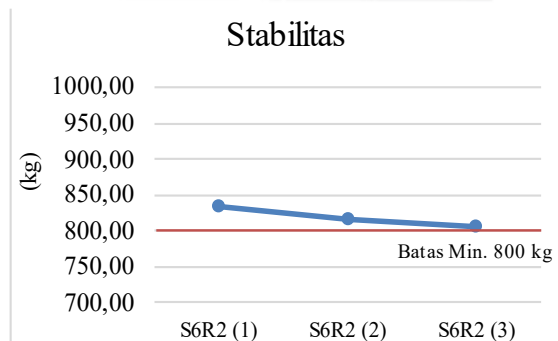
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 3,4%, sampel kedua 2,6% dan ketiga 3,5%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.

4.6.14 Hasil Marshall Serbuk Besi 6% dan Resin 2%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 6% dan resin 2%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 6% dan resin 2%.

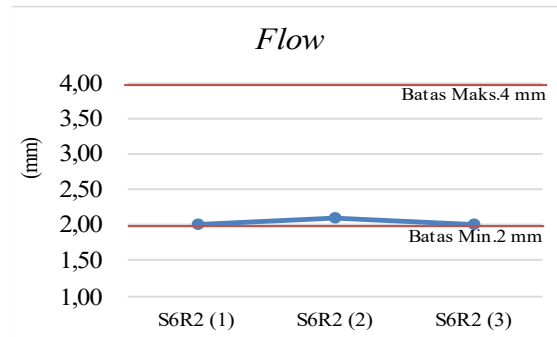
Tabel 4.32 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 6% dan Resin 2%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034		Efektif Total Agregat (Gst) 2,516				BJ Total Agg (Gsb) :		2,749		Kalibrasi Proving Ring :		9,817 Kg			
Nama Sampel		Kadar	Berat	Berat	Berat	Volume/	Bj. Bulk	Bj. Maks	Rongga	Rongga din	Rongga	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk	Resin	Aspal	di udara	dalam air	SSD	Isi	Campuran	Kombinasi	diantara Agg	Campuran	Terisi Aspal	Dibaca	di	Kelelahan	hasil bagi
Besi								Campuran Agg	(VMA)	(VIM)	(VFA)	Arloji	sesuaikan	Plastis	marshall
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		berat total campura	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \frac{(100 - h) \cdot g}{g_{sb}}$	$100 - \frac{(100 \cdot g)}{h}$	$100 \cdot \frac{(1-j)}{i}$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
6%	2%	5,8	1178,8	625,8	1180,2	554,4	2,126	2,215	27,1	4,0	85,2	85	834,45	2,00	417,22
6%	2%	5,8	1181,4	627,2	1176,4	549,2	2,151	2,215	26,3	2,9	89,0	83	814,81	2,10	388,01
6%	2%	5,8	1169,2	627,4	1174,2	546,8	2,138	2,215	26,7	3,5	87,0	82	804,99	2,00	402,50
Rata-rata							2,139	2,215	26,7	3,5	87,1	83,33	818,08	2,03	402,34



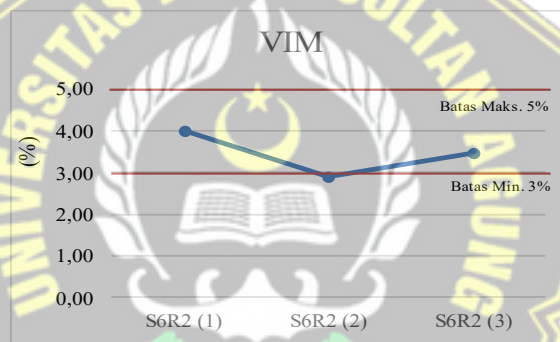
Grafik 4.42 Stabilitas Serbuk Besi 6% dan Resin 2%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 834,45 kg, sampel kedua 814,81 kg, dan ketiga 804,99 kg. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.43 *Flow* Serbuk Besi 6% dan Resin 2%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2 mm, sampel kedua 2,10 mm dan ketiga 2 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.44 VIM Serbuk Besi 6% dan Resin 2%

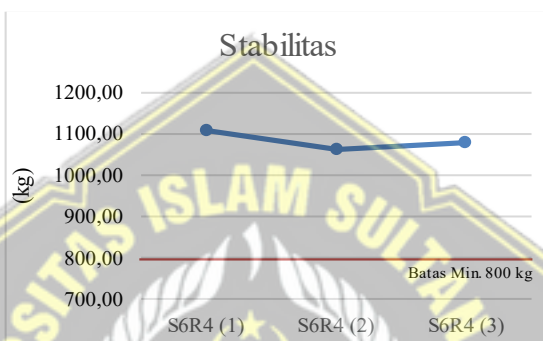
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4%, sampel kedua 2,9% dan ketiga 3,5%. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.

4.6.15 Hasil *Marshall* Serbuk Besi 6% dan Resin 4%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 6% dan resin 4%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 6% dan resin 4%.

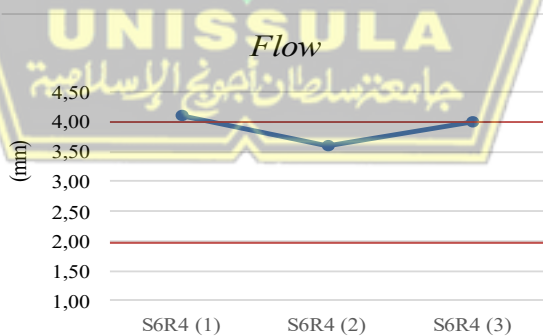
Tabel 4.33 Hasil Marshall Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 6% dan Resin 4%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (Gst) 2,516			BJ Total Agg (Gsb) :			2,749		Kalibrasi Proving Ring :			9,817 Kg	
Nama Sampel		Kadar	Berat	Berat	Berat	Volume/	Bj. Bulk	Bj. Maks	Rongga	Rongga dlm	Rongga	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk	Resin	Aspal	di udara	dalam air	SSD	Isi	Campuran	Kombinasi	diantara Agg	Campuran	Terisi Aspal	Dibaca	di	Kelelahan	hasil bagi
Besi								Campuran Agg	(VMA)	(VIM)	(VFA)	Arloji	sesuaikan	Plastis	marshall
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		berat total campura	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e/f	GMM	$100 - \left(\frac{100 - h}{gsb} \right) \cdot g$	$100 - \left(\frac{100 - j}{h} \right) \cdot h$	$100 \cdot \left(\frac{i-j}{i} \right)$				m/n
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
6%	4%	5,8	1175,6	642,2	1176,8	534,6	2,199	2,270	24,6	3,1	87,3	113	1109,321	4,10	270,57
6%	4%	5,8	1177,4	635,2	1179,6	544,4	2,163	2,270	25,9	4,7	81,8	108	1060,236	3,60	294,51
6%	4%	5,8	1170,8	640,4	1172,6	532,2	2,200	2,270	24,6	3,1	87,5	110	1079,87	4,00	269,97
Rata-rata						2,187	2,270	25,1	3,6	85,5	110,33	1083,14	3,90	277,73	



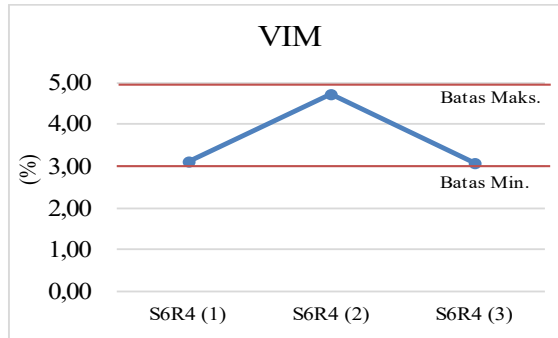
Grafik 4.45 Stabilitas Serbuk Besi 6% dan Resin 4%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 1109,321 kg, sampel kedua 1060,236 kg, dan ketiga 1079,87 kg. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.46 Flow Serbuk Besi 6% dan Resin 4%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4,1 mm, sampel kedua 3,6 mm dan ketiga 4 mm. Dari 3 sampel tersebut bahwa yang lolos dari Spesifikasi Bina Marga ada 2 sampel, maka untuk varian ini dinyatakan lolos.



Grafik 4.47 VIM Serbuk Besi 6% dan Resin 4%

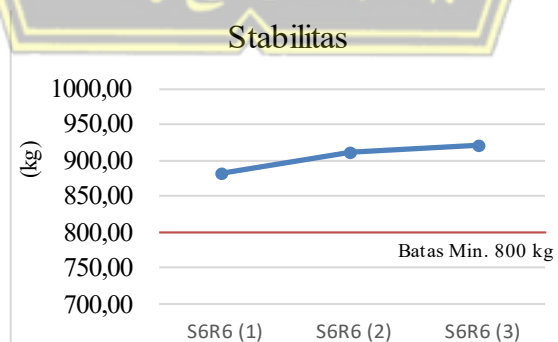
Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 3,1%, sampel kedua 4,7% dan ketiga 3,1%. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.

4.6.16 Hasil *Marshall* Serbuk Besi 6% dan Resin 6%

Untuk pengujian modifikasi menggunakan kadar serbuk besi 6% dan resin 6%. Berikut adalah hasil *Marshall* dengan kadar serbuk besi 6% dan resin 6%.

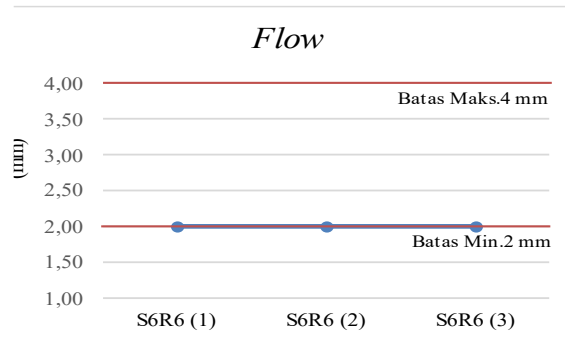
Tabel 4.34 Hasil *Marshall* Dengan Bahan Tambah Serbuk Besi 6% dan Resin 6%

Pengujian (Komposisi Serbuk Besi dan Resin)															
BJ Aspal (T) 1,034			Efektif Total Agregat (G _s) 2,516			BJ Total Agg (G _s) :			2,749		Kalibrasi Proving Ring :			9,817 Kg	
Nama Sampel		Kadar Aspal	Berat di udara	Berat dalam air	Berat SSD	Volume/ Isi	Bj. Bulk Campuran	Bj. Maks Kombinasi Campuran Agg	Rongga diantara Agg (VMA)	Rongga dlm Campuran (VIM)	Rongga Terisi Aspal (VFA)	Stabilitas		Flow	MQ
Serbuk Besi	Resin											Dibaca Arloji	di sesuaikan	Kelelehan Plastis	hasil bagi marshall
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k		l	m	n	o
		berat total campura (%)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	e - d	e/f	GMM	$\frac{100 - (100 - h) \cdot g}{g_{sb}}$	$\frac{100 - (100 \cdot g)}{h}$	$100 \cdot \left(\frac{i-j}{i} \right)$				m/n
									(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
6%	6%	5,8	1162,3	630	1164,2	534,2	2,176	2,270	25,4	4,2	83,7	90	883,53	2,00	441,77
6%	6%	5,8	1165,2	632	1167,2	535,2	2,177	2,270	25,4	4,1	83,9	93	912,98	2,00	456,49
6%	6%	5,8	1166,4	636,4	1167,8	531,4	2,195	2,270	24,8	3,3	86,7	94	922,80	2,00	461,40
Rata-rata							2,183	2,270	25,2	3,8	84,7	92,33	906,44	2,00	453,22



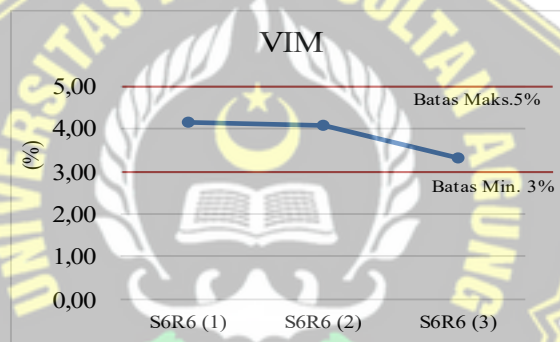
Grafik 4.48 Stabilitas Serbuk Besi 6% dan Resin 6%

Dari hasil diatas didapatkan nilai stabilitas yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 883,53 kg, sampel kedua 912,98 kg, dan ketiga 922,80 kg. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.49 *Flow* Serbuk Besi 6% dan Resin 6%

Dari hasil diatas didapatkan nilai *flow* yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 2 mm, sampel kedua 2 mm dan ketiga 2 mm. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.



Grafik 4.50 VIM Serbuk Besi 6% dan Resin 6%

Dari hasil diatas didapatkan nilai VIM yang berbeda dari 3 sampel, sampel pertama dengan nilai 4,2%, sampel kedua 4,1% dan ketiga 3,3%. Dari 3 sampel tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga dan dinyatakan lolos.

Berikut adalah rekapitulasi dari campuran aspal modifikasi.

Tabel 4.35 Hasil Rekapitulasi Campuran Aspal Modifikasi

Uraian Parameter	Hasil Pengujian Laboratorim	Kadar Aspal	Spesifikasi
Rongga Udara (VIM)	3,02	Serbuk Besi 0% Resin 0%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	23,53		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	87,31		Min. 65%
Stabilitas Marshall	873,71		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2,77		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	315,80		Min. 250 kg/mm
Density	2,23		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,08	Serbuk Besi 0% Resin 2%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	25,54		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	88,22		Min. 65%
Stabilitas Marshall	847,53		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2,03		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	416,82		Min. 250 kg/mm
Density	2,17		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,62	Serbuk Besi 0% Resin 4%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	25,69		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	86,02		Min. 65%
Stabilitas Marshall	657,74		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2,00		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	328,87		Min. 250 kg/mm
Density	2,17		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	4,24	Serbuk Besi 0% Resin 6%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	21,24		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	80,26		Min. 65%
Stabilitas Marshall	631,56		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2,70		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	233,91		Min. 250 kg/mm
Density	2,30		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,00	Serbuk Besi 2% Resin 0%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	25,18		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	88,15		Min. 65%
Stabilitas Marshall	827,90		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2,83		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	292,20		Min. 250 kg/mm
Density	2,18		Min. 2%

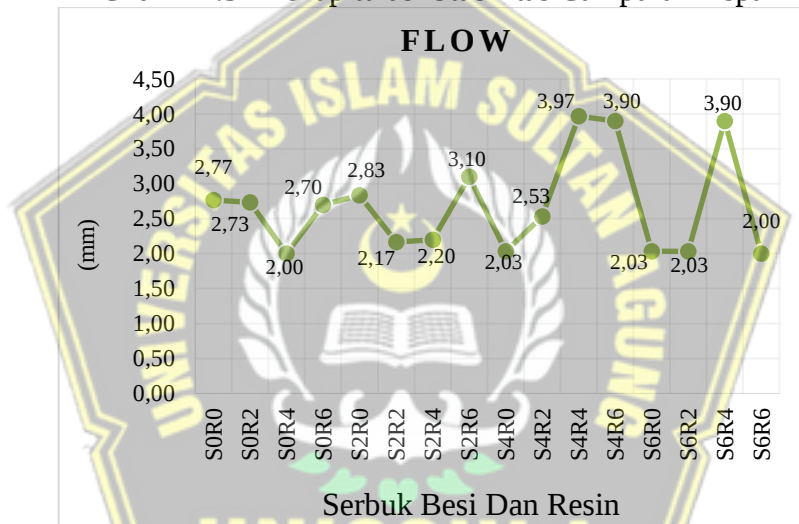
Rongga Udara (VIM)	3,35	Serbuk Besi 2% Resin 2%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	23,82		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	86,09		Min. 65%
Stabilitas Marshall	827,90		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2,17		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	382,11		Min. 250 kg/mm
Density	2,22		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	4,05	Serbuk Besi 2% Resin 4%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	27,66		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	85,40		Min. 65%
Stabilitas Marshall	804,99		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2,20		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	365,91		Min. 250 kg/mm
Density	2,11		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	4,21	Serbuk Besi 2% Resin 6%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	26,31		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	84,38		Min. 65%
Stabilitas Marshall	916,25		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	3,10		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	295,57		Min. 250 kg/mm
Density	2,15		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,08	Serbuk Besi 4% Resin 0%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	25,54		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	88,22		Min. 65%
Stabilitas Marshall	847,53		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2,03		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	416,82		Min. 250 kg/mm
Density	2,17		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,22	Serbuk Besi 4% Resin 2%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	25,71		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	87,53		Min. 65%
Stabilitas Marshall	829,54		Min. 800 kg
Kelelehan (Flow)	2,53		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
Marshall Quotient	327,45		Min. 250 kg/mm
Density	2,17		Min. 2%

Rongga Udara (VIM)	3,36	Serbuk Besi 4% Resin 4%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	27,15		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	87,64		Min. 65%
Stabilitas <i>Marshall</i>	1060,24		Min. 800 kg
Kelelehan (<i>Flow</i>)	3,97		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
<i>Marshall Quotient</i>	267,29		Min. 250 kg/mm
<i>Density</i>	2,13		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,98	Serbuk Besi 4% Resin 6%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	25,31		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	84,29		Min. 65%
Stabilitas <i>Marshall</i>	1063,51		Min. 800 kg
Kelelehan (<i>Flow</i>)	3,90		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
<i>Marshall Quotient</i>	272,69		Min. 250 kg/mm
<i>Density</i>	2,18		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,14	Serbuk Besi 6% Resin 0%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	26,65		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	88,23		Min. 65%
Stabilitas <i>Marshall</i>	801,72		Min. 800 kg
Kelelehan (<i>Flow</i>)	2,03		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
<i>Marshall Quotient</i>	394,29		Min. 250 kg/mm
<i>Density</i>	2,14		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,45	Serbuk Besi 6% Resin 2%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	26,72		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	87,10		Min. 65%
Stabilitas <i>Marshall</i>	818,08		Min. 800 kg
Kelelehan (<i>Flow</i>)	2,03		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
<i>Marshall Quotient</i>	402,34		Min. 250 kg/mm
<i>Density</i>	2,14		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,65	Serbuk Besi 6% Resin 4%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	25,05		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	85,51		Min. 65%
Stabilitas <i>Marshall</i>	1083,14		Min. 800 kg
Kelelehan (<i>Flow</i>)	3,90		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
<i>Marshall Quotient</i>	277,73		Min. 250 kg/mm
<i>Density</i>	2,19		Min. 2%
Rongga Udara (VIM)	3,85	Serbuk Besi 6% Resin 6%	Min. 3% - Maks. 5%
Rongga dalam Mineral Agregat (VMA)	25,21		Min. 15%
Rongga Terisi Aspal (VFB)	84,75		Min. 65%
Stabilitas <i>Marshall</i>	906,44		Min. 800 kg
Kelelehan (<i>Flow</i>)	2,00		Min. 2 mm - Maks. 4 mm
<i>Marshall Quotient</i>	453,22		Min. 250 kg/mm
<i>Density</i>	2,18		Min. 2%

Berikut adalah rekapitulasi grafik dari campuran aspal modifikasi.



Grafik 4.51 Rekapitulasi Stabilitas Campuran Aspal



Grafik 4.52 Rekapitulasi *Flow* Campuran Aspal



Grafik 4.53 Rekapitulasi VIM Campuran Aspal

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan hasil penelitian yang dilakukan mengenai aspal dengan penambahan serbuk besi dan resin mendapatkan hasil kesimpulan sebagai berikut.

1. *Job Mix Formula* yang terbaik ada di variasi dengan kadar Serbuk besi 6% dan Resin 4%, karena semua nilai dari pengujiannya memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dan memiliki nilai stabilitas terbaik yaitu sebesar 1083,14 kg dengan *flow* 3,90 mm dan VIM 3,65%.
2. Semua campuran aspal dengan penambahan serbuk besi dan resin tetap stabil dan memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 kecuali variasi serbuk besi 0% resin 4% yang tidak memenuhi yaitu nilai Stabilitas 657,74 kg dan serbuk besi 0% resin 6% yang tidak memenuhi yaitu nilai Stabilitas 631,56 dan nilai MQ 233,91 kg/mm.

5.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilaksanakan terdapat beberapa saran yang dapat dipertimbangkan untuk melaksanakan penelitian selanjutnya. Adapun beberapa saran sebagai berikut.

1. Dapat disesuaikan kembali komposisi perbandingan antara resin dan serbuk besi untuk mendapatkan hasil campuran aspal yang lebih baik.
2. Perlu diperhatikan kembali suhu saat proses pemasakan campuran dan dapat juga membuat variasi pengaruh perbedaan suhu dengan hasil pengujian aspal AC-WC.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat membandingkan penggunaan jenis resin yang berbeda dan serbuk besi dari tempat atau sumber yang berbeda guna mengetahui pengaruh terhadap hasil pengujian aspal AC-WC.

DAFTAR PUSTAKA

- Andry, J., Pratikso, P., & Mudiyono, R. (2023). Perilaku Aspal Wearing Course terhadap Pengaruh Rendaman Air Pasang (ROB) dengan Bahan Tambah Polyethylene dan Fine Agregat Slag. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil UMS*, 187–192.
- Badan Standardisasi Nasional. (2012). SNI ASTM C136:2012: Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. *Badan Standardisasi Nasional*, 1–24.
- Badan Standarisasi Nasional. (2011). SNI 2434:2011 Cara Uji Titik Lembek Aspal dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball). *Badan Standardisasi Nasional*, 1–11.
- Bahri, S. (2017). Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas. *Inersia: Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 39–46.
- Devi, U. C., & Affandy, N. A. (2021). Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Campuran Agregat Halus Pada Asphalt Concrete-Wearing Course (Ac-Wc). *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 533–544.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (Revisi 2) Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, Revisi 2*, 1–1036.
- Dinda, S., Putri, Y., & Putra, K. H. (2018). Modifikasi Campuran Perkerasan LASTON AC – WC Dengan Penambahan Kadar 8 % Gilsonite Resin Jurusan Teknik Sipil , Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya. *Ftsp Itats*, 22–29.
- Haniza, S., Maizir, H., & Putra, D. J. (2020). Analisis Karakteristik Tanah Dasar Lempung Menggunakan Metode Stabilisasi Aspal Emulsi. *SAINSTEK*, 8(1), 37–41.
- Ikhsan Oktariman, M. (n.d.). *PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH SERBUK BESI SEBAGAI PENGGANTI FILLER TERHADAP CAMPURAN ASPAL BETON AC-BC*.
- Kamil, R. F. R., & RISDIANTO, Y. (n.d.). *Pengaruh Penggunaan Agregat Beton Daur Ulang dan Asbuton BGA Dalam Pembuatan AC-WC*.
- Khalamudillah, F. A., Suhendar, D., & Supriadin, A. (2017). Sintesis dan Karakterisasi Pigmen Merah Besi (III) Oksida dari Serbuk Besi Limbah Bubut Logam. *Al Kimiya: Jurnal Ilmu Kimia Dan Terapan*, 4(1), 45–50.

- Malisch, W. R. (1988). Roller Compacted Concrete Pavements. *Concrete Construction - World of Concrete*, 33(1).
- Nasional, B. S. (2008). SNI 1969:2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 20.
- Octavian, R. (2024). *Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Material Pengganti Filler Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt*. Universitas Islam Indonesia.
- Oktariman, M. I. (n.d.). Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Filler Terhadap Campuran Aspal Beton Ac-Bc. *Abstract of Undergraduate Research, Faculty of Civil and Planning Engineering, Bung Hatta University*, 2(1).
- Putri, S. D. Y., & Putra, K. H. (2019). MODIFIKASI CAMPURAN PERKERASAN LASTON AC-WC DENGAN PENAMBAHAN KADAR 8% GILSONITE RESIN. *Prosiding Seminar Teknologi Perencanaan, Perancangan, Lingkungan Dan Infrastruktur*, 1(1), 22–29.
- SNI 2456:2011. (2011). Cara Uji Penetrasi Aspal. *Badan Standar Nasional Indonesia*, 1–17.
- SNI 2489:2018. (2018). SNI 2489:2018 Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat Marshall. *Badan Standarisasi Nasional*.
- Sugiyartanto. (2018). Spesifikasi Umum 2018. *Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, September*, 1–1013.
- Zulfikar, G., Sulistyono, S., & Hayati, N. N. (2014). Perbandingan Nilai Stabilitas Dan Flow Campuran Ac-Wc Pada Pengujian Marshall Menggunakan Alat Uji Digital Dan Analog. *Prosiding Simposium FSTPT*, 17.