

TESIS

**STUDI KINERJA CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT* DENGAN
MENGUNAKAN *ADDITIVE WETFIX BE*
(*STUDY ON PERFORMANCE STONE MATRIX ASPHALT MIXTURE
USING ADDITIVE WETFIX BE*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Gelar Derajat Magister Teknik Sipil**



Disusun oleh:

RENDY ASTA TEGUH WIJAYA

1890 4045

**KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI
STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2023**

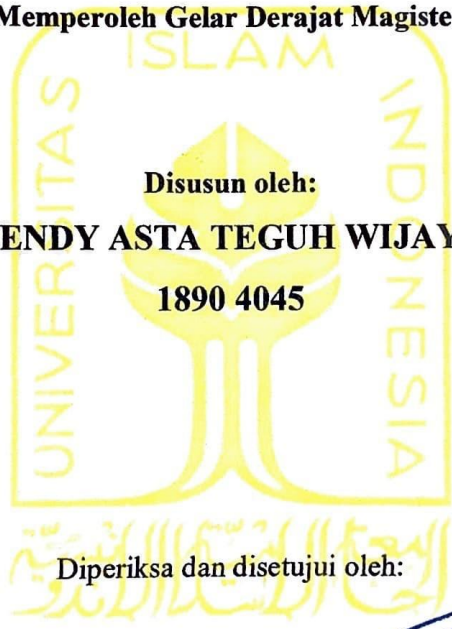
LEMBAR PERSETUJUAN

TESIS

**STUDI KINERJA CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT* DENGAN
MENGUNAKAN *ADDITIVE WETFIX BE*
(*STUDY ON PERFORMANCE STONE MATRIX ASPHALT MIXTURE
USING ADDITIVE WETFIX BE*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Gelar Derajat Magister Teknik Sipil**

Disusun oleh:
RENDY ASTA TEGUH WIJAYA
1890 4045



Diperiksa dan disetujui oleh:

MIFTAHUL FAUZIAH, S.T., M.T., Ph.D

Dosen Pembimbing I

Tanggal:

Ir. SUBARKAH, M.T.

Dosen Pembimbing II

Tanggal:

LEMBAR PENGESAHAN

TESIS

**STUDI KINERJA CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT* DENGAN
MENGUNAKAN *ADDITIVE WETFIX BE*
(*STUDY ON PERFORMANCE STONE MATRIX ASPHALT MIXTURE
USING ADDITIVE WETFIX BE*)**

Disusun oleh:

RENDY ASTA TEGUH WIJAYA

1890 4045

Telah diuji di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 31 JAN 2023

dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



(Mftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.)



(Ir. Subarkah, M.T.)

Dosen Penguji



(Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM.)

Yogyakarta 8 Maret 2023

Universitas Islam Indonesia

Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil



Ketua Program

(Dr. Ir. SRI AMINI YUNI ASTUTI, ST., MT.)

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dal, daftar pustaka.
4. Program “*software*” komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggungjawab saya, bukan tanggungjawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta _____

Yang membuat pernyataan,



(Rendy Asta Teguh Wijaya)

18914045

KATA PENGANTAR

Bismillahi assalamu'alaikum Wr. Wb.,

Syukur kepada Allah SWT dengan mengucapkan *Alhamdulillah rob'l'alamin, Allahumma sholli 'ala sayyidina Muhammad wa'ala alii sayyidina Muhammad*, sholawat serta salam tercurahkan kepada junjungan umat manusia, Muhammad SAW, Nabi dan Rasul Allah yang telah berhasil mengemban misi tugas-tugas mulia. Pada kesempatan kali ini, penulis berhasil menyelesaikan tugas tesis dengan judul “Studi Kinerja Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan Menggunakan *Additive Wetfix be*” untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Master Teknik di Universitas Islam Indonesia.

Penulis menyadari tugas akhir ini bukanlah tujuan akhir dari belajar, karena sesungguhnya belajar adalah sesuatu yang tidak terbatas. terselesaikannya tesis ini tentunya tak lepas dari dorongan dan uluran tangan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, tak salah kiranya penulis mengungkapkan rasa terima kasih dan penghargaan kepada:

1. Yang terhormat, Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., dan Bapak Ir. Subarkah, M.T. selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan waktu, bimbingan, arahan, masukan dan motivasi untuk keberhasilan penyusunan tugas akhir tesis ini.
2. Yang terhormat, Bapak Berlian Kushari, ST., M.Eng., selaku Dosen Penguji tesis, yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari.
3. Yang terhormat, Ibu Sri Amini Yuni Astuti S.T., M.T., Dr., selaku Ketua Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
4. Segenap Dosen dan Staff Program Pascasarjana Magister Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, yang telah membekali ilmu pengetahuan selama mengikuti pendidikan di Universitas Islam Indonesia.
5. Kepada seluruh keluarga/kerabat, teruntuk kedua orang tua Sri Untari, Sasmito, serta teman-teman terdekat terima kasih telah memberikan doa,

smangat, dan dukungan moril maupun materil yang sangat berarti bagi penyusun dalam menyelesaikan Tesis ini.

6. Serta pihak-pihak yang tidak mungkin disebutkan satu persatu yang turut membantu penyusunan Tesis ini baik secara langsung maupun tidak langsung.

Tiada kemampuan penulis untuk membalas segala bantuan dan pertolongan yang telah diberikan, semoga mendapatkan balasan pahala dari Allah SWT, Aamiin. Semoga tesis ini dapat bermanfaat untuk menambah wawasan dan pengetahuan bagi pihak-pihak yang berkepentingan, serta penulis sendiri.

Wassalamu 'alaikum Wr. Wb.

Yogyakarta, 31 Januari 2023

Hormat Saya,

(Rendy Asta Teguh Wijaya)

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSAKA.....	6
2.1 Kinerja <i>Stone Matrix Asphalt</i>	6
2.1.1 Campuran Aspal dengan Penambahan Aditif	7
2.1.2 Pengaruh <i>Additive Wetfix-be</i> pada Campuran Aspal	10
2.1.3 Durabilitas Campuran Aspal.....	11
2.1.4 Modulus Elastisitas dan <i>Poisson Ratio</i>	12
2.1.5 Deformasi Permanen.....	13
2.1.6 Perbandingan Penelitian Tentang <i>Wetfix be</i> Terhadap Kinerja Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	15
Studi Kinerja <i>Stone Matrix Asphalt</i> Dengan Menggunakan <i>Additive Wetfix be</i>	16
BAB III LANDASAN TEORI.....	19
3.1 Bahan Penyusun <i>Stone Matrix Asphalt</i>	19
3.1.1 Agregat.....	19
3.1.2 Aspal	23
3.1.3 Bahan Tambah <i>Wetfix Be</i>	24
3.2 Kriteria Perencanaan Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	25
3.3 Pengujian <i>Marshall</i>	26
3.3.1 Stabilitas (<i>Stability</i>).....	26
3.3.2 Kelelehan (<i>Flow</i>)	26
3.3.3 <i>Marshall Question (MQ)</i>	26
3.3.4 <i>Pengujian Void in the Total Mix (VIM)</i>	27
3.3.5 <i>Volume of Void Filled with Asphalt (VFWA)</i>	27

3.4	Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	28
3.4.1	Penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan metode <i>Marshall</i>	29
3.5	Pengujian Durabilitas	29
3.5.1	Pengujian Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i>	29
3.5.2	<i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	30
3.5.3	Pengujian <i>Wheel Tracking</i>	31
BAB IV METODE PENELITIAN.....		33
4.1	Metode Penelitian.....	33
4.2	Lokasi Penelitian	33
4.3	Bahan dan Peralatan Penelitian	33
4.3.1	Bahan Penelitian	33
4.3.2	Peralatan Penelitian.....	34
4.4	Tahapan Penelitian	36
4.4.1	Pengujian Bahan	36
4.4.2	Perancangan Campuran Benda Uji	36
4.4.3	Pembuatan Benda Uji	44
4.4.4	Pengujian Benda Uji	45
4.5	Analisis Statistik.....	47
4.6	Bagan Alir Penelitian	49
BAB V HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		50
5.1	Hasil Penelitian	50
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	50
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	51
5.1.3	Hasil Pengujian VCA_{mix} dan VCA_{adr}	52
5.1.4	Hasil Pengujian Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum	53
5.1.5	Hasil Pengujian Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> dengan Bahan Tambah <i>Wetfix be</i> pada KAO	54
5.2	Pembahasan.....	56
5.2.1	Karakteristik Agregat Kasar.....	56
5.2.2	Karakteristik Agregat Halus.....	58
5.2.3	Karakteristik VCA_{mix} dan VCA_{adr} terhadap Varian Aspal dan Aditif	60

5.2.4	Karakteristik <i>Marshall</i> Standar untuk Mencari Kadar Aspal Optimum	61
5.2.5	Karakteristik <i>Marshall</i> Standar Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> dengan Bahan Tambah <i>Wetfix Be</i> pada KAO.....	65
5.2.6	Karakteristik Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i> Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> dengan Bahan Tambah <i>Wetfix be</i> pada KAO.....	72
5.2.7	Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> dengan Bahan Tambah <i>Wetfix Be</i> pada KAO	75
5.2.8	Karakteristik <i>Wheel Tracking</i> Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> dengan Bahan Tambah <i>Wetfix Be</i> pada KAO.....	76
5.2.9	Karakteristik <i>Cantabro Loss</i> Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> dengan Bahan Tambah <i>Wetfix Be</i> pada KAO.....	81
BAB VI KESIMPULAN SARAN.....		82
6.1	Kesimpulan	82
6.2	Saran	83
DAFTAR PUSTAKA.....		84
LAMPIRAN.....		88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Pengujian Tarik Tidak Langsung (ITS)	30
Gambar 3. 2 Hubungan Waktu dan Deformasi.....	32
Gambar 4. 1 Gradasi Agregat Campuran SMA	37
Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian	49
Gambar 5. 1 Hasil Penambahan Kadar Aspal terhadap <i>VCAmix/VCAadr</i>	60
Gambar 5. 2 Hasil Penambahan Kadar <i>Wetfix Be</i> terhadap <i>VCAmix/VCAadr</i>	60
Gambar 5. 3 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan <i>VIM</i>	61
Gambar 5. 4 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VFWA</i>	62
Gambar 5. 5 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VMA</i>	62
Gambar 5. 6 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Density</i>	63
Gambar 5. 7 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan Stabilitas	64
Gambar 5. 8 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Flow</i>	64
Gambar 5. 9 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai <i>MQ</i>	65
Gambar 5. 10 Hasil Penambahan <i>Wetfix be</i> dengan Nilai <i>VIM</i>	66
Gambar 5. 11 Hasil Penambahan <i>Wetfix be</i> dengan Nilai <i>VFWA</i>	67
Gambar 5. 12 Hubungan Kadar <i>Wetfix be</i> dengan Nilai <i>VMA</i>	68
Gambar 5. 13 Hubungan Kadar <i>Wetfix be</i> dengan Nilai <i>Density</i>	69
Gambar 5. 14 Hasil Penambahan Kadar <i>Wetfix be</i> dengan Stabilitas	70
Gambar 5. 15 Hubungan Kadar <i>Wetfix be</i> dengan Nilai <i>Flow</i>	71
Gambar 5. 16 Hubungan Kadar <i>Wetfix be</i> dengan Nilai <i>MQ</i>	72
Gambar 5. 17 Perbandingan Hasil Penambahan <i>Wetfix be</i> dengan Nilai <i>IRS</i>	73
Gambar 5. 18 Hasil Penambahan <i>Wetfix be</i> dengan Nilai <i>IDP</i>	74
Gambar 5. 19 Hasil Penambahan <i>Wetfix Be</i> dengan Nilai <i>IDK</i>	74
Gambar 5. 20 Hubungan Kadar <i>Wetfix Be</i> dengan Nilai <i>ITS</i>	75
Gambar 5. 21 Hubungan Kadar <i>Wetfix Be</i> dengan Nilai <i>TSR 24 jam</i>	76
Gambar 5. 22 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar <i>Wetfix Be</i> dengan Nilai Stabilitas Dinamis	77
Gambar 5. 23 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar <i>Wetfix Be</i> dengan Nilai Kecepatan Deformasi.....	77

Gambar 5. 24 Hubungan Penambahan <i>Wetfix Be</i> dengan Waktu Pembebanan dan Deformasi pada Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	78
Gambar 5. 25 Hubungan Penambahan <i>Wetfix Be</i> dengan Jumlah Lintasan dan Deformasi pada Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	79
Gambar 5. 26 Hasil Pengujian Stabilitas <i>Marshall</i>	80
Gambar 5. 27 Hasil Pengujian Stabilitas Dinamis	80
Gambar 5. 28 Hubungan Nilai Cantabro Loss dengan Bahan Tambah <i>Wetfix Be</i>	81

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Tentang Bahan Tambah Terhadap Kinerja Campuran	16
Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Tentang Bahan Tambah Terhadap Kinerja Campuran	17
Tabel 3. 1 Spesifikasi Agregat Kasar	21
Tabel 3. 2 Spesifikasi Agregat Halus	22
Tabel 3. 3 Gradasi Agregat Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	23
Tabel 3. 4 Persyaratan Bahan Aspal <i>Stone Matrix Asphalt</i>	24
Tabel 3. 5 Kriteria <i>Wetfix be</i>	25
Tabel 3. 6 Kriteria <i>Stone Matrix Asphalt</i>	25
Tabel 4. 1 Rencana Gradasi Agregat <i>Stone Matrix Asphalt</i>	37
Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5 %	41
Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5 %	41
Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6 %	41
Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5 %	42
Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7 %	42
Tabel 4. 7 Variasi Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> dengan <i>Additive Wetfix be</i> ..	42
Tabel 4. 8 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum	43
Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji Untuk Pengujian <i>Immersion Test (IRS), ITS</i> serta <i>TSR, Compression Strength</i> dan <i>Wheel Tracking</i>	43
Tabel 5. 1 Tabel Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	50
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar <i>Wetfix Be</i> 0,1%	50
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar <i>Wetfix Be</i> 0,2%	51
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar <i>Wetfix Be</i> 0,3%	51
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Agregat Kasar	52
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Agregat Halus	52
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO	53
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian <i>VCA</i> untuk Menentukan KAO	53
Tabel 5. 9 <i>Narrow Range</i> KAO campuran <i>SMA</i>	54
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Standar	55

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> 24 jam (<i>Immersion Test</i>)	55
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio</i> 24 jam (<i>TSR</i>).....	55
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking Machine (WTM)</i>	55
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Deformasi Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	56
Tabel 5. 15 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	56

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Permasalahan utama kerusakan jalan di Indonesia berdasarkan hasil kajian Direktorat Jendral Bina marga (Ditjen Bina Marga, 2018) bekerja sama dengan *Indonesia Infrastruktur Initiative* (IndII, 2011) adalah muatan berlebih sebesar 47 %, kualitas pemeliharaan sebesar 20%, faktor desain sebesar 18%, serta kualitas konstruksi sebesar 15%. Perkerasan jalan mempunyai umur rencana tertentu sesuai dengan umur desain yang telah ditetapkan. Umur rencana yang digunakan dalam desain Indonesia adalah 10 tahun untuk perkerasan lentur. Selama masa layanan, pekerasan akan mengalami pembebanan berulang. Ruas jalan dengan arus lalu lintas tinggi tercermin dari; Lalu lintas Harian Rata-rata Tahunan (LHRT) yang besar, artinya repetisi beban yang terjadi akan semakin banyak. Kondisi ini perlu diantisipasi dengan langkah-langkah pencegahan, utamanya dengan pemeliharaan jalan. Rendahnya mutu bahan merupakan salah satu penyebab kerusakan jalan. Hal tersebut ditambah dengan meningkatnya volume lalu lintas, baik dalam hal jumlah dan beban kendaraan, serta akibat genangan air menjadi alasan lain yang banyak ditemukannya kerusakan jalan seperti terjadinya kerusakan dini berupa alur, *rutting*, *disintegration* dan *cracking*. Oleh karena itu diperlukan campuran perkerasan yang mempunyai sifat stabilitas dan durabilitas tinggi, tidak peka terhadap cuaca panas, tahan oksidasi, tahan terhadap rembesan air hujan, dan aman bagi lingkungan. Berbagai macam penelitian modifikasi aspal untuk meningkatkan mutu telah dilakukan untuk mengatasi permasalahan salah satu teknologi yang terus dikembangkan pada saat ini untuk mengatasi permasalahan di atas dengan menggunakan jenis perkerasam *Stone Matrix Asphalt*.

Stone Matrix Asphalt (SMA) yang merupakan jenis perkerasan lentur yang dianggap mempunyai kelebihan dibandingkan dengan jenis perkerasan lainnya karena perkerasan *SMA* mempunyai ketahanan terhadap alur, fleksibilitas dan durabilitas yang tinggi. Indonesia mulai mengenal *Stone Matrix Asphalt (SMA)* sekitar tahun 1990-an akan tetapi masih sangat jarang dijumpai, namun jenis perkerasan ini perlu dipertimbangkan menjadi salah satu solusi mengatasi

kerusakan jalan, khususnya yang berkaitan dengan kerusakan retak dan alur. *Stone Matrix Asphalt (SMA)* merupakan jenis campuran beraspal panas yang telah diakui secara luas sebagai campuran yang stabil, awet, dan tahan terhadap beban tinggi. Terdiri dari dua bagian utama yaitu kerangka agregat kasar dan campuran agregat halus, bahan pengisi (*filler*) serta mengandung aspal mortar dengan kadar relatif.

Menurut Hidayat dkk (2019), *Stone Matrix Asphalt* merupakan jenis campuran beraspal panas yang dapat digunakan sebagai lapis permukaan dengan kandungan agregat kasar yang besar dan kadar aspal yang tinggi. *Stone Matrix Asphalt*, yaitu campuran bergradasi senjang yang terdiri dari rangka (*skeleton*) agregat kasar yang dapat mencapai 70% dan mortar bahan pengikat aspal dengan proporsi tinggi. Kelebihan campuran *SMA* adalah memiliki ketahanan terhadap deformasi serta durabilitas yang baik sebagai akibat dari rangka agregat yang kuat dengan kadar aspal tinggi. Tingginya kadar aspal ini juga meningkatkan fleksibilitas yang memberikan ketahanan terhadap retak lelah (*fatigue*).

Menurut penelitian Abdillah dkk (2018), campuran *SMA* lebih tahan terhadap deformasi dan mempunyai *skid resistance* yang tinggi, karena kadar agregat kasarnya besar, dan cenderung lebih tahan lama, karena kadar aspalnya tinggi. Bila distabilisasi dengan bahan *additive*, campuran ini dapat melayani kendaraan berat dengan lebih baik. Secara teknik lapis perkerasan jalan sering tidak sesuai dengan umur rencana jalan selama masa pelayanan, sehingga menimbulkan kerusakan, seperti bleeding, alur, retak, dan juga kerusakan jalan lainnya. Kerusakan tersebut disebabkan adanya beberapa kendala dalam pemeliharaan jalan, sehingga diperlukan campuran perkerasan yang bersifat fleksibel dengan stabilitas dan durabilitas tinggi, tidak peka terhadap cuaca panas, tahan oksidasi, tahan terhadap rembesan air hujan, serta aman bagi lingkungan.

Dalam pelaksanaannya campuran *SMA* memiliki kekurangan pada harga yang relatif mahal daripada beton aspal konvensional akibat kandungan kadar aspal yang tinggi, penggunaan *filler* dan bahan penstabil. Selain itu kesalahan perencanaan campuran *SMA*, produksi, dan pelaksanaan dapat menyebabkan resiko munculnya spot-spot pada permukaan jalan, sehingga lama kelamaan agregat akan terlepas dari permukaan jalan dan membentuk lubang yang akan cepat membesar

bila tidak segera ditangani. Kondisi seperti ini campuran SMA cenderung mengalami pengelupasan aspal dari agregat. Kadar aspal yang tinggi pada campuran *Stone Matrix Asphalt* memiliki kecenderungan aspal akan mengalir (*draindown*) pada saat pengangkutan sehingga ketebalan lapisan aspal yang menyelimuti agregat menjadi menipis. Pengendalian sifat *drain down* ini dapat dilakukan dengan memodifikasi sifat-sifat aspal yang digunakan, yaitu dengan menggunakan bahan tambah aditif berupa *wetfix be* untuk meningkatkan ikatan dan menstabilkan campuran antara agregat dan aspal.

Menurut Direktorat Jendral Bina Marga (2004), aspal modifikasi merupakan aspal yang dibuat dengan cara mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah yang bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis aspal. Oleh karena itu, Untuk meningkatkan kekuatan dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur perkerasan jalan disamping perlu adanya penggunaan campuran aspal panas dengan pemilihan jenis material yang baik dapat pula dengan memodifikasi dengan menggunakan bahan tambahan sehingga diharapkan bisa meningkatkan kinerja campuran aspal khususnya pada nilai stabilitasnya. Bahan yang dapat digunakan untuk menambah daya rekat campuran aspal salah satunya yaitu *wetfix be*. Bahan ini memberikan banyak keuntungan dalam konstruksi perkerasan jalan, diantaranya dapat mengurangi dampak negatif campuran SMA serta mempermudah dalam menentukan komposisi campuran. Selain itu, penggunaan *wetfix be* diharapkan dapat meningkatkan stabilitas serta meningkatkan durabilitas dan meningkatkan daya lekat antar agregat campuran SMA.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dibuat suatu rumusan masalah yang digunakan sebagai pertanyaan penelitian (*research question*). Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana durabilitas campuran *Stone matrix asphalt* dengan penambahan *additive Wetfix be*?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *Wetfix be* terhadap *Indeks of Retained Sterngth* campuran *Stone matrix asphalt*?

3. Bagaimana kinerja campuran *Stone matrix asphalt* dengan penambahan *Wetfix be* terhadap *Indirect Tensile Strength*?
4. Bagaimana kinerja campuran *Stone matrix asphalt* dengan penambahan *Wetfix be* terhadap *Tensile Strength Ratio*?
5. Bagaimana ketahanan stabilitas dinamis campuran *Stone matrix asphalt* dengan penambahan *Wetfix be*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui durabilitas campuran *Stone matrix asphalt* dengan penambahan *additive Wetfix be*.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan *Wetfix be* terhadap *Indeks of Retained Strength* campuran *Stone matrix asphalt*.
3. Mengetahui kinerja campuran *Stone matrix asphalt* dengan penambahan *Wetfix be* terhadap *Indirect Tensile Strength*.
4. Mengetahui kinerja campuran *Stone matrix asphalt* dengan penambahan *Wetfix be* terhadap *Tensile Strength Ratio*.
5. Mengetahui ketahanan stabilitas dinamis campuran *Stone matrix asphalt* dengan penambahan *Wetfix be*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, antara lain sebagai berikut.

1. Memperluas pemahaman dan pengetahuan tentang teknologi perkerasan lentur, khususnya pada campuran *Stone matrix asphalt*.
2. Meningkatkan dan mengembangkan kualitas teknologi campuran *Stone matrix asphalt*.
3. Meningkatkan hasil nilai dari *additive Wetfix be*.
4. Menambah variasi bahan *additive* pada campuran *Stone matrix asphalt*.
5. Memperbanyak pengetahuan dan pemahaman mengenai pengaruh penggunaan *additive wetfix be* terhadap kekuatan dan keawetan *Stone matrix asphalt*.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini dibutuhkan agar pembahasan tidak keluar dari tujuan awal yang ingin dicapai. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Lapisan yang didesain adalah Lapisan Permukaan (*Surface Course*).
2. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal pen 60/70
3. Bahan tambah yang digunakan adalah *additive Wetfix be* dengan kadar 0 %; 0,10 % ; 0,20 % dan 0,30 % terhadap berat aspal.
4. Pada penelitian ini tidak meninjau reaksi kimia dari bahan yang dipakai.
5. Material yang digunakan agregat kasar, agregat halus dan *filler* berasal dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
6. Spesifikasi teknis untuk campuran *SMA* didasarkan pada spesifikasi SNI 8129:2015 tentang spesifikasi *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.
7. Pengujian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Transportasi Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kinerja *Stone Matrix Asphalt*

SMA adalah campuran beton aspal bergradasi senjang dengan proporsi agregat kasar lebih dari 70%, serta rongga diantaranya diisi oleh mastik aspal yaitu campuran agregat halus, *filler* dan aspal dengan kadar yang tinggi (Fauziah dan Yusuf 2018). *SMA* adalah campuran panas aspal agregat bergradasi senjang / *gap graded mixture* yang memaksimalkan kandungan aspal, kerangka agregat kasar (*coarse aggregate skeleton*), campuran agregat halus, bahan pengisi (*filler*) dan perekat berupa aspal mortar dengan kadar relatif tinggi (*rich asphalt binder mortar*), serta mempunyai kontak antar agregat kasar menjadi sebuah kerangka batuan yang disebut dengan istilah *stone-on-stone skeleton contact* untuk penyebaran beban (Brown dan Manglorkar, 1993).

Stone Matrix Asphalt adalah suatu jenis beton aspal campuran panas dengan material agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi, dan aspal yang membentuk mortar atau spesi dengan aspal sebagai bahan pengikat yang dicampur dalam keadaan panas. Campuran ini digunakan untuk memenuhi kebutuhan akan suatu lapisan permukaan (*wearing course*) yang mampu memberikan ketahanan maksimal terhadap alur (*rutting*) dan abrasi yang berasal dari lalu lintas berat. *SMA* digunakan sebagai lapis permukaan atau sebagai *overlay* terhadap suatu lapisan lama yang diperbaiki (Chiu dan Lu 2007)

Campuran *SMA* mempunyai susunan agregat bergradasi terbuka, yang berarti bahwa agregat yang berukuran lebih besar dari 2 mm berjumlah lebih dari 75% terhadap jumlah total berat agregat yang digunakan pada campuran. Keuntungan gradasi terbuka adalah agregat kasar yang uniform dapat diperoleh melalui proses pengayakan sederhana, dari kerikil sungai atau dengan memecah batu sungai. Demikian juga halnya dengan agregat halus dapat diperoleh dari pasir sungai tanpa proses lebih lanjut. *SMA* ini digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas berat, persimpangan, jalan dengan kondisi kemiringan berjenjang (tanjakan, turunan, dan tikungan tajam), terutama pada kondisi lapis permukaan mengalami tekanan roda kendaraan secara berlebihan (Abdillah dkk 2018)

Menurut Lake, dkk (2010) komposisi campuran SMA umumnya terdiri dari 70% - 80% agregat kasar, 8% - 12% *filler*, 6% - 7% aspal, dengan adanya kadar chipping (ukuran agregat > 2 mm) yang tinggi sekitar 75% pada campuran SMA, akan memberikan sifat keunggulan sebagai berikut.

1. Tahan terhadap alur (*rutting resistance*) pada temperatur tinggi dan lalu lintas berat yang terkonsentrasi pada suatu tempat (jejak roda kendaraan). Ketahanan terhadap deformasi disumbangkan oleh struktural mineral dengan tipe kerangka (*skeleton*), yaitu dengan adanya perpindahan gaya langsung diantara *chipping* yang ada dan *mastic* yang berupa aspal mortar sehingga mampu menahan struktur chipping tetap pada kedudukannya.
2. Tahan terhadap proses pengausan oleh roda kendaraan (*wearing resistance*). Ketahanan ini disumbangkan dengan adanya kontak langsung antara kendaraan dan *chipping* yang cukup besar.
3. Memiliki struktur permukaan yang kasar dan seragam (homogen).
4. Dengan tingginya kadar aspal memberikan lapisan aspal yang tebal sehingga memberikan ketahanan terhadap proses oksidasi pada bitumen yang terjadi karena sinar *ultraviolet* dari matahari yang berfungsi sebagai katalisator dapat menyebabkan terjadinya pelapukan dan kelekatan yang lebih baik terhadap campuran. Dengan adanya sifat ini sehingga memberikan umur layanan yang lebih panjang.
5. Menghasilkan kelekatan yang lebih baik antara lapisan SMA sebagai wearing course dengan lapisan bawahnya.
6. Lebih fleksibel dalam mengatasi perubahan bentuk akibat kurang mantapnya lapisan bawah

2.1.1 Campuran Aspal dengan Penambahan Aditif

Kemajuan teknologi telah banyak menghasilkan bahan tambah atau *modifier*, sering juga disebut aditif, yaitu suatu bahan yang dapat dicampurkan atau ditambahkan pada aspal. Pada hakekatnya, modifikasi aspal bertujuan untuk meningkatkan kualitas aspal yang akan digunakan dalam pembuatan atau perbaikan jalan. Masih terdapat sifat-sifat yang kurang menguntungkan dalam aspal yang

menyebabkan para ahli berusaha menemukan bahan yang dapat memperbaiki sifat fisika dan kimiawi dari aspal.

Menurut Sukirman (2003), aspal modifikasi adalah aspal yang terbentuk dari proses pencampuran atau ditambahkan aspal dengan bahan tambah (*additive*), yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas aspal dan memberikan kemudahan (*workability*). Menurut Prastanto dkk (2015), aspal modifikasi merupakan salah satu jenis formula aspal dengan penambahan aditif (*plastomer* atau *elastomer*) untuk mendapatkan sifat perkerasan jalan yang lebih baik, yaitu mengurangi deformasi pada perkerasan, meningkatkan ketahanan terhadap retak dan kelekatan pada agregat. Secara umum keuntungan penambahan aditif pada campuran aspal adalah sebagai berikut.

1. Membuat stabilitas meningkat
2. Kepekaan terhadap suhu menjadi berkurang
3. Ketahanan terhadap deformasi menjadi meningkat

Penelitian tentang campuran *asphalt* dengan penambahan berbagai aditif sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Adapun beberapa penelitian diuraikan sebagai berikut.

Penelitian Chiu dan Lu (2007) tentang campuran *stone matrix asphalt* dengan menggunakan bahan limbah ban karet, metode pengujian berupa *Marshall test*, *Drain down*, *durability*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran SMA meningkat signifikan dalam ketahanan *rutting* yang lebih baik dari pada campuran SMA konvensional. Berbeda dengan penelitian Raghuram dan Chowdary (2013) pengaruh kandungan serat selulosa terhadap campuran SMA dengan metode pengujian berupa *Drain down*, *Marshall test*, *Wheel tracking test*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efektif dalam menahan deformasi permanen. Abdillah dkk (2018), meneliti tentang pengaruh variasi kandungan *Viatop66* terhadap campuran *Stone matrix asphalt* menggunakan pengujian berupa *Drain down*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan *Viatop66* menunjukkan nilai *drain down* menurun seiring dengan meningkatnya penambahan kadar *viatop66* dan nilai titik leleh. Hal ini disebabkan serat yang terkandung dalam *viatop66* dapat menyerap aspal dan bahan pengisi untuk membentuk mortar sehingga pengaliran aspal dalam

campuran menjadi kecil. Menurut penelitian Saloh (2013), aditif *Roadcell-50* ditambahkan pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan pengujian berupa *Marshall Test*, *VIM*, dan *durability*. Berdasarkan hasil pengujian durabilitas (ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh air) dengan pengujian *immersion* diperoleh bahwa semakin bertambahnya kadar *Roadcel-50* maka semakin meningkat pula nilai stabilitas sisa. Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (*VIM refusal density*) meningkat.

Pada penelitian Hidayat (2019) Abu ampas tebu sebagai filler ditambahkan pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan pengujian berupa *Marshall*, *IRS*, *ITS*, dan *Cantabro*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilitas menambah signifikan dari perkerasan tersebut, tapi nilai *flow* menjadi turun, hal ini akan menyebabkan perkerasan menjadi kaku dan tahan terhadap beban yang berat tapi mudah retak (*cracking*). Penelitian yang dilakukan Rahman dkk (2012) dilakukan dengan cara aditif asbuton ditambahkan pada campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* dengan pengujian berupa *Marshall Test*, *The Universal Material Testing Apparatus (UMATTA)*, dan pengujian kelelahan dengan menggunakan alat uji mesin *dartec*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan asbuton sebagai aditif dapat dijadikan alternatif dalam struktur perkerasan aspal *runway* bandara

Hafidz (2012), meneliti pengaruh penambahan *Anti Stripping (Wetfix-Be)* dan bahan pengikat *liquid* asbuton terhadap campuran aspal porus. Metode yang digunakan uji karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, *Permeability*, dan *Binder Drain Down*. Hasil penelitian menunjukkan kadar *Wetfix-be* optimum 0,325 %, nilai *cantabro loss* dan koefisien permeabilitas semakin kecil, nilai porositas dan *drain down*, nilai *flow*, *VIM* dan *VMA* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kadar *Wetfix-be*. Berbeda dengan penelitian Mardawa dkk (2019) meneliti campuran aspal dingin asbuton dengan tambahan aditif *Wetfix-be* dan pengujian yang dilakukan adalah *marsall*, *fatigue test*, stabilitas, *VIM*, *VMA*, *VFA*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan aditif *Wetfix-be* mampu mempercepat waktu pengikatan aspal yang terkandung didalam asbuton terhadap agregat. Penggunaan aditif *Wetfix-be* sangat direkomendasikan sebagai material yang ditambahkan pada campuran aspal dingin untuk perbaikan jalan. Rikki dkk

(2019), meneliti tentang kajian penggunaan *Wetfix-be* terhadap campuran panas bergradasi *superpave*. Metode yang digunakan adalah *Marshall*, deformasi dan kekesatan permukaan. penelitian yang didapat penggunaan *Wetfix-be* dalam campuran aspal tidak sepenuhnya meningkatkan nilai karakteristik *Marshall* karena ada beberapa sifat *Marshall* seperti pelelehan dan *Marshall Quotient* yang tidak memenuhi spesifikasi. Nilai *Mu-Meter* untuk campuran tanpa dan dengan menggunakan *Wetfix-be* memenuhi persyaratan, yaitu lebih dari 0.33 *Mu-Meter*, dengan demikian maka permukaan jalan memiliki tahanan gesek antara ban dan permukaan jalan yang cukup baik.

2.1.2 Pengaruh Additive *Wetfix-be* pada Campuran Aspal

Menurut Rikki dkk (2019) *Wetfix be* adalah bahan kimia anti striping yang disarankan dosis pemakaiannya yaitu 0,3% terhadap kadar aspal, berguna untuk meningkatkan ikatan dan menstabilkan campuran antara agregat dan aspal terutama pada musim hujan. *Wetfix be* tahan dalam suhu 170 °C secara terus menerus selama dalam jangka waktu 5 hari, tetapi apabila lewat 5 hari akan terjadi penurunan efektifitasnya. Dibandingkan dengan zat aditif lainnya, penggunaan *Wetfix be* dinilai sangat efisien dan ekonomis karena penggunaannya hanya sedikit terhadap kadar aspal dan bisa menghasilkan struktur perkerasan yang maksimal. Keuntungan lain menggunakan zat aditif *Wetfix be* pada perkerasan jalan Sebagai modifier aspal untuk meningkatkan ikatan agregat dan aspal, dapat digunakan untuk berbagai macam jenis agregat, pemeliharaan rutin menjadi berkurang, dapat memperpanjang umur jalan 3-4 tahun, dan jalan selalu baik terpelihara.

Wetfix be merupakan bahan aditif aspal yang diproduksi oleh perusahaan AkzoNobel yang berpusat di Belanda. AkzoNobel telah menerapkan teknologi untuk pembangunan jalan sejak 1940-an. Inovasi terbarunya adalah aditif campuran aspal yang *superior* yang disebut *Wetfix be*. Dibandingkan dengan jalan yang diaspal menggunakan "*hot-mix aspal*" (HMA) tradisional/biasa, jalan raya yang dibangun dengan aspal yang dimodifikasi *Wetfix be* menunjukkan hasil pengujian yang menguntungkan, ketahanan yang lebih besar terhadap kerusakan akibat kelembaban, menghasilkan jalan yang *superior* dan tahan lama. Adapun beberapa

bahan aditif aspal yang diproduksi oleh AkzoNobel seperti *Rediset LQ-1106*, *Perma Tac* dan *Kling* (www.AkzoNobel.com)

2.1.3 Durabilitas Campuran Aspal

Durabilitas suatu perkerasan aspal adalah kemampuan untuk tahan terhadap beberapa faktor seperti penuaan aspal, disintegritas agregat dan pelepasan lapisan aspal dari agregat akibat cuaca, beban lalu lintas atau kombinasi keduanya. Sifat durabilitas diperlukan untuk menahan keausan yang disebabkan oleh pengaruh cuaca, air, dan perubahan temperatur atau keausan yang disebabkan gesekan antar roda kendaraan dengan permukaan aspal (*Asphalt Institute MS-22, 2001*).

Menurut Nahyo (2003) potensi keawetan dari campuran aspal dapat diartikan sebagai ketahanan suatu campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan yang disebabkan air dan suhu. Rendahnya keawetan lapisan permukaan dan lapisan aspal adalah merupakan salah satu penyebab utama rusak dan gagalnya pelayanan jalan perkerasan fleksibel. Tingginya keawetan biasanya memenuhi sifat –sifat mekanik dari campuran dan akan memberikan umur pelayanan yang lebih lama.

Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas aspal dipengaruhi oleh tebalnya selimut aspal, banyaknya pori, kepadatan dan kedap airnya campuran. Faktor yang mempengaruhi durabilitas campuran aspal sebagai berikut (Sukirman, 2003).

1. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, aspal beton akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik, tetapi semakin tebal selimut aspal, maka semakin mudah terjadi *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin.
2. *Voids In Mix (VIM)* kecil, sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran. Besarnya pori-pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam aspal beton, yang mengakibatkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas dan durabilitasnya menurun.

3. *Voids Mineral Aggregate (VMA)* besar, sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika *VMA* dan *VIM* kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* besar.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keawetan campuran aspal antara lain adalah tipe dan gradasi agregat, kelekatan antara agregat dan aspal, kadar aspal, permeabilitas campuran, metode pelaksanaan, dan iklim. Jika campuran aspal dilaksanakan sesuai spesifikasi, maka faktor keawetan akan tergantung oleh ketahanannya menghadapi iklim, seperti misalnya pengaruh air, pelapukan aspal dan perubahan temperatur (Sukarman, 2001). Durabilitas campuran aspal beton mempunyai pengaruh terhadap kinerja dan umur layanan suatu jalan. Durabilitas yang tinggi memberikan indikasi bahwa jalan tersebut lebih awet dan mempunyai ketahanan dari pengaruh cuaca dan air (Tahir dan Setiawan, 2009).

2.1.4 Modulus Elastisitas dan *Poisson Ratio*

Modulus elastisitas E , sering pula disebut sebagai Modulus Young, yang merupakan perbandingan antara tegangan dan regangan aksial dalam deformasi yang elastis. Karena itu, modulus elastisitas menunjukkan kecenderungan suatu material untuk berubah bentuk bila diberi beban dan kembali lagi ke bentuk semula (Badan Standardisasi Nasional, 2008). Modulus elastisitas dipakai untuk bahan padat dan membandingkan regangan dan tegangan. Modulus elastisitas perkerasan lentur merupakan suatu parameter perancangan kekuatan struktur perkerasan jalan dalam metode analitis, untuk menghitung reaksi perkerasan terhadap beban lalu lintas. Modulus elastisitas dapat diperoleh melalui pengujian laboratorium. Angka Poisson (μ) adalah perbandingan antara regangan horizontal (*lateral strain*) dan regangan vertikal (*axial strain*) yang disebabkan oleh beban sejajar sumbu dan regangan aksial (Yoder dan Witczak, 1975). Pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) dapat digunakan untuk mengevaluasi sifat-sifat teknis campuran beraspal dan telah tersedia standar ASTM untuk menentukan modulus elastis dan angka *poisson*.

Megson (2005) menyatakan modulus elastisitas merupakan besaran yang menunjukkan kemiringan diagram atau kurva tegangan regangan. Modulus elastisitas juga dapat diartikan sebagai rasio antara tegangan sepanjang sumbu

bahan dengan regangan sepanjang poros sumbu bahan tersebut. Modulus elastisitas pada penelitian ini didapatkan berdasarkan pengujian kuat lentur aspal. Nilai modulus elastisitas campuran ditentukan dengan mengetahui defleksi dan beban yang diterima oleh aspal.

Pengujian ini menggunakan *Compressive Strength* bertujuan untuk membuat simulasi proses pembebanan akibat aktivitas lalu lintas, seperti beban akibat roda kendaraan. Nilai kuat tekan perlu diketahui untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima oleh suatu lapis perkerasan tanpa mengalami keruntuhan/kegagalan. Kuat tekan menyatakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban secara vertikal. *Output* dari pengujian kuat tekan yaitu hubungan antara nilai tegangan dan regangan. Penelitian di laboratorium mengenai kuat tekan pada campuran aspal dapat dilakukan dengan *Compressive Strength*. Beberapa penelitian yang pernah dilakukan dengan menggunakan alat tersebut adalah sebagai berikut.

Penelitian Wang (2017), tentang kuat tekan aspal berdasarkan ukuran distribusi. Hasil penelitian menunjukkan sebuah model didasarkan pada teori *Griffith* dan *Complete Pore Structure* dikembangkan untuk memprediksi kuat tekan aspal beton dengan ditunjukkan bahwa model yang diusulkan memprediksi kekuatan tekan aspal beton cukup baik.

Penelitian Leon (2019), tentang tegangan regangan aspal akibat perubahan geometris. Hasil penelitian menunjukkan bahwa suhu memiliki pengaruh yang signifikan terhadap modulus elastisitas dan kuat runtuh. Semakin tinggi suhunya, semakin rendah modulus dan kekuatan.

2.1.5 Deformasi Permanen

Asphalt Institute MS-22, 2001, menyatakan deformasi permanen adalah peristiwa penurunan lapis struktur perkerasan secara permanen. Deformasi ini dikatakan permanen karena deformasi yang terjadi pada permukaan perkerasan tidak kembali lagi ke posisi awal (*unrecoverable*) setelah terjadi pembebanan. Deformasi permanen banyak terjadi pada jalur tapak roda kendaraan, seiring berjalannya waktu deformasi permanen dapat menyebabkan *rutting*/alur pada permukaan perkerasan. Secara umum deformasi permanen terjadi akibat mekanisme berikut.

1. Mekanisme deformasi menghasilkan konsolidasi pada lapisan tanah dasar. Pondasi bawah dan pondasi atas, yaitu pemadatan tanah dasar yang kurang baik atau pemadatan lapisan perkerasan lainnya yang tidak memadai.
2. Konsolidasi alur pada lapisan beraspal, yang disebabkan pemadatan lapisan beraspal yang kurang baik selama pelaksanaan atau selama pencampuran. Pemadatan berlanjut akibat lalu lintas, sehingga terbentuk jejak jalur roda kendaraan (alur).
3. Keausan permukaan akibat gesekan dari roda kendaraan
4. Deformasi plastis, yaitu depresi pada bidang pembebanan dengan tonjolan pada kedua sisi alur yang disebabkan sifat viscoelastis campuran beraspal.

Flow number (Fn) merupakan indikator deformasi permanen dan telah diteliti sejak tahun 1970 untuk mengukur potensi alur pada campuran beraspal. Evaluasi terhadap pengujian modulus dinamis dan flow number yang dilaksanakan *Wisconsin Highway Research Program (WHRP) Project: Testing Wisconsin Mixture for the AASHTO 2002 Mechanistic Design Procedure*, dan menyimpulkan bahwa *Fn* sangat sesuai sebagai indikator ketahanan terhadap deformasi permanen (*rutting*) pada campuran beraspal.

Menurut Chairi dkk (2017), deformasi adalah perubahan bentuk dimensi dan posisi material dalam skala ruang waktu. Ada dua jenis deformasi di lapisan perkerasan jalan, arah melintang dan arah longitudinal dari kendaraan roda. Hal ini biasanya disebabkan oleh deformasi lapisan perkerasan yang menahan regangan tekan yang disebabkan oleh beban lalu lintas. Faktor utama yang mempengaruhi deformasi adalah komposisi dan viskositas campuran aspal.

Penyelidikan di laboratorium mengenai deformasi permanen yang terjadi pada campuran aspal dapat dilakukan dengan metode *Wheel Tracking Machine (WTM)*. Terdapat penelitian tentang penggunaan alat tersebut, antara lain penelitian Han dan Shiwakoti (2016) menunjukkan hasil uji *Wheel Tracking* mengalami peningkatan kinerja menggunakan bahan tambah *anti-stripping agen*, pada tahap selanjutnya tes *Wheel Tracking* lebih efektif sebagai metode uji cepat dalam hal menentukan sensitivitas suhu dan kelembaban. Hasil laboratorium dari studi ini harus diverifikasi dan dikorelasikan dengan kondisi lapangan. Sejalan dengan

penelitian Chaturabung dan Bahia (2017), hasil uji *Wheel Tracking* mampu mengukur potensi *rutting* dengan simulasi yang lebih baik untuk kondisi lapangan, biaya peralatan yang lebih rendah, cara yang tidak terlalu rumit serta mampu mengakomodasi kondisi lapangan.

2.1.6 Perbandingan Penelitian Tentang *Wetfix be* Terhadap Kinerja

Campuran Stone Matrix Asphalt

Perbandingan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan penelitian yang akan penyusun lakukan dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Tentang *Wetfix Be* Terhadap Kinerja Campuran *Stone Matrix Asphalt*

No	Aspek	Abdillah dkk (2018)	Rahman dkk (2012)	Leng dkk (2014)	Mardawa dkk (2020)	Hidayat (2019)	Rizal dkk (2019)	Saloh (2013)	Arsyad (2012)	Peneliti (2023)
1	Judul	Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah <i>Viatop66</i> Pada Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> Terhadap Titik Lembek Aspal dan Sifat <i>Drain Down</i> Campuran	Analisis Pengaruh Gradasi pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i> yang Menggunakan Aditii ASBUTON Murni untuk Perkerasan Bandara	<i>Mechanical Property Characterization of Warm Mix Asphalt Prepared with Chemical Additives.</i>	Karakteristik Marsall Pada Campuran Aspal Dingin Dengan Asbuton Akibat Dari Penggunaan Aditif <i>Wetfix be</i>	Analisis Karakteristik Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> Dengan Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Pengganti	Kajian Penggunaan <i>Wetfix Be</i> Pada Beton Aspal Campuran Panas Bergradasi <i>Superpave</i>	Kajian Eksperimental <i>Roadcell-50</i> Sebagai Bahan Tambah (<i>Additive</i>) Pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt (Sma)</i> Yang Menggunakan Material Lokal Batu Tangkiling	Pengaruh Penambahan <i>Anti Stripping (Wetfix-Be)</i> Terhadap Aspal Porus dengan Menggunakan Bahan Pengikat <i>Liquid Asbuton</i>	Studi Kinerja <i>Stone Matrix Asphalt</i> Dengan Menggunakan <i>Additive Wetfix be</i>
2	Jenis Campuran	(<i>SMA</i>)	(<i>SMA</i>)	<i>AC-WC</i>	<i>Cold mix Asphalt</i>	(<i>SMA</i>)	<i>Superpave</i>	(<i>SMA</i>)	<i>Mix Porous Asphalt</i>	(<i>SMA</i>)
3	Bahan yang ditambahkan	<i>Viatop66</i>	Asbuton	<i>Rediset LQ-1106</i>	<i>Wetfix be,</i>	Filler Abu Ampas Tebu	<i>Wetfix be</i>	<i>Roadcell-50</i>	<i>Wetfix be</i>	<i>Wetfix be</i>
4	Parameter Yang Diukur	<i>Drain Down</i>	<i>Marshall, UMATTA</i> , uji Kelelahan.	<i>Modulus Resilen, Indirect Tension Strength (ITS) dan Wheel Tracking</i>	<i>Marsall, Fatigue Tes, Stabilitas, VIM, VMA, VFA.</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, dan Cantabro</i>	<i>Marshall, Deformasi dan Kekesatan permukaan, serta Biaya</i>	<i>Marshall, Identify voids in mixture (VIM), durability as influenced by water by using immersion test.</i>	Karakteristik <i>Marshall, Cantbro Loss, Permeabilitas, dan Binder Drain Down</i>	<i>Marshall Test, Cantabro Loss, VIM, VMA, VFA. Immersion Test (IRS), ITS serta TSR,, dan Wheel Tracking</i>
Sumber : Abdillah dkk (2018), Rahman dkk (2012), Leng dkk (2014), Mardawa dkk (2020), Hidayat (2019), Rizal dkk (2019), Saloh (2013), dan Arsyad (2012).										

Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Tentang *Wetfix be* Terhadap Kinerja Campuran *Stone Matrix Asphalt*

No	Aspek	Abdillah dkk (2018)	Rahman dkk (2012)	Leng dkk (2014)	Mardawa dkk (2020)	Hidayat (2019)	Rizal dkk (2019)	Saloh (2013)	Arsyad (2012)	Peneliti (2023)
5	Hasil	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan <i>Viatop66</i> menunjukkan nilai <i>drain down</i> menurun seiring dengan meningkatnya penambahan kadar <i>viatop66</i> dan nilai titik lembek.	Hasil pengujian yang dilakukan, penggunaan ASBUTON sebagai aditif dapat dijadikan alternatif dalam struktur perkerasan aspal runway bandara, terutama pada campuran gradasi D12 dan gradasi D5 dengan ASBUTON 6%.	Hasil penelitian menunjukkan nilai <i>ITS</i> dan Modulus lebih besar dibandingkan dengan aspal control (<i>conventional stone matrix asphalt</i>)	Hasil penelitian menunjukkan bahwa Aditif <i>Wetfix be</i> dalam campuran aspal dingin dengan asbuton mampu mempercepat waktu pengikatan aspal yang terkandung didalam asbuton terhadap agregat. penggunaan aditif <i>Wetfix-BE</i> sangat direkomendasikan sebagai material yang ditambahkan pada campuran aspal dingin untuk perbaikan jalan.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilitas menambah signifikan dari perkerasan tersebut, tapi nilai <i>flow</i> menjadi turun, hal ini akan menyebabkan perkerasan menjadi kaku dan tahan terhadap beban yang berat tapi mudah retak (<i>cracking</i>)	Hasil pengujian aspal yang lebih tahan terhadap deformasi yaitu pada kadar <i>Wetfix be</i> 0.0%. Untuk biaya, normal lebih murah Rp 14,813 per ton dari aspal dengan bahan tambah <i>Wetfix BE</i> 0.3%. Perbedaan biaya yang terjadi tidak terlalu berarti karena beton aspal dengan bahan tambah <i>Wetfix be</i> 0.3% hanya mengalami kenaikan harga 1.43% dari beton aspal normal.	Berdasarkan hasil pengujian durabilitas aspal (ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh air) dengan pengujian immersion diperoleh bahwa semakin bertambahnya kadar <i>Roadcel-50</i> maka semakin meningkat pula nilai stabilitas sisa. Rongga dalam campuran pada kepadatan membal (<i>VIM refusal density</i>) meningkat	Kadar <i>wetfix be</i> optimum 0,325 %, nilai <i>cantabro</i> dan koefisien permeabilitas semakin kecil, nilai porositas dan <i>drain down</i> , nilai <i>flow</i> , <i>VIM</i> dan <i>VMA</i> semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kadar <i>wetfix-be</i> .	Penggunaan <i>Wetfix Be</i> sebagai bahan tambah pada campuran aspal dapat meningkatkan kinerja campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> . Peningkatan nilai stabilitas tertinggi yaitu pada kadar penambahan <i>Wetfix Be</i> 0,2 % sebesar 1088,38 kg. Penambahan kadar <i>Wetfix Be</i> 0,3% pada campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> menunjukkan peningkatan ketahanan gaya tarik akibat rendaman pada temperatur tinggi (<i>TSR</i>) sebesar 213,24%

Sumber : Abdillah dkk (2018), Rahman dkk (2012), Leng dkk (2014), Mardawa dkk (2020), Hidayat (2019), Rizal (2019) Saloh (2013), dan Arsyad (2012).

Ada beberapa kesamaan dan perbedaan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu seperti berikut.

1. Kesamaan pemakaian bahan aditif *Wetfix-be* pada campuran aspal pada penelitian Arsyad (2012), Rizal dkk (2019) dan Mardawa dkk (2020), namun berbeda pada jenis campuran yang dipakai.
2. Kesamaan pemakaian jenis campuran *Stone matrix asphalt* pada penelitian Abdillah dkk (2018), Hidayat (2019), Saloh (2013) namun berbeda pada pemakaian aditif yang digunakan untuk campuran *Stone matrix asphalt*.

Jadi penelitian yang dilakukan ini dengan penambahan *Wetfix be* sebagai aditif pada campuran *Stone matrix asphalt*. dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Bahan Penyusun *Stone Matrix Asphalt*

Berdasarkan EAPA (1998), campuran *SMA* merupakan jenis campuran aspal dengan sistem gradasi senjang/gap *graded mixture*. Struktur kerangka batuanannya secara keseluruhan tersusun oleh butiran-butiran agregat kasar dengan ukuran 2 - 6 mm, 4 - 8 mm, 6 - 11 mm atau 8 - 16 mm, sehingga akan menghasikan rongga udara yang umumnya berkisar antara 3% - 6% terhadap volume campuran. Rongga udara tersebut kemudian akan diisi oleh *mastic*. *Mastic* merupakan campuran antara *filler* dan agregat halus yang sebagian besar dipenuhi bahan perekat. Tingginya kadar bahan perekat cenderung mengakibatkan terjadinya pengaliran pada campuran sehingga umumnya dibutuhkan zat untuk mencegah pengaliran bahan perekat (*drainage inhibitor*), namun tidak mempengaruhi struktur campuran tersebut. Dalam campuran *Asphalt Concrete* (AC) dengan sistem gradasi menerus, agregat halus merupakan bagian dari struktur agregat. Rongga udara yang tersisa dalam Psangat halus (*filler*) dan bahan perekat

Bahan penyusun campuran *Stone matrix asphalt* mengacu ke spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum pengujian sifat-sifat bahan senantiasa mengikuti metode pengujian bahan yang selalu digunakan, seperti *British Standard (BS)*, *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*, *American Society for Testing and Materials (ASTM)* dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Berdasarkan *AASHTO* (1998), bahwa hasil pengujian sifat bahan harus memenuhi spesifikasi sebagai bahan campuran beraspal. Standar ini dimaksud sebagai acuan bagi perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan pada penelitian ini. Spesifikasi ini mencakup persyaratan bahan campuran *Stone matrix asphalt* yang terdiri dari bahan perekat (aspal) dan gradasi agregat campuran dan sifat-sifat campuran.

3.1.1 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan. Fungsi dari agregat dalam

campuran aspal adalah sebagai kerangka yang memberikan stabilitas campuran jika dilakukan dengan alat pemadat yang tepat. Agregat sebagai komponen utama atau kerangka dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% – 85% agregat berdasarkan persentase volume (Sukirman, 2003).

Pemilihan suatu agregat untuk material perkerasan jalan sangat ditentukan oleh ketersediaan material, kualitas dan harga material serta jenis konstruksi yang digunakan. Untuk menentukan agregat yang baik maka agregat dapat diklasifikasikan dan diidentifikasi menurut ukuran, kebersihan, kekuatan, kekerasan, bentuk butiran, tekstur permukaan, porositas, komposisi pembentuknya dan kekekatannya terhadap aspal. Oleh sebab itu, pemilihan jenis agregat merupakan hal yang penting dalam campurans beraspal karena berkaitan dengan kestabilan dari konstruksi jalan

Menurut Direktorat Jendral Bina Marga (2018), Agregat dibagi menjadi 2 macam yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan adalah agregat yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm). Agregat kasar juga harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal (Bina Marga, 2018). Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu ayakan yang lebih kecil dari ayakan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%. Adapun persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 3.1** sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat	SNI 3407 : 2008	Maks. 12 %
	Magnesium sulfat		Maks. 18 %
Abrasi dengan Mesin <i>Los Angles</i>	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6 %
		500 putaran	Maks. 30 %
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi	100 putaran	Maks. 8 %
		500 putaran	Maks. 40 %
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal		SNI 2439 : 2011	Min. 95%
Butiran Kasar Agregat Kasar	SMA	SNI 7619 : 2012	100/90 *)
	Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong (**)	SMA	ASTM D-4791	Maks. 5 %
	Lainnya		Maks. 10 %
Material Lolos Saringan No. 200		SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 1%

(Sumber: Bina Marga, 2018)

Catatan:

(*) 100/95 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

(**) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2. Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm). Pasir boleh digunakan dalam campuran aspal sebagai agregat halus dengan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Fraksi agregat halus dari pecahan mesin dan pasir harus

ditempatkan terpisah dari agregat kasar sehingga gradasi gabungan dan persentase pasir didalam campuran dapat dikendalikan dengan baik (Bina Marga 2018). Adapun agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan dalam **Tabel 3.2** berikut.

Tabel 3. 2 Spesifikasi Agregat Halus

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

(Sumber: Bina Marga, 2018)

3. Gradasi

Menurut Sukirman (1992), gradasi agregat didapat dari hasil analisis saringan atau ayakan dengan menggunakan satu set saringan, saringan yang paling kasar diletakkan di bagian atas dan yang halus diletakkan di bagian paling bawah. Pada penelitian ini digunakan jenis gradasi terbuka (*open graded*). Persyaratan gradasi agregat menurut Standar Nasional Indonesia nomor 8129, 2015 ditunjukkan dalam **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3. 3 Gradasi Agregat Campuran Stone Matrix Asphalt

Ukuran Saringan		Spesifikasi Lolos %	
mm	ASTM	Kiasaran	Nilai Tengah
19	¾”	100	100,0
12,5	½”	90 – 100	95,0
9,5	3/8”	50 - 80	65,0
4,75	No 4	20 – 35	27,5
2,36	No 8	16 – 24	20,0
0,075	No 200	8 – 11	9,5

(Sumber: Standar Nasional Indonesia nomor 8129, 2015)

3.1.2 Aspal

Aspal adalah material hidrokarbonat yang pada temperatur ruang berbentuk padat, dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika dipanaskan hingga mencapai temperatur tertentu, dan akan kembali memadat pada saat temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2003).

Aspal merupakan material umum yang digunakan untuk bahan pengikat suatu agregat perkerasan jalan yang memiliki ciri-ciri berwarna hitam pekat atau coklat tua, dengan unsur utama berupa bitumen yang diperoleh dari alam maupun dari pengolahan minyak bumi. Pada saat ini banyak dilakukan modifikasi terhadap jenis aspal untuk meningkatkan kinerja dari aspal, salah satunya yaitu *Stone matrix asphalt*. Adapun bahan aspal yang digunakan harus memenuhi persyaratan seperti dalam **Tabel 3.4** berikut.

Tabel 3. 4 Persyaratan Bahan Aspal *Stone Matrix Asphalt*

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Nilai Persyaratan
1.	Penetrasi 25°C (0,1 mm)	SNI – 2456 : 2011	60 – 70
2.	Viskositas Kinetis 135° C	SNI 06-6441-2000	≥ 300
3.	Titik Lembek (°C)	SNI – 2434 : 2011	≥ 48
4.	Daktilitas 25° C (cm)	SNI – 2432 : 2011	≥ 100
5.	Titik Nyala (°C)	SNI – 2433 : 2011	≥ 232
6.	Kelarutan Dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-03	≥ 99
7.	Berat Jenis	SNI – 2441 : 2011	≥ 1,0
8.	Penetrasi 25° C (% semula)	SNI – 2456 : 2011	≥ 54
9.	Daktilitas 25° C (cm)	SNI – 2432 : 2011	≥ 50

(Sumber: Standar Nasional Indonesia nomor 8129, 2015)

3.1.3 Bahan Tambah *Wetfix Be*

Bahan aditif *Wetfix be* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan produk yang dikembangkan oleh *AkzoNobel Surface Chemistry LLC*. *AkzoNobel* (2011 dan 2012), menjelaskan *Wetfix be* merupakan bahan kimia yang mengandung surfaktan untuk memudahkan pencampuran aspal dengan agregat pada suhu rendah atau memungkinkan penurunan suhu pencampuran 15-30°C dan dapat digunakan pada campuran aspal panas dan aspal hangat serta memberikan nilai keawetan yang lebih pada desain konstruksi jalan.

Wetfix be adalah bahan kimia anti striping yang disarankan dosis pemakaiannya yaitu 0,3% terhadap kadar aspal, berguna untuk meningkatkan ikatan dan menstabilkan campuran antara agregat dan aspal terutama pada musim hujan. *Wetfix be* tahan dalam suhu 170 °C secara terus menerus selama dalam jangka waktu 5 hari, tetapi apabila lewat 5 hari akan terjadi penurunan efektifitasnya. Dibandingkan dengan zat aditif lainnya, penggunaan *Wetfix be* dinilai sangat efisien dan ekonomis karena penggunaannya hanya sedikit terhadap kadar aspal dan bisa

menghasilkan struktur perkerasan yang maksimal. Keuntungan lain menggunakan zat aditif *Wetfix be* pada perkerasan jalan yaitu:

- a. Sebagai modifier aspal untuk meningkatkan ikatan agregat dan aspal.
- b. Dapat digunakan untuk berbagai macam jenis agregat.
- c. Pemeliharaan rutin menjadi berkurang.
- d. Dapat memperpanjang umur jalan 3-4 tahun.
- e. jalan selalu baik terpelihara dan nyaman.

Tabel 3. 5 Kriteria *Wetfix be*

Penampilan pada 20 ° C	Brown, cairan kental
Kepadatan pada 20 ° C,	980 kg / m
Tuangkan titik	< 0 ° C
Titik nyala	<100 ° C
Viskositas pada 20 ° C,	3000 cP
Viskositas pada 50 ° C,	400 cP

(Sumber: *AkzoNobel, 2011*)

3.2 Kriteria Perencanaan Campuran *Stone Matrix Asphalt*

Adapun kriteria perencanaan untuk mengetahui kinerja campuran *Stone matrix asphalt* yang baik, ada beberapa parameter yang harus dipenuhi menurut Standar Nasional Indonesia nomor 8129, 2015 disajikan pada **Tabel 3.6** berikut

Tabel 3. 6 Kriteria *Stone Matrix Asphalt*

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min. 600
2	Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>) (%)	4 – 5
3	Rongga dalam Agregat (<i>VMA</i>) (%)	Min 17
4	Rasio <i>VCAmix</i> ⁽¹⁾	< 1
5	Jumlah Tumbukan Perbidang	50
6	Pelelehan (mm)	2 – 4,5
7	Stabilitas Dinamis (mm)	2500 - 3000

(Sumber: Standar Nasional Indonesia nomor 8129, 2015)

3.3 Pengujian *Marshall*

Untuk memenuhi kriteria perencanaan kinerja *Stone matrix asphalt* yang baik berdasarkan **Tabel 3.7**, maka parameter pengujian *Marshall* yang dilakukan berdasarkan RSNI M-01-2003 adalah sebagai berikut.

3.3.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal sebagai bahan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Nilai stabilitas didapatkan dari pembacaan arloji stabilitas pada *Marshall Test*. Angka stabilitas ini masih harus dikoreksi lagi dengan kalibrasi alat dan ketebalan benda uji. Nilai stabilitas yang dipakai dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

$$q = p \times s \times 0,4536 \quad (3.1)$$

Keterangan: q = stabilitas (kg), p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, s = koreksi tebal benda uji, dan 0,4536 = konversi satuan dari *lb* ke kg.

3.3.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga nilai stabilitas menurun. Campuran aspal yang memiliki nilai *flow* rendah dengan nilai stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan sebaliknya campuran yang memiliki nilai *flow* tinggi dengan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Angka *flow* didapatkan dari pembacaan arloji yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm).

3.3.3 *Marshall Question (MQ)*

Marshall Question merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2 berikut

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

Keterangan: *MQ* = nilai *Marshall Quotient* (kg/mm), q = nilai stabilitas (kg), dan r = nilai *flow* (mm).

3.3.4 Pengujian Void in the Total Mix (VIM)

Void in the Total Mix (VIM) adalah presentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai *VIM* berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai *VIM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porus. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Air akan melarutkan komponen-komponen yang akan teroksidasi sehingga mengakibatkan terus berkurangnya kadar aspal dalam campuran. Penurunan kadar aspal dalam campuran menyebabkan lekatan antara butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan. Nilai *VIM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.3 dan 3.4 sebagai berikut.

$$n = 100 - \left(100 - \frac{g}{h} \right) \quad (3.3)$$

$$h = 100 - \left(\frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}}} \right) \quad (3.4)$$

Keterangan: n = nilai *VIM* (%), g = berat isi sampel (gr/cc), dan h = berat jenis maksimum teoritis campuran (gr/cc).

3.3.5 Volume of Void Filled with Asphalt (VFWA)

VFWA adalah volume pori beton aspal padat yang terisi oleh aspal, atau volume selimut aspal. Aspal yang mengisi *VFWA* adalah aspal yang berfungsi untuk menyelimuti butir-butir agregat di dalam beton aspal padat. Rumus untuk menghitung *VFWA* dapat dilihat pada Persamaan 3.5. Dasar perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³.

$$VFWA = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \quad (3.5)$$

Dengan: *VFWA* = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal, % dari *VMA*, *VMA* = volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat, dan *VITM* = volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume bulk beton aspal padat.

Untuk mendapatkan hasil yang terbaik, maka campuran *Stone Matrix Asphalt* harus memiliki rangka agregat kasar yang baik. Fraksi agregat tidak ditentukan dari ukuran saringan tertentu, namun ditentukan dari total campuran agregat tertahan pada saringan yang memiliki butiran terkecil yang tertahan paling sedikit 10% dari gradasi agregat (*breakpoint sieve*). Metode untuk menentukan terjadinya kontak antar batuan adalah metode *VCA (Voids in Coarse Aggregate)* yang dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7. Spesifikasi *AASHTO* mensyaratkan bahwa nilai *VCA_{mix}* harus lebih kecil dari nilai *VCA_{drc}*.

$$VCA_{drc} = \frac{G_{ca} \gamma_w - \gamma_s}{G_{ca} \gamma_w} \times 100 \quad (3.6)$$

Dengan: *VCA_{drc}* = volume pori antara agregat kasar pada kondisi *dry-rodded*, *G_{ca}* = berat jenis *bulk* agregat kasar, γ_w = berat jenis air (998 kg/m³), γ_s = berat volume agregat kasar pada kondisi *dry-rodded* (kg/cm³), dan

$$VCA_{mix} = 100 - \left(\frac{G_{mb} P_{ca}}{G_{ca}} \right) \quad (3.7)$$

3.4 Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi. Benda uji yang didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang dan minimal 6 (enam) jam sebelum pengujian suhu harus dijaga berada pada suhu ruang, sebelum benda uji dimasukkan kedalam drum mesin *Los Angeles*. Sebelum dimasukkan terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan nilai berat sebelum diabrasi (*M_o*). Setelah itu benda uji dimasukkan ke drum mesin *Los Angeles* tanpa bola baja. Kemudian dijalankan dengan kecepatan 30-33 rpm sebanyak 300 putaran. Kemudian setelah itu ditimbang kembali untuk mendapatkan nilai berat setelah diabrasi (*M_i*).

Nilai karakteristik *Cantabro Test* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.5 dengan mengacu pada ASTM C-131 seperti berikut ini.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100 \quad (3.5)$$

Keterangan: *L* = persentase kehilangan berat (%), *M_o* = berat sebelum diabrasi (gr), dan *M_i* = berat setelah diabrasi (gr)

3.4.1 Penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan metode *Marshall*

Metode yang dapat menjadi acuan dalam perancangan campuran perkerasan aspal diantaranya adalah metode *Marshall*, metode *Hveem* dan metode *Supervave*. Metode *Marshall* merupakan suatu metode perancangan campuran yang umum digunakan di seluruh dunia dikarenakan metode ini didasarkan pada *test* yang cukup sederhana dan mudah untuk dilakukan dibandingkan dengan metode-metode lainnya.

Pengujian *Marshall* adalah pengujian yang dilakukan terhadap benda uji untuk menentukan nilai kadar aspal optimum dan karakteristik campuran dengan cara mengetahui nilai stabilitas *Marshall* (*Marshall Stability*), kelelahan (*Marshall Flow*) serta turunannya yang merupakan perbandingan diantara keduanya yang disebut dengan *Marshall Quotient (MQ)*.

3.5 Pengujian Durabilitas

Adapun beberapa pengujian durabilitas aspal dengan penambahan *Wetfix be* yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Immersion Test (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensil Strength Ratio (TSR)*, dan *Wheel Tracking*.

3.5.1 Pengujian Perendaman *Marshall* (*Immersion Test*)

Pengujian perendaman *Marshall* dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan atau keawetan aspal terhadap pengaruh kerusakan oleh air, suhu dan cuaca. Di laboratorium disimulasikan dengan merendam selama benda uji 0,5 jam dan 24 jam dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$. Hasil Perbandingan rendaman selama 0,5 jam (perendaman standar) dengan 24 jam (stabilitas rendaman) dinyatakan dalam persen (%) yang disebut stabilitas *Marshall Sisa/Index of retained strength (IRS)*.

Kehilangan stabilitas akibat perendaman menggambarkan tingkat kerusakan oleh pengaruh air. Indeks kekuatan sisa sebesar 90 % merupakan nilai minimum yang disyaratkan Bina marga, karena pada nilai ini campuran aspal dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan. *Index of Retained Strength (IRS)* dihitung menggunakan Persamaan 3.7 berdasarkan RSNI M-01-2003 berikut.

$$\text{Index of Retained Strength (IRS)} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.7)$$

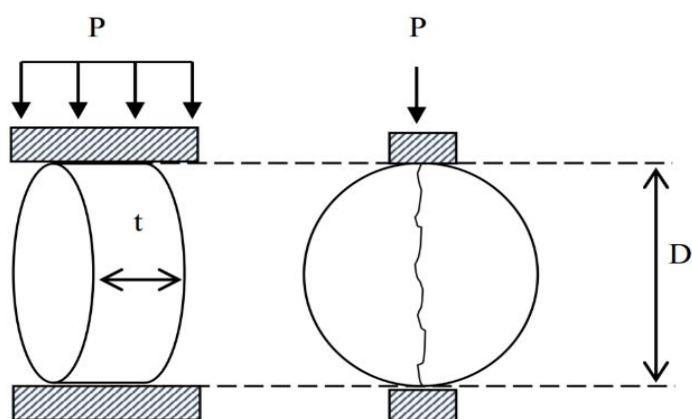
Keterangan: S_1 = stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam, dan S_2 = stabilitas setelah direndam selama 24 jam.

3.5.2 Indirect Tensile Strength (ITS) dan Tensile Strength Ratio (TSR)

Indirect Tensile Strength merupakan pengujian kemampuan aspal beton untuk menahan beban berupa tarik. Pengujian ini dilakukan pada benda uji yang berbentuk silinder. Pembebanan ini sejajar dengan diameter vertikal dari benda uji sampai titik batas kerusakan yang diindikasikan dengan terjadinya retak pada arah vertikal benda uji. Hasil keretakan benda uji, terbelah umumnya terjadi sepanjang bidang diameter. Kerusakan ini menandai beban maksimum yang dapat ditahan campuran yang mengindikasikan kuat tarik dari campuran.

Pengujian ini hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan adalah pada pengujian kuat tarik tak langsung tidak menggunakan cincin pengujian namun menggunakan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*. Pengukuran kekuatan tarik dihentikan apabila jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam.

Berpedoman pada SNI 6753 : 2015, dengan merendam benda uji selama ± 30 menit agar menjadi jenuh dan 24 jam dengan suhu $\pm 60^\circ\text{C}$. Hasil Perbandingan rendaman selama 30 menit (*ITS* standar) dengan 24 jam (*ITS* rendaman) dinyatakan dalam persen (%) yang disebut *Tensile Strength Ratio (TSR)*



Gambar 3. 1 Pengujian Tarik Tidak Langsung (ITS)

(Sumber: Tajudin dan Suparma, 2017)

Dari pembebanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami *failure*, dapat diperoleh nilai ITS dengan menggunakan Persamaan 3.8 berikut.

$$ITS = \frac{2 \times P \text{ maks}}{\pi \times t \times d} \quad (3.8)$$

Keterangan: ITS = kuat tarik tidak langsung (kg/cm^2), $P \text{ maks}$ = beban puncak (kg), t = tinggi sampel (cm), dan d = diameter benda uji (cm).

Nilai ITS pada masing-masing perendaman kemudian digunakan untuk mengetahui *Tensile Strength Ratio* (TSR) atau indeks kuat tarik tidak langsung yang dihasilkan dari variasi perendaman. *Asphalt Institute* mensyaratkan nilai TSR harus lebih besar dari 80%. Nilai TSR didapat melalui Persamaan 3.9 berikut.

$$TSR = \frac{ITS_o}{ITS_n} \times 100 \% \quad (3.9)$$

Keterangan: TSR = *Tensile Strength Ratio* (kg/cm^2), ITS_o = kekuatan tarik tidak langsung awal (kg/cm^2), dan ITS_n = kekuatan tarik tidak langsung awal (kg/cm^2).

3.5.3 Pengujian *Wheel Tracking*

Pengujian dengan *Wheel Tracking* digunakan untuk mendapatkan hasil pengujian terhadap deformasi permanen yang dipandang bisa mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan, di laboratorium disimulasikan dengan beban roda yang bergerak maju mundur melintas diatas benda uji. Uji *Wheel Tracking* bertujuan untuk memberikan gambaran ketahanan campuran terhadap pemadatan dan perubahan bentuk deformasi serta mensimulasikan pembebanan yang akan diterima perkerasan di lapangan. Pengujian dilakukan pada temperatur 60°C atau 45°C . Prosedur pengujian *Wheel Tracking* mengacu pada *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement (JRA), 1980*.

Alat ini mempunyai sebuah roda besi dan dilapisi karet keras yang bergerak maju mundur diatas permukaan benda uji campuran aspal yang berukuran $30 \times 30 \times 5 \text{ cm}$. Masing-masing benda uji akan dilintasi oleh beban roda berjalan dengan kecepatan 21 siklus per menit (42 lintasan per menit) dan pengujian dilaksanakan selama 60 menit (1 jam) dengan jumlah total lintasan adalah 2.520. Roda *Wheel Tracking* memiliki ban karet dengan lebar 5 cm dan tekanan roda sebesar $6,55 \text{ kg/cm}^2$ yang diekivalenkan dengan beban sumbu tunggal roda ganda setara 8,16 ton. Alat ini dilengkapi dengan computer yang dapat memberikan laporan berkaitan

antara jumlah lintasan dan jejak roda pada menit ke 1, 5, 10, 15, 30, 45 dan 60 menit. Kemampuan lapis perkerasan aspal menahan jejak roda dinyatakan dengan stabilitas dinamis (DS) yang menyatakan jumlah lintasan yang diperlukan untuk membuat jejak roda selama 1 jam. Stabilitas dinamis dan laju deformasi (RD), dapat dihitung dengan Persamaan 3.14 dan Persamaan 3.15 berikut.

Dynamic Stability/Stabilitas Dinamis (DS)

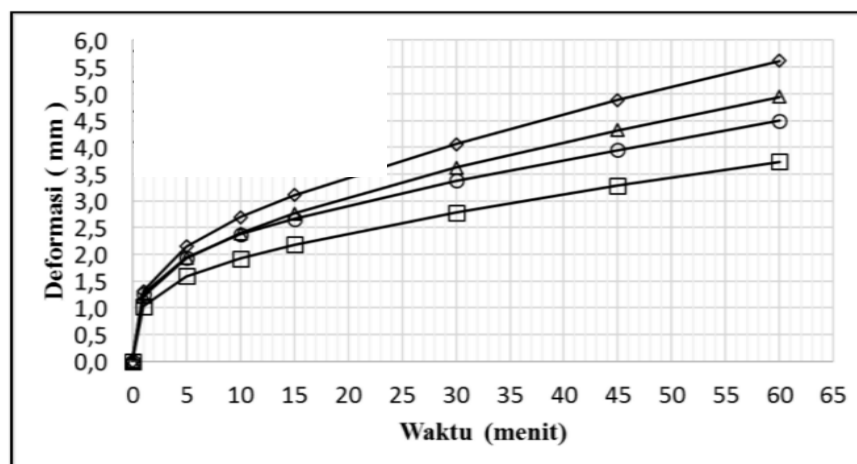
$$DS = 21 \times 2 \times \frac{(t_2 - t_1)}{(d_2 - d_1)} \quad (3.14)$$

Rate of Deformation/Laju Deformasi (RD)

$$RD = \frac{(t_2 - t_1)}{(d_2 - d_1)} \quad (3.15)$$

Keterangan: DS = *dynamic Stability* (lintasan/mm), RD = *rate of Deformation* (mm/menit), d_1 = nilai deformasi (kedalamanya) pada menit ke t_1 45 menit (mm), d_2 = nilai deformasi (kedalamanya) pada menit ke t_2 60 menit (mm), t_1 = waktu pengujian 45 menit, dan t_2 = waktu pengujian 60 menit

Kurva deformasi berbentuk lengkung dan berubah lurus, total deformasi diperoleh dengan menarik garis singgung pada titik perubahan sampai memotong sumbu nilai deformasi, titik perpotongan tersebut total deformasi permanen (d_0) adalah deformasi yang terjadi setelah pembebanan sebanyak 2.520 lintasan selama 1 jam. Hasil pengujian didasarkan pada hubungan antara nilai deformasi dengan waktu seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 3.2** berikut.



Gambar 3. 2 Hubungan Waktu dan Deformasi
(Sumber: Gusti, 2018)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian diperlukan pengambilan data di laboratorium Universitas Islam Indonesia. Penelitian ini dilakukan di laboratorium bahan Universitas Islam Indonesia dan di Balai Bahan dan Perkerasan Jalan Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum Bandung. Sedangkan standar-standar pengujian yang digunakan menggunakan standar RSNI XXXX-2014, SNI, ASTM.

Dalam penelitian ini pengujian dilakukan secara bertahap, yang terdiri dari pengujian agregat (agregat kasar, agregat halus, dan filler), aspal, dan pengujian terhadap campuran yang terdiri dari Uji *Marshall*, *Cantabro loss*, KAO, Durabilitas, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, dan *Wheel Tracking*. Untuk pengujian agregat terdiri dari pengujian berat jenis, pengujian berat isi, analisa ayak, pengujian kadar air, dan pengujian kadar lumpur. Sedangkan Pengujian aspal terdiri dari pengujian berat jenis, pengujian penetrasi, pengujian daktilitas. Metode yang digunakan untuk pengujian campuran adalah metode *Marshall*, dimana dari pengujian tersebut didapatkan hasil yang berupa komponen-komponen *Marshall*, yaitu stabilitas, *flow*, *void in total mix (VITM)*, *void filled with asphalt*, dan kemudian didapatkan nilai *Marshall Quotient (MQ)*

4.2 Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia sedangkan untuk pengujian *Wheel Tracking Machine (WTM)* dilaksanakan di Laboratorium Aspal Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (PUSJATAN) Bandung.

4.3 Bahan dan Peralatan Penelitian

4.3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan penelitian yang digunakan di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat : Agregat kasar, agregat halus dan *filler* merupakan berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
2. Bahan perekat : Aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari PT. Pertamina, Cilacap.
3. Bahan tambah : *Wetfix be* berasal dari AkzoNobel, Belanda yang diperoleh dari PT. Enceha Pacific, Jakarta.

4.3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi peralatan untuk persiapan bahan hingga peralatan pengujian benda uji, sebagai berikut.

1. Peralatan Untuk Pengujian Agregat (SNI 2417:2008)
 - 1) Alat uji abrasi agregat (mesin *Los Angeles*).
 - 2) Alat uji gradasi agregat/analisa saringan (satu set saringan).
 - 3) Alat uji kelekatan agregat terhadap aspal (oven, timbangan dan pencampuran).
 - 4) Alat uji penyerapan aspal.
 - 5) Alat uji berat jenis agregat (piknometer, timbangan dan pemanas).
 - 6) Alat uji nilai setara pasir (satu set alat uji *sand equivalent*).
2. Peralatan Untuk Pengujian Aspal (SNI 2432:2011)
 - 1) Alat uji penetrasi aspal (*penetrometer*).
 - 2) Alat uji daktilitas aspal (*ductility machine*).
 - 3) Alat uji titik lembek aspal (*ring and ball*).
 - 4) Alat uji titik nyala dan titik bakar aspal (*cleveland open cup*).
 - 5) Alat uji kehilangan berat (*oven loss on heating*).
 - 6) Alat uji berat jenis aspal (piknometer dan timbangan).
 - 7) Alat uji kelarutan dalam *TCE* (labu *erlenmeyer*).
3. Peralatan Pengujian *Marshall* dan *Immersion Test* (RSNI M-01-2003)
 - 1) Alat uji karakteristik *Marshall* yang meliputi alat tekan yang terdiri dari *Proving Ring* berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg.
 - 2) Arloji pengukuran stabilitas.
 - 3) Arloji pengukuran keelehan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm.
 - 4) Kompor pemanas.
 - 5) Penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 *pound* (4,536 kg).

- 6) Cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm.
 - 7) Spatula.
 - 8) Bak perendaman (*water bath*) dan oven.
4. Peralatan Pengujian *Indirect Tensile Strength Test* dan *Tensile Strength Ratio* (SNI 6753 : 2015)
 - 1) Alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 0,5 inch.
 - 2) Arloji pengukuran stabilitas dan arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm.
 - 3) Kompor pemanas.
 - 4) *Compactor* dengan berat 10 pound (4,536 kg).
 - 5) Cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm.
 - 6) Spatula, Bak perendaman (*water bath*) serta oven.
 5. Peralatan Untuk Pengujian *Wheel Tracking (Japan Road Association (JRA), 1980)*
 - 1) *Wheel tracking Machine*.
 - 2) Alat pencampur (*mixer*) dilengkapi dengan alat pemanas.
 - 3) Alat pemadat.
 - 4) Oven dan thermometer.
 - 5) Cetakan berbentuk persegi ukuran 30 x 30 x 5 cm.
 - 6) Ruang tertutup berserta alat dilengkapi suhu yang dapat dikontrol.
 6. Mesin *Los Angeles* untuk pengujian *Cantabro* (SNI 6753 : 2015)
 - 1) Silinder baja tertutup ada kedua sisi dengan diameter 71 cm panjang 50 cm.
 - 2) Silinder bertumpu pada dua poros pendek yang tak menerus berputar pada poros.
 - 3) Bilah baja melintang setinggi 8,9 cm.
 7. Alat pengujian *VCA* (SNI 2417:2008)
 - 1) Timbangan berkapasitas > 5 kg dengan ketelitian 1 gram
 - 2) Silinder takaran dengan diameter 150 mm dan tinggi 159 mm
 - 3) Tamping rod berdiameter 16 mm dengan panjang 600 mm
 - 4) Oven untuk memanaskan agregat serta thermometer

- 5) Alat penunjang lainnya seperti sendok pengaduk, spatula, nampan, kaus tangan anti panas, dan lain-lain.

4.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini standar spesifikasi penelitian yang digunakan mengacu pada *AASHTO T 305*, *ASTM C-131*, *JRA (1980)*, Standar nasional Indonesia (SNI) dan spesifikasi Bina Marga 2018.

4.4.1 Pengujian Bahan

Pengujian bahan yang dilakukan bertujuan untuk memastikan agar bahan/material yang meliputi agregat kasar, agregat halus, dan aspal memenuhi persyaratan spesifikasi yang telah ditentukan sebagai berikut.

1. Pengujian Karakteristik Agregat.
 - a. Agregat kasar berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 pada **Tabel 3.1**
 - b. Agregat halus berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 pada **Tabel 3.2**
2. Pengujian Aspal berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 pada **Tabel 3.3**

4.4.2 Perancangan Campuran Benda Uji

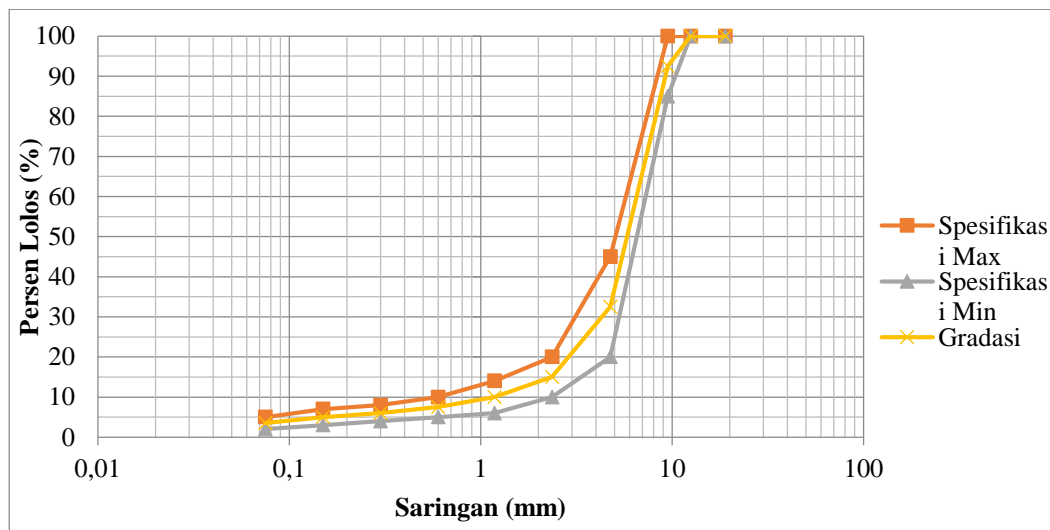
4.4.2.1 Perancangan Gradasi Agregat

Perencanaan pada benda uji dilakukan dengan cara menentukan ukuran agregat dengan persentase yang telah ditetapkan terlebih dahulu dalam target gradasi. Bahan campuran *stone matrix asphalt* yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal dan *wetfix be* sebagai aditif diuji terlebih dahulu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik material apakah telah memenuhi syarat yang telah ditentukan. Setelah itu dilakukan penyaringan agregat dengan menggunakan saringan yang telah ditentukan. Penyaringan dilakukan untuk merencanakan jenis agregat yang akan dipakai pada campuran. Oleh karena itu dibuat rencana gradasi agregat. Berikut rencana gradasi agregat dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dan **Gambar 4.1** berikut:

Tabel 4. 1 Rencana Gradasi Agregat Stone Matrix Asphalt

Ukuran Saringan		Spesifikasi Lolos		Tinggal diatas	Jumlah Bahan Menurut Spek		Jumlah Bahan	
mm	ASTM	Kiasaran	Nilai Tengah	%	Tinggal (%)	gram	gram	%
19	¾"	100	100,0	-	-	-	870,0	72,5
12,5	½"	90 – 100	95,0	5,00	5,0	60,0		
9,5	3/8"	50 - 80	65,0	35,00	30,0	360,0		
4,75	No 4	20 – 35	27,5	72,50	37,5	450,0		
2,36	No 8	16 – 24	20,0	80,00	7,5	90,0	216,0	18,0
0,075	No 200	8 – 11	9,5	90,50	10,5	126,0		
Filler	Debu Batu			100,00	9,5	114,0	114,0	9,5

(Sumber: Standar Nasional Indonesia nomor 8129:2015)



Gambar 4. 1 Gradasi Agregat Campuran SMA

4.4.2.2 Pengujian dengan metode *Marshall* untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO)

1. Penentuan variasi kadar aspal perkiraan

Perkiraan awal kadar aspal dapat direncanakan setelah dilakukan pemilihan dan penggabungan pada tiga fraksi agregat. Berdasarkan SNI 8129:2015, campuran SMA dapat dirancang menggunakan pendekatan kadar aspal minimum 6,0% dan maksimum 7,0%. Akan tetapi, karena standar ini merupakan

standar baru di Indonesia, maka referensi terkait penerapan batas minimum – maksimum untuk penentuan KAO campuran SMA di Indonesia masih amat minim. Sehingga, Penulis menggunakan ketentuan perancangan kadar aspal dari *Asphalt Institute Manual Series No. 2 (MS-2), 7 th edition (2014)*. Perkiraan kadar aspal rancangan dapat diperoleh dari Persamaan 4.1

$$P_b = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + K (\% \text{ filler}) + F \quad (4.1)$$

Dengan: P_b : kadar aspal perkiraan, CA: fraksi agregat tertahan saringan no. 8 (2,36 mm), FA: fraksi agregat lolos saringan no. 8 (2,36 mm) dan tertahan saringan no. 200 (0,075 mm), Filler: fraksi agregat lolos saringan no. 200 (0,075 mm), K: 0.15 untuk 11%-15% fraksi agregat lolos saringan no. 200 (0,075 mm), 0.18 untuk 6%-10% fraksi agregat lolos saringan no. 200 (0,075 mm), 0.20 untuk $\leq 5\%$ fraksi agregat lolos saringan no. 200 (0,075 mm), dan F: nilai konstanta berkisar antara 0% - 2,0% (Campuran SMA dalam penelitian ini menggunakan 1,5%).

Variasi kadar aspal rencana yang digunakan adalah dua kadar aspal dibawah nilai P_b dan dua kadar aspal diatas nilai P_b yaitu -1,0%; -0,5%; P_b ; +0,5%; +1,0%, dengan ketentuan masing-masing benda uji ditumbuk sebanyak 2x50 tumbukan *Marshall*.

2. Pengujian dengan metode Marshall

Uji *Marshall* merupakan standar pengujian yang digunakan untuk campuran aspal panas dengan ukuran agregat maksimum 25 mm (ASTM D 1559). Metode Uji *Marshall* menggunakan benda uji dengan tinggi 64 mm (2,5 inch) dan diameter 101,6 mm (4 inchi) yang dilakukan pengujian pada suhu 60°C. Dua parameter penting yang ditentukan dalam pengujian tersebut seperti, beban maksimum yang dapat dipikul benda uji sebelum hancur (*Marshall Stability*) dan deformasi permanen dari suatu benda uji sebelum hancur (*Marshall Flow*) serta turunannya yang merupakan perbandingan diantara keduanya yang disebut dengan *Marshall Quotient (MQ)*. Metode pengujian Marshall yang dilaksanakan, mengacu pada RSNI M-01-2003 tentang Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat *Marshall*. Dari hasil pengujian *Marsall* yang dilakukan,

diperoleh propertis benda uji campuran aspal yang kemudian menjadi parameter analisa hasil perancangan. Adapun jenis propertis tersebut diantaranya:

a. Kepadatan (*density*)

Kepadatan (*density*) merupakan berat campuran yang diukur tiap satuan volume, nilai kepadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya kadar aspal dan kekentalan aspal.

b. Rongga diantara *Mineral Agregat/Voids in the Mineral Aggregate (VMA)*

Rongga diantara mineral agregat merupakan volume rongga udara diantara partikel agregat yang terdapat pada suatu campuran yang telah dipadatkan termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap oleh agregat).

c. Rongga udara di dalam campuran padat/*Voids in the Mix (VITM)*

Rongga udara didalam campuran (*Va*) atau *VITM* dalam campuran padat terdiri atas ruang-ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal.

d. Rongga udara terisi aspal/*Voids Filled With Aspal (VFWA)*

Rongga udara terisi aspal (*VFWA*) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (*VMA*) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap agregat.

e. Stabilitas

Pengujian stabilitas bertujuan untuk mengukur ketahanan suatu campuran beton aspal terhadap deformasi selama pembebanan lalu lintas atau kemampuan maksimum dari suatu benda uji dalam menahan beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas diperoleh berdasarkan nilai yang ditunjukkan oleh jarum dial pada proving ring stabilitas yang dipasang pada alat *Marshall test*, kemudian dikonversikan dengan tabel kalibrasi sesuai proving ring yang digunakan. Selanjutnya nilai stabilitas tersebut harus dikoreksi dengan suatu faktor koreksi ketebalan benda uji seperti pada Persamaan 3.9.

$$MS = n \times \text{koreksi benda uji}$$

Dengan: MS: angka stabilitas *Marshall*, n: m x kalibrasi *proving ring*, m: nilai pembacaan arloji stabilitas *Marshall*.

f. Kelelehan (*flow*)

Kelelehan menunjukkan nilai besarnya deformasi vertikal dari suatu rancangan benda uji yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas maksimum kemudian menurun sehingga sampel sampai pada batas runtuh pada saat dilakukan pengujian *Marshall*. Nilai kelelehan (*flow*) ditunjukkan pada jarum yang ditunjukkan oleh angka pada dial *flow*, dalam satuan unit dimana 1 unit = 0,01 mm, sehingga tidak diperlukan lagi konversi angka pada pengukuran *flow*.

g. *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) yaitu perbandingan nilai antara stabilitas dengan kelelehan (*flow*). *Marshall Quotient (MQ)* diperlukan untuk mengetahui kekakuan campuran beton aspal. Nilai *Marshall Quotient (MQ)* dapat dihitung dengan Persamaan

$$MQ = \frac{MS}{MF}$$

Dengan: MS = Stabilitas *Marshall* (kg), dan MF = Kelelehan *Marshall* (mm).

3. Penentuan kadar aspal optimum (KAO)

Kadar aspal optimum merupakan nilai tengah dari rentang kadar aspal yang menggambarkan hubungan antara kadar aspal rancangan dengan nilai dari setiap parameter karakteristik *Marshall* yang memenuhi sifat-sifat campuran serta ketentuan yang disyaratkan. Sifat-sifat benda uji yang sudah dipadatkan dihitung menggunakan metode dan persamaan yang ditunjukkan dalam bentuk rancangan campuran aspal.

Beberapa karakteristik campuran yang harus dipenuhi dalam penentuan KAO pada campuran beraspal diantaranya stabilitas, kelelehan (*flow*), *Marshall Quotient (MQ)*, rongga udara dalam campuran (*VITM*) dan rongga terisi aspal (*VFWA*). Disamping itu khusus dalam campuran SMA, karakteristik tersebut adalah rongga udara dalam campuran (*VITM*), rongga udara dalam agregat (*VMA*), rasio *VCAMIX/VCADRC*, *draindown*, stabilitas dan kelelehan (*flow*).

Nilai KAO ditentukan menggunakan metode narrow range, yaitu dengan cara memilih nilai tengah dari semua rentang kadar aspal yang memenuhi batas minimum – maksimum spesifikasi sebagaimana yang tercantum dalam SNI 8129:2015. Penentuan nilai kadar aspal optimum campuran dapat diperoleh dari bantuan grafik batang dengan batas spesifikasi. Berikut Tabel 4.2 sampai Tabel 4.6 detail kebutuhan agregat di setiap kadar aspal.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5 %

Ukuran saringan		berat		persentase		Spesifikasi		Kumulatif
in	mm	tertahan	S berat tertahan	tertahan	lolos	min	max	
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100	0
1/2 "	12.5	57.00	57.00	5	95	90	100	57.00
3/8 "	9.5	342.00	399.00	35	65	50	80	399.00
No. 4	4.75	427.50	826.50	72.5	27.5	20	35	826.50
No. 8	2.36	85.50	912.00	80	20	16	24	912.00
No. 200	0.075	119.70	1,031.70	90.5	9.5	8	11	1,031.70
Pan		108.30	1,140					1,140.00
		1,140						

Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5 %

Ukuran saringan		berat		prosentase		Spesifikasi		Kumulatif
in	mm	tertahan	S berat tertahan	tertahan	lolos	min	max	
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100	0
1/2 "	12.5	56.70	56.70	5	95	90	100	56.70
3/8 "	9.5	340.20	397	35	65	50	80	396.90
No. 4	4.75	425.25	822	72.5	27.5	20	35	822.15
No. 8	2.36	85.05	907	80	20	16	24	907.20
No. 200	0.075	119.07	1,026	90.5	9.5	8	11	1,026.27
Pan		107.73	1,134					1,134.00
		1,134						

Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6 %

Ukuran saringan		berat		prosentase		Spesifikasi		Kumulatif
in	mm	tertahan	S berat tertahan	tertahan	lolos	min	max	
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100	0
1/2 "	12.5	56.40	56	5	95	90	100	56.40
3/8 "	9.5	338.40	395	35	65	50	80	394.80
No. 4	4.75	423.00	818	72.5	27.5	20	35	817.80
No. 8	2.36	84.60	902	80	20	16	24	902.40
No. 200	0.075	118.44	1,021	90.5	9.5	8	11	1,020.84
Pan		107.16	1,128					1,128.00
		1,128						

Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5 %

Ukuran saringan		berat		prosentase		Spesifikasi		Kumulatif
in	mm	tertahan	S berat tertahan	tertahan	lolos	min	max	
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100	0
1/2 "	12.5	56.10	56	5	95	90	100	56.10
3/8 "	9.5	336.60	393	35	65	50	80	392.70
No. 4	4.75	420.75	813	72.5	27.5	20	35	813.45
No. 8	2.36	84.15	898	80	20	16	24	897.60
No. 200	0.075	117.81	1,015	90.5	9.5	8	11	1,015.41
Pan		106.59	1,122					1,122.00
		1,122						

Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7 %

Ukuran saringan		berat		prosentase		Spesifikasi		Kumulatif
in	mm	tertahan	S berat tertahan	tertahan	lolos	min	max	
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100	0
1/2 "	12.5	55.80	56	5	95	90	100	55.80
3/8 "	9.5	334.80	391	35	65	50	80	390.60
No. 4	4.75	418.50	809	72.5	27.5	20	35	809.10
No. 8	2.36	83.70	893	80	20	16	24	892.80
No. 200	0.075	117.18	1,010	90.5	9.5	8	11	1,009.98
Pan		106.02	1,116					1,116.00
		1,116						

4.4.2.3 Variasi Pencampuran Aspal dengan *Additive Wetfix be*

Penelitian ini dilakukan dengan 4 (empat) variasi campuran menggunakan aspal pen 60/70 dengan *additive Wetfix be*. Variasi campuran ditunjukkan pada **Tabel 4.7** berikut.

Tabel 4. 7 Variasi Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan *Additive Wetfix be*

No	Variasi Campuran	Komposisi Campuran
1	SMA – 0	Campuran <i>Stone matrix asphalt</i> dengan tanpa penambahan <i>additive Wetfix be</i>
2	SMA – 1	Campuran <i>Stone matrix asphalt</i> dengan penambahan <i>additive Wetfix be</i> 0,10 %
3	SMA – 2	Campuran <i>Stone matrix asphalt</i> dengan penambahan <i>additive Wetfix be</i> 0,20 %
4	SMA – 3	Campuran <i>Stone matrix asphalt</i> dengan penambahan <i>additive Wetfix be</i> 0,30 %

4.4.2.4 Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji dibuat pada masing-masing pengujiannya disesuaikan pada kebutuhan penelitian, seperti pada **Tabel 4.8** dan **Tabel 4.9** berikut.

Tabel 4. 8 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

No.	Pengujian	Variasi Kadar Aspal %	Komposisi Campuran
1.	Benda Uji Metode <i>Marshall</i>	-1,0	3
		0,5	3
		Pb	3
		+0,5	3
		+1,0	3
2.	Pengujian VCA	-1,0	3
		0,5	3
		Pb	3
		+0,5	3
		+1,0	3
Jumlah		30 Buah	

Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji Untuk Pengujian *Immersion Test (IRS)*, *ITS* serta *TSR*, *Compression Strength* dan *Wheel Tracking*

Variasi Kadar <i>Wetfix be %</i>	Jumlah Benda Uji					
	<i>IRS</i>		<i>ITS dan TSR</i>		<i>cantabro</i>	<i>Wheel Tracking</i>
	0,5 jam	24 jam	0,5 jam	24 jam		
0	3	3	3	3	3	2
0,10	3	3	3	3	3	2
0,20	3	3	3	3	3	2
0,30	3	3	3	3	3	2
Jumlah	12	12	12	12	12	8
Total	68 buah					

Sehingga jumlah total benda uji yang dibutuhkan dalam penelitian ini sebanyak $30 + 68 = 98$ buah benda uji.

4.4.3 Pembuatan Benda Uji

4.4.3.1 Pembuatan Benda Uji *Marshall, CL, IRS, ITS, dan TSR*

Pembuatan benda uji dilakukan berdasarkan RSNI M-01-2003 dengan cara sebagai berikut.

1. Menimbang berat masing-masing ukuran/fraksi agregat yang akan digunakan sesuai dengan hasil perhitungan rancangan campuran dengan berat total agregat masing-masing benda uji sebesar 1200 gram.
2. Untuk campuran *Stone matrix asphalt*, aspal dengan *additive Wetfix be* dicampurkan secara bersamaa pada suhu 160°C, kemudian diaduk secara merata dan dimasukkan kedalam *mold* benda uji. Kemudian dipadatkan dengan alat penumbuk per bidang sebanyak 50 tumbukan.
3. Benda didinginkan dan dikeluarkan dari *mold* (cetakan benda uji) dengan memakai alat pelepas benda uji (*ejector*).
4. Benda uji didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam dan benda uji siap untuk dilakukan pengujian.

4.4.3.2 Pembuatan Benda Uji *Wheel Tracking*

Sebelum pengujian *Wheel Tracking* dilakukan, terlebih dahulu dipersiapkan campuran *Stone matrix asphalt* untuk pembuatan benda uji. Persiapan campuran campuran *Stone matrix asphalt* dilakukan dengan menghitung jumlah bahan yang diperlukan baik agregat maupun keperluan jumlah aspal pada Kadar Aspal optimum (KAO). Jumlah bahan yang diperlukan disesuaikan dengan volume benda uji yaitu sesuai dengan ukuran cetakan 30 x 30 x 5 cm. Pembuatan benda *Wheel Tracking* berdasarkan *JRA (1980)*, dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Menimbang berat masing-masing ukuran/fraksi agregat yang digunakan sesuai dengan jumlah bahan yang diperlukan. Jumlah bahan disesuaikan dengan volume benda uji yaitu sesuai cetakan 30 x 30 x 5 cm³ kemudian dikalikan dengan nilai *density* masing-masing variasi campuran, maka volume benda uji ditambahkan dengan faktor koreksi sebesar 1,02.
2. Kemudian agregat yang sudah di timbang di oven sesuai dengan temperatur masing-masing campuran minimal selama 4 jam dan aspal dipanaskan sesuai temperatur masing-masing campuran.

3. Aspal dipanaskan sesuai dengan temperatur masing-masing variasi campuran kemudian agregat dan aspal dicampur dengan alat pencampur elektrik yang dilengkapi pemanas selama 3 menit, sehingga suhu pencampuran dapat dipertahankan.
4. Selanjutnya letakkan kertas saring pada cetakan ukuran 30 x 30 x 5 cm campuran dituangkan kedalam cetakan, kemudian ditusuk-tusuk dengan spatula dan diratakan selanjutnya temperatur diukur sesuai temperatur pemadatan dan letakan kertas saring diatas permukaan siap dilakukan pemadatan.
5. Kemudian campuran dipadatkan pada temperatur pemadatan campuran sesuai variasi campuran menggunakan alat pemadat *Wheel Tracking Compactor*. Pemadatan benda uji dilakukan sebanyak 37 lintasan yang terdiri dari 4 lintasan untuk meratakan dan 33 lintasan untuk pemadatan dengan beban 100 kg dengan tekanan 3,33 kg/cm². Toleransi kepadatan yang masih diterima sebesar 2% atau 5 ± 0,2 cm, benda uji siap dilakukan pengujian.

4.4.4 Pengujian Benda Uji

4.4.4.1 Pengujian *Marshall Standard* dan *Immersion Test*

Pengujian ini berdasarkan RSNI M-01-2003. Pengujian *Marshall Standard* dan *Immersion Test* hampir sama, yang membedakan hanya pada lama perendaman yang dilakukan dalam *waterbath* untuk pengujian *Immersion Test*.

4.4.4.2 Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian ini berdasarkan ASTM C-131, Adapun pengujian *Cantabro Loss* dilakukan sebagai berikut.

1. Benda uji didiamkan pada suhu ruang selama 7 hari.
2. Benda uji dimasukkan ke dalam alat pengujian abrasi *Los Angeles*.
3. Diberikan putaran sebanyak 300 putaran tanpa menggunakan bola besi.
4. Berat sebelum dan sesudah pengujian dicatat dan dihitung menggunakan rumus *cantabro loss*.

4.4.4.3 Pengujian *Indirect Tensile Strength* dan *Tensile Strength Ratio*

Pengujian ini berpedoman pada SNI 6753: 2015. Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut.

1. Benda uji yang telah proses pemadatan didiamkan selama ± 24 jam, kemudian dibersihkan dari kotoran yang menempel.
2. Benda uji diukur tingginya dan ditimbang dalam keadaan kering untuk mengetahui berat keringnya.
3. Benda uji direndam selama ± 30 menit agar menjadi jenuh, keringkan permukaannya dengan lap kemudian ditimbang dalam keadaan jenuh permukaan (SSD).
4. Untuk benda uji *unconditioned* (ITS), benda uji terlebih dahulu didiamkan pada suhu 25°C selama ± 30 menit.
5. Untuk benda uji *conditioned* (TSR), benda uji direndam dalam *waterbath* dengan suhu $(60\pm 1)^{\circ}\text{C}$ 24 jam.
6. Setelah direndam benda uji kemudian didiamkan dalam suhu ruang 25°C selama ± 24 jam.
7. Benda uji yang telah melalui proses persiapan kemudian diletakkan diantara plat beban uji dengan posisi ditengah.
8. Mesin pengujian dinyalakan, lalu dicatat angka yang ditunjukkan arloji pada pembebanan maksimum.

4.4.4.4 Pengujian *Wheel Tracking*

Prosedur pengujian sesuai *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement-Japan Road Association (JRA)*, 1980. Pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium dan ruangan dengan temperatur yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Pengujian menggunakan *Wheel Tracking Machine (WTM)* dilakukan pada temperatur 60°C , dimana benda uji dibuat pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dan sesuai pada suhu pencampuran pemadatan optimum campuran berikut.

1. Pengujian dilakukan di laboratorium dalam ruangan dengan temperatur yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Pada penelitian ini dilakukan dalam kondisi benda uji kering dengan temperatur pengujian dilakukan berdasarkan spesifikasi dan literatur perkerasan di Indonesia sekita 60°C agar temperatur benda uji seragam maka benda uji tersebut diletakan dalam ruang uji pada temperatur pengujian selama 6 jam.

2. Benda uji diletakkan dibawah roda karet yang bergerak maju mundur dengan beban $6,55 \text{ kg/cm}^2$ dengan frekuensi pembebanan 21 siklus (42 lintasan/menit) selama 60 menit.
3. Hasil pengujian dicatat secara otomatis melalui sensor yang ada pada tungkai roda pembebanan yang dihubungkan dengan alat control dan data yang dihasilkan seperti perubahan bentuk (*permanent deformation*) dalam satuan lintasan/menit serta laju deformasi (*rate of deformation*) dalam satuan mm/menit.

4.5 Analisis Statistik

Pada penelitian ini menggunakan analisis statistik *Anova*, yang bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat adanya pengaruh bahan tambah *additive Wetfix be* pada campuran *Stone matrix asphalt* dan atau metode ini digunakan karena terdapat variabel bebas (bahan tambah *additive Wetfix be*) yang masing-masing terbagi menjadi beberapa kelompok pada campuran *Stone matrix asphalt*.

Data-data seperti Karakteristik *Marshall*, , *Cantabro Loss*, *Index of Retained Strength*, *Index Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, dan *Wheel Tracking* dengan parameter penggunaan *additive Wetfix be* terhadap kinerja campuran *Stone matrix asphalt* dengan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70, dianalisis dengan statistik *Anova* untuk dapat menyimpulkan hasil penelitian. Secara umum analisis statistik *Anova* adalah sebagai berikut.

1. Merumuskan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) untuk melihat pengaruh masing-masing faktor variabel.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \dots \dots \mu_k \quad (4.1)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \dots \dots \neq \mu_k \quad (4.2)$$

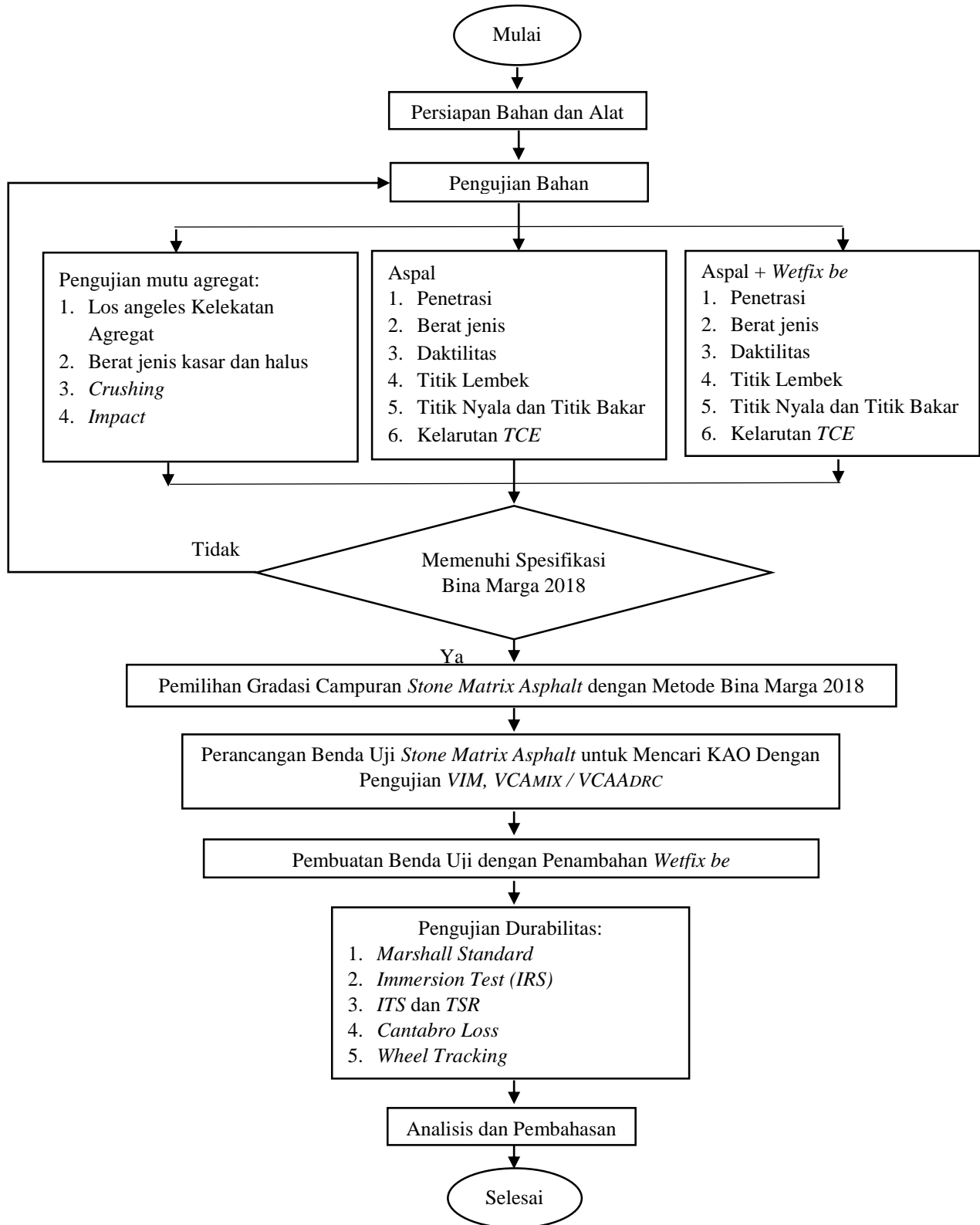
2. Membandingkan antara nilai F-hitung dengan nilai F-tabel.
 Jika nilai F-hitung $>$ F-tabel ; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
 Jika nilai F-hitung $<$ F-tabel ; maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.
3. Menentukan nilai α atau signifikan umumnya digunakan 5 % atau 0,05.
 Jika nilai signifikan atau *P-Value* $>$ 0,05 ; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
 Jika nilai signifikan atau *P-Value* $<$ 0,05 ; maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.
4. Perumusan keputusan H_0 dan H_1

H₀: Tidak ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *additive Wetfix be* sebagai bahan tambah terhadap campuran *Stone matrix asphalt* yang berbahan ikat Pertamina Pen 60/70.

H₁: Ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *additive Wetfix be* sebagai bahan tambah terhadap campuran *Stone matrix asphalt* yang berbahan ikat Pertamina Pen 60/70.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan Alir merupakan tahapan dari penelitian yang disajikan pada **Gambar 4.2**



Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

BAB V
HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan beberapa tahapan penelitian yang telah dilaksanakan, diperoleh hasil dari tiap-tiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian karakteristik aspal menggunakan aspal pertamina pen 60/70, yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Adapun hasil yang telah diperoleh dari pengujian karakteristik aspal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.1** sampai dengan **Tabel 5.4** sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Tabel Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,033	Memenuhi
Penetrasi (0,1 mm)	60 - 70	61,100	Memenuhi
Daktalitas (cm)	≥ 100	164,000	Memenuhi
Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	311,000	Memenuhi
Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	317,000	Memenuhi
Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,430	Memenuhi
Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	50,500	Memenuhi

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar Wetfix Be 0,1%

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi Aspal Modifikasi	Aspal Pen 60/70 + 0,1 % Wetfix Be	Keterangan
1	Berat Jenis	0,92 – 1,06	1,036	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	-	75,5	Memenuhi
3	Daktalitas (cm)	-	164	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 180	345	Memenuhi
5	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	-	351	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	-	99,15	Memenuhi
7	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	-	48,5	Memenuhi

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar Wetfix Be 0,2%

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi Aspal Modifikasi	Aspal Pen 60/70 + 0,2 % Wetfix Be	Keterangan
1	Berat Jenis	0,92 – 1,06	1,031	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	-	86	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	-	164	Memenuhi
4	Titik Nyala (°C)	≥ 180	340	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	-	345	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	-	99,093	Memenuhi
7	Titik Lembek (°C)	-	47,5	Memenuhi

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar Wetfix Be 0,3%

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi Aspal Modifikasi	Aspal Pen 60/70 + 0,3 % Wetfix Be	Keterangan
1	Berat Jenis	0,92 – 1,06	1,022	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	-	60,2	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	-	164	Memenuhi
4	Titik Nyala (°C)	≥ 180	340	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	-	350	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	-	98,4	Memenuhi
7	Titik Lembek (°C)	-	46,5	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun hasil dari pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada **Tabel 5.5** sampai **Tabel 5.6** berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat (%)	≤ 12	5,61	Memenuhi
2	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi
3	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> 100 putaran (%)	≤ 8	5,75	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> 500 putaran (%)	≤ 40	23,82	Memenuhi
5	Butiran Kasar Agregat Kasar (%)	95/90	95	Memenuhi
6	Partikel Pipih dan Lonjong (%)	≤ 10	5,04	Memenuhi
7	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,619	Memenuhi
8	Material Lolos Saringan 200	$\leq 1 \%$	0,73	Memenuhi

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,665	Memenuhi
2	Nilai Setara Pasir (%)	≥ 50	90,612	Memenuhi
3	Material Lolos Saringan No. 200 (%)	≤ 10	7,17	Memenuhi
4	Gumpalan Lempung dan Kumpalan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat (%)	≤ 1	0,69	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian VCA_{mix} dan VCA_{adr}

Untuk mengetahui nilai rongga udara diantara campuran fraksi agregat kasar (VCA) dalam suatu campuran SMA yang telah dipadatkan (VCA_{mix}), dilakukan dengan membuat benda uji Marshall dengan perkiraan awal kadar aspal rencana (P_b) untuk setiap variasi campuran. Selanjutnya terhadap benda uji tersebut dilakukan pengukuran karakteristik volumetrik, dengan terlebih dahulu diketahui persentase penyerapan air, berat jenis bulk campuran/berat jenis nyata (G_{mb}) dan berat jenis bulk agregat kasar (G_{CA}) serta persentase jumlah fraksi agregat kasar terhadap campuran (P_{CA}). Adapun hasil pengukuran VCA_{mix} rata-rata untuk tiap variasi campuran dengan kadar aspal rencana dapat dilihat pada **Tabel 5.7**.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian VCA dan Varian Kadar Aspal

Kadar Aspal (%)	VCA _{dr}	VCA _{mix}	VCA _{mix} / VCA _{dr} < 1,0	Keterangan
5,0	37,029	31,833	0,860	Memenuhi
5,5	37,029	31,569	0,853	Memenuhi
6,0	37,029	31,323	0,846	Memenuhi
6,5	37,029	31,002	0,837	Memenuhi
7,0	37,029	31,735	0,857	Memenuhi

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian VCA dan Varian KAO + Bahan Aditif

Kadar Aspal (%)	VCA _{mix}	VCA _{mix} / VCA _{dr} < 1,0	Keterangan
0,0	31,002	0,837	Memenuhi
0,1	31,125	0,841	Memenuhi
0,2	31,466	0,850	Memenuhi
0,3	31,988	0,864	Memenuhi

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran *Stone Matrix Asphalt* dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari campuran *Stone Matrix Asphalt* (SMA). Adapun data yang didapatkan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran yaitu parameter *Marshall*. Dari beberapa pengujian tersebut, parameter yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum dari campuran aspal *Stone Matrix Asphalt* dapat dilihat pada **Tabel 5.9** sampai **Tabel 5.10** berikut.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow / Kelelahan (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	616,1	2,1	288,8	11,8	47,0	22,3	2,16
5,5	814,2	3,3	249,7	10,9	51,6	22,4	2,17
6	943,8	4,1	232,7	9,9	56,2	22,6	2,18
6,5	861,9	3,9	220,7	8,8	61,0	22,6	2,19
7	722,0	4,2	172,0	9,2	61,6	23,8	2,17
Spec	> 600,00	2,0-4,5	-	4,0-5,0	-	> 17,00	-

Tabel 5. 10 Narrow Range KAO campuran SMA

No.	Kriteria	SNI 8129:2015		Kadar Aspal						
				Hasil Interpolasi (%)		Diagram Batang (%)				
		Min	Max	Min	Max	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	Density (gr/cc)	Tidak diatur		5	7					
2	VMA (%)	17	-	5	7					
3	VITM (%)	4	5	Diabaikan						
4	VFWA (%)	Tidak diatur		5	7					
5	Stabilitas (kg)	600	-	5	7					
6	Flow/Kelelehan (mm)	2	4,5	5	7					
7	MQ (kg/mm)	Tidak diatur		5	7					
8	Batas Kadar Aspal	6	7	6	7					
9	VCAmix / VCAdrc	< 1,0		5	7					
Brange Kadar Aspal						6,0 7,0				
Kadar Aspal Optimum						6,5				

Sesuai kriteria perencanaan perkerasan *Stone Matrix Asphalt (SMA)* (SNI No. 8129, 2015). Berdasarkan Hasil Pengujian *Marshall*, Kadar Aspal Optimum (KAO) yang didapat adalah 6,5%.

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan Bahan

Tambah *Wetfix be* pada KAO

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kadar aditif *wetfix be* sebagai bahan tambah terhadap campuran *stone matrix asphalt*, yang meliputi pengujian karakteristik *Marshall*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, dan *Tensile Strength Ratio*, dan *Wheel Tracking*. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 5.11** sampai **Tabel 5.15** berikut.

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Marshall Standar

Kadar Wetfix Be (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0,0	935,15	3,91	239,07	6,39	68,86	20,48	2,255
0,1	1000,48	4,13	241,98	6,66	67,88	20,71	2,249
0,2	1088,38	4,40	247,49	6,34	70,42	20,44	2,256
0,3	1093,61	4,33	254,59	5,84	71,01	20,02	2,268
Spesifikasi	> 600	2 – 4,5				> 17	

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Perendaman Marshall 24 jam (Immersion Test)

Kadar Wetfix Be (%)	Stabilitas (kg)		IRS (%)	IDP	IDK
	0,5 jam	24 jam	(%)	(%)	(%)
0,0	935,15	846,56	90,53	0,403	4,638
0,1	1000,48	906,57	90,61	0,399	4,596
0,2	1088,38	989,63	90,93	0,386	4,442
0,3	1093,61	997,59	91,22	0,374	4,298
Spesifikasi	> 600		Min 90 %		

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Indirect Tensile Strength (ITS) dan Tensile Strength Ratio 24 jam (TSR)

Kadar Wetfix Be (%)	ITS (Kpa)		TSR (%)
	ITS standart	ITS 24 jam	
0,0	94,37	72,58	76,91
0,1	93,60	84,09	89,84
0,2	89,53	85,66	95,68
0,3	89,14	85,93	96,40

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Wheel Tracking Machine (WTM)

Kadar Wetfix Be (%)	Kecepatan Deformasi (mm/menit)	Stabilitas Dinamis (lintasan/mm)
0.0	0.070	602.87
0.1	0.062	681.08
0.2	0.093	470.15
0.3	0.098	427.12

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Deformasi Campuran *Stone Matrix Asphalt*

Waktu (menit)	Lintasan	Deformasi (mm)			
		Kadar 0,0 %	Kadar 0,1 %	Kadar 0,2 %	Kadar 0,3 %
0	0	0.00	0	0	0
1	21	1.20	1.16	1.28	1.23
5	105	2.32	2.24	2.45	2.44
10	210	3.18	3.04	3.30	3.35
15	315	3.87	3.52	4.03	4.10
30	630	5.52	4.89	5.76	6.14
45	945	6.90	5.98	7.35	7.88
60	1260	7.94	6.90	8.69	9.35

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian *Cantabro Loss*

Kadar Aditif <i>Wetfix Be</i> (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)
0.0	5.95
0.1	6.41
0.2	5.80
0.3	5.73

5.2 Pembahasan

5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat kasar

Berat jenis agregat merupakan perbandingan berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Agregat yang memiliki berat jenis yang lebih rendah akan memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal lebih banyak dan menjadikan selimut aspal lebih tipis, yang berdampak pada penurunan durabilitas aspal dan jika sebaliknya akan meningkatkan durabilitas aspal juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun

hasil pengujian berat jenis agregat kasar yang diperoleh sebesar 2,619. Nilai ini memenuhi yang disyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $>2,5$.

2. Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kekekalan agregat terhadap proses kimiawi sebagai akibat dari pengaruh perbedaan iklim dan cuaca, dalam hal ini simulasi dilakukan dengan menggunakan larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat jenuh untuk memperoleh indeks ketangguhan batu yang akan digunakan atau nilai kekekalan batu terhadap proses pelarutan serta disintegrasi yang disebabkan perendaman di dalam larutan natrium sulfat. Semakin rendah nilai indeks kekekalan agregat, maka kekekalan atau ketangguhan batu terhadap larutan natrium sulfat semakin tinggi dan sebaliknya. Adapun hasil pengujiannya yang diperoleh persentase indeks kekekalan agregat kasar terhadap larutan natrium sulfat adalah 5,61% dan memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $< 12\%$.

3. Keausan dengan mesin *Los Angeles*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hasil pengujian keausan agregat diperoleh hasil sebesar 5,75% untuk 100 putaran dan 23,82% untuk 500 putaran. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $< 40\%$.

4. Kelekatan agregat terhadap aspal

Daya lekat agregat terhadap aspal akan dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal. Hasil pengujian kelekatan agregat menunjukkan persentase permukaan agregat terselimuti oleh aspal sebesar 98%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $>95\%$.

5. Butiran kasar agregat kasar

Pengujian ini untuk menentukan persentase butir pecah pada agregat kasar atau yang lebih dikenal dengan pengujian angularitas agregat kasar yang diperlukan untuk menentukan kualitas agregat kasar yang akan digunakan. Penggunaan

butiran agregat kasar yang mempunyai bidang pecah akan menambah tahanan gesek antar butiran dalam campuran sehingga menambah stabilitas campuran, dan juga akan memberikan tekstur permukaan yang baik sehingga menambah kekesatan. Adapun hasil pengujiannya menunjukkan persentase butiran kasar agregat kasar adalah sebesar 95%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu >95/90%.

6. Partikel pipih dan lonjong

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan indeks kepipihan dan kelonjongan suatu agregat yang dapat digunakan dalam campuran beraspal, sehingga agregat yang digunakan bisa seragam. Adapun hasil pengujiannya menunjukkan persentase partikel pipih dan lonjong agregat kasar adalah sebesar 5,04%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu <10%.

7. Material lolos saringan no. 200

Pemeriksaan material lolos saringan no.200 bertujuan untuk menentukan material dalam agregat halus yang lolos saringan no. 200 (agregat halus ukuran lebih kecil dari 0,075mm) dengan cara pencucian. Lempung koloidal dan lumpur biasanya tercampur pada agregat kasar maupun agregat halus. Apabila kandungan zat ini berada dalam jumlah yang cukup banyak, maka dapat mengurangi kekuatan campuran aspal. Adapun hasil pengujiannya menunjukkan persentase material lolos saringan no. 200 adalah sebesar 0,73%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu <1%.

5.2.2 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat halus yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan clereng yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat halus

Berat jenis agregat merupakan perbandingan berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Agregat yang memiliki berat jenis lebih rendah akan memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal

lebih banyak dan menjadikan selimut aspal lebih tipis, yang berdampak pada penurunan durabilitas aspal, dan bila sebaliknya, maka akan meningkatkan durabilitas aspal juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat halus sebesar 2,665, dan berat jenis *filler* abu batu Clereng yang didapatkan adalah sebesar 2,561. Nilai ini memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yang disyaratkan yaitu $>2,5$.

2. Nilai setara pasir (*Sand Equivalent*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat terhadap butir-butir halus lolos saringan no. 200 seperti lempung, lanau pada campuran agregat. Jika campuran pada pembuatan beton aspal banyak menggunakan agregat halus yang mengandung material lolos saringan No. 200, maka akan menghasilkan aspal yang memiliki kualitas rendah. Hal ini terjadi karena material agregat halus menyelimuti agregat yang lebih kasar sehingga ikatan antara agregat dan bahan pengikat menjadi menurun. Adapun hasil pengujian *sand equivalent* diperoleh nilai 90,612%. Hasil tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $>50\%$.

3. Material lolos saringan no. 200

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan material dalam agregat halus yang lolos saringan no. 200 (agregat halus ukuran lebih kecil dari 0.075mm) dengan cara pencucian. Lempung koloidal dan lumpur biasanya tercampur pada agregat kasar maupun agregat halus. Apabila kandungan zat ini berada dalam jumlah yang cukup banyak, maka dapat mengurangi kekuatan campuran aspal. Adapun hasil pengujiannya menunjukkan persentase material lolos saringan 200 adalah sebesar 7,17%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $<10\%$.

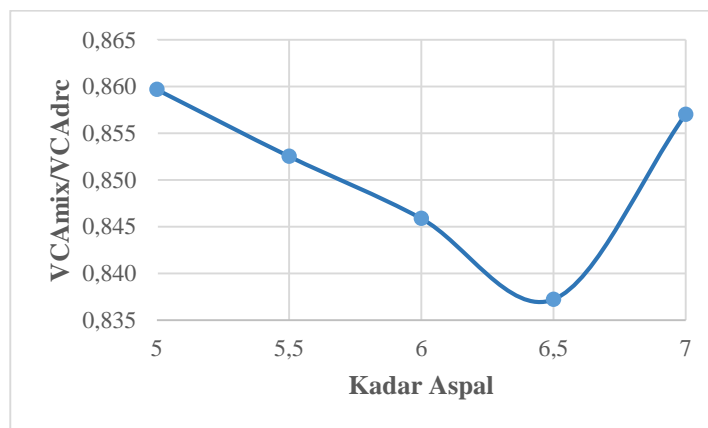
4. Gumpalan lempung dan kumpulan butir-butir mudah pecah dalam agregat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui butir-butir agregat yang mudah pecah dengan cara ditekan di antara ibu jari dan jari telunjuk, setelah agregat tersebut direndam dalam air suling selama (24 ± 4) jam dan memperoleh persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat halus maupun kasar, sehingga dapat digunakan oleh perencana dan pelaksana pembangunan jalan.

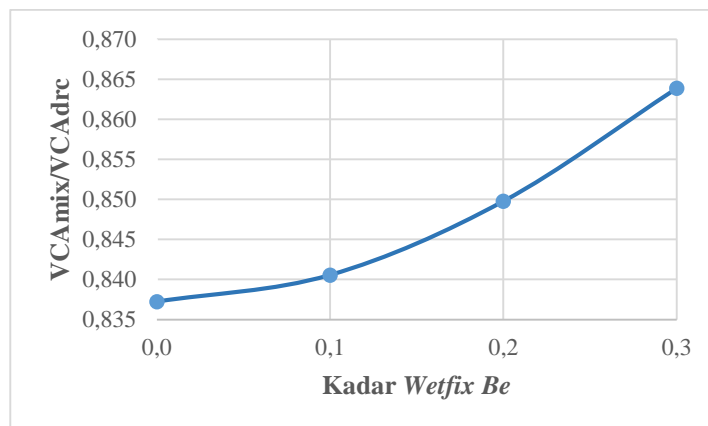
Adapun hasil pengujiannya menunjukkan persentase gumpalan lempung dan kumpulan butir-butir mudah pecah dalam agregat adalah sebesar 0,69%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu <1%.

5.2.3 Karakteristik VCA_{mix} dan VCA_{adr} terhadap Varian Aspal dan Aditif

Hasil perhitungan antara VCA_{mix}/VCA_{drc} terhadap masing-masing varian, dapat dilihat pada **Gambar 5.1** dan **Gambar 5.2** sebagai berikut.



Gambar 5. 1 Hasil Penambahan Kadar Aspal terhadap VCA_{mix}/VCA_{Adr}



Gambar 5. 2 Hasil Penambahan Kadar Wetfix Be terhadap VCA_{mix}/VCA_{Adr}

Berdasarkan **Gambar 5.1** dan **Gambar 5.2** dapat dijelaskan bahwa secara keseluruhan VCA_{drc} rata-rata, memiliki nilai lebih besar dibandingkan VCA_{mix} rata-rata, untuk seluruh variasi campuran *Stone Matrix Asphalt* ($VCA_{mix} < VCA_{drc}$). Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan SNI 8129:2015 dimana rasio VCA_{mix}/VCA_{drc}

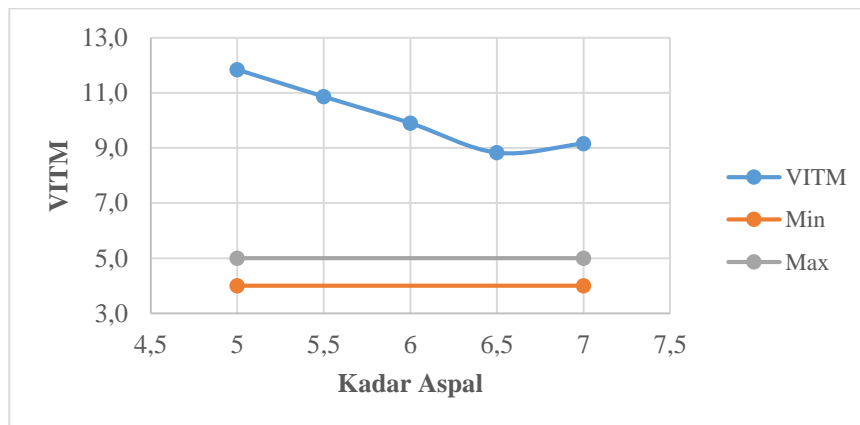
yang diperoleh < 1 . Sehingga dapat disimpulkan, bahwa seluruh variasi campuran *Stone Matrix Asphalt* yang diuji, dapat digunakan pada tahapan penelitian selanjutnya karena dapat membentuk *stone on stone skeleton contact* dalam campuran *Stone Matrix Asphalt*.

5.2.4 Karakteristik *Marshall* Standar untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004), dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *Stone Matrix Asphalt* menggunakan pengujian karakteristik *Marshall* Standar. Berikut ini adalah pembahasan hasil pengujian *Marshall* Standar untuk menentukan KAO.

a. *Void in the Total Mix (VIM)*

Void in the Total Mix (VIM) adalah persentase rongga udara dalam campuran terhadap total volume campuran agregat dan aspal. *VIM* berfungsi sebagai ruang bergesernya agregat akibat beban lalu lintas atau ruang bagi aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. Hasil perhitungan nilai *VIM* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi kadar aspal setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.3** di bawah ini.

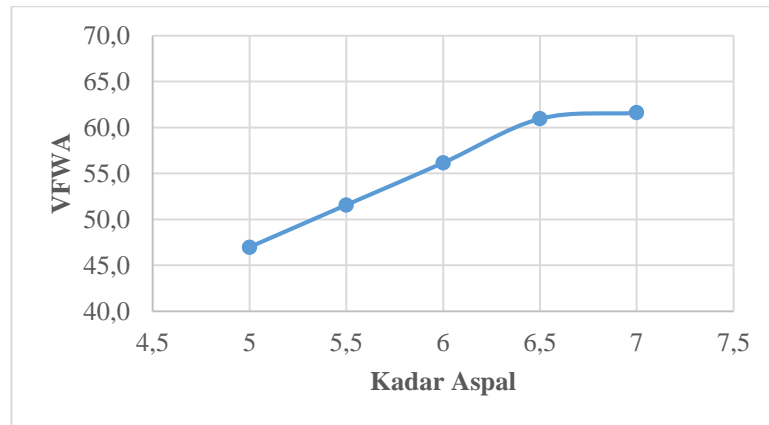


Gambar 5. 3 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan *VIM*

b. *Void Filler with Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah volume rongga campuran yang terisi aspal atau yang biasa disebut dengan selimut aspal. Nilai *VFWA* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan dalam campuran karena rongga

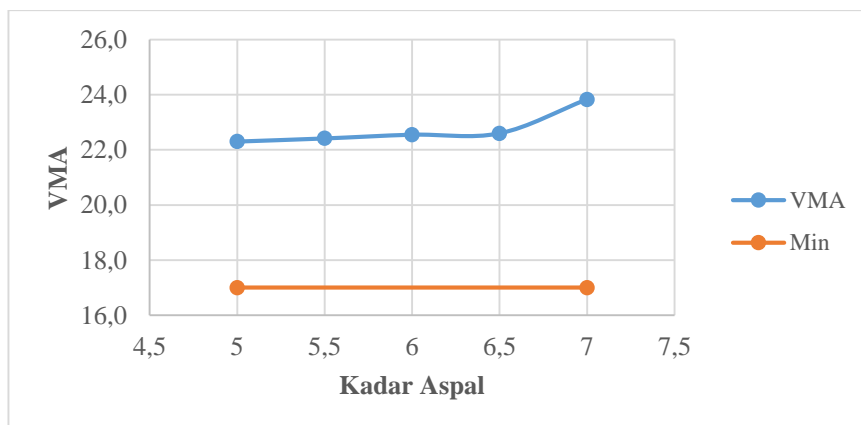
dalam campuran yang terisi aspal akan semakin banyak. Hasil perhitungan nilai *VFWA* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi penakadar aspal setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.4** di bawah ini.



Gambar 5. 4 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai VFWA

c. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

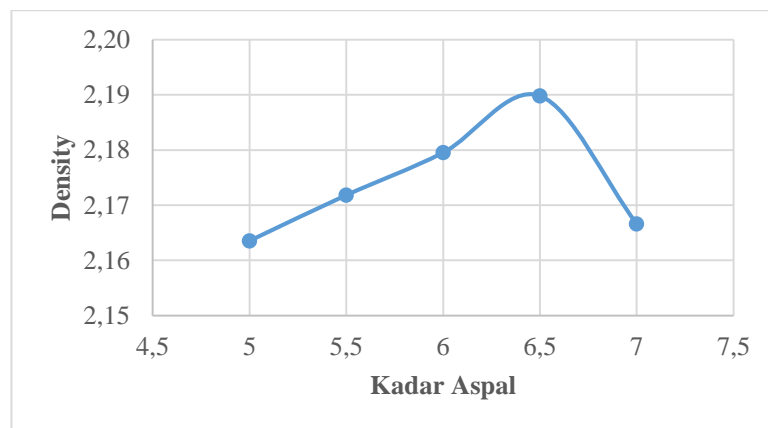
Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah persen rongga udara yang terdapat di antara partikel-partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. Hasil perhitungan nilai *VMA* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi kadar aspal setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.5** di bawah ini.



Gambar 5. 5 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VMA

d. *Density*

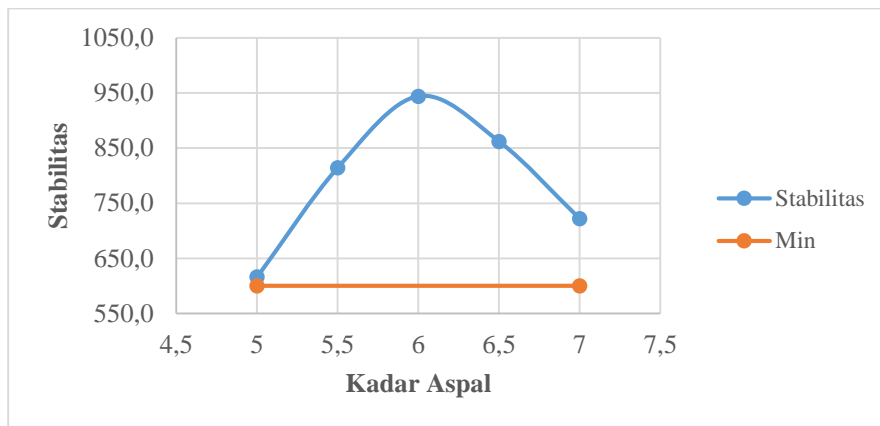
Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Nilai *density* yang besar menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik, tetapi nilai *density* sudah pada nilai optimum kemudian ditambah aspal yang berlebih maka nilai *density* cenderung mengalami penurunan. Hasil perhitungan nilai *density* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi kadar aspal setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.6** di bawah ini.



Gambar 5. 6 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density*

e. Stabilitas

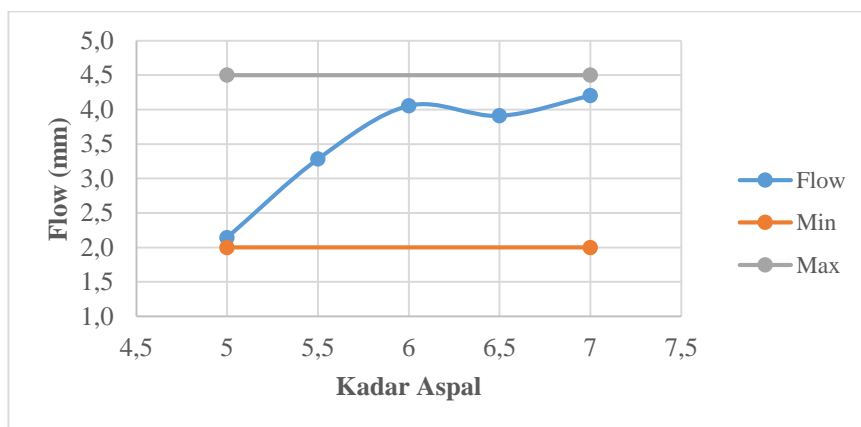
Stabilitas adalah nilai ketahanan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Menurut Sukirman (2003), nilai stabilitas campuran beton aspal dibentuk dari gesekan internal antar butiran agregat yang saling mengunci dan adanya aspal. Selain itu, kohesi atau gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Hasil pengujian stabilitas setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 5.7** berikut.



Gambar 5. 7 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan Stabilitas

f. *Flow*

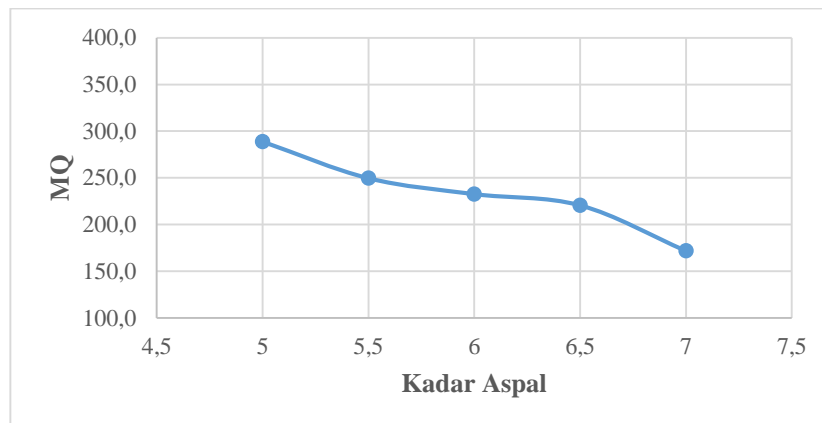
Kelelehan (*flow*) merupakan parameter *Marshall* yang menyatakan besarnya penurunan campuran akibat beban vertikal hingga batas runtuh. Adapun hasil pembacaan nilai kelelehan (*flow*) pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi kadar aspal setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.8** di bawah ini.



Gambar 5. 8 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Flow

g. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* merupakan rasio atau perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow* pada campuran beton aspal yang digunakan untuk menunjukkan tingkat fleksibilitas campuran. Hasil perhitungan *MQ* yang didapat dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik dalam **Gambar 5.9** berikut ini.



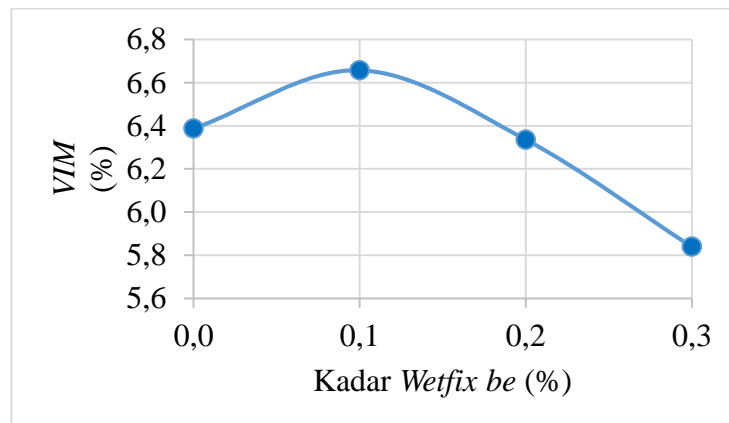
Gambar 5. 9 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai MQ

5.2.5 Karakteristik Marshall Standar Campuran Stone Matrix Asphalt dengan Bahan Tambah Wetfix Be pada KAO

Berdasarkan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004), dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *Stone Matrix Asphalt* menggunakan pengujian karakteristik *Marshall* Standar. Berikut ini adalah pembahasan hasil pengujian *Marshall* Standar untuk menentukan KAO.

1. *Void in the Total Mix (VIM)*

Void in the Total Mix (VIM) adalah persentase rongga udara dalam campuran terhadap total volume campuran agregat dan aspal. *VIM* berfungsi sebagai ruang bergesernya agregat akibat beban lalu lintas atau ruang bagi aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. Hasil perhitungan nilai *VIM* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi penambahan *Wetfix be* setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.10** berikut.

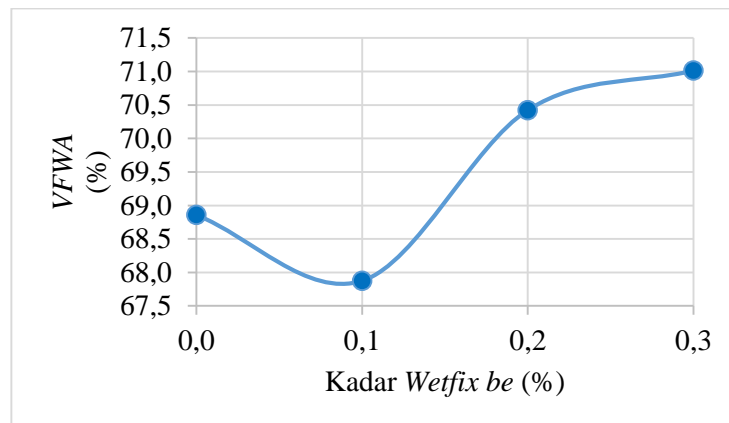


Gambar 5. 10 Hasil Penambahan Wetfix be dengan Nilai VIM

Berdasarkan gambar 5.9 dapat diketahui bahwa nilai *VIM* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan penambahan *Wetfix Be* mengalami peningkatan hingga penambahan kadar tertentu, kemudian mengalami penurunan seiring penambahan kadar *Wetfix Be*. Kondisi ini disebabkan karena semakin banyak kadar *Wetfix Be* yang ditambahkan memudahkan untuk mengisi rongga campuran. Dari hasil pengujian didapatkan nilai *VIM* pada pengujian *Marshall Standard* sebesar 6,39%; 6,66%; 6,34%; 5,84%. Hal ini berbeda dengan penelitian Arsyad (2012) dan Hafidz (2019) yang meneliti tentang campuran aspal porus menggunakan *anti stripping wetfix be*, dapat diketahui semakin bertambahnya penggunaan kadar *wetfix be* maka nilai *VTM* mengalami peningkatan.

2. *Void Filler with Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah volume rongga campuran yang terisi aspal atau yang biasa disebut dengan selimut aspal. Nilai *VFWA* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan dalam campuran karena rongga dalam campuran yang terisi aspal akan semakin banyak. Hasil perhitungan nilai *VFWA* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi penambahan *Wetfix be* setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.11** di bawah ini.

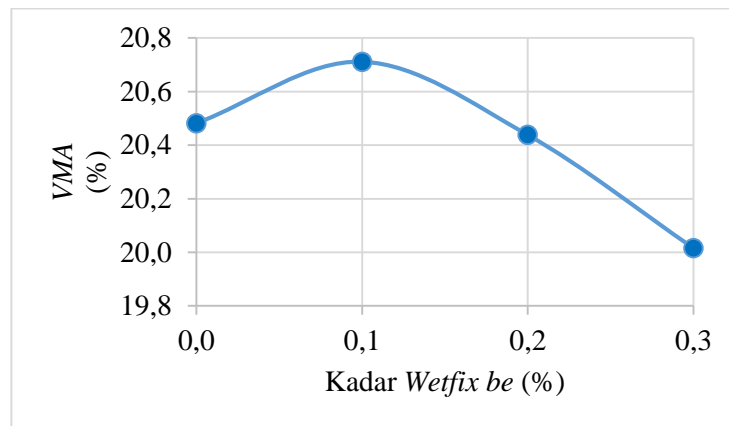


Gambar 5. 11 Hasil Penambahan *Wetfix be* dengan Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* mengalami penurunan hingga penambahan kadar *wetfix be* tertentu, kemudian akan mengalami peningkatan. Hal yang sama dapat dilihat pada penelitian Anni dan Eko (2017). Nilai *VFWA* yang tinggi menunjukkan bahwa rongga pada campuran lebih terisi oleh aspal. Nilai *VFWA* mengalami perubahan yang tidak teratur, akan tetapi perubahannya tidak signifikan. Hal ini disebabkan karena aspal pen 60/70 yang telah dimodifikasi dengan bahan *wetfix be* akan lebih peka terhadap temperatur, sehingga seiring dengan bertambahnya kadar *wetfix be* rongga pada campuran yang terisi akan semakin kecil, karena pada saat suhu pemadatan, aspal modifikasi bersifat lebih viskos sehingga lebih sedikit mengisi rongga.

3. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah persen rongga udara yang terdapat di antara partikel-partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. Hasil perhitungan nilai *VMA* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi penambahan *Wetfix be* setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.12** di bawah ini.

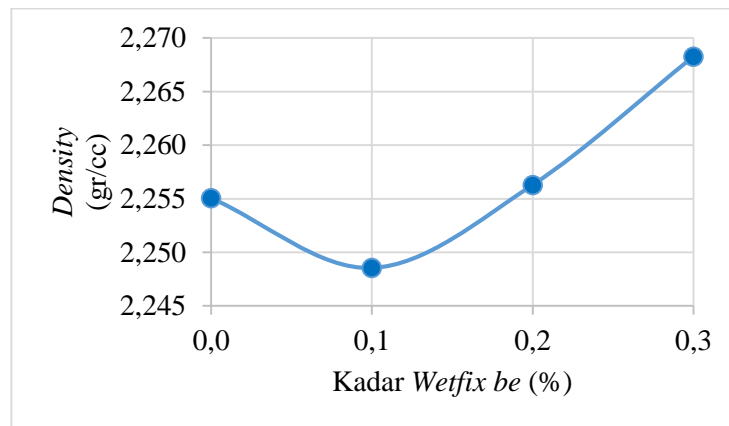


Gambar 5. 12 Hubungan Kadar Wetfix be dengan Nilai VMA

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai *VMA* mengalami peningkatan hingga penambahan kadar *wetfix be* tertentu, kemudian akan mengalami penurunan. Hal yang sama dapat diketahui pada penelitian Anni dan Eko (2017) dan Hafidz (2019). Nilai *VMA* yang tinggi menunjukkan bahwa film aspal yang menyelimuti agregat pada campuran lebih tebal. Hal ini disebabkan karena aspal dengan bahan *wetfix be* lebih peka terhadap temperatur, sehingga menyebabkan setelah kondisi optimum nilai *VMA* akan semakin kecil dengan bertambahnya kadar *wetfix be*, karena film aspal yang menyelimuti agregat pada campuran semakin tipis.

4. *Density*

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Nilai *density* yang besar menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik, tetapi nilai *density* sudah pada nilai optimum kemudian ditambah aspal yang berlebih maka nilai *density* cenderung mengalami penurunan. Hasil perhitungan nilai *density* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi penambahan *Wetfix be* setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.13** di bawah ini.

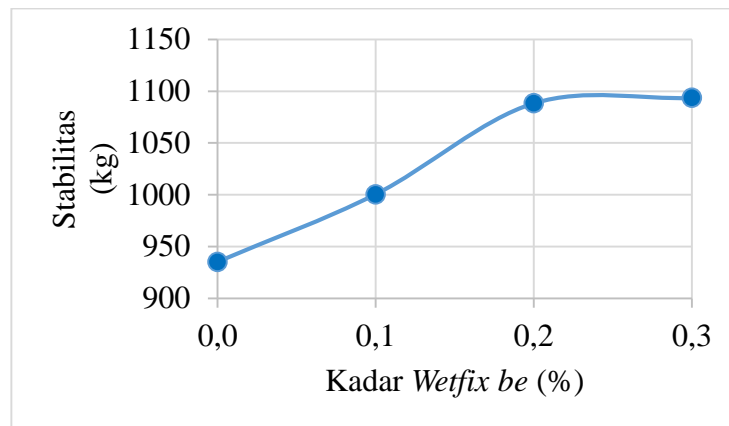


Gambar 5. 13 Hubungan Kadar Wetfix be dengan Nilai Density

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai *density* mengalami penurunan hingga penambahan kadar *wetfix be* tertentu, kemudian mengalami peningkatan. Nilai *density* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran akan semakin kuat menahan beban, karena campuran dianggap semakin padat dan rapat.

5. *Stabilitas*

Stabilitas adalah nilai ketahanan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Menurut Sukirman (2003), nilai stabilitas campuran beton aspal dibentuk dari gesekan internal antar butiran agregat yang saling mengunci dan adanya aspal. Selain itu, kohesi atau gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Hasil pengujian stabilitas setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 5.14** berikut.

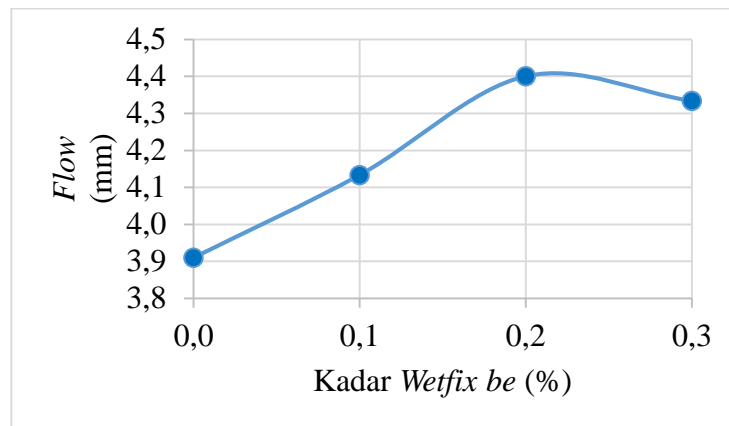


Gambar 5. 14 Hasil Penambahan Kadar Wetfix be dengan Stabilitas

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *wetfix be* menyebabkan nilai *stabilitas* mengalami peningkatan hingga mencapai titik optimum dan kembali mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penambahan *wetfix be* menyebabkan kekuatan dan ketahanan campuran meningkat akibat dari kelekatan aspal yang kuat yang dipengaruhi oleh *anti stripping wetfix be*. Hal ini sejalan dengan penelitian Arsyad (2012) dan Hafidz (2019) yang menunjukkan bahwa penambahan *wetfix be* meningkatkan nilai stabilitas pada kadar tertentu.

6. Flow

Kelelahan (*flow*) merupakan parameter *Marshall* yang menyatakan besarnya penurunan campuran akibat beban vertikal hingga batas runtuh. Adapun hasil pembacaan nilai kelelahan (*flow*) pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi penambahan *Wetfix be* setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.15** di bawah ini.

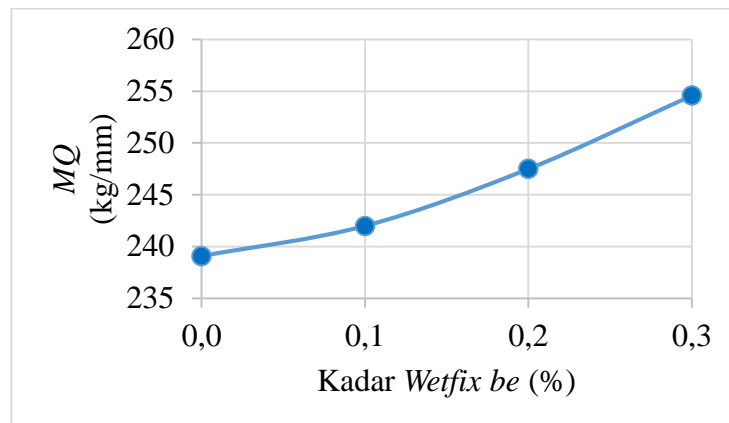


Gambar 5. 15 Hubungan Kadar Wetfix be dengan Nilai Flow

Nilai *flow* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *wetfix be* yang digunakan. Hal ini disebabkan karena penambahan kadar *wetfix be* dapat mempengaruhi kelenturan campuran aspal. Nilai *flow* yang tinggi mengakibatkan campuran cenderung elastis, mudah mengalami perubahan deformasi, sedangkan nilai *flow* yang rendah mengakibatkan campuran cenderung kaku dan mudah retak. Hal yang sama dapat diketahui dari penelitian yang dilakukan oleh Anni dan Eko (2012) dan Hafidz (2019), penggunaan *wetfix be* sebagai bahan tambah pada gradasi rapat akan mempengaruhi kelelahan campuran tersebut. Nilai *flow* seiring bertambahnya jumlah kadar *wetfix be* mengalami peningkatan.

7. Marshall Quotient (MQ)

Nilai *MQ* merupakan rasio atau perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow* pada campuran beton aspal yang digunakan untuk menunjukkan tingkat fleksibilitas campuran. Hasil perhitungan *MQ* yang didapat dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik dalam **Gambar 5.16** berikut ini.



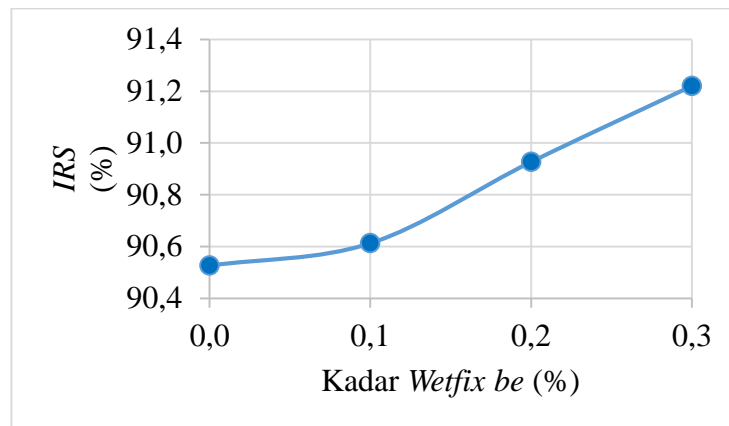
Gambar 5. 16 Hubungan Kadar Wetfix be dengan Nilai MQ

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan seiring penambahan kadar *wetfix be*. Hal yang sama dapat dilihat pada penelitian Arsyad (2012), Anni dan Eko (2017), dan Hafidz (2019). Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas yang tinggi dengan nilai kelelahan yang rendah, dalam hal ini mengakibatkan campuran cenderung kaku dan mudah retak. Sedangkan nilai MQ yang rendah menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas rendah dengan nilai kelelahan yang tinggi, sehingga mengakibatkan campuran memiliki sifat overelastis dan mudah mengalami perubahan deformasi.

5.2.6 Karakteristik Perendaman *Marshall (Immersion Test)* Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan Bahan Tambah *Wetfix be* pada KAO

1. *Index of Retained Strength (IRS)*

IRS adalah metode pengujian untuk mengetahui nilai kekuatan sisa yang dimiliki campuran aspal setelah mengalami proses perendaman. Perendaman yang dilakukan yaitu di dalam *waterbath* selama 0,5 jam dan 24 jam 60°C. Adapun hasil perhitungan dari *IRS* dengan penambahan *Wetfix be* menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.17** berikut.

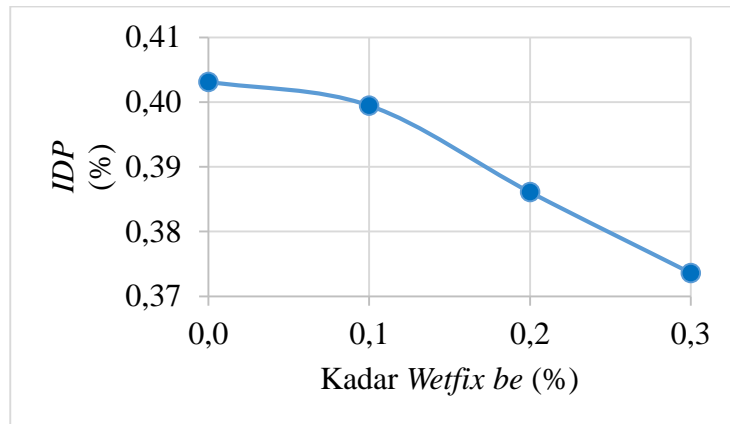


Gambar 5. 17 Perbandingan Hasil Penambahan *Wetfix be* dengan Nilai *IRS*

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui nilai kekuatan sisa (*IRS*) mengalami peningkatan seiring penambahan kadar *wetfix be*. Hal ini disebabkan karena campuran yang menggunakan *anti stripping wetfix be* akan lebih peka terhadap perubahan temperatur, sehingga campuran akan mudah mengalami perubahan fisik dan kinerja. Nilai *IRS* pada penambahan kadar *wetfix be* 0,0% - 0,3%, memenuhi spesifikasi syarat Bina Marga yaitu >90% (90,53%; 90,61%; 90,93% dan 91,22%), dapat dianggap bahwa perkerasan tersebut cukup tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air dan temperatur. Hal yang sama dapat diketahui pada penelitian yang dilakukan oleh Anni dan Eko (2012) dan Hafidz (2019) bahwa nilai kekuatan sisa suatu campuran aspal mod dengan menggunakan *wetfix be* sebagai bahan tambah akan mengalami peningkatan

2. Indeks Durabilitas Pertama (*IDP*)

Indeks Durabilitas Pertama merupakan sebagai nilai sensitivitas campuran aspal terhadap durasi perendaman yang dinyatakan cukup durable apabila bernilai < 1%. Adapun hasil perhitungan *IDP* 24 jam dengan penambahan *Wetfix be* yang diperoleh grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.18** berikut.

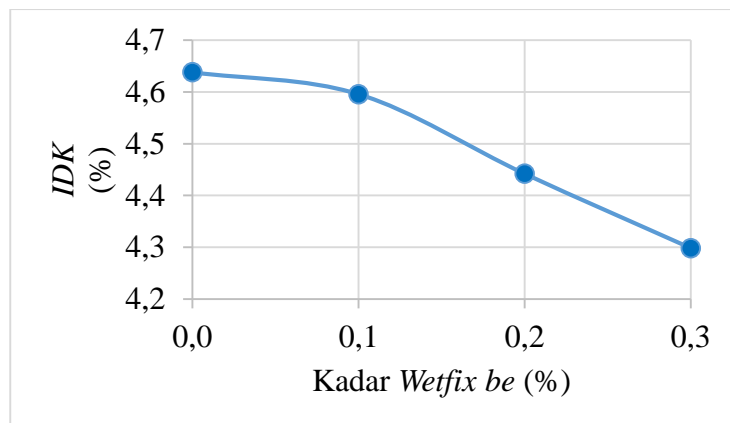


Gambar 5. 18 Hasil Penambahan Wetfix be dengan Nilai IDP

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai IDP mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *wetfix be*. Nilai sensitivitas kehilangan kekuatan atau penurunan stabilitas campuran terbesar terjadi pada penambahan kadar *wetfix be* 0,3%, yaitu 0,374%. Berdasarkan perhitungan, semua variasi penambahan kadar *wetfix be* memenuhi spesifikasi Bina Marga, yaitu <1%. Sehingga dapat dikatakan campuran *stone matrix asphalt* dengan menggunakan *wetfix be* sebagai bahan tambah cukup durable hingga 24 jam.

3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua merupakan persentase rata-rata kehilangan kekuatan campuran aspal berdasarkan nilai keawetan awal 100% untuk menunjukkan indeks durabilitas yang setara dengan satu hari. Adapun hasil perhitungan IDK 24 jam dengan penambahan *Wetfix be* diperoleh grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.19** berikut.



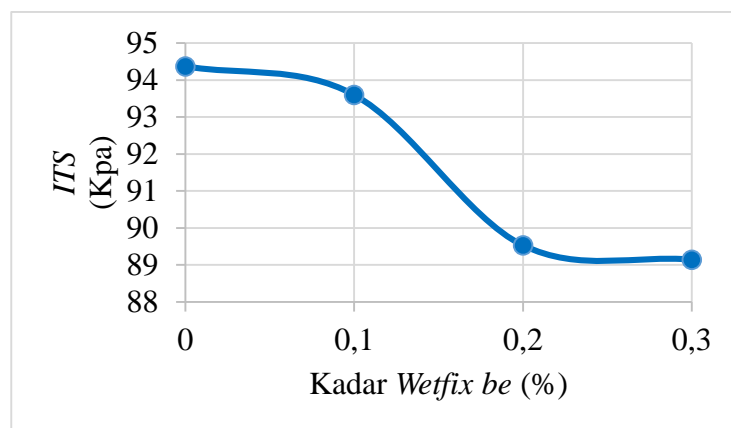
Gambar 5. 19 Hasil Penambahan Wetfix Be dengan Nilai IDK

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa nilai IDK mengalami penurunan seiring penambahan kadar *wetfix be*, yang artinya campuran mengalami penurunan durabilitas rata-rata 1 hari. Nilai kehilangan kekuatan rata-rata satu hari pada campuran terbesar terjadi pada penambahan kadar *wetfix be* 0,3%, yaitu 4,298% atau nilai kekuatan sisanya sebesar 95,702%. Sehingga dapat disimpulkan semua variasi penambahan kadar *wetfix be* memenuhi spesifikasi yaitu >90%.

5.2.7 Karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

1. *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect tensile strength merupakan metode untuk mengetahui besar gaya tarik yang mampu ditahan oleh campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak atau kerusakan pada perkerasan. Adapun hasil pengujian *ITS* dengan penambahan *Wetfix Be* setelah dianalisis menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.20** berikut.

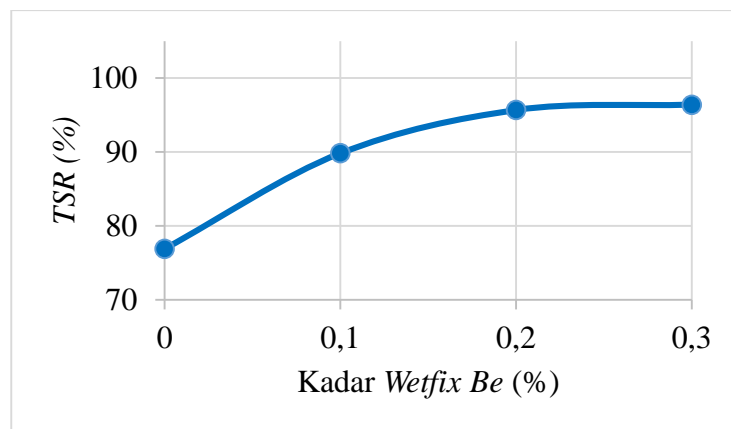


Gambar 5. 20 Hubungan Kadar *Wetfix Be* dengan Nilai *ITS*

Dari grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *wetfix be* menyebabkan campuran *stone matrix asphalt* menjadi daya tahan terhadap tarik/retak yang rendah. Hal ini disebabkan karena sifat aspal yang telah dicampur dengan *wetfix be* memiliki penetrasi yang lebih tinggi.

2. Tensile Strength Ratio (TSR)

Tensile Strength Ratio merupakan hasil perbandingan nilai *ITS* standar dengan nilai *ITS* rendaman dinyatakan dalam persen (%). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh air terhadap potensi retakan (*fatigue*) dan alur (*rutting*) dengan melakukan pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) campuran aspal. Adapun hasil perhitungan *TSR* 24 jam dengan penambahan *Wetfix Be* setelah dianalisis menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.21** berikut.



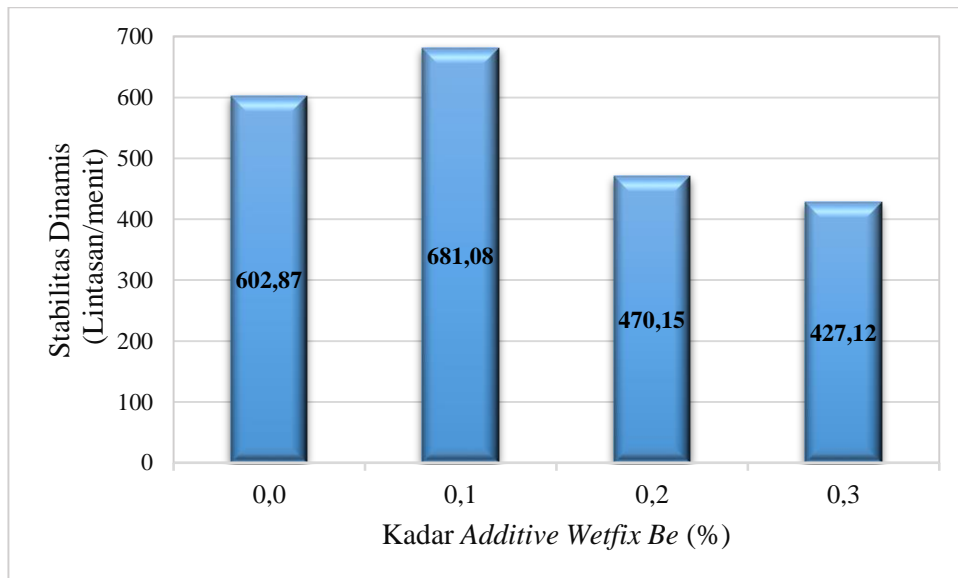
Gambar 5. 21 Hubungan Kadar *Wetfix Be* dengan Nilai *TSR* 24 jam

Pada grafis di atas dapat diketahui bahwa nilai *TSR* campuran *stone matrix asphalt* mengalami peningkatan tertinggi pada kadar *wetfix be* 0,3% dengan nilai *TSR* sebesar 96,40%. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar *wetfix be* memberikan pengaruh efisien tidak peka terhadap temperature. Berdasarkan nilai indeks penetrasi yang semakin tinggi, sehingga memberikan ikatan aspal dengan agregat lebih baik serta memberikan sifat tahan air dan temperatur.

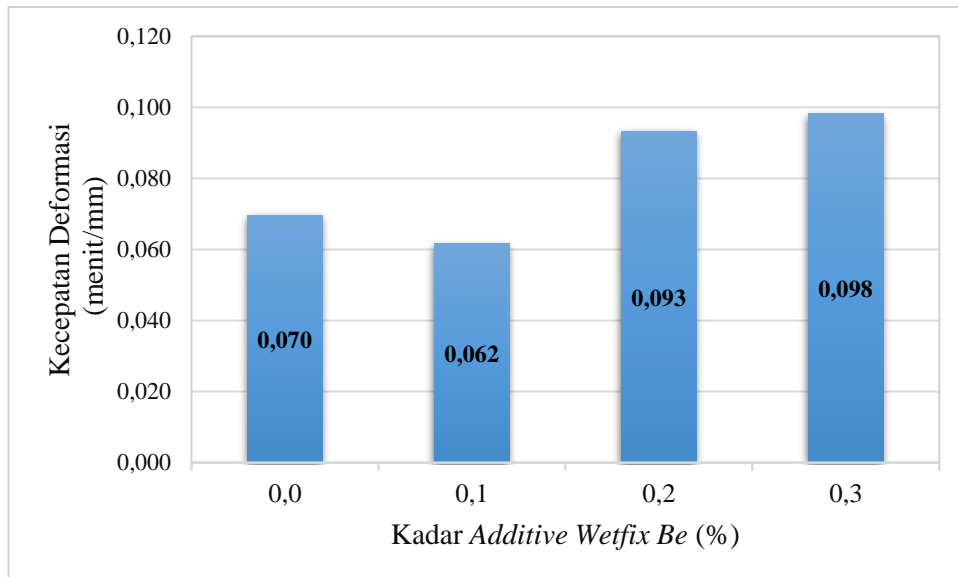
5.2.8 Karakteristik *Wheel Tracking* Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Pengujian dengan *Wheel Tracking Machine (WTM)* digunakan untuk mendapatkan hasil pengujian terhadap deformasi permanen yang dipandang dapat mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan. Adapun hasil pengujian *Wheel Tracking* setelah dilakukan analisis

menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.22** dan **Gambar 5.23** berikut.



Gambar 5. 22 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar *Wetfix Be* dengan Nilai Stabilitas Dinamis

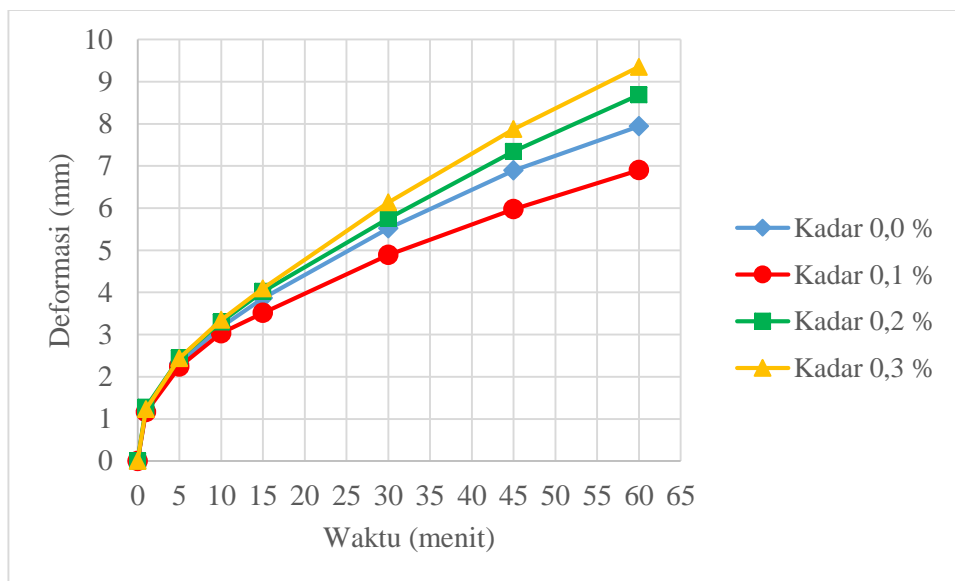


Gambar 5. 23 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar *Wetfix Be* dengan Nilai Kecepatan Deformasi

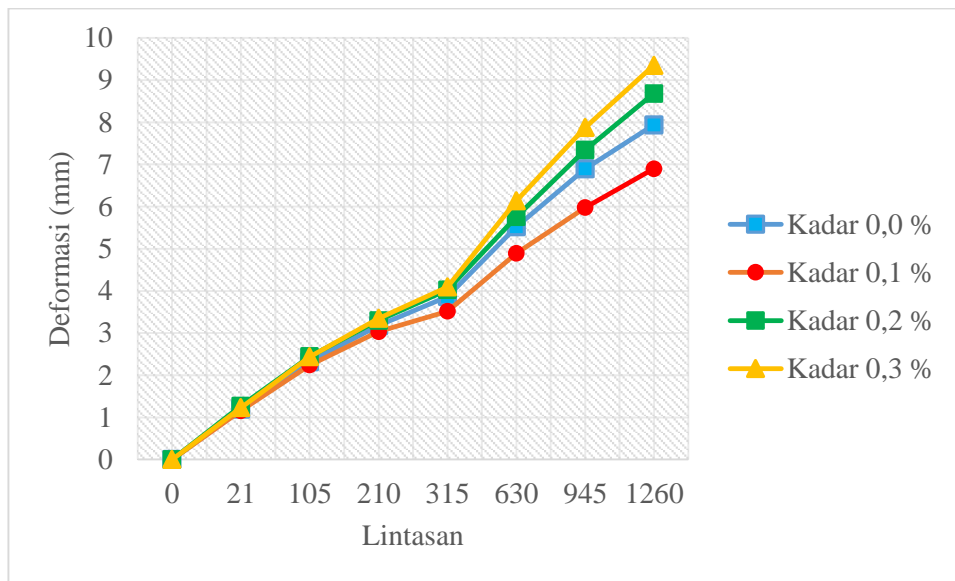
Berdasarkan Gambar 5.21 dan Gambar 5.22 dapat dijelaskan bahwa berdasarkan hasil pengujian *Wheel Tracking Machine* dengan suhu 60°C, penambahan aditif *wetfix be* terjadi penurunan nilai stabilitas dinamis dan

peningkatan kecepatan deformasi campuran *stone matrix asphalt*. Hal ini ditunjukkan pada penambahan kadar *wetfix be* 0,1% dengan nilai stabilitas dinamis yaitu 681,08 lintasan/mm dan dengan kecepatan deformasi yang paling kecil yaitu 0,062 mm/menit. Artinya aspal dengan kadar *wetfix be* 0,1% mempunyai nilai penetrasi yang tinggi, menyebabkan aspal menjadi keras dengan kekakuan bahan ikat paling besar, sehingga kemampuan mencegah terjadinya deformasi semakin besar dan ketahanan terhadap temperatur meningkat menyebabkan kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan posisinya semakin bertambah dan mempunyai sifat saling mengunci (*interlock*) yang baik.

Adapun nilai penurunan deformasi setelah dilakukan pengujian *Wheel Tracking Machine* setelah dilakukan analisis menghasilkan grafik yang bisa dilihat pada **Gambar 5.24** sampai **Gambar 5.25** berikut.



Gambar 5. 24 Hubungan Penambahan *Wetfix Be* dengan Waktu Pembebanan dan Deformasi pada Campuran *Stone Matrix Asphalt*



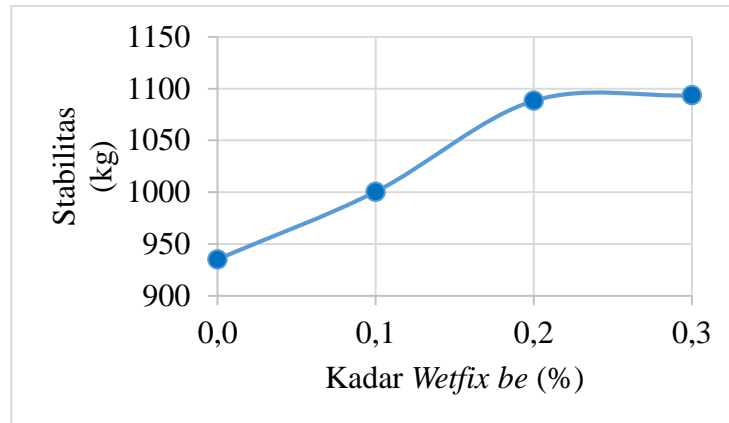
Gambar 5. 25 Hubungan Penambahan *Wetfix Be* dengan Jumlah Lintasan dan Deformasi pada Campuran *Stone Matrix Asphalt*

Berdasarkan Gambar 5.24 sampai Gambar 5.25 dapat dijelaskan bahwa semakin besar kadar *wetfix be*, jumlah lintasan berulang dan lamanya waktu pembebanan yang dilakukan akan memperbesar nilai deformasi campuran *stone matrix asphalt*. Nilai deformasi tertinggi hingga terendah secara berurutan yaitu pada campuran *stone matrix asphalt* dengan kadar *wetfix be* 0,3%; 0,2%; 0,0% dan 0,1% dengan masing-masing nilai deformasi sebesar 9,35 mm, 8,69 mm, 7,94 mm dan 6,90 mm. Pada campuran *stone matrix asphalt* nilai deformasi akan meningkat seiring dengan penambahan kadar aditif *wetfix be*.

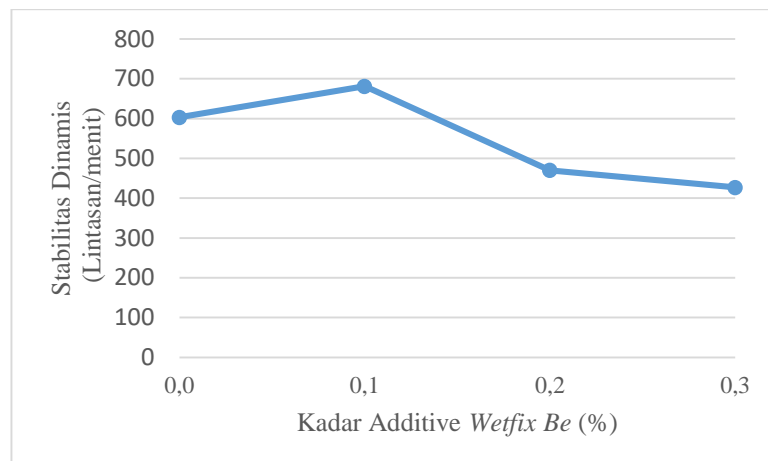
Berdasarkan Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 terlihat jika campuran *stone matrix asphalt* dengan kadar *wetfix be* 0,1% mempunyai nilai deformasi yang paling kecil yaitu 6,90 mm dengan demikian campuran *stone matrix asphalt* kadar aditif 0,1% mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi dibandingkan campuran aspal porus dengan kadar 0,0%; 0,2% dan 0,3%. Hal itu disebabkan fungsi *wetfix be* pada kadar tertentu dapat meningkatkan kelekatan pada aspal dengan permukaan agregat sehingga ketika diberi beban secara berulang tidak akan mudah mengalami deformasi.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan untuk melihat hasil perbandingan stabilitas *Marshall* dengan stabilitas dinamis terhadap pengaruh penambahan *Wetfix Be*

pada campuran *Stone Matrix Asphalt* dapat dilihat pada **Gambar 5.26** dan **Gambar 5.27** berikut.



Gambar 5. 26 Hasil Pengujian Stabilitas Marshall

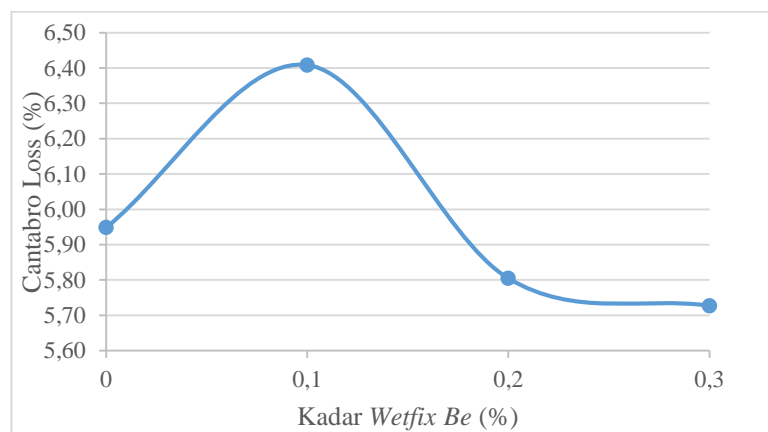


Gambar 5. 27 Hasil Pengujian Stabilitas Dinamis

Berdasarkan Gambar 5.26 dan Gambar 5.27 bisa diketahui bahwa nilai stabilitas *Marshall* dan stabilitas dinamis mengalami peningkatan hingga kadar *wetfix be* tertentu, kemudian terjadi penurunan. Nilai stabilitas *Marshall* dan stabilitas dinamis pada campuran *stone matrix asphalt* dengan *trend* yang sama, peningkatan tertinggi ditunjukkan pada penambahan kadar *wetfix be* 0,1%. Hal ini menyatakan bahwa penambahan aditif 0,1% merupakan kadar optimum penambahan *wetfix be*.

5.2.9 Karakteristik *Cantabro Loss* Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be* pada KAO

Pengujian *Cantabro Loss* ini dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan campuran terhadap kehilangan berat atau keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hal ini dapat dijadikan sebagai ukuran ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Adapun hasil pengujian dari *Cantabro Loss* dengan penambahan *Wetfix Be* pada campuran *Stone Matrix Asphalt* setelah dianalisis menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.26** berikut.



Gambar 5. 28 Hubungan Nilai *Cantabro Loss* dengan Bahan Tambah *Wetfix Be*

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *wetfix be* pada campuran, mengakibatkan nilai *cantabro loss* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penambahan *wetfix be* dapat menjadikan kelekatan aspal terhadap agregat menjadi kuat dan tidak mudah lepas. Pada penelitian ini nilai *cantabro loss* terendah diperoleh pada penambahan kadar *wetfix be* 0,3% yaitu sebesar 5,73%. Dapat disimpulkan hasil pengujian variasi penambahan kadar *wetfix be* 0,1% - 0,3% memenuhi spesifikasi AAPA 2004 yaitu <35%. Pada penelitian Hafidz (2019) menyebutkan seiring dengan bertambahnya penggunaan kadar *wetfix be*, maka nilai *cantabro loss* semakin berkurang yang berarti ketahanan campuran untuk dilalui beban yang berulang semakin meningkat. Pada penelitian Hafidz (2019) nilai *cantabro loss* terendah diperoleh pada penambahan kadar *wetfix be* 0,4% yaitu sebesar 11,82 %.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan menggunakan *Wetfix Be* sebagai bahan tambah campuran pada kadar aspal optimum dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggunaan *Wetfix Be* sebagai bahan tambah pada campuran aspal dapat meningkatkan kinerja campuran *Stone Matrix Asphalt*. Peningkatan nilai stabilitas tertinggi yaitu pada kadar penambahan *Wetfix Be* 0,3% sebesar 1093,61 kg. Nilai stabilitas dan *MQ* menunjukkan perubahan yang signifikan, sedangkan nilai *flow*, *VIM*, *VFWA*, *VMA* dan *density* tidak berubah secara signifikan. Seluruh hasil uji memenuhi persyaratan Bina Marga 2018.
2. Berdasarkan hasil pengujian perendaman *Marshall (IRS)* dengan ditambahkan aditif *Wetfix Be* pada campuran pada campuran *Stone Matrix Asphalt* menunjukkan ketahanan campuran terhadap rendaman pada temperatur tinggi, akan tetapi perubahan yang terjadi tidak signifikan. Nilai *IRS* yang diperoleh dari semua variasi campuran dengan penambahan kadar *Wetfix Be* 0,0%; 0,1%; 0,2% dan 0,3% sebesar 90,53%; 90,61%; 90,93%; dan 91,22%, memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu >90%.
3. Berdasarkan hasil pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan penambahan aditif *Wetfix Be* menunjukkan perubahan nilai *ITS* yang paling rendah diperoleh pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0,3% sebesar 89,14 kPa.
4. Penambahan kadar *Wetfix Be* 0,3% pada campuran *Stone Matrix Asphalt* menunjukkan peningkatan ketahanan gaya tarik akibat rendaman pada temperatur tinggi (*TSR*) sebesar 96,40%.
5. Berdasarkan hasil pengujian *Wheel Tracking* penambahan *Wetfix Be* meningkatkan pada campuran *Stone Matrix Asphalt* stabilitas dinamis yang paling tinggi pada kadar *Wetfix Be* 0,1% sebesar 681,08 lintasan/menit.
6. Penambahan kadar *Wetfix Be* pada campuran *Stone Matrix Asphalt* menambahkan kecepatan deformasi, namun tidak signifikan, yang menunjukkan

ketahanan campuran dalam menerima beban baik. Nilai kecepatan deformasi terkecil yaitu dengan penambahan kadar *Wetfix Be* 0,1% sebesar 0,062 mm/menit.

7. Nilai *Cantabro Loss* yang diperoleh dengan penambahan aditif *Wetfix Be* pada campuran *Stone Matrix Asphalt* mengalami penurunan, menunjukkan bahwa campuran dengan bahan tambah *Wetfix Be* tahan terhadap benturan dari beban yang berulang. Nilai *Cantabro Loss* terkecil diperoleh sebesar 5,73% pada penambahan kadar *Wetfix Be* 0,3%.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan *Wetfix Be* sebagai bahan tambah campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan bahan ikat aspal pen 60/70, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. *Wetfix Be* dapat digunakan sebagai bahan aditif pada campuran *stone matrix asphalt*, dengan kadar 0,1% terhadap berat aspal.
2. Perlu adanya penelitian lanjutan pada penambahan variasi kadar aditif *wetfix be*
3. Perlu dicoba menggunakan *anti stripping* yang berbeda terhadap campuran *stone matrix asphalt*.
4. Perlu dilakukan uji coba penggunaan asp campuran *stone matrix asphalt* dengan bahan tambah *wetfix be* untuk ruas jalan di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO M325-08, (2012). *Standard Specification for Stone Matrix Asphalt*.
- AASHTO, J. (2005). *Standard Method of Test for Determination of Draindown Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures*.
- Abdillah, A. F., Pradani, N., & Batti, J. F. (2018). Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Viatop66 pada Campuran Stone Matrix Asphalt Terhadap Titik Lembek Aspal dan Sifat Drain Down Campuran. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 4(1), 49-58.
- Akzo Nobel (2011). *Product Datasheet Asphalt Applications*. Netherlands.
- Aman, M. Y., dan M. Hamzah (2014). "Evaluation Of Anti-Stripping Agents On Warm Porous Asphalt Mixtures." *Australian Journal Of Basic And Applied Sciences* 8.10 438-446.
- American Society for Testing and Materials (2015). *ASTM C-131 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. West Conshohocken: ASTM International.
- Asphalt Institute (1982). *Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual*, (MS-1), Ninth Edition, Research Report kR 82-2, College Park, Maryland.
- Asphalt Institute (1982). *Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual*, (MS-1), Ninth Edition, Research Report kR 82-2, College Park, Maryland.
- Asphalt Institute (2001). *Construction of Hot Mix Asphalt Pavements, Manual Series No. 22 (MS-22)*, Second Edition, Lexington, USA.
- Brown, E. R., & Manglorkar, H. (1993). *Evaluation of laboratory properties of SMA mixtures*. Auburn, AL: National Center for Asphalt Technology.

- Chairi, M., Yossyafra. Y., dan Elsa E. P (2017). "Perencanaan Integrasi Layanan Operasional Antar Moda Railbus dan Angkutan Umum Di Kota Padang." *Jurnal Rekayasa Sipil (Jrs-Unand)* 13.1: 1-12.
- Chaturabung, P. dan Bahia, U. (2017). *Mechanisms of Asphalt Mixture Rutting In The Dry Hamburg Wheeltracking Test and The Potential to be Alternative Test In Measuring Rutting Resistance. Construction and Building Materials, Volume 146, 15 August 2017, Pages 175-182.*
- Chiu, C. T., & Lu, L. C. (2007). A laboratory study on stone matrix asphalt using ground tire rubber. *Construction and Building Materials*, 21(5), 1027-1033.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2018). *Spesifikasi Umum 2018*. Jakarta : Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Djakfar, L. Bowoputro, H dan Zaika, Y (2013). Evaluation of Use of Steel Slag Material and Phyrophyllite Materials in the Porous Asphalt Mix. *Journal of Scientific Research 18 (11): 1524-1529.*
- Fauziah, M., & Yusuf, N. A. N. (2017). Kinerja Campuran Stone Matrix Asphalt Dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-55 Akibat Lama Rendaman Air Laut (*Performance Of Stone Matrix Asphalt Submerged In Seawater By Using Pertamina Pen 60/70 And Starbit E-55*)
- Hafidz. M dan Fauziah. M (2020). Efektivitas Penggunaan Bahan Anti-Stripping *Wetfix Be* Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus (*The Effectiveness Of Using Wetfix Be Anti Stripping Materials On Characteristics Of Porous Asphalt Mixture*). Tugas Akhir.
- Han, J., dan Shiwakoti, H. (2016). Wheel tracking methods to evaluate moisture sensitivity of hot-mix asphalt mixtures. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 10(1), 30-43.
- Hidayat, R. (2019). Analisis Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt* Dengan Abu Ampas Tebu Sebagai *Filler* Pengganti (*The Analysis Of Stone Matrix*

Asphalt Mixes Using Bagasse Ash As Substitute Filler (Universitas Islam Indonesia).

- Kay, L. G., Bundy, A. C., Clemson, L., Cheal, B., dan Glendenning, T. (2012). Contribution of off-road tests to predicting on-road performance: A critical review of tests. *Australian Occupational Therapy Journal*, 59(1), 89-97.
- Lake, A., G, Djakfar, L., dan Zaika, Y. (2010). Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt dengan Beberapa Material dari Kalimantan. *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol.4 No. 3.
- Leon, L., Gay, D., Simpson, N., dan Edwin, S. (2019). Stress-Strain and Failure Modes of Asphalt Concrete in Compression Due to Geometrical Changes. In *5th International Conference on Road and Rail Infrastructure*.
- Mardawa, I. G., Ahyudanari, E., dan Murtiadi, S. (2020). Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Dingin dengan Asbuton Akibat dari Penggunaan Aditif Wetfix-be. *Jurnal Sains Teknologi & Lingkungan*, 6(1), 50-60.
- Nahyo, N., Sudarno, S., dan Setiadji, B. H. (2015). Durabilitas Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) Akibat Rendaman Menerus dan Berkala Air ROB. *Jurnal Teknik Sipil Unaya*, 1(2), 141-154.
- Prastanto, H., Cifriadi, A., dan Ramadhan, A. (2015). Karakteristik dan Hasil Uji Marshall Aspal Termodifikasi dengan Karet Alam Terdepolimerisasi sebagai Aditif. *Indonesian Journal of Natural Rubber Research*, 33(1), 75-82.
- Raghuram, K. B., & Chowdary, V. (2013). *Performance evaluation of stone matrix asphalt (SMA) using low cost fibres*. In *JourNal of The INDIAN roads Congress Volume 74-2* (p. 159).
- Rahman, H., Subagio, B. S., dan Widiyanto, A. H. (2012). Analisis Pengaruh Gradasi pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang menggunakan Aditif Asbuton Murni untuk Perkerasan Bandara. *Jurnal Teknik Sipil ITB*, 19(2), 169-180.

- Rizal, R. S., Susilowati, A., dan Susanto, H. (2019). Kajian Penggunaan Wetfix be pada Beton Aspal Campuran Panas Bergradasi Superpave. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan*, 5(2), 66-74.
- Saloh, D. R. (2013). "Kajian Eksperimental *Roadcell-50* sebagai Bahan Tambah (*Additive*) pada Campuran *Split Mastic Aspal (Sma)* yang menggunakan Material Lokal Batu Tangkiling." *Jurnal Teknologi Berkelanjutan* 2.01, 50-62.
- Setiawan A.D.A., (2014). Pengaruh Penuaan dan Lama Perendaman Terhadap Durabilitas Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)* . Tugas Akhir. Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Shukry., Nurul., Athma M. (2016). "Experimental Evaluation Of Anti-Stripping Additives On Porous Asphalt Mixtures." *Jurnal Teknologi* 78.7-2.
- SNI 8129:2015 tentang Spesifikasi *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.
- Sukarman, Silvia. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Yayasan Obor Indonesia.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan lentur jalan raya*. Nova, Bandung, 2.
- Sukirman, S. 2003. *Perkerasan Jalan Raya*. Nova. Bandung.
- Tahir., Anas., dan Setiawan. (2009). "Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau Dari Faktor Variasi Suhu Pematatan dan Lama Perendaman." *Smartek* 7.1
- Tajudin, A. N., dan Suparma, L. B. (2017). Pengaruh Rendaman pada Indirect Tensile Strength Campuran AC-BC dengan Limbah Plastik sebagai Agregat Pengganti. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23(2), 166-173
- Wang, Y., Yuan, Q., Deng, D., & Liu, Z. (2017). Modeling Compressive Strength of Cement Asphalt Composite Based on Pore Size Distribution. *Construction and Building Materials*, 150, 714-722.
- Yoder, E. J., And M. W. Witzak. (1975). "Principles Of Pavement Design, J. Willey And Sons." *Inc., Second Edition, New York*.

LAMPIRAN