

TUGAS AKHIR
ANALISIS CAMPURAN ASPAL *WEARING COURSE* (AC-WC)
MODIFIKASI DENGAN BAHAN TAMBAH *HIGH DENSITY*
***POLYETHYLENE* DAN RESIN**

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



Disusun Oleh :

Muhammad Dzaky Anshory

NIM : 30201900134

Muhammad Farid Nasrulhaq

NIM : 30201900137

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2023

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS CAMPURAN ASPAL *WEARING COURSE* (AC-WC) MODIFIKASI
DENGAN BAHAN TAMBAH *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* DAN RESIN



Muhammad Dzaky Anshory
NIM : 30201900134



Muhammad Farid Nasrullohaq
NIM : 30201900137

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, 1 Agustus 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Ir. Rachmat Mudiyono, MT., Ph.D.**
NIDN: 0608067601
2. **Juny Andry Sulistyo, ST., MT.**
NIDN: 0610118101
3. **Ir. Moh Faiqun Niam, MT., Ph.D**
NIDN: 0612106701

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

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

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 11 / A.2 / SA – T / III / 2023

Pada hari ini tanggal 03-08-2023 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Ir. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D.
Jabatan Akademik : Dekan Fakultas Teknik
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Juny Andry Sulistyo, ST., MT.
Jabatan Akademik : Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Muhammad Dzaky Anshory

Muhammad Farid Nasrulhaq

NIM : 30201900134

NIM : 30201900137

Judul : Analisa Campuran Aspal *Wearing Course* Modifikasi Dengan Bahan Tambah *High Density Polyethylene* Dan Resin

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	08/03/2023	ACC
2	Seminar Proposal	29/05/2023	ACC
3	Pengumpulan data	02/06/2023	ACC
4	Analisis data	16/06/2023	ACC
5	Penyusunan laporan	17/06/2023	ACC
6	Selesai laporan	24/07/2023	ACC

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

Dosen Pembimbing Utama

Dosen Pembimbing Pendamping

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

Juny Andry Sulistyo, ST., MT.

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Muhammad Dzaky Anshory

NIM : 30201900134

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul: **"ANALISIS CAMPURAN ASPAL *WEARING COURSE* (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN BAHAN TAMBAH *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* DAN RESIN"** benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

NAMA : Muhammad Farid Nasrulhaq

NIM : 30201900137

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul: **"ANALISIS CAMPURAN ASPAL WEARING COURSE (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN BAHAN TAMBAH *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* DAN RESIN"** benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.



PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Muhammad Dzaky Anshory

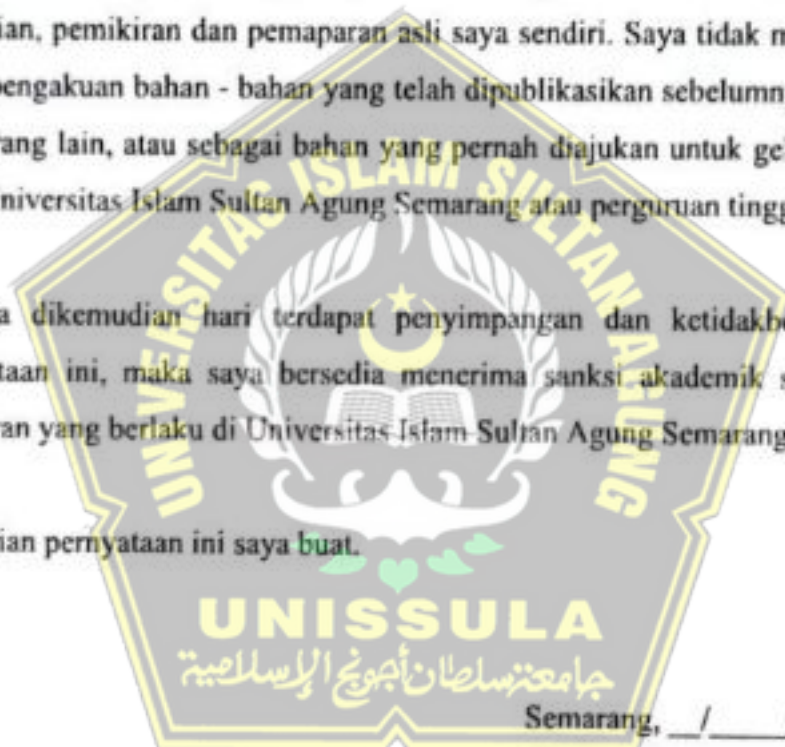
NIM : 30201900134

JUDUL : Analisa Campuran Aspal *Wearing Course* (AC-WC) Modifikasi Dengan Bahan Tambah *High Density Polyethylene* Dan Resin.

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.



Semarang, ____/____/____

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Dzaky Anshory

NIM : 302001900134

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : Muhammad Farid Nasrulhaq

NIM : 30201900137

JUDUL : Analisa Campuran Aspal *Wearing Course* (AC-WC) Modifikasi Dengan Bahan Tambah *High Density Polyethylene* Dan Resin.

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

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

Demikian pernyataan ini saya buat.

Semarang, ____/____/____

Yang membuat pernyataan,


Muhammad Farid Nasrulhaq

MOTTO

1. Kamu adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada ma'ruf, dan mencegah dari yang munkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka, di antara mereka ada yang beriman, dan kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. **(QS. Ali'Imran : 110)**
2. Wahai orang – orang yang beriman! Apabila dikatakan kepadamu, “Berilah kelapangan didalam majelis – majelis”, maka lapangkanlah, niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. Dan apabila dikatakan “Berdirilah kamu”, maka berdirilah, niscaya Allah akan mengangkat (derajat) orang – orang yang beriman di antaramu dan orang – orang yang diberi ilmu beberapa derajat. Dan Allah meneliti apa yang kamu kerjakan. **(QS. Mujadilah : 11)**
3. Belajarlah kamu semua, dan mengajarlah kamu semua, dan hormati guru – guru mu, serta berlaku baiklah terhadap oran yang mengajarkanmu. **(HR. Thabrani)**
4. Siapa yang menempuh jalan untuk mencari ilmu, maka Allah akan mudahkan baginya jalan menuju surga. **(HR. Muslim : 2699)**
5. Ilmu itu dimiliki dengan lidah yang banyak bertanya dan akal yang rajin untuk gemar memikir. **(Abdullah Ibnu Abbas)**
6. Usaha dan keberanian tidak cukup tanpa adanya tujuan dan arah perencanaan. **(John F. Kennedy)**
7. Orang yang meraih kesuksesan tidak selalu orang pintar, orang yang selalu meraih kesuksesan ialah orang yang gigih dan pantang menyerah.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kepada bapak saya Dwi Asriyatno, Amd. dan ibu saya Zulaikhah, Amd. yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan Pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Dosen – dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu – ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
3. Muhammad Farid Nasrulhaq selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang Bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Teman – teman belajar dan main selama perkuliahan: M. Adib Muwaffaq, M. Hilmi Arsyadani, Adhitya Pratama, Danan Harandya Cantona, Ananda Fadhil D, Raffanel Adi Permana, Bachtiar Adi, Reza, Deva, Muhammad Miftahul Fuad, dan lainnya yang telah membantu saya selama masa kuliah, memberikan semangat, motivasi dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2018, 2019, 2020 dan yang lainnya yang tidak saya sebutkan satu persatu. Terimakasih untuk kebersamaan kita selama 4 tahun ini, terimakasih atas doa, semangat dan motivasi kalian.

Muhammad Dzaky Anshory

NIM : 30201900134

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini penulis persembahkan untuk :

1. Kepada bapak saya Komarudin, M.Ag dan ibu saya Siti Muniroh, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan materil, semangat, do'a dan Pendidikan mental untuk terus mengejar impian menjadi seseorang yang mulia di dunia dan akhirat.
2. Dosen – dosen Fakultas Teknik UNISSULA yang telah mengajarkan saya tentang ilmu – ilmu keteknikan yang sebelumnya saya tidak ketahui dan selalu memberikan motivasi dan arahan kepada saya.
3. Muhammad Dzaky Anshory selaku rekan yang telah bekerja keras dan berjuang Bersama dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.
4. Teman – teman belajar dan main selama perkuliahan: Adib Mowaffiq, M. Hilmi Arsyadani, M. Miftahul Fuad, M Iqbal Febriansyah, dan teman-teman lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang telah membantu saya selama masa kuliah, memberikan semangat, motivasi dan membantu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Teman – teman Fakultas Teknik UNISSULA angkatan 2018, 2019, 2020 dan yang lainnya yang tidak saya sebutkan satu persatu. Terimakasih untuk kebersamaan kita selama 4 tahun ini, terimakasih atas doa, semangat dan motivasi kalian

Muhammad Farid Nasrulhaq

NIM : 30201900137

KATA PENGANTAR

Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul ANALISIS CAMPURAN ASPAL *WEARING COURSE* (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN BAHAN TAMBAH *HIGH DENSITY POLYETHYLENE* DAN RESIN

Guna memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan skripsi ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Yth. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik UNISSULA.
2. Yth. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan kelancaran pelayanan dalam urusan Akademik
3. Yth. Bapak Ir. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Utama yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
4. Yth. Bapak Juny Andry Sulistyo, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Pendamping yang selalu memberikan waktu bimbingan dan arahan selama penyusunan skripsi ini.
5. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

Semarang, 3 Agustus 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
ABSTRAK.....	xviii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Penelitian.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	 5
2.1. Perkerasan Aspal.....	5
2.2. Penyusun Perkerasan jalan	6
2.2.1. Persyaratan Agregat.....	6
2.2.2. Gradasi Agregat.....	8
2.2.3. Karakteristik Campuran Aspal Beton.....	9
2.2.4. Karakteristik Beton Aspal	10
2.2.5. Menentukan Kadar Aspal Optimum.....	12
2.3. Spesifikasi Gradasi Agregat Lapir AC-WC.....	12
2.3.1. Aspal.....	12
2.3.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall	13

2.4. Resin	14
2.5. Plastik Jenis HDPE (High Density Pholyethylene)	15
2.6. Pengikat Bitumen (Aspal)	16
2.7. Penelitian Terdahulu yang Sejenis	17
BAB III METODOLOGI	21
3.1. Tipe Penelitian	21
3.2. Lokasi Penelitian	21
3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian	21
3.3.1. Bahan Penelitian	21
3.3.2. Peralatan Penelitian	22
3.4. Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian	23
3.5. Prosedur Perencanaan Penelitian	23
3.6. Metode Pengujian Marshall	26
3.6.1. Tahap Pengujian Marshall	26
3.7. Aspal	27
3.8. Sifat-sifat Campuran Aspal	28
3.9. Metode Analisis	29
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	31
4.1. Sifat- Sifat Campuran Aspal Panas dengan Metode Marshall	31
4.2. Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)	32
4.3. Hasil Pengujian Bahan	35
4.3.1. Hasil Pengujian Agregat	35
4.3.2. Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70	38
4.4. Pembuatan Benda Uji	39
4.5. Hasil Pengujian Marshall	39
4.6.1. Hasil Pengujian Marshall Komposisi HDPE Tanpa Resin	40
4.6.2. Hasil Pengujian Marshall Komposisi HDPE dengan Resin 2%	47
4.6.3. Hasil Pengujian Marshall Komposisi HDPE dengan Resin 4%	52
4.6. Hasil Rekapitulasi Setiap Komposisi	59
4.6.1. Nilai Rongga Udara (VIM)	59
4.6.2. Nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA)	59
4.6.3. Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB)	60

4.6.4. Nilai Stabilitas	61
4.6.5. Nilai Flow	61
4.6.6. Nilai Marshall Quotient	62
 BAB V KESIMPULAN	 64
5.1. Kesimpulan	64
5.2. Saran	64
 DAFTAR PUSTAKA	 xx
LAMPIRAN	xxii



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Persyaratan Agregat	7
Tabel 2. 2. Persyaratan Umum Agregat Halus	8
Tabel 2. 3. Spesifikasi Pengujian Aspal	13
Tabel 2.4. Pengelompokan Limbah Plastik	16
Tabel 2. 5. Penelitian Terdahulu Yang Sejenis	17
Tabel 3. 1. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan KadarAspal Optimum	25
Tabel 3. 2. Jumlah Benda Uji untuk Variasi Aspal Filler	25
Tabel 4.1. Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum	31
Tabel 4.2. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 2% dan Resin 0%32	
Tabel 4.3. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 4% dan Resin 0%32	
Tabel 4.4. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 8% dan Resin 0%32	
Tabel 4.5. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 2% dan Resin 2%33	
Tabel 4.6. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 4% dan Resin 2%33	
Tabel 4.7. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 8% dan Resin 2%33	
Tabel 4.8. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 2% dan Resin 4%34	
Tabel 4.9. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 4% dan Resin 4%34	
Tabel 4.10. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 8% dan Resin 4% ...	34
Tabel 4.11. Hasil Analisa Pembagian Butiran	35
Tabel 4.12. Hasil Analisa Pembagian Butiran	35
Tabel 4. 13. Hasil Analisa Pembagian Butiran	36
Tabel 4.14. Hasil Analisa Pembagian Butiran	36
Tabel 4.15. Perhitungan Kombinasi Agregat	37
Tabel 4. 16. Grafik Kombinasi Agregat	38
Tabel 4.17. Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70	38
Tabel 4. 18. Pembagian Pembuatan Benda Uji.....	39
Tabel 4.19. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 2% tanpa resin.....	40
Tabel 4.20. Hasil rekap pengujian Marshall komposisi HDPE 2% tanpa resin ...	41
Tabel 4.21. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 4% tanpa resin.....	42
Tabel 4.22. Hasil rekap pengujian Marshall komposisi HDPE 4% tanpa resin ...	42
Tabel 4.23. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 8% tanpa resin	44

Tabel 4.24. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 8% tanpa resin	44
Tabel 4.25. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 2% dengan resin 2%....	47
Tabel 4.26. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 2% dengan resin 2%	47
Tabel 4.29. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 8% dengan resin 2%....	49
Tabel 4.30. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 8% dengan resin 2%	50
Tabel 4.31. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 2% dengan resin 4%....	52
Tabel 4.32. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 2% dengan resin 4%	53
Tabel 4.33. Hasil pengujian marshall komposisi HDPE 4% dengan resin 4%	54
Tabel 4.34. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 4% dengan resin 4%	55
Tabel 4.35. Hasil pengujian marshall komposisi HDPE 8% dengan resin 4%....	56
Tabel 4.36. Hasil rekap uji marshall komposisi HDPE 8% dengan resin 4%.....	57
Tabel 4.37. Rekapitulasi Nilai Rongga Udara (VIM)	59
Tabel 4.38. Rekapitulasi Nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA).....	59
Tabel 4. 39. Rekapitulasi Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB).....	60
Tabel 4.40. Rekapitulasi Nilai Stabilitas	61
Tabel 4.41. Rekapitulasi Nilai Flow.....	61
Tabel 4.42. Rekapitulasi Nilai Marshall Quotient.....	62



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Perkerasan Lentur	5
Gambar 2. 2. Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test	14
Gambar 3. 1. Bagan Alir Penelitian	23
Gambar 4.1. Grafik Kombinasi Agregat	37
Gambar 4.2. Grafik Marshall Komposisi HDPE Tanpa Resin	46
Gambar 4.3. Grafik Marshall Komposisi HDPE dengan resin 2%	51
Gambar 4.4. Grafik Marshall Komposisi HDPE dengan Resin 4%	58
Gambar 4.5. Grafik Rekapitulasi Nilai Rongga Udara (VIM)	59
Gambar 4.6. Grafik Rekapitulasi Nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA)	60
Gambar 4.7. Grafik Rekapitulasi Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB)	60
Gambar 4.8. Grafik Rekapitulasi Nilai Stabilitas	61
Gambar 4.9. Rekapitulasi Nilai Flow	62
Gambar 4.10. Rekapitulasi Nilai Marshall Quotient	62



**ANALISIS CAMPURAN ASPAL *WEARING COURSE* (AC-WC)
MODIFIKASI DENGAN BAHAN TAMBAH *HIGH DENSITY
POLYETHYLENE* DAN RESIN**

ABSTRAK

Pembangunan jalan raya di Indonesia umumnya menggunakan perkerasan lentur standar tanpa dilakukan modifikasi bahan tambah. Kerusakan jalan raya dengan perkerasan lentur standar masih sering dijumpai sehingga pengoptimalan kualitas jalan raya sangat perlu dilakukan untuk memfasilitasi mobilitas dan kebutuhan berkendara masyarakat yang semakin tinggi. Di samping permasalahan tersebut, penumpukan limbah plastik yang sulit terurai yaitu plastik dengan jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) menjadi permasalahan lingkungan yang perlu di perhatikan. Untuk mengurangi permasalahan di atas, memodifikasi campuran aspal dengan limbah HDPE dapat menjadi solusi alternatif, karena dapat meningkatkan nilai stabilitas dan Flow dengan menggunakan Marshall Test.

Penelitian ini dilakukan dengan pengujian Marshall terhadap komposisi campuran aspal dengan penambahan kadar HDPE 2%, 4%, 8% dimana setiap kadar HDPE ditambahkan kadar resin 2% dan 4%.

Hasil uji Marshall didapatkan nilai Stabilitas terbaik aspal modifikasi 2813 kg dan nilai Flow 6,43 mm dimana jauh melampaui batas spesifikasi Stabilitas dengan nilai 1000 kg dan Flow dengan nilai 3 mm.

Kata Kunci : *HDPE; Marshall; Modifikasi; Resin; Spesifikasi*



**MIXTURE ANALYSIS OF ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC)
MODIFICATION DENGAN WITH ADDED MATERIALS HIGH
DENSITY POLYETHYLENE AND RESIN**

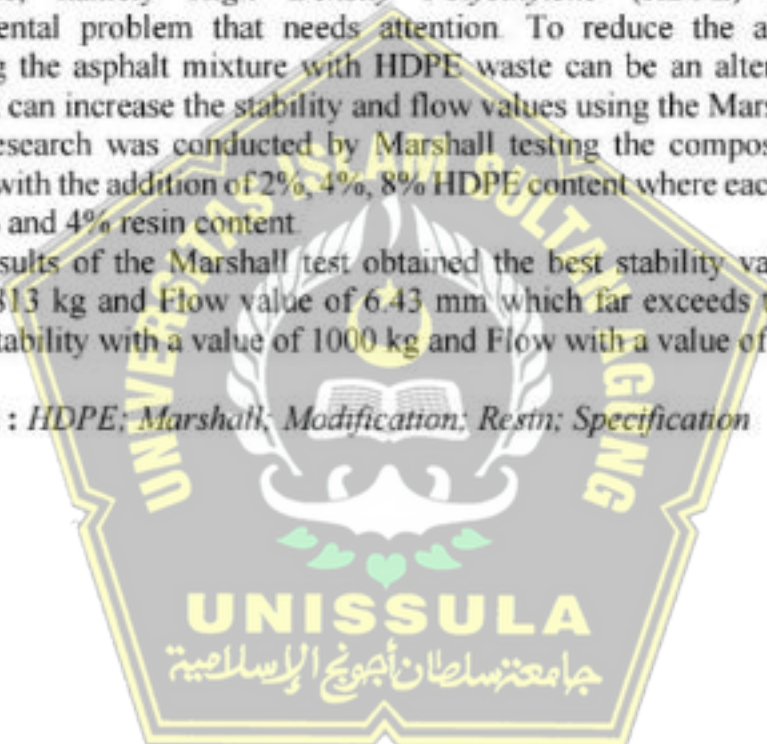
ABSTRACT

Road construction in Indonesia generally uses standard flexible pavement without modification of added materials. Damage to highways with standard flexible pavement is still often found so that optimizing the quality of highways is very necessary to facilitate the mobility and driving needs of the increasing community. In addition to these problems, the accumulation of plastic waste that is difficult to decompose, namely *High Density Polyethylene* (HDPE) plastic, is an environmental problem that needs attention. To reduce the above problems, modifying the asphalt mixture with HDPE waste can be an alternative solution, because it can increase the stability and flow values using the Marshall Test.

This research was conducted by Marshall testing the composition of asphalt mixtures with the addition of 2%, 4%, 8% HDPE content where each HDPE content added 2% and 4% resin content.

The results of the Marshall test obtained the best stability value of modified asphalt 2813 kg and Flow value of 6.43 mm which far exceeds the specification limit of Stability with a value of 1000 kg and Flow with a value of 3 mm.

Keyword : *HDPE; Marshall; Modification; Resin; Specification*



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara dengan perkembangan infrastruktur yang pesat, khususnya dalam pemerataan pembangunan jalan raya. Seiring dengan pertumbuhan masyarakat yang terus bertambah setiap tahunnya, mobilitas kendaraan yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari juga mengalami peningkatan sehingga pengoptimalan kualitas jalan raya sangat perlu dilakukan untuk memfasilitasi mobilitas masyarakat yang semakin tinggi sehingga semua kebutuhan yang dibutuhkan masyarakat dapat terpenuhi sehingga kenyamanan dan keamanan dapat dirasakan oleh masyarakat dalam berkendara.

Di samping masalah peningkatan mobilitas dan kebutuhan berkendara di Indonesia, penumpukan sampah terutama limbah plastik yang sulit terurai menjadi masalah yang urgen bagi masyarakat. Salah satu limbah plastik yang sulit terurai yaitu limbah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE), meskipun sudah banyak cara pengelolaan dan pemanfaatannya, jumlah limbah plastik tersebut masih terus bertambah setiap tahunnya sehingga perlu dilakukan pemanfaatan lain untuk mengurangi masalah sampah plastik.

Secara umum pembangunan jalan di Indonesia menggunakan perkerasan lentur yang menggunakan aspal. Campuran aspal dengan bahan standar (agregat, aspal, dan filler tanpa bahan tambahan) namun penggunaan perkerasan lentur di jalan raya Indonesia masih sering dijumpai kerusakan lapisan jalan seperti retak, distorsi, dan berlubang.

Modifikasi perkerasan jalan dengan penambahan bahan tambah (additive) menjadi salah satu alternatif dalam penelitian kami. Limbah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) yang kami tambahkan terhadap campuran aspal diharapkan dapat mengurangi permasalahan yang terjadi pada perkerasan lentur dengan bahan standar. Salah satu penelitian yang dilakukan berjudul *Pemanfaatan Material Limbah Pada Campuran Beton Aspal Campuran Panas*, mengalami permasalahan nilai stabilitas pada campuran beton aspal panas AC-WC. Dalam hal

ini variasi kadar bahan tambah sangat mempengaruhi stabilitas campuran AC-WC bila dibandingkan dengan percampuran tanpa bahan baku tambahan (plastik).

Saat ini banyak dilakukan penelitian mengenai modifikasi aspal dengan menambahkan zat aditif selain dengan penambahan limbah plastik, penambahan resin juga dapat dilakukan pada campuran aspal karena resin merupakan salah satu bahan kimia yang mampu memperbaiki sifat – sifat fisik pada suatu perkerasan aspal beton.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini kami menggabungkan limbah plastik High Density Polyethylene (HDPE) dengan resin sebagai bahan aditif pada campuran beton aspal panas untuk mengetahui seberapa kuat dan bagaimana kualitas perkerasan yang dihasilkan setelah ditambahkan zat aditif tersebut.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang diuraikan sebelumnya, pokok rumusan masalah dalam penelitian yaitu sebagai berikut :

1. Bagaimana campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* modifikasi dengan penambahan limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dan resin terhadap stabilitas lapisan aspal.
2. Bagaimana campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* modifikasi dengan penambahan limbah plastik *High Density Polyethylene* (HDPE) dan resin terhadap kelelahan plastis lapisan aspal.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan sebagai berikut :

1. Untuk mendapatkan *Job Mix* dengan formula terbaik dari campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* modifikasi *High Density Polyethylene* dan resin.
2. Untuk mendapatkan campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* modifikasi *High Density Polyethylene* dan resin yang tahan terhadap stabilitas dan kelelahan plastis (flow).

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini dilakukan memiliki beberapa manfaat sebagai berikut :

1. Secara Teoritis

- a. Menambah wawasan di bidang ilmu teknik sipil, khususnya dalam pengembangan inovasi perkerasan jalan dengan penambahan limbah *polyethylene* (PE) jenis HDPE dan resin.
- b. Penelitian ini diharapkan dapat memberi tambahan ilmu pengetahuan yang baru dalam bidang teknik sipil, khususnya dalam kaitannya terhadap perkerasan jalan, sehingga dapat memberikan solusi terhadap permasalahan kualitas jalan dengan menggunakan bahan alternatif.

2. Secara Praktis

- a. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi solusi maupun alternatif terhadap masalah pengelolaan dan pemanfaatan limbah plastik sebagai perbaikan kualitas perkerasan jalan di masa mendatang secara efektif dan efisien.
- b. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bentuk pengembangan teknologi terutama dalam bidang konstruksi jalan yang efisien dengan pemanfaatan limbah plastik sehingga dampak negatif terhadap lingkungan dapat berkurang.

1.5. Batasan Penelitian

Pada penelitian ini yang lebih terfokus pada rumusan masalah, maka penelitian ini dibatasi agar sesuai dengan manfaat dan tujuan. Batasan-batasan penelitian ini meliputi :

- a. Agregat halus dan agregat kasar yang digunakan diambil di lokasi AMP PT MOHANDAS OELOENG KENDAL
- b. Bahan aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70.
- c. Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) revisi 2 digunakan sebagai acuan percampuran dan campuran aspal yang dibuat merupakan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) modifikasi.
- d. Untuk menghasilkan campuran aspal yang ideal dengan variasi 4; 4; 5; 5; 5,5; 6
- e. Dalam pemilihan gradasi campuran aspal beton, digunakan gradasi agregat gabungan yang telah ditentukan oleh Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Revisi 2.

- f. Limbah *High Density Polyethylene* (HDPE) yang digunakan adalah limbah plastik kemasan yang relatif keras, berwarna putih susu atau putih bersih, sebagai contoh botol sampo, botol detergen, dan tutup botol dengan kode recycle 2
- g. Bahan resin yang digunakan merupakan jenis resin bening lycal type 1011/108

1.6. Sistematika Penulisan

Dalam melakukan penulisan penelitian ini akan digunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Memberikan gambaran tentang latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan tentang adanya aspek legalitas dan teknis yang berkenaan langsung dengan analisis dalam penelitian ini. Penjabaran dan penguraian teori – teori yang digunakan sebagai bahan dalam menyelesaikan permasalahan yang dihadapi dalam penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

Menguraikan tentang metode pelaksanaan penelitian mulai dari tahapan penelitian, lokasi penelitian, materi penelitian, alat survei, waktu serta tata cara dan proses pengumpulan data lapangan.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang hasil penelitian dan pembahasan tentang penelitian yang telah dilaksanakan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta mengemukakan beberapa saran yang mungkin untuk dilakukan dalam mendukung penelitian yang telah dilakukan.

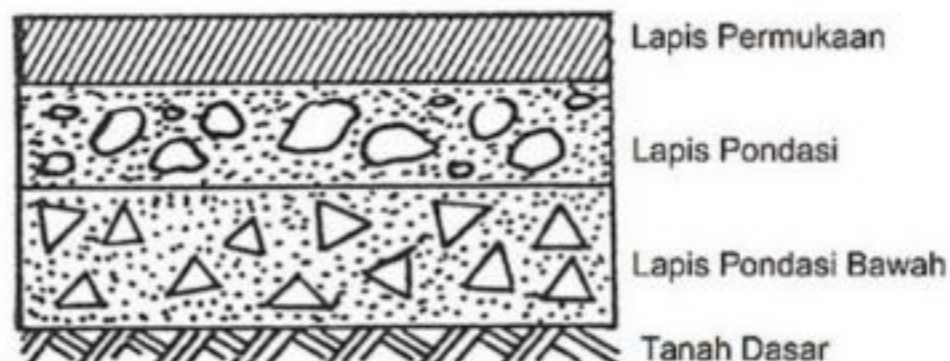
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Aspal

Diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan terdapat lapisan yang disebut sebagai perkerasan jalan. Perkerasan jalan memiliki fungsi sebagai pembagi beban lalu lintas secara merata, baik arah horizontal maupun arah vertikal, serta meneruskannya ke tanah dasar (*subgrade*) sehingga beban pada tanah dasar tidak melebihi batas daya dukung yang diizinkan. Tujuannya adalah memberikan pelayanan transportasi yang nyaman tanpa mengalami kerusakan signifikan selama masa pelayanannya. Pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengelolaan bahan yang digunakan dalam perkerasan jalan sangat penting untuk mencapai kualitas yang diharapkan. Perkerasan jalan terdiri dari berbagai jenis, meliputi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), perkerasan keras (*Rigid Pavement*), perkerasan komposit, dan perkerasan paving dengan bahan pengikat serta komposisi yang berbeda-beda. Mengingat pada penelitian ini hanya berkonsentrasi pada perkerasan lentur, berikut pengertian dari perkerasan lentur

2.1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Perkerasan lentur merupakan salah satu jenis perkerasan jalan dengan aspal sebagai bahan pengikat. Perkerasan ini digunakan untuk lalu lintas ringan hingga sedang. Struktur dari jenis perkerasan ini terdiri dari beberapa lapisan yang berada di atas permukaan tanah dasar, fungsi dari struktur tersebut yaitu untuk menopang beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Lapisan yang terdapat pada perkerasan lentur dapat dilihat pada gambar berikut :



Gambar 2. 1. Perkerasan Lentur

2.2. Penyusun Perkerasan jalan

Perkerasan jalan menggunakan agregat sebagai bahan utamanya. Agregat merupakan campuran batu pecah, krikil, pasir atau mineral lain yang digunakan sebagai bahan dasar perkerasan jalan Djalante (2011), sebagai bagian penting dalam perkerasan jalan, agregat memiliki kontribusi sebesar 90-95% dari berat total atau 75-85% dari volume. Kualitas permukaan jalan juga dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat dan hasil percampuran dengan bahan lain.

Aspek yang mempengaruhi daya dukung perkerasan jalan dalam mendukung beban lalu lintas dan ketahanan terhadap cuaca adalah kualitas agregat. Gradasi, kebersihan, kekerasan, ketahanan agregat, bentuk butiran, kekasaran permukaan, porositas, daya serap air, berat jenis, dan daya lekat aspal merupakan faktor-faktor yang menentukan kualitas agregat sebagai bahan perkerasan jalan. Volume aspal yang lebih besar akan dibutuhkan untuk agregat dengan konsentrasi pori yang tinggi. lebih akibat aspal yang lebih tipis dengan daya serap aspal yang lebih banyak. Berdasarkan jumlah air yang dapat ditampung agregat, berbagai lubang dapat dicegah (Kurniawan 2012). Perubahan berat agregat yang disebabkan penyerapan air dari pori-pori agregat dalam keadaan kering disebut dengan nilai serapan.

Penyerapan Agregat Kasar

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

Penyerapan Agregat Halus

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

Keterangan :

B : Berat piknometer berisi air, (gram)

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

B_s : Berat sampel, (gram)

B_j : Berat sampel kering permukaan jenuh

B_k : Berat sampel kering oven

2.2.1. Persyaratan Agregat

Agregat terbagi dalam tiga kategori, yaitu agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*), tergantung pada sifat dan ukurannya.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah bagian agregat yang tertahan pada saringan No. 4 (4,75 mm), dan harus bersih, kuat, bebas dari tanah liat atau komponen lain yang tidak diinginkan, dan harus sesuai dengan spesifikasi. Untuk keperluan pengujian, fraksi agregat kasar harus dikirim dalam ukuran yang khas dan harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah. Untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas, agregat kasar ini memberi stabilitas lebih pada perkerasan dan ketahanan selip yang kuat. Agregat kasar dengan bentuk butiran bulat lebih mudah dipadatkan tetapi memiliki stabilitas yang lebih rendah, sedangkan agregat kasar dengan bentuk butiran yang berbentuk sudut lebih sulit untuk dipadatkan tetapi memiliki stabilitas yang lebih tinggi. Bila digunakan sebagai kombinasi lapisan aus, agregat kasar harus tahan terhadap abrasi (Direktorat Jendral 2018).

Tabel 2. 1. Persyaratan Agregat

Pengujian				Metode pengujian	Nilai
Kekakuan terhadap larutan	bentuk agregat	natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
		magnesium sulfat			Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC	100 putaran		SNI 2417:2008	Maks. 6%
		500 putaran			Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran			Maks. 8%
		500 putaran			Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal				SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA		SNI 7619:2012	100/90	
	Lainnya			95/90	
Partikel pipih lonjong	SMA		ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%	
	Lainnya			Maks. 10%	
Material lolos ayakan No. 200				SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

(Sumber: Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang butirannya lebih kecil dari saringan nomor delapan (2,36 mm). Dengan membentuk struktur yang saling mengunci antar butir, agregat dapat memperkuat kestabilan campuran. Agregat halus juga mengisi celah-celah di antara butiran. Zat ini terbuat dari pasir alam, batu pecah, atau kombinasi keduanya. Persyaratan umum agregat halus sesuai dengan ketentuan Spesifikasi Divisi 6 Bina Marga Tahun 2010 (Direktorat Jendral 2018).

Tabel 2. 2. Persyaratan Umum Agregat Halus

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

(Sumber : Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

c. Filler (Bahan Pengisi)

Bahan *filler* yang digunakan harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm) dan tidak kurang dari 75% beratnya. *Filler* memiliki fungsi sebagai pengisi ruang udara pada campuran, sehingga lapis perkerasan aspal menjadi lebih kaku. Beberapa jenis bahan yang dapat digunakan sebagai *filler* adalah abu batu dan semen portland.

2.2.2. Gradasi Agregat

Faktor terpenting dalam menentukan stabilitas perkerasan yaitu melalui gradasi agregat. Ukuran rongga antar butiran ditentukan melalui gradasi agregat, hal ini mempengaruhi stabilitas dan *flow* pada campuran. Macam-macam gradasi agregat (Jenderal and Marga 2018) :

a. Gradasi Seragam (*Uniform Graded*)

Susunan agregat dengan ukuran yang relatif sama atau seragam disebut sebagai gradasi seragam atau bisa disebut sebagai gradasi terbuka karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga memiliki banyak rongga di antara agregat. Gradasi ini jika digunakan dalam campuran aspal akan cenderung memiliki sifat permeabilitas tinggi, stabilitas rendah dan berat isi yang ringan.

b. Gradasi Rapat (*Dense Graded*)

Campuran agregat dengan ukuran butiran yang merata antara agregat kasar dan halus dikenal sebagai gradasi rapat. Disebut juga sebagai gradasi menerus atau gradasi baik. Agregat dianggap baik jika persentase yang lolos dari setiap lapis sesuai dengan persyaratan yang ditentukan.

c. Gradasi Senjang (*Gap Graded*)

Gradasi senjang merupakan jenis gradasi yang tidak menyediakan ukuran yang lengkap atau memiliki fraksi agregat yang sangat sedikit. Lapisan perkerasan yang dihasilkan dari agregat bergradasi senjang akan memiliki kualitas yang berada di antara lapis perkerasan hasil dari agregat bergradasi seragam dan bergradasi rapat.

2.2.3. Karakteristik Campuran Aspal Beton

Beton aspal terbuat dari proses pencampuran agregat, aspal, dan bahan tambahan lainnya secara merata atau homogen pada suhu yang ditentukan di instalasi pencampuran. Kemudian campuran tersebut dibentuk dan dipadatkan untuk membentuk beton aspal yang padat. Dalam pembuatan beton aspal, perhitungan yang biasa digunakan adalah :

1. Berat Jenis Bulk (Gmb)

Berat jenis bulk aspal (Gmb) diukur dengan hukum Archimedes yaitu :

$$Gmb = \frac{\text{Berat Uji Kering}}{\text{Berat Uji Kering Permukaan} - \text{Berat Uji dalam Air}} \dots\dots\dots(2.4)$$

2. Berat Jenis Maksimum Sebelum Dipadatkan (Gmm)

Berat jenis maksimum campuran beton aspal sebelum dipadatkan (Gmm) adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa udara.

$$Gmm = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots(2.5)$$

Gmm = Berat Jenis Maksimum Campuran

Pb = Jumlah Aspal terhadap Total Berat Campuran

Ps = Jumlah Agregat terhadap Total Berat Campuran

Gb = Berat Jenis Aspal

GSe = Berat Jenis Efektif Agregat

3. Rongga Antara Mineral Agregat (VMA)

VMA (*voids in the mineral aggregate*) merupakan rongga di antara agregat, banyaknya pori di antara butiran agregat campuran beton aspal dengan nilai yang dinyatakan dalam persentase.

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \dots\dots\dots(2.6)$$

Gmb = Berat Jenis Bulk Campuran

Gsb = Berat Jenis Efektif Agregat

Ps = Jumlah Agregat terhadap Total Berat Campuran

4. Rongga di Dalam Campuran (VIM)

VIM (*Voids in the Mineral Aggregate*) rongga dalam campuran atau banyaknya pori yang terdapat di antara butiran agregat yang terlapisi aspal dalam beton aspal yang nilainya dinyatakan dalam persentase dari volume beton aspal.

$$VIM = 100 \cdot \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \dots\dots\dots(2.7)$$

G_{mm} = Berat Jenis Maksimum Campuran

G_{mb} = Berat Jenis Bulk Campuran

VIM = Rongga udara dalam campuran, persen terhadap volume campuran

5. Rongga Terisi Aspal (VFA)

Rongga yang terdapat di antara butir agregat pada beton aspal padat yang terisi oleh aspal disebut VMA. Persentase dari rongga tersebut yang terisi oleh aspal disebut dengan VFA. VFA merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, yang tidak termasuk aspal yang diserap oleh masing-masing butir agregat. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat (Gadpalliwar, Kathalkar, and Agrawal 2018)

$$VFA = \frac{100 \cdot (VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.8)$$

VIM = Rongga udara dalam campuran

VMA = Pori Butir agregat di dalam beton aspal

VFA = Pori antar butir Agregat yang terisi Aspal dari VMA

2.2.4. Karakteristik Beton Aspal

Untuk campuran beton aspal ada tujuh karakteristik yang harus diperhatikan yaitu kekuatan, stabilitas, daya tahan, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan, permukaan yang halus atau ketahanan geser, kedap air dan kemudahan dalam pelaksanaannya. Berikut ini adalah penjelasan dari beberapa karakteristik tersebut.

1. Stabilitas

Kemampuan jalan untuk menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk seperti gelombang, alur, atau bleeding disebut sebagai stabilitas. Faktor yang mempengaruhi stabilitas beton aspal adalah kekasaran permukaan agregat,

luas bidang kontak antar butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, tebal film aspal, dan daya lekat aspal yang memelihara tekanan kontak antar butir agregat.

2. Durabilitas

Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menahan beban pada lalu lintas yang berulang, serta menahan kerusakan akibat lingkungan seperti udara, air, atau perubahan suhu. Faktor yang mempengaruhi durabilitas beton aspal adalah tebalnya selimut aspal, jumlah pori dalam campuran, kepadatan dan ketahanan terhadap air.

3. Fleksibilitas

Kelenturan atau fleksibilitas adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri dengan perubahan dari pondasi atau tanah dasar tanpa terjadinya retak, seperti pergerakan atau penurunan (*settlement/konsolidasi*) yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang berulang.

4. Ketahanan terhadap kelelahan

Kemampuan beton aspal untuk menahan perubahan bentuk yang disebabkan beban yang berulang tanpa terjadinya kerusakan seperti alur atau retak dapat dicapai dengan menggunakan kadar aspal yang tinggi.

5. Kekesatan atau ketahanan geser

Permukaan beton aspal memiliki kemampuan untuk tidak tergelincir atau slip saat digunakan di jalan basah. Beberapa faktor yang mempengaruhi kekesatan jalan yaitu kekasaran permukaan agregat, luas bidang kontak antar butir, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal film aspal.

6. Ketahanan terhadap air

kemampuan beton aspal untuk tidak dapat ditembus oleh air atau udara, sehingga tidak masuk ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat menyebabkan pelepasan selimut aspal dari permukaan agregat dan mempercepat proses penuaan aspal yang cepat.

7. Kemudahan pelaksanaan

salah satu keunggulan dari campuran beton aspal adalah mudah dalam pelaksanaan. Hal ini dapat meningkatkan efisiensi kerja. Beberapa faktor yang mempengaruhi kesederhanaan dalam proses penyebaran dan penyempurnaan

adalah viskositas aspal, stabilitas aspal terhadap perubahan suhu, gradasi agregat dan kondisi agregat.

Dalam pemilihan jenis campuran beton aspal yang diinginkan tidak mungkin dapat memenuhi semua sifat-sifat tersebut. Pemilihan jenis campuran yang tepat harus berdasarkan sifat yang diutamakan.

2.2.5. Menentukan Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan SNI-06-2490-1991 rumus menentukan kadar aspal optimum dengan ;

$$B = \frac{(W1-W2)-(W3+W4)}{VMAW1-W2} \times 100\% \dots\dots\dots (2.9)$$

B = Kadar Aspal (%)

W1 = Berat benda uji (gram)

W2 = Berat air dalam benda uji (gram)

W3 = Berat mineral hasil ekstraksi (gram)

W4 = Berat mineral halus yang tertinggal dalam filtrat (gram)

2.3. Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis AC-WC

Kualitas agregat mempengaruhi kemampuannya sebagai bahan dasar untuk membuat jalan raya yang kuat. Agregat adalah bahan yang keras dan kuat. Agregat yang bagus digunakan untuk lapisan permukaan jalan agar dapat menahan beban dari lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan dasar. (Materials and Shankar 2006)

2.3.1. Aspal

Aspal atau bitumen adalah bahan berwarna hitam yang memiliki sifat viskoelastis, yang membuatnya dapat meleleh dan menjadi cair. Ini memungkinkan aspal untuk menutupi dan menjaga agregat pada posisinya saat diproduksi dan dalam masa pemeliharaan jalan. Aspal dibuat dari rantai hidrokarbon yang disebut bitumen. Aspal harus memenuhi persyaratan yang ditentukan oleh standar yang berlaku, seperti yang dijelaskan dalam tabel 2.3.

Tabel 2. 3. Spesifikasi Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25° C, 100 gram, 5	SNI 06-2456-1991	50 – 80
2.	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	≥ 54
3.	Indeks penetrasi	SNI 06-2456-1991	$\geq - 1,0$
4.	Daktilitas pada 25° C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 150
5.	Titik nyala	SNI 06-2433-1991	≥ 232
6.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	$\geq 1,0$
7.	Berat yang hilang	SNI 06-2440-1991	$\geq 0,8$

(Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

2.3.2. Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall

Metode yang digunakan untuk mengevaluasi kemampuan campuran panas (*hot mix*) aspal adalah dengan metode Marshall, sehingga dapat menentukan stabilitas dan kelelahan plastis pada campuran aspal. Bruce Marshall mengembangkan ini pada tahun 1939, seorang insinyur bahan aspal pertama dengan *The Mississippi State Highway Department*. Setelah itu, *The U.S. Army Corps of Engineers* meneruskan penelitian lebih lanjut dengan lebih ekstensif dan menyempurnakan prosedur pengujian Marshall dan akhirnya kriteria untuk desain campuran dapat dikembangkan. (Jamshidi et al. 2019).

Marshall Compaction Hammer merupakan alat yang digunakan untuk pemadatan campuran. Sebelum menggunakan alat tersebut, pembuatan benda uji berbentuk silinder dengan tinggi 64 mm dan diameter 102 mm harus dilakukan yang kemudian diuji pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ dengan pembebanan konstan sebesar 51 mm/menit hingga runtuh. Beban maksimal yang mampu ditahan oleh benda uji sebelum hancur disebut stabilitas Marshall, sedangkan besarnya deformasi yang terjadi pada benda uji sebelum hancur dinamakan kelelahan Marshall. *Marshall Quotient* adalah Perbandingan antara stabilitas dan kelelahan Marshall, yang menunjukkan kekuatan benda uji terhadap deformasi tetap.



Gambar 2. 2. Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test

Parameter yang diperoleh melalui pengujian alat Marshall disebut Marshall Properties. Parameter tersebut antara lain stabilitas (stability), kelelahan (flow), kepadatan (density), Marshall Quotient (MQ), persentase rongga udara campuran (VIM), persentase ruang kosong yang diisi oleh aspal (VFA), dan persentase ruang kosong dalam agregat (VMA).

2.4. Resin

Resin telah banyak digunakan pada masa peradaban seperti pada zaman romawi kuno. Resin memiliki sifat kimiawi yang terdiri dari polimer berupa beberapa molekul dengan berat jenis yang tinggi.

Berdasarkan proses pembentukannya, resin sintesis memiliki dua karakteristik, yaitu dapat berubah ke bentuk asalnya (termoplastik) dengan pembentukan tanpa reaksi kimia dan tidak dapat berubah ke bentuk asalnya (termoset), seperti epoxy, poliuretan, dan polister. Resin sintesis banyak dijual dan digunakan untuk kerajinan dan keperluan lainnya. Resin terdiri dari dua bahan yaitu resin sintesis yang berfungsi sebagai base, dan polymer yang berfungsi sebagai hardener.

1. Epoxy Clear Resin AB

Sangat kuat, tahan terhadap asam dan alkali, dan sangat tahan air. Epoxy resin terdiri dari dua unsur yaitu resin cair yang bersifat epoxy dan resin transparan dengan perbandingan antara base dan hardener yang disesuaikan dengan kebutuhan.

2. Resin Lycal

Kualitas dari resin ini sangat baik sehingga banyak digunakan di masyarakat. Terdiri dari dua bagian yaitu resin dan hardener. Resin ini sangat transparan dan

bening sehingga sangat cocok digunakan untuk kerajinan dan pelapisan permukaan karena tahan terhadap sinar matahari. Jika ingin menggunakan resin lycal perbandingan antara resin dan hardener biasanya 2:1 karena jenis resin ini memiliki sifat yang lebih kental dibandingkan jenis resin lainnya.

3. Resin Upcast

Jenis resin yang paling umum ditemukan di pasaran. Karena nomor seri resin jenis ini biasanya 3126 atau 108, penjual di toko kimia sering menyebutnya resin bening. Resin kelemahan jenis ini akan menjadi kuning jika terkena sinar matahari ultraviolet. Resin seperti ini sangat cocok untuk keperluan pelapisan tipis karena sifatnya yang sedikit buram.

2.5. Plastik Jenis HDPE (*High Density Polyethylene*)

HDPE adalah jenis *polyethylene* yang terbuat dari minyak bumi yang mudah dibentuk saat panas. HDPE memiliki sifat keras, kuat, dan reaksi dengan zat kimia lain yang cukup sulit karena HDPE memiliki tingkat resistansi kimia yang baik dan tahan pada suhu ruang. Jika dilihat HDPE bersifat bening, agak keruh, lentur, tipis, dan mudah dibentuk saat panas. Banyak digunakan untuk berbagai keperluan seperti wadah sabun dan sampo, tutup botol plastik, kotak penyimpanan, mainan, peralatan rumah tangga dan jenis plastik lain yang memiliki kode *recycle 2*.

Kecuali beberapa tindakan yang dilakukan, upaya untuk menggunakan sampah plastik daur ulang dalam campuran aspal masih terbatas. Kota Vancouver di Kanada menambahkan limbah plastik sebagai aditif pada aspal campuran hangat pada tahun 2012, Rotterdam di Belanda mengumumkan rencana untuk menggunakan plastik daur ulang dalam pembangunan jalan pada tahun 2015, dan Janshedpur di India baru-baru ini mengurangi penggunaan aspal sebesar 7% dengan menambahkan plastik daur ulang yang diparut kering dalam produksi aspal.

Kualitas campuran aspal bisa ditingkatkan dengan cara memodifikasi, termasuk dengan penambahan polimer. Plastik sendiri mengandung senyawa polimer sehingga dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal. Banyak penelitian menunjukkan bahwa campuran aspal yang ditambah dengan sampah plastik lebih tahan deformasi dan kuat dalam ketahanan. Ini juga merupakan cara

untuk meminimalisir jumlah limbah plastik yang merugikan lingkungan. Jenis limbah plastik secara umum dapat dilihat pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4. Pengelompokan Limbah Plastik

Jenis Limbah Plastik	Contoh
LDPE (<i>Low Density Polyethylene</i>)	Kantong plastik
HDPE (<i>High Density Polyethylene</i>)	Tutup botol minuman, botol sampo
PET (<i>Polyethylene Terypthalate</i>)	Botol minuman
PP (<i>Polypropylene</i>)	Bungkus kemasan makanan
PS (<i>Polystyrene</i>)	Sterofoam, cangkir minuman sekali pakai
PVC (<i>Polyvinyl Chloride</i>)	Pipa saluran, kabel listrik

2.6. Pengikat Bitumen (Aspal)

Aspal dikenal sebagai bahan perekat yang berwarna hitam atau coklat gelap dan terdiri dari bitumen sebagai unsur utamanya. Aspal dapat didapatkan dari sumber alam maupun sisa pengilangan minyak bumi. Aspal adalah bahan yang sangat umum digunakan untuk mengikat agregat dalam pembuatan jalan.

Aspal adalah bahan yang cenderung padat hingga agak padat pada suhu ruangan dan termoplastik, sehingga dapat meleleh ketika dipanaskan hingga suhu pada titik panas tertentu dan membeku kembali ketika suhu mengalami penurunan. Bersama dengan agregat, aspal digunakan untuk membuat Perkerasan jalan.

Permukaan trotoar di seluruh dunia memiliki sejarah panjang menggunakan aspal sebagai pengikat di aspal campuran. Bitumen sendiri adalah produk rumahan dari pemurnian minyak mentah untuk produksi gas, bahan bakar minyak bumi, dan minyak pelumas. Residu dari yang kedua penyulingan minyak mentah termasuk aspal, yang kemudian dipisahkan dan diproses untuk dijual di industri konstruksi trotoar jalan, bandara, dan pelabuhan, serta produksi herpes zoster atap dan produk lainnya.

Secara tradisional, produksi aspal menggunakan aspal yang tidak dimodifikasi, biasanya dinilai sesuai dengan viskositas atau ketahanan terhadap penetrasi beban pada suhu tertentu. Namun, sebagaimana diperlukan sifat rekayasa campuran aspal meningkat dari waktu ke waktu, polimer, asam dan lainnya aditif dimasukkan untuk meningkatkan ketahanan campuran aspal ke suhu tinggi deformasi, retak suhu rendah dan kerusakan kelembaban (Shankar and Suresha 2006).

2.7. Penelitian Terdahulu yang Sejenis

Secara keseluruhan, penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penambahan HDPE dan Resin pada aspal dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap kondisi suhu ekstrim. Kajian ini menjadi dasar dalam pengembangan bahan aspal yang lebih baik untuk pembuatan jalan raya yang akan datang di daerah yang dilintasi kendaraan-kendaraan bermuatan berat. Dimana beberapa penelitian terdahulu tercantum di Tabel 2.5

Tabel 2.5. Penelitian Terdahulu Yang Sejenis

PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Sitanggang and Hamsi (2013)	Studi Eksperimental dan Simulasi Pengaruh Variasi Campuran High Density Polyetilena (HDPE) dan Aspal Pen 60/70 dengan Menggunakan Program Ansys 12	Metode pengujian Marshall, Resilien Modulus, Stabilitas Dinamis, Kecepatan Deformasi	- Agregat kasar 20 % - Agregat sedang 30 % - Agregat halus 50 %	Tekanan maksimum campuran 30 gram HDPE aspal yaitu sebesar 4,295 MPa, dibandingkan dengan aspal tanpa campuran variasi atau 0 gram HDPE : 50 gram aspal yaitu sebesar 0,254 MPa. Tingkat penyerapan yang paling baik 0,11% lebih kecil dibandingkan aspal dengan campuran 0,53%.
Yuniarti et al. (2020)	Tinjauan Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Tua Dengan Berbagai Bahan Peremaja	Metode pengujian Marshall	- Agregat kasar - Agregat halus - Minyak Jelantah - Aspal - Resin epoxy - Oli bekas	penggunaan bahan tambah atau campuran minyak tanah dan oli bekas memiliki nilai marshall immersion lebih tinggi dibandingkan dengan komposisi campuran minyak jelantah dan resin epoxy.
W A, Yuniarti, and Widianty (2018)	Pengaruh penggunaan Gilsonite Terhadap kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC)	Marshall Test dan perendaman	Aspal pen 60/70, Agregat kasardan agregat halus, Filler Gilsonite	Sifat aspal modifikasi yang ditambahkan glisonite resin mempunyai sifat fisik yang lebih keras. Dimana nilai penetrasi aspal yang menurun dan titik lembek aspal yang meningkat .
Wiwoho Mudjanarko and Arthur Daniel Limantara (2019)	STUDI PENGGUNAAN VARIASI CAMPURAN MATERIAL PLASTIK JENIS HIGH DENSITY POLYETHYLEN E.(HDPE) PADA	Pengujian Marshall	- Aspal - Agregat halus - Agregat kasar	Untuk komposisi 1 kadar aspal yang digunakan 5.6% - 6%. Kemudian komposisi 3 kadar aspal yang digunakan 4,8 – 6,1% campuran 8% HDPE. Yang memenuhi nilai VIM dan Stabilitas

	CAMPURAN BERASPAL UNTUK LAPIS AUS AC/WC (ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE)		- Limbah plastik HDPE	komposisi 8% kadar aspal 4,45%.
Ramadhan et al. (2015)	Peningkatan Titik Lembek Aspal Termodifikasi Menggunakan Block Skim Rubber (BSR) Ter-depolimerisasi	Penetrasi Test dan Uji titik lembek	Depolimerisasi BSR dan Analisa BSR Terdepolimerisasi, Pembuatan dan Analisis Aspal Modifikasi	Peningkatan kompabilitas aspal dengan campuran BSR dan ditunjukan nilai 6% BSR, 6% belerang, titik lembek 0 dicapai sebesar 75°C.
Gde Wikarga et al. (2017)	Analisis Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) Dengan Epoxy Sebagai Bahan Tambahan	Uji Marshall	- Aspal emulsi - Agregat - Epoxy	Campuran aspal emulsi dingin dengan penambahan epoxy 1% dan 3% memenuhi spesifikasi, tetapi penambahan kadar 6% tidak memenuhi spesifikasi dengan nilai porositas melebihi batas yaitu 17,83% (spesifikasi 5%–10%). Dalam pengujian kekakuan, didapatkan nilai kekakuan 1854 MPa, 959 MPa (-48,27%) dan campuran aspal emulsi dingin kadar epoxy 3% memiliki nilai kekakuan 1177,02 kg dan 1416,47 kg, masing-masing. Penambahan 3% epoxy pada CAED dapat meningkatkan stabilitas hingga 20%. Kedua kepadatan yang tinggi dan porositas yang relatif rendah menghasilkan nilai kekakuan yang tinggi.
Rachmad Basuki, Machsus (2007)	Penambahan Gilsonite Resin Pada Aspal Prima 55 untuk Meningkatkan Kualitas Perkerasan Hot Mix	Marshall Test, Wheel Tracking Test	- Agregat - Gilsonite Resin - Aspal	Glisonite Resin mampu memperbaiki sifat – sifat fisik aspal. Dengan pencampuran Glisonite resin 6,8% dari kadar aspal prima 55 nilai penetrasi menurun, kadar 0% memiliki nilai 73,4% menjadi 56,8% dikadar 12%.
Sumiati, Mahmuda, and Syapawi (2019)	PERKERASAN ASPAL BETON (AC-BC) LIMBAH PLASTIK HDPE YANG TAHAN TERHADAP CUACA EKSTREM	Marshall test	- Agregat halus - Agregat Kasar - Limbah plastik HDPE	Setelah pengujian, evaluasi, dan analisis terhadap hasil test Marshall pada dua jenis perendaman, yaitu perendaman air tawar dan air laut dengan variasi suhu, garam, dan waktu perendaman, dapat disimpulkan bahwa

				perendaman air laut lebih mempengaruhi stabilitas dan kelelahan daripada perendaman air tawar.
Eza Marizka (2021)	STUDI KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN PENAMBAHAN BAHAN ADDITIVE REDISET LQ-1106	Penelitian Experimental	- Agregat kasar, halus dan filler - Aspal penetrasi 60/70 yang berasal dari PT Pertamina Bahan tambahan aditi <i>Rediset LQ-1106</i> berasal AkzoNobel	Menambahkan Rediset LQ-1106 dapat meningkatkan kualitas campuran aspal porus. Campuran yang mengandung 1% Rediset LQ-1106 menunjukkan peningkatan ketahanan, namun perubahan tersebut tidak signifikan. Nilai ITS campuran tersebut meningkat sebesar 20,14% yang cukup signifikan dan semakin menurun ketika kadar Rediset LQ-1106 meningkat. Campuran tersebut juga menunjukkan peningkatan ketahanan gaya tarik saat di rendam pada suhu tinggi, namun semakin menurun ketika kadar Rediset LQ-1106 meningkat. Stabilitas dinamis campuran aspal porus juga meningkat sebesar 35,88% saat kadar Rediset LQ-1106 1% dan trend menurun saat kadar Rediset LQ-1106 naik.
Muhammad Farid Nasrullohaq, Muhammad Dzaky Anshory (2023)	Analisis Campuran Aspal <i>Wearing Course</i> Modifikasi <i>High Density Polyethylene</i> dan Resin	Uji Marshall	- bahan additiv <i>Polyethylene</i> - Resin bening <i>lycal type</i> 1011/108	<i>Job mix</i> formula terbaik <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i> modifikasi <i>High Density Polyethylene</i> dan resin yang dapat digunakan dalam perkerasan jalan adalah dengan komposisi 4% Resin dengan kadar HDPE 4%, komposisi ini memiliki hasil <i>marshall test</i> . Nilai stabilitas yang dihasilkan adalah 2722 dan nilai Kelelahan Plastis (Flow) 4,61. Campuran <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i> modifikasi <i>High Density Polyethylene</i> dan resin yang tahan terhadap kelelahan plastis pada penelitian ini adalah Aspal modifikasi dengan bahan tambah HDPE 2%.

				HDPE 4%, HDPE 8%, (2% Resin + 2% HDPE), (2% Resin + 4% HDPE), (2% Resin + 8% HDPE), (4% Resin + 2% HDPE), (4% Resin + 4% HDPE), (4% Resin + 8% HDPE).
--	--	--	--	---



BAB III METODOLOGI

3.1. Tipe Penelitian

Dalam penelitian tugas akhir ini, metodologi penelitian yang digunakan yaitu metode eksperimen. Metode eksperimen merupakan pendekatan penelitian yang digunakan untuk memastikan pengaruh pemberian suatu perlakuan atau perlakuan terhadap subjek penelitian.

Penelitian jenis eksperimen dibagi menjadi dua jenis yaitu penelitian di laboratorium dan di luar laboratorium, Sukardi (2011). Penelitian ini dilakukan di dalam laboratorium dengan melakukan eksperimen terhadap modifikasi penambahan limbah plastik HDPE dan resin *lycal* terhadap campuran *Asphalt Wearing Course*.

3.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini meliputi tahap produksi benda uji, pengujian sampel dan pengujian Marshall yang dilakukan di Laboratorium Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

3.3. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.3.1. Bahan Penelitian

Beberapa bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- a. Agregat kasar, halus dan *filler* didapatkan dari AMP PT. MOHANDAS OELOENG KENDAL Jawa Tengah
- b. Menggunakan bahan aspal Penetrasi 60/70 dengan suhu percampuran 165°C
- c. Plastik HDPE (*High Density Polyethylene*) jenis polietilena ini sering dijumpai di lingkungan sekitar, seperti botol sampo, detergen dan Plastik dengan kode recycle 2. Dalam penelitian ini digunakan kadar 2%, 4%, 8% dari jumlah presentase Medium Agregat.

- d. Penelitian ini menggunakan resin jenis *hycal* yang terdiri dari 2 komponen yaitu resin dan hardener dengan perbandingan 3:1 secara umum. Dalam penelitian ini digunakan kadar 0%, 2%, 4% dari Kadar Aspal Optimum (KAO).

3.3.2. Peralatan Penelitian

Beberapa alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

a. Alat uji agregat dan *filler*

Alat abrasi Los Angeles, saringan standar untuk gradasi agregat, peralatan pengeringan, timbangan, penguji berat jenis, tangki perendaman, dan tabung Sand Equivalent adalah beberapa alat yang digunakan dalam pengujian agregat.

b. Alat uji aspal

Alat uji penetrasi, alat uji titik lembek, alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji daktilitas, alat uji berat jenis seperti piknometer dan timbangan, dan alat uji kelarutan, semuanya digunakan dalam pengujian kualitas aspal.

c. Alat uji campuran *Marshall Test*

Beberapa alat yang digunakan untuk metode *Marshall*, meliputi :

1. Alat tekan Marshall terdiri dari cincin penguji dengan kapasitas 3000 kg yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flow meter*) dan kepala penekan yang berbentuk lengkung.
2. Untuk mencetak benda uji, digunakan alat berbentuk silinder dengan diameter 10,2 cm dan tinggi 7,5 cm untuk standar Marshall, dan diameter 15,24 cm dan tinggi 9,52 cm untuk modifikasi Marshall. Alat ini dilengkapi dengan pelat dan sambungan pada lehernya.
3. Marshall automatic compactor digunakan untuk pemadatan campuran dengan 75 kali tumbukan pada setiap sisi atas dan sisi bawah
4. Ejektor digunakan untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan
5. Bak perendaman dilengkapi pengatur suhu.
6. Alat-alat yang digunakan untuk mendukung proses terdiri dari panci untuk mencampur bahan, peralatan pemanas, termometer, kipas angin, sendok untuk mengaduk, sarung tangan anti panas, sarung tangan karet,

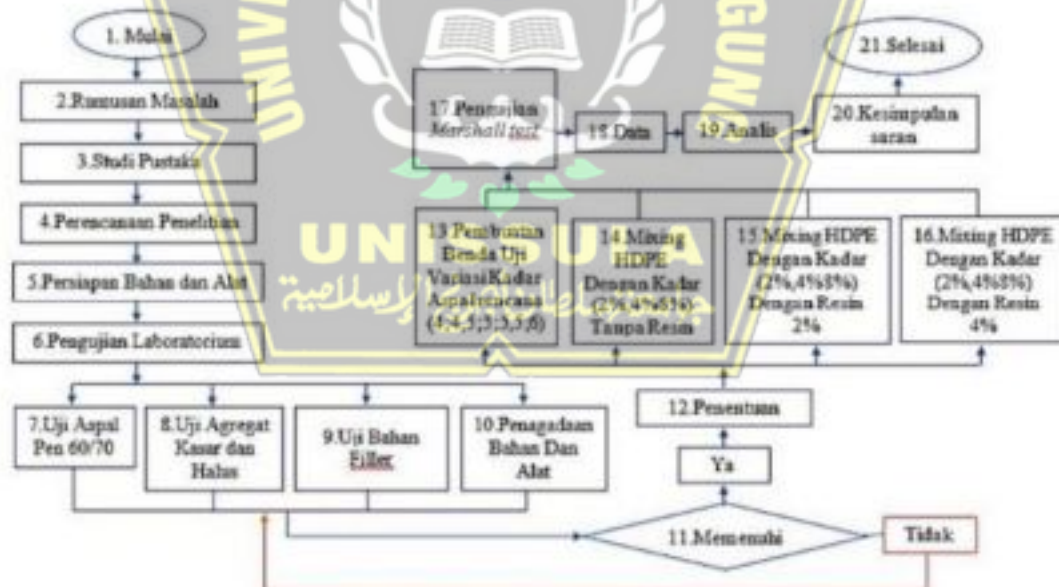
kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji yang akan diuji.

d. Alat Pencacah *High Density Polyethylene* (HDPE)

Alat yang digunakan untuk memecahkan berbagai jenis limbah plastik seperti botol minuman, botol oli, botol jerigen, dan lainnya disebut mesin pencacah limbah plastik. Namun dalam penelitian ini alat yang digunakan yaitu secara manual, seperti gunting atau *cutter* dengan ukuran 1,5cm x 1,5cm. Limbah HDPE harus dipilah dan dibersihkan untuk memisahkan limbah HDPE dengan jenis plastik lain dan membersihkan plastik dari kotoran, sehingga cocok digunakan sebagai campuran aspal. Untuk mendapatkan limbah plastik HDPE, peneliti mengumpulkan sampah plastik HDPE dari lingkungan dan tempat tinggal peneliti.

3.4. Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Berikut beberapa tahapan alur penelitian yang dilakukan, mulai dari tahap persiapan sampai hasil akhir penelitian.



Gambar 3. 1. Bagan Alir Penelitian

3.5. Prosedur Perencanaan Penelitian

langkah awal dalam penelitian ini yaitu dengan mengkaji sumber pustaka serta menyiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan dengan standar yang sesuai dari Laboratorium Penelitian AMP PT MOHANDAS OELOENG KENDAL.

Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Society for Testing Materials* (ASTM) merupakan acuan standar pengujian yang dipatuhi, terutama dalam pemeriksaan bahan campuran aspal sehingga memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Pemeriksaan agregat kasar dan halus meliputi hal-hal berikut:

- a. Berat Jenis Agregat Kasar mengacu pada SNI 1969:2008 dan Penyerapan Agregat kasar mengacu pada SNI 1969:2008.
- b. Abrasi atau Tingkat Keausan Agregat Kasar mengacu pada SNI 2417:2008.
- c. Partikel Pipih dan Lonjong mengacu pada ASTM D 4791-95.
- d. Daya Lekat Agregat terhadap Aspal mengacu pada SNI-06-2439-1991.
- e. *Soundness* atau Uji Sifat Kekekalan Bentuk agregat mengacu pada SNI 3407:2008.
- f. Berat Jenis Agregat Halus mengacu pada SNI 1970:2008 dan Penyerapan Agregat Halus mengacu pada SNI 1970:2008.
- g. Kadar Lumpur/ Sand Equivalent Test mengacu pada SNI 3423:2008.
- h. Analisis Butiran mengacu pada SNI-M-02-1994-03.
- i. Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal PEN 60/70. Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan yaitu :
 - a. Pemeriksaan penetrasi aspal mengacu pada SNI 06-2456-1991.
 - b. Pemeriksaan titik lembek mengacu pada SNI 06-2434-1991.
 - c. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar mengacu pada SNI 06-2433-1991.
 - d. Pemeriksaan penurunan berat minyak pada aspal mengacu pada SNI 06-2240-1991.
 - e. Pemeriksaan kelarutan aspal dalam karbon tetraklorida/ CCl_4 mengacu pada ASTM D5546.
 - f. Pemeriksaan daktilitas mengacu pada SNI 06-2432-1991.
 - g. Pemeriksaan berat jenis bitumen mengacu pada SNI 06-2441-1991.
 - h. Penetrasi setelah RTFOT mengacu pada SNI 06-2456-1991.

Langkah selanjutnya adalah proses perancangan dan produksi sampel benda uji yang akan digunakan untuk penelitian dengan metode Marshall. Setelah semua bahan penyusun campuran aspal, termasuk agregat dan aspal PEN 60/70, telah diuji dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian spesimen standar Marshall sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-

44-81, dan ASTM D-2042-76). berdasarkan variasi kadar aspal, desain dan produksi benda uji atau campuran aspal akan dihitung dengan persamaan sehingga menghasilkan KAO (Kadar Aspal Optimum). Variasi kadar aspal 4; 4,5; 5; 5,5; 6 merupakan kadar yang digunakan dalam penelitian, terdiri dari 3 sampel dari setiap kadar yang dapat dilihat pada Tabel 3.1

Tabel 3. 1. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan KadarAspal Optimum

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

Pengambilan sampel benda uji dilakukan setelah ditentukan komposisi campuran aspal. Aspal memiliki ukuran temperatur dengan viskositas kenematik $170+20$ centistokes (cSt) merupakan temperatur percampuran dengan material agregat, kemudian untuk ukuran temperatur pemadatan aspal, yaitu dengan viskositas kenematik $280+30$ centistokes (cSt). Suhu percampuran aspal umumnya memiliki suhu antara 145 dan 155 derajat celcius, sedangkan suhu pemadatan berada di bawah suhu percampuran aspal, yaitu antara 110 dan 135 derajat celcius. Hal ini dikarenakan tidak dilakukannya pengujian viskositas kenematik aspal.

Tabel 3. 2. Jumlah Benda Uji untuk Variasi Aspal Filler

No	Jenis	Jumlah	Total
1	HDPE kadar 2%	1	3 buah
2	HDPE kadar 4%	1	3 buah
3	HDPE kadar 8%	1	3 buah
4	HDPE kadar 2% dengan kadar resin 2%	1	3 buah
5	HDPE kadar 4% dengan kadar resin 2%	1	3 buah
6	HDPE kadar 8% dengan kadar resin 2%	1	3 buah
7	HDPE kadar 2% dengan kadar resin 4%	1	3 buah
8	HDPE kadar 4% dengan kadar resin 4%	1	3 buah
9	HDPE kadar 8% dengan kadar resin 4%	1	3 buah
Total Keseluruhan Benda Uji			27 buah

Setelah komposisi campuran aspal ditentukan produksi sampel benda uji dilakukan dengan membuat benda uji berbentuk silinder, kemudian sampel

direndam dalam air pada suhu 60 derajat Celcius selama 30 menit, kemudian diuji dengan alat Marshall untuk mengetahui data empiris (stabilitas, kelelahan dan *Marshall Quotient*). Setelah data Marshall seperti stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient* didapat, kemudian dianalisis untuk menemukan komposisi campuran aspal yang ideal.

Setelah melakukan serangkaian penelitian dan mengumpulkan data, tahap berikutnya adalah sebagai berikut:

- a. Menganalisa hasil pengujian material campuran aspal untuk memastikan hasil tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi Teknis Bina Marga tahun 2018.
- b. Menyajikan data perubahan nilai stabilitas, kelelahan, Marshall Quotient, jumlah celah dalam campuran, jumlah celah dalam agregat mineral, jumlah celah yang terisi aspal, dan nilai stabilitas sisa saat campuran direndam dalam air perendaman yang telah ditentukan selama berbagai waktu, dengan mengetahui apakah ada peningkatan atau penurunan dari parameter-parameter tersebut.

3.6. Metode Pengujian Marshall

Stabilitas dan Kelelahan Plastis (Flow) didapatkan melalui pengujian Marshall. Campuran aspal panas dipadatkan dengan menggunakan *Marshall Compaction Hammer*, sehingga membentuk benda uji berbentuk silinder yang kemudian diuji dengan menggunakan alat Marshall Test.

3.6.1. Tahap Pengujian Marshall

1. Menimbang material agregat dan bahan tambah sesuai dengan rancangan campuran pada cawan kemudian oven pada temperatur $110 \pm 5^\circ \text{C}$.
2. Panaskan aspal sampai mencapai tingkat kekentalan tertentu.
3. Campurkan komposisi material dengan aspal sampai aspal menyelimuti material secara merata
4. Siapkan cetakan benda uji berbentuk silinder dalam kondisi panas dengan suhu $93,3 - 148,9^\circ \text{C}$.
5. Kemudian campuran aspal panas dimasukkan ke dalam cetakan benda uji, lalu tusuk pada bagian sisi dengan alat tusuk sebanyak 15 kali dan 10 kali pada bagian tengah agar campuran merata di dalam cetakan.

6. Benda uji dipadatkan dengan alat penumbuk sebanyak 75 tumbukan pada setiap sisi benda uji.
7. Sematkan penanda pada setiap benda uji.
8. Keluarkan benda uji dari cetakan dengan dongkrak dan biarkan pada temperatur ruang selama 24 jam.
9. Bersihkan benda uji yang kotor.
10. Timbang benda uji di udara, di dalam air dan dalam kondisi SSD untuk menentukan kepadatan.
11. Rendam benda uji di dalam wadah berisikan air dengan suhu 60 °C selama 24 jam.
12. Test benda uji dengan alat uji Marshall.
13. Masukkan semua data properties kemudian hitung untuk menentukan kadar aspal optimum dan sifat percampuran aspal.

3.7. Aspal

Komponen utama dari aspal adalah senyawa hidrokarbon, termasuk Aromat, Napathen, dan Alkan. Karena karakteristik unik dari aspal ini, spesifikasi menjadi ketetapan dalam standar nasional Indonesia (SNI) untuk memastikan kualitas aspal yang diinginkan. Beberapa pengujian yang dilakukan untuk menjamin kualitas aspal ini meliputi:

- a. Pengambilan sampel aspal untuk analisis
 - b. Uji penetrasi
 - c. Uji titik lembek
 - d. Uji daktilitas
 - e. Uji titik nyala dan titik bakar
- Prosedur untuk setiap jenis pengujian ini diatur dalam SNI.

Aspal yang memiliki komponen non-logam lebih banyak daripada aspal non-logam yang lebih sedikit akan lebih cepat teroksidasi dengan udara. Sedangkan unsur non-logam, unsur karbon bereaksi dengan udara lebih lambat. Aspal akan lebih mudah rapuh sehingga mudah untuk mengalami proporsi atau berat unsur non logam, seperti nitrogen dan belerang. Jumlah komponen non-logam dalam aspal, diukur sebagai persentase beratnya.

Titik lembek menjadi faktor penentu yang mempengaruhi kualitas pengikat aspal salah satunya yaitu tinggi rendahnya kualitas aspal pengikat. Semakin tinggi titik lembeknya, semakin tinggi kualitasnya.

3.8. Sifat-sifat Campuran Aspal

a. Rongga di Dalam Campuran (VIM)

VIM (Voids in the Mineral Aggregate) adalah banyaknya pori di antara butiran agregat yang diselimuti oleh aspal dalam beton aspal. Nilainya dari volume beton aspal dinyatakan dalam persentase.

b. Rongga Terisi Aspal (VFB)

Persentase dari rongga yang terisi oleh aspal disebut dengan VFA. VFA merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, yang tidak termasuk aspal yang diserap oleh masing-masing butir agregat. Perhitungan VFA berdasarkan volume beton aspal.

c. Rongga Diantara Mineral Agregat (VMA)

Rongga diantara mineral agregat (VMA = *voids in the mineral aggregate*), merupakan banyaknya pori di antara butiran agregat di dalam beton aspal padat, nilainya dinyatakan dalam persentase.

d. Stabilitas

Faktor terpenting dalam aspal adalah stabilitas yang cukup untuk bertahan dari deformasi plastis dan peleburan yang disebabkan adanya beban dinamis dan statis dari lalu lintas tanpa menyebabkan bekas roda, pengurangan atau peningkatan permukaan perkerasan jalan. Jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang diharapkan pada rute tersebut akan menentukan persyaratan stabilitas perkerasan. Gesekan antara butiran, penguncian antar partikel, dan kepatuhan yang unggul terhadap aspal semuanya berkontribusi pada stabilitas. Nilai satuan stabilitas dalam kg atau KN.

e. Kelelehan Plastis (*Flow*)

Kelelehan plastis (*flow*) adalah suatu kondisi di mana bentuk campuran aspal berubah saat dibebani melebihi batas keruntuhannya, dinyatakan dalam satuan mm atau inch. Jika nilai flow tinggi, campuran terlihat plastis

karena kadar aspal tinggi, sedangkan jika rendah akan menunjukkan campuran kaku karena kadar aspal rendah.

f. Marshall Quotient

Marshall Quotient adalah hasil perbandingan antara stabilitas dan kelelahan plastis yang ditunjukkan dalam satuan kg/mm. Campuran yang memiliki indeks Marshall tinggi menunjukkan tingkat stabilitas yang tinggi dan tingkat kelelahan plastis yang rendah, yang bersifat kaku dan meningkatkan kemungkinan retak pada perkerasan saat mengalami tekanan lalu lintas. Di sisi lain, kombinasi dengan plastisitas tinggi dan stabilitas yang buruk menghasilkan MQ yang rendah, membuatnya lebih cenderung menjadi tidak stabil dan plastis.

3.9. Metode Analisis

Prosedur penelitian agregat untuk penelitian ini dilakukan dalam 9 (sembilan) tahap berikut dengan menggunakan metodologi eksperimen di Laboratorium Material Perkerasan Jalan :

Tahap I : Menyiapkan beberapa hal yang akan dilakukan dalam penelitian ini, persiapan tersebut meliputi :

1. Persiapan material bahan agregat, aspal dan bahan lain yang digunakan.
2. Persiapan peralatan penelitian akan digunakan.
3. Persiapan form data pengujian untuk mengolah data hasil pengujian

Tahap II : Memeriksa bahan yang digunakan dalam penelitian ini melalui pengujian .

1. Pengujian material agregat yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi :
 - Uji berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus.
 - Melakukan analisa saringan terhadap agregat kasar dan halus.
2. Pengujian bahan aspal dalam penelitian ini meliputi :
 - Uji berat jenis aspal.
 - Uji penetrasi
 - Uji daktilitas
 - Uji titik lembek.
 - Uji titik nyala dan titik bakar

Tahap III :

- Merancang campuran (Mix Design) untuk menentukan kadar aspal Optimum. Pada tahap ini dilakukan pembuatan benda uji dengan variasi kadar aspal 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6%.
- Merancang kombinasi agregat menggunakan agregat batu belah kombinasi agregat 100% batu belah kemudian ditambahkan campuran (2%, 4%, 8%) HDPE dan (0%, 2%, 4%) Resin.
- Pencacahan HDPE dilakukan sebelum penyiapan bahan pengujian dengan kebutuhan limbah plastik 2%, 4%, 8% dari jumlah presentase agregat medium.
- Penambahan Resin Lycal dilakukan bersamaan dengan penyiapan benda uji dengan kadar 0%, 2%, 4% dari kadar aspal Optimum

Tahap IV : Untuk mendapatkan kadar aspal optimum (KAO) digunakan uji Marshall dengan menimbang berat kering, berat SSD, dan berat sampel dalam air yang sudah dilakukan sebelumnya, selanjutnya dilakukan uji Marshall untuk mendapatkan data stabilitas dan flow.

Tahap V : Menguji sampel pada KAO untuk menguji bagaimana daya tahan dan karakteristik Marshall dipengaruhi oleh pengujian perendaman standar untuk Marshall Uji perendaman standar melibatkan perendaman spesimen dalam air yang memiliki suhu konstan 60 ° C selama 30 menit dan kemudian direndam selama 24 jam.

Tahap VI : Kemudian proses pengujian dan analisa Marshall untuk mengetahui stabilitas Marshall, Flow (kelelehan Plastis), Rongga dalam campuran, Rongga dalam mineral dan Stabilitas Marshall sisa.

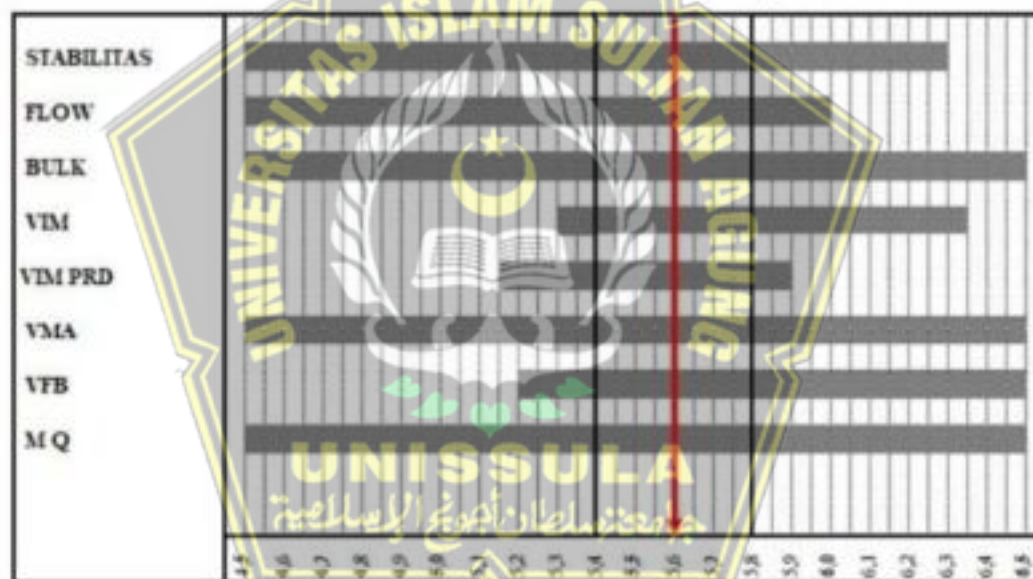
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Sifat- Sifat Campuran Aspal Panas dengan Metode Marshall

Hasil pengujian campuran aspal panas menggunakan metode Marshall menunjukkan bahwa kadar aspal yang paling baik adalah 5,6%. Stabilitas campuran setelah direndam air selama 24 jam dengan suhu 60° C dihitung dengan rasio 1001:1078 dan diperoleh persentase stabilitas 92,88%.

Untuk menentukan kadar aspal yang sesuai, dilakukan variasi kadar aspal 4, 4,5, 5, 5,5, dan 6. Kemudian dipilih kadar aspal yang terbaik dari hasil pengujian variasi tersebut dengan membuat 3 sampel benda uji untuk setiap variasi kadar aspal.

Tabel 4.1. Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum



KADAR ASPAL TERPILIH = 5,6%

Setelah melakukan pengujian didapatkan hasil yang dapat dilihat melalui grafik rekapitulasi sifat campuran aspal di atas. Dari grafik tersebut di antara batas atas dan batas bawah merupakan kadar aspal terbaik sehingga dapat disimpulkan bahwa Kadar Aspal Optimum adalah 5,6%.

4.2. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Dalam perencanaan campuran aspal modifikasi peneliti menggunakan HDPE dengan kadar 2%, 4%, 8%, dan resin 0%, 2%, 4%. Berikut rancangan campuran aspal yang telah direncanakan.

Tabel 4.2. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 2% dan Resin 0%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40,2	482,4 g
2	Pasir	3	36 g
3	Resin	0	0 g
4	Medium Agregat	25	300 g
5	Coarse Agregat	25	300 g
6	Filler	1,2	14 g
7	Aspal	5,6	62,8 g
8	HDPE	2	6 g
Total		100 %	1201,2 gram

Tabel 4.3. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 4% dan Resin 0%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Pasir	3	36 g
3	Resin	0	0 g
4	Medium Agregat	25	300 g
5	Coarse Agregat	25	300 g
6	Filler	1,2	14 g
7	Aspal	5,6	62,8 g
8	HDPE	4	12 g
Total		100 %	1202,8 gram

Tabel 4.4. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 8% dan Resin 0%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Pasir	3	36 g
3	Resin	0	0 g
4	Medium Agregat	25	300 g
5	Coarse Agregat	25	300 g
6	Filler	1,2	14 g
7	Aspal	5,6	62,8 g
8	HDPE	8	24 g
Total		100 %	1216,8 gram

Tabel 4.5. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 2% dan Resin 2%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Pasir	3	36 g
3	Resin	2	1,256 g
4	<i>Medium Agregat</i>	25	300 g
5	<i>Coarse Agregat</i>	25	300 g
6	<i>Filler</i>	1,2	14 g
7	Aspal	5,6	62,8 g
8	HDPE	2	6 g
Total		100 %	1200,056 gram

Tabel 4.6. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 4% dan Resin 2%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Pasir	3	36 g
3	Resin	2	1,256 g
4	<i>Medium Agregat</i>	25	300 g
5	<i>Coarse Agregat</i>	25	300 g
6	<i>Filler</i>	1,2	14 g
7	Aspal	5,6	62,8 g
8	HDPE	4	12 g
Total		100 %	1206,056 gram

Tabel 4.7. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 8% dan Resin 2%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Pasir	3	36 g
3	Resin	2	1,256 g
4	<i>Medium Agregat</i>	25	300 g
5	<i>Coarse Agregat</i>	25	300 g
6	<i>Filler</i>	1,2	14 g
7	Aspal	5,6	62,8 g
8	HDPE	8	24 g
Total		100 %	1218,056 gram

Tabel 4.8. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 2% dan Resin 4%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Pasir	3	36 g
3	Resin	4	2,512 g
4	<i>Medium Agregat</i>	25	300 g
5	<i>Coarse Agregat</i>	25	300 g
6	<i>Filler</i>	1,2	14 g
7	Aspal	5,6	62,8 g
8	HDPE	2	6 g
Total		100 %	1201,312 gram

Tabel 4.9. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 4% dan Resin 4%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Pasir	3	36 g
3	Resin	4	2,512 g
4	<i>Medium Agregat</i>	25	300 g
5	<i>Coarse Agregat</i>	25	300 g
6	<i>Filler</i>	1,2	14 g
7	Aspal	5,6	62,8 g
8	HDPE	4	12 g
Total		100 %	1207,312 gram

Tabel 4.10. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 8% dan Resin 4%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Abu Batu	40	480 g
2	Pasir	3	36 g
3	Resin	4	2,512 g
4	<i>Medium Agregat</i>	25	300 g
5	<i>Coarse Agregat</i>	25	300 g
6	<i>Filler</i>	1,2	14 g
7	Aspal	5,6	62,8 g
8	HDPE	8	24 g
Total		100 %	1219,312 gram

4.3. Hasil Pengujian Bahan

Pengujian terhadap agregat kasar, agregat halus, bahan *filler*, dan pengujian aspal penetrasi 60/70 merupakan pengujian bahan yang terlaksana dalam penelitian ini.

4.3.1. Hasil Pengujian Agregat

Tabel 4.11. Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

Jenis Material		AGREGAT I									
Contoh Nomor		: 01					: 02				
Ukuran	Berat	Kumulatif			Ukuran	Berat	Kumulatif			Rata -	
Saringan	Tertahan	Berat	Tertahan	Lolos	Saringan	Tertahan	Berat	Tertahan	Lolos	rata	
	Individu	Tertahan				Individu	Tertahan			Lolos	
Inchi	(gram)	(gram)	(%)	(%)	Inchi	(gram)	(gram)	(%)	(%)	(%)	
1 1/2"		0	0,0	100,0	1 1/2"		0	0,0	100,0	100,0	
1"		0	0,0	100,0	1"		0	0,0	100,0	100,0	
3/4"		0	0,0	100,0	3/4"		0	0,0	100,0	100,0	
1/2"		995	31,5	68,5	1/2"	1.014	32,9	67,1	67,9	67,9	
3/8"		1.825	57,8	42,2	3/8"	1.789	58,0	42,0	42,1	42,1	
# 4		2.712	86,6	14,0	# 4	2.649	85,8	14,2	14,1	14,1	
# 8		3.100	96,4	1,5	# 8	3.043	98,6	1,4	1,4	1,4	
# 16					# 16						
# 30					# 30						
# 50					# 50						
# 100					# 100						
# 200					# 200						
Berat Sampel		3.155 gram			Berat Sampel		3.086 gram				

Hasil analisis saringan agregat pada Agregat I menunjukkan bahwa agregat yang melewati saringan ukuran 1/2" dan tertahan pada saringan ukuran 3/8" atau 9,52 mm sebanyak 57,8%. Sementara agregat yang melewati saringan ukuran 3/8" tapi tertahan pada saringan No. 4 atau 4,76 mm sebanyak 14%

Tabel 4.12. Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

Jenis Material		AGREGAT II									
Contoh Nomor		: 01					: 02				
Ukuran	Berat	Kumulatif			Ukuran	Berat	Kumulatif			Rata -	
Saringan	Tertahan	Berat	Tertahan	Lolos	Saringan	Tertahan	Berat	Tertahan	Lolos	rata	
	Individu	Tertahan				Individu	Tertahan			Lolos	
Inchi	(gram)	(gram)	(%)	(%)	Inchi	(gram)	(gram)	(%)	(%)	(%)	
1 1/2"		0,0	0,0	100,0	1 1/2"		0,0	0,0	100,0	100,0	
1"		0,0	0,0	100,0	1"		0,0	0,0	100,0	100,0	
3/4"		0,0	0,0	100,0	3/4"		0,0	0,0	100,0	100,0	
1/2"		0,0	0,0	100,0	1/2"		0,0	0,0	100,0	100,0	
3/8"		412,2	15,4	84,6	3/8"	528,6	19,1	80,9	82,8	82,8	
# 4		1640,6	61,2	38,8	# 4	1753,8	65,4	36,6	37,7	37,7	
# 8		2170,8	88,4	11,6	# 8	2453,7	88,7	11,3	11,4	11,4	
# 16		2556,6	95,4	4,6	# 16	2646,2	95,6	4,4	4,5	4,5	
# 30		2659,9	99,2	0,8	# 30	2748,8	99,3	0,7	0,7	0,7	
# 50		2677,9	99,9	0,1	# 50	2766,9	100,0	0,0	0,0	0,0	
# 100					# 100						
# 200					# 200						
Berat Sampel		2680,5 gram			Berat Sampel		2766,9 gram				

Hasil analisis saringan agregat pada Agregat II menunjukkan bahwa 100% sampel melewati saringan ukuran 1/2" tetapi tertahan pada saringan ukuran 3/8" atau 9,52 mm, yang sebanyak 85%. Sementara itu, sebanyak 88% dari sampel analisis

saringan medium melewati saringan ukuran 3/8" tetapi tertahan pada saringan No. 4 atau 4,76 mm sebanyak 61,2%.

Tabel 4. 13. Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

Jenis Material		AGREGAT III									
Nomor		: 01			Nomor		: 02				
Ukuran	Berat	Kumulatif			Ukuran	Berat	Kumulatif			Rata -	
Saringan	Tertahan	Berat	Tertahan	Lolos	Saringan	Tertahan	Berat	Tertahan	Lolos	rata	
Inchi	Individu	Tertahan	(%)	(%)	Inchi	Individu	Tertahan	(%)	(%)	Lolos	
	(gram)	(gram)				(gram)	(gram)				
1 1/2"		0,0	0,0	100,0	1 1/2"		0,0	0,0	100,0	100,0	
1"		0,0	0,0	100,0	1"		0,0	0,0	100,0	100,0	
3/4"		0,0	0,0	100,0	3/4"		0,0	0,0	100,0	100,0	
1/2"		0,0	0,0	100,0	1/2"		0,0	0,0	100,0	100,0	
3/8"		0,0	0,0	100,0	3/8"		0,0	0,0	100,0	100,0	
# 4		0,0	0,0	100,0	# 4		0,0	0,0	100,0	100,0	
# 8		125,2	24,3	75,7	# 8		129,3	24,6	75,4	75,6	
# 16		237,2	49,9	50,1	# 16		260,2	49,5	50,5	50,3	
# 30		329,9	64,0	36,0	# 30		337,5	64,2	35,8	35,9	
# 50		382,9	74,3	25,7	# 50		388,5	73,9	26,1	25,9	
# 100		444,3	86,2	13,8	# 100		451,5	85,9	14,1	14,0	
# 200		461,3	89,5	10,5	# 200		471,6	89,7	10,3	10,4	
Berat Sampel		515,4 gram			Berat Sampel		525,7 gram				

Agregat halus terbagi pada setiap saringan dari hasil analisis saringan agregat kasar pada Agregat III menunjukkan bahwa semua sampel lolos saringan ukuran 1/2" tetapi tertahan pada saringan ukuran 3/8" atau 9,52 mm, yaitu sebanyak 100%. Sementara itu 100% dari total sampel analisis saringan medium termasuk agregat yang lolos saringan ukuran 3/8" tetapi tertahan pada saringan No. 4 atau 4,76 mm sebanyak 100%.

Tabel 4.14. Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

Jenis Material		FILLER SEMEN									
Nomor		: 01			Nomor		: 02				
Ukuran	Berat	Kumulatif			Ukuran	Berat	Kumulatif			Rata -	
Saringan	Tertahan	Berat	Tertahan	Lolos	Saringan	Tertahan	Berat	Tertahan	Lolos	rata	
Inchi	Individu	Tertahan	(%)	(%)	Inchi	Individu	Tertahan	(%)	(%)	Lolos	
	(gram)	(gram)				(gram)	(gram)				
1 1/2"		0,0	0,0	100,0	1 1/2"		0,0	0,0	100,0	100,0	
1"		0,0	0,0	100,0	1"		0,0	0,0	100,0	100,0	
3/4"		0,0	0,0	100,0	3/4"		0,0	0,0	100,0	100,0	
1/2"		0,0	0,0	100,0	1/2"		0,0	0,0	100,0	100,0	
3/8"		0,0	0,0	100,0	3/8"		0,0	0,0	100,0	100,0	
# 4		0,0	0,0	100,0	# 4		0,0	0,0	100,0	100,0	
# 8		0,0	0,0	100,0	# 8		0,0	0,0	100,0	100,0	
# 16		0,0	0,0	100,0	# 16		0,0	0,0	100,0	100,0	
# 30		0,0	0,0	100,0	# 30		0,0	0,0	100,0	100,0	
# 50		0,0	0,0	100,0	# 50		0,0	0,0	100,0	100,0	
# 100		0,0	0,0	100,0	# 100		0,0	0,0	100,0	100,0	
# 200		4,0	1,5	98,5	# 200		5,0	1,7	98,3	98,4	
Berat Sampel		308,0 gram			Berat Sampel		300,0 gram				

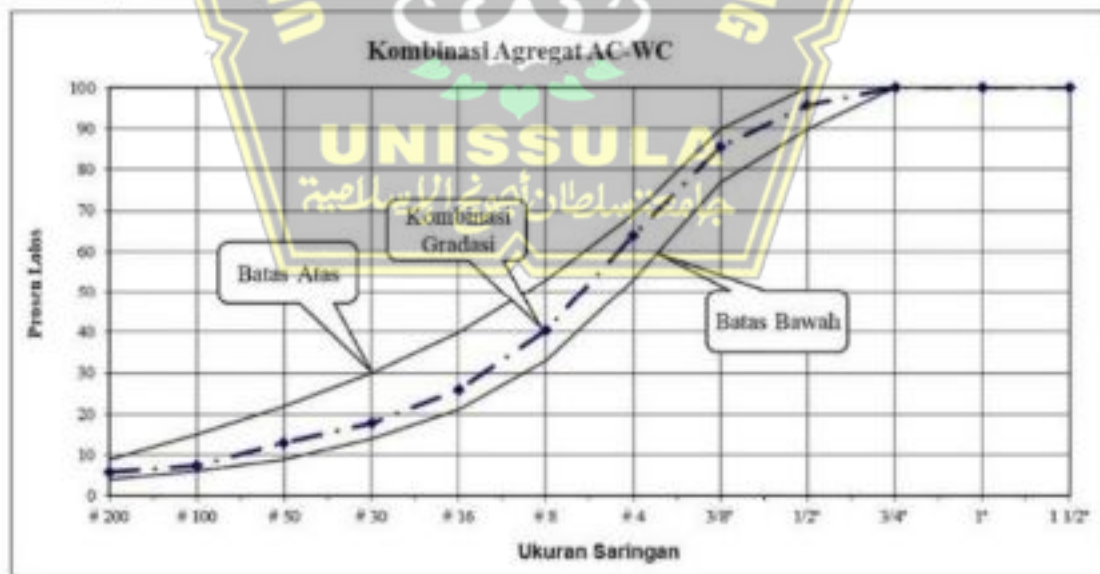
Dalam analisis saringan *filler* Semen, sebanyak 2% dari total sampel tergolong sebagai agregat yang tertahan pada saringan No. 200 atau 200 mm, sedangkan sisanya tersebar di setiap saringan lainnya. Pada tabel Analisa Pembagian Butiran

jenis material *filler* Semen semua material lolos saringan ukuran 1" sampai dengan saringan No. 100 atau 100 mm kecuali pada saringan No. 200 sebanyak 98,5%.

Tabel 4.15. Perhitungan Kombinasi Agregat
(SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88)

Ukuran		Hasil Analisa Saringan										SPESIFIKASI		Faktor Lain
Saringan		AGREGAT	AGREGAT I		AGREGAT II		AGREGAT III		FILLER		Komb.	2010 (Rev.3)		Permukaan
Inchi	mm		100	13	100	40	100	46	100	1	Agregat	Min	Max	Agregat
1 1/2"	37.5		100.0	13.0	100.0	40.0	100.0	46.0	100.0	1.0	100.0	100.0	100.0	s 0.41
1"	25.4		100.0	13.0	100.0	40.0	100.0	46.0	100.0	1.0	100.0	100.0	100.0	s 0.41
3/4"	19.1		100.0	13.0	100.0	40.0	100.0	46.0	100.0	1.0	100.0	100.0	100.0	s 0.41
1/2"	12.7		67.8	8.8	100.0	40.0	100.0	46.0	100.0	1.0	95.8	90.0	100.0	s 0.41
3/8"	9.5		42.1	5.5	82.8	33.1	100.0	46.0	100.0	1.0	85.6	77.0	90.0	s 0.41
# 4	4.75		14.1	1.8	37.7	15.1	100.0	46.0	100.0	1.0	63.9	33.0	60.0	s 0.41
# 8	2.36		1.4	0.2	11.4	4.6	75.6	34.8	100.0	1.0	40.5	33.0	33.0	s 0.82
# 16	1.18		0.0	0.0	4.5	1.8	50.3	23.1	100.0	1.0	25.9	21.0	40.0	s 1.64
# 30	0.60		0.0	0.0	0.7	0.5	25.9	16.5	100.0	1.0	17.8	14.0	30.0	s 2.87
# 50	0.30		0.0	0.0	0.0	0.0	25.9	11.9	100.0	1.0	12.9	9.0	22.0	s 6.14
# 100	0.15		0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	6.2	100.0	1.0	7.4	6.0	15.0	s 12.29
# 200	0.075		0.0	0.0	0.0	0.0	10.4	4.0	98.4	1.0	5.8	4.0	9.0	s 32.77
Jumlah Luas Permukaan Agregat (m ² /kg)												5.54		

Agregat halus tersebar di setiap saringan melalui hasil analisis saringan agregat pada Agregat I, II, III menunjukkan bahwa semua sampel melewati saringan ukuran 1/2" tetapi tertahan pada saringan ukuran 3/8" atau 9,52 mm. Sementara itu, semua sampel analisis saringan medium termasuk agregat yang melewati saringan ukuran 3/8" tetapi tertahan pada saringan No. 4 atau 4,76 mm.



Gambar 4.1. Grafik Kombinasi Agregat

Tabel 4. 16. Grafik Kombinasi Agregat

No. Saringan	Persentase Lolos (%)	Spesifikasi	
	Kombinasi Lolos (%)	Batas Bawah (%)	Batas Atas (%)
# 200	5,8	4,0	9,0
# 100	7,4	6,0	15,0
# 50	12,9	9,0	22,0
# 30	17,8	14,0	30,0
# 16	26,0	21,0	40,0
# 8	40,7	33,0	53,0
# 4	64,1	53,0	69,0
3/8"	85,4	77,0	90,0
1/2"	94,3	90,0	100,0
3/4"	100,0	100,0	100,0
1"	100,0	100,0	100,0
1 1/2"	100,0	100,0	100,0

Persentase agregat yang lolos dari setiap saringan harus sesuai antara batas atas dan batas bawah yang ditentukan untuk setiap jenis agregat yang disaring. Jika terdapat agregat yang melebihi batas atas atau batas bawah, maka penggunaan agregat tersebut tidak diizinkan untuk dipakai sebagai bahan dalam pengisian AC - WC.

4.3.2. Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70

Pengujian aspal Pen 60/70 memiliki tujuan untuk mengetahui karakteristik utama dalam campuran aspal yang dapat diaplikasikan dalam perkerasan lentur. Pengujian tersebut meliputi penetrasi, viskositas, titik lembek, daktilitas, dan titik nyala. Berdasarkan dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/ 1976 Bina Marga hasil pengujian aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17. Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70

No	Jenis pengujian	Metoda	Pen 60/70	
			Spesifikasi	Hasil Uji
1	Penetrasi pada 25°C (dmm)	SNI 06-2456-1991	60-79	68
2	Viskositas 135°C (cSt)	SNI 06-6441-1991	≥ 385	417
3	Titik Lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥ 48	51
4	Indeks Penetrasi	-	≥ -1,0	-0,2
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI-06-2432-1991	≥ 100	> 100
6	Titik Nyala (°C)	SNI-06-2433-1991	≥ 232	329
7	Kelarutan dlm Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-03	≥ 99	99,91
8	Berat Jenis	SNI-06-2441-1991	≥ 1,0	1,037
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002):				
9	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8	0,0027
10	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥ 54	91

karakteristik aspal Pen 60/70 yang digunakan dalam penelitian ini sudah memenuhi semua persyaratan berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan. Adapun untuk nilai indeks penetrasi yang menunjukkan hasil negatif akan berdampak terhadap hasil pengujian kinerja campuran, karena karakter aspal pen 60/70 ini sangat dipengaruhi oleh temperatur yang mengalami perubahan.

4.4. Pembuatan Benda Uji

Dalam proses pembuatan benda uji, kadar aspal yang digunakan adalah 5,6% dengan variasi kadar yang digunakan adalah 2%, 4%, 8% untuk HDPE dan 0%, 2%, 4% untuk resin. Setiap variasi kadar HDPE dan resin akan dihasilkan 3 buah benda uji, sehingga jumlah benda uji yang dihasilkan adalah 32 sampel.

Tabel 4. 18. Pembagian Pembuatan Benda Uji

No	Jenis	Satuan	Total
1	kadar aspal variasi (4; 4,5; 5; 5,5; 6)	3	15 buah
2	HDPE kadar 2%	1	3 buah
3	HDPE kadar 4%	1	3 buah
4	HDPE kadar 8%	1	3 buah
5	HDPE kadar 2% dengan kadar resin 2%	1	3 buah
6	HDPE kadar 4% dengan kadar resin 2%	1	3 buah
7	HDPE kadar 8% dengan kadar resin 2%	1	3 buah
8	HDPE kadar 2% dengan kadar resin 4%	1	3 buah
9	HDPE kadar 4% dengan kadar resin 4%	1	3 buah
10	HDPE kadar 8% dengan kadar resin 4%	1	3 buah
Total Keseluruhan Benda Uji			32 buah

Setiap komposisi terdiri dari 3 buah benda uji yang akan dibandingkan, apabila salah satu benda uji ada yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknis Bina Marga revisi 2 tahun 2018 sedangkan dua benda uji lainnya sudah sesuai spesifikasi yang ada maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.

4.5. Hasil Pengujian Marshall

Setiap benda uji akan dilakukan uji Marshall untuk mendapatkan *job mix* terbaik. setiap 3 benda uji memiliki komposisi yang berbeda sehingga akan mendapatkan rata-rata hasil yang berbeda.

4.6.1. Hasil Pengujian Marshall Komposisi HDPE Tanpa Resin

Campuran aspal dengan kadar HDPE 2%, 4%, dan 8% tanpa campuran resin memiliki hasil uji Marshall yang berbeda, berikut perinciannya.

1. Campuran HDPE 2%

Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 2% tanpa campuran resin dapat diamati pada tabel uji Marshall berikut..

Tabel 4.19. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 2% tanpa resin

Berat Jenis Aspal : 1.037 G _{se} : 2.638 G _{sb} : 2.656													
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat sed	volume	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (vma)	% rongga dalam camp (vim)	% rongga terisi aspal (vfb)	stabilitas		kelelahan plastis (flow)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	100 - (100 - b) + b / g _{se} × 1	100 - (100 - b) / g _{sb}	100 - (100 * g) / h	100(i - j) / i			
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
1(2% HDPE)	5,60	1195.0	693.0	1196.2	503.2	2.375					124	1359	5.40
2(2% HDPE)	5,60	1186.0	686.0	1182.8	496.8	2.387					141	1545	8.80
3(2% HDPE)	5,60	1188.0	689.0	1191.0	502.0	2.367					101	1107	6.70
rata - rata =	5,60					2.376	2.452	15.54	3.08	80.21		1337	6.97

Pada komposisi menggunakan HDPE kadar 2% tanpa resin dibuat 3 benda uji dimana masing-masing berat sesudah dilakukan perendaman adalah 1196,2 gram, 1182,8 gram, 1191 gram dan dihasilkan nilai rongga dalam campuran (VIM) rata-rata 3,08%.

Tabel 4.20. Hasil rekap pengujian Marshall komposisi HDPE 2% tanpa resin

No.	Sifat-Sifat Campuran	Hasil	Spesifikasi
1	Rongga dalam Campuran (VIM)	3,08	3,0 – 5,0 %
2	Rongga Terhadap Agregat (VMA)	15,54	Min. 15 %
3	Rongga Terisi Aspal (VFB)	80,21	Min. 65 %
4	Stabilitas Marshall	1337	Min. 1000 kg
5	Kelelehan Plastis (Flow)	6,97	Min. 3 mm
6	Marshall Quotient	191,9	Min. 300 kg/mm

Pada aspal modifikasi komposisi 2% HDPE tanpa menggunakan campuran resin dihasilkan nilai Rongga Udara (VIM) memenuhi nilai minimum spesifikasi yaitu antara 3,0 – 5,0% dan nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelehan Plastis (Flow) yang sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Sehingga aspal modifikasi komposisi 2%HDPE dapat digunakan sebagai perkerasan jalan.



Tabel 4.22. Hasil rekap pengujian Marshall komposisi HDPE 4% tanpa resin

No.	Sifat-Sifat Campuran	Hasil	Spesifikasi
1	Rongga dalam Campuran (VIM)	2,57	3,0 – 5,0 %
2	Rongga Terhadap Agregat (VMA)	15,10	Min. 15 %
3	Rongga Terisi Aspal (VFB)	82,99	Min. 65 %
4	Stabilitas Marshall	1991	Min. 1000 kg
5	Kelelehan Plastis (Flow)	6,33	Min. 3 mm
6	Marshall Quotient	314,4	Min. 300 kg/mm

Pada aspal modifikasi komposisi 4% HDPE tanpa menggunakan campuran resin dihasilkan nilai Rongga Udara (VIM) tidak memenuhi nilai minimum spesifikasi yaitu antara 3,0 – 5,0% sedangkan nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelehan Plastis (Flow), Marshall Quotient sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Sehingga aspal modifikasi komposisi 4%HDPE tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan.



3. Campuran HDPE 8%

Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 8% tanpa campuran resin dapat diamati pada tabel uji Marshall berikut.

Tabel 4.23. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 8% tanpa resin

Berat Jenis Aspal : 1.037					Gse : 2.638			Gsb : 2.656					
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg. (vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(vfb)	stabilitas		kelelahan plastis (flow)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e / f	100 - b / gse	100 - (100 - b) / gsb	100 - (100 - j) / h	100(i - j) / i			
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
7(8% HDPE)	5.60	1192.0	673.0	1206.0	533.0	2.236					86	943	3.80
8(8% HDPE)	5.60	1197.0	683.0	1193.0	510.0	2.347					161	1765	4.30
9(8% HDPE)	5.60	1205.0	689.0	1194.0	505.0	2.386					223	2444	5.20
rata - rata =	5.60					2.323	2.452	17.43	5.24	69.95		1717	4.43

Pada komposisi menggunakan HDPE kadar 8% tanpa resin dibuat 3 benda uji dimana masing-masing berat sesudah dilakukan perendaman adalah 1206 gram, 1193 gram, 1194 gram dan dihasilkan nilai rongga dalam campuran (VIM) rata-rata 5.24%.

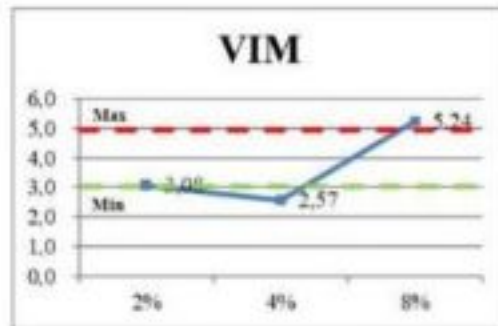
Tabel 4.24. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 8% tanpa resin

No	Sifat-Sifat Campuran	Hasil	Spesifikasi
1	Rongga dalam Campuran (VIM)	5,24	3,0 – 5,0 %
2	Rongga Terhadap Agregat (VMA)	17,43	Min. 15 %
3	Rongga Terisi Aspal (VFB)	69,95	Min. 65 %
4	Stabilitas Marshall	1717	Min. 1000 kg
5	Kelelahan Plastis (Flow)	4,43	Min. 3 mm
6	Marshall Quotient	387,3	Min. 300 kg/mm

Pada aspal modifikasi komposisi 8% HDPE tanpa menggunakan campuran resin dihasilkan nilai Rongga Udara (VIM) tidak memenuhi nilai minimum spesifikasi yaitu antara 3,0 – 5,0% sedangkan nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelahan Plastis (Flow), Marshall Quotient sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Sehingga aspal modifikasi komposisi 8%HDPE tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan.

Modifikasi aspal dengan campuran HDPE tanpa menggunakan campuran resin dengan komposisi 2% HDPE, 4% HDPE, 8% HDPE dapat di simpulkan pada suatu grafik di bawah ini dengan perbandingan sesuai kadar campuran dan hasil uji Marshall.





a. Grafik Nilai VIM



b. Grafik Nilai VMA



c. Grafik Nilai VFB



d. Grafik Nilai Stabilitas



e. Grafik Nilai Flow

f. Grafik Nilai MQ

Gambar 4.2. Grafik Marshall Komposisi HDPE Tanpa Resin

Modifikasi aspal dengan campuran HDPE tanpa menggunakan campuran resin dengan komposisi 2% HDPE, 4% HDPE, 8% HDPE dapat di simpulkan semua nilai flow dan stabilitas memenuhi standar spesifikasi. Namun nilai MQ pada komposisi 2% HDPE tidak memenuhi spesifikasi sehinga tidak bisa digunakan pada perkerasan jalan

4.6.2. Hasil Pengujian Marshall Komposisi HDPE dengan Resin 2%

Campuran aspal dengan kadar HDPE 2%, 4%, dan 8% dengan campuran resin 2% memiliki hasil uji Marshall yang berbeda, berikut perinciannya.

1. Campuran HDPE 2% dengan Resin 2%

Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 2% dengan campuran resin 2% dapat diamati pada tabel uji Marshall berikut.

Tabel 4.25. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 2% dengan resin 2%

Berat Jenis Aspal : 1,037													
---------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Pada komposisi menggunakan HDPE kadar 2% dengan resin 2% dibuat 3 benda uji dimana masing-masing berat sesudah dilakukan perendaman adalah 1166 gram, 1164,4 gram, 1173 gram dan dihasilkan nilai rongga dalam campuran (VIM) rata-rata 2,90%.

Tabel 4.26. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 2% dengan resin 2%

No.	Sifat-Sifat Campuran	Hasil	Spesifikasi
1	Rongga dalam Campuran (VIM)	2,90	3,0 – 5,0 %
2	Rongga Terhadap Agregat (VMA)	15,39	Min. 15 %
3	Rongga Terisi Aspal (VFB)	81,18	Min. 65 %
4	Stabilitas Marshall	2554	Min. 1000 kg
5	Kelelehan Plastis (Flow)	4,67	Min. 3 mm
6	Marshall Quotient	547,2	Min. 300 kg/mm

Pada aspal modifikasi komposisi 2% HDPE menggunakan campuran resin 2% dihasilkan nilai Rongga Udara (VIM) tidak memenuhi nilai minimum spesifikasi yaitu antara 3,0 – 5,0% sedangkan nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelehan Plastis (Flow), Marshall Quotient sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Sehingga aspal modifikasi komposisi 2% HDPE menggunakan campuran 2% Resin tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan.



2. Campuran HDPE 8% dengan Resin 2%

Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 8% dengan campuran resin 2% dapat diamati pada tabel uji Marshall berikut.

Tabel 4.27. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 8% dengan resin 2%

Berat Jenis Aspal : 1,037					G _{se} : 2,638			G _{sb} : 2,656					
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat td	volume/ tit	bj. Bulk campuran	bj. Maks. kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (v _{ma})	% rongga dalam camp(v _{im})	% rongga tensi aspal(v _{tb})	stabilitas		kelulusan plastis (flow)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	$e - d$	c / f	$100 - \frac{(100 - b) - b}{g_{se} - T}$	$100 - \frac{(100 - b)g}{g_{sb} - h}$	$100 - \frac{(100 - j)k}{i}$				
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
16(2% Resin – 8% HDPE)	5,60	1202,0	686,0	1199,2	513,2	2,342					213	2334	8,76
17(2% Resin – 8% HDPE)	5,60	1206,0	686,0	1207,4	521,4	2,313					257	2817	4,89
18(2% Resin – 8% HDPE)	5,60	1196,0	680,0	1208,2	528,2	2,264					300	3288	5,63
rata - rata =	5,60					2,306	2,452	18,02	5,92	67,15		2813	6,43

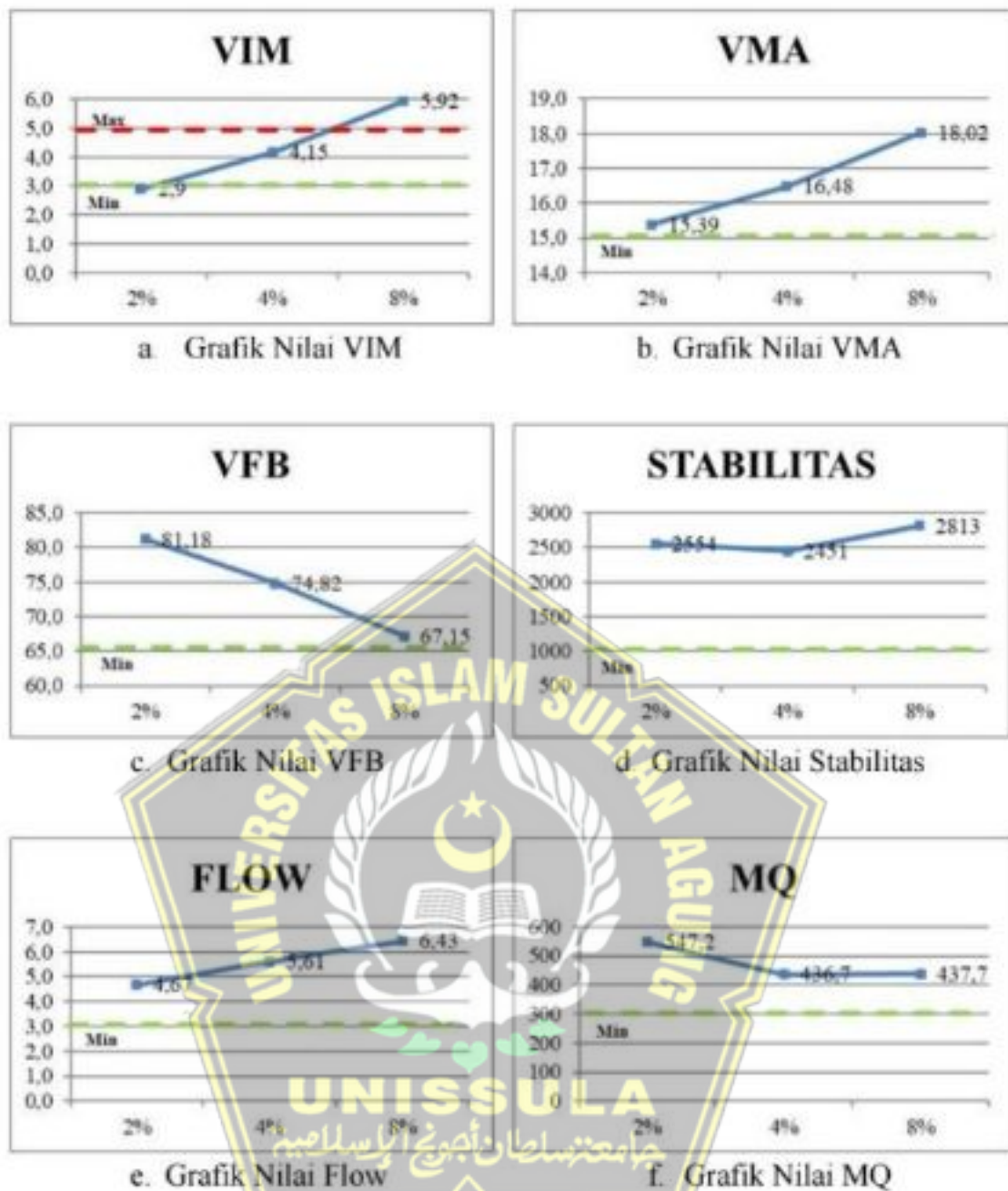
Pada komposisi menggunakan HDPE kadar 8% dengan resin 2% dibuat 3 benda uji dimana masing-masing berat sesudah dilakukan perendaman adalah 1199,2 gram, 1207,4 gram, 1208,2 gram dan dihasilkan nilai rongga dalam campuran (VIM) rata-rata 5,92%.

Tabel 4.28. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 8% dengan resin 2%

No.	Sifat-Sifat Campuran	Hasil	Spesifikasi
1	Rongga dalam Campuran (VIM)	2,90	3,0 – 5,0 %
2	Rongga Terhadap Agregat (VMA)	15,39	Min. 15 %
3	Rongga Terisi Aspal (VFB)	81,13	Min. 65 %
4	Stabilitas Marshall	2813	Min. 1000 kg
5	Kelelehan Plastis (Flow)	6,43	Min. 3 mm
6	Marshall Quotient	437,7	Min. 300 kg/mm

Pada aspal modifikasi komposisi 8%HDPE menggunakan campuran resin 2% dihasilkan nilai Rongga Udara (VIM) tidak memenuhi nilai minimum spesifikasi yaitu antara 3,0 – 5,0% sedangkan nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelehan Plastis (Flow), Marshall Quotient sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Sehingga aspal modifikasi komposisi 8%HDPE menggunakan campuran resin 2% tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan.

Modifikasi aspal dengan campuran HDPE menggunakan campuran resin dengan kadar 2% dengan komposisi 2%HDPE, 4%HDPE, 8%HDPE dapat di simpulkan pada suatu grafik di bawah ini dengan perbandingan sesuai kadar campuran dan hasil uji Marshall.



Gambar 4.3. Grafik Marshall Komposisi HDPE dengan resin 2%

Modifikasi aspal dengan campuran HDPE tanpa menggunakan campuran resin dengan komposisi 2% HDPE, 4% HDPE, 8% HDPE dengan tambahan resin 2% dapat disimpulkan semua nilai flow dan stabilitas memenuhi standar spesifikasi. Dan nilai MQ pada semua komposisi memenuhi spesifikasi sehingga dapat digunakan pada perkerasan jalan.

4.6.3. Hasil Pengujian Marshall Komposisi HDPE dengan Resin 4%

Campuran aspal dengan kadar HDPE 2%, 4%, dan 8% dengan campuran resin 4% memiliki hasil uji Marshall yang berbeda, berikut perinciannya.

1. Campuran HDPE 2% dengan Resin 4%

Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 2% dengan campuran resin 4% dapat diamati pada tabel uji Marshall berikut.

Tabel 4.29. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 2% dengan resin 4%

Berat Jenis Aspal : 1,037 Gsb : 2,638 Gsb : 2,656													
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat sed	voluma isi	bi. Bulk campuran	bi. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga tensi aspal(vrb)	stabilitas		kelelahan plastis (flow)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	$e - d$	$c - f$	$100 - (100 - b) - b$ rata T	$100 - (100 - b) - b$ gab	$100 - (100 * j)$ h	$100(i - j)$ i			
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
19(4% Resin – 2% HDPE)	5,60	1183,0	687,0	1205,2	518,2	2,283					156	1710	4,24
20(4% Resin – 2% HDPE)	5,60	1206,0	697,0	1206,2	509,2	2,368					213	2334	6,44
21(4% Resin – 2% HDPE)	5,60	1203,0	702,0	1188,0	486,0	2,475					212	2324	4,95
rata – rata =	5,60						2,376	2,452	15,57	3,10	80,07	2123	5,21

Pada komposisi menggunakan HDPE kadar 2% dengan resin 4% dibuat 3 benda uji dimana masing-masing berat sesudah dilakukan perendaman adalah 1205,2 gram, 1206,2 gram, 1188 gram dan dihasilkan nilai rongga dalam campuran (VIM) rata-rata 3,10%.

Tabel 4.30. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 2% dengan resin 4%

No.	Sifat-Sifat Campuran	Hasil	Spesifikasi
1	Rongga dalam Campuran (VIM)	3,10	3,0 – 5,0 %
2	Rongga Terhadap Agregat (VMA)	15,57	Min. 15 %
3	Rongga Terisi Aspal (VFB)	80,07	Min. 65 %
4	Stabilitas Marshall	2123	Min. 1000 kg
5	Kelelehan Plastis (Flow)	5,21	Min. 3 mm
6	Marshall Quotient	407,7	Min. 300 kg/mm

Pada aspal modifikasi komposisi 2% HDPE menggunakan campuran resin 4% dihasilkan nilai Rongga Udara (VIM) memenuhi nilai minimum spesifikasi yaitu antara 3,0 – 5,0% dan nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelehan Plastis (Flow), Marshall Quotient sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Sehingga aspal modifikasi komposisi 2%HDPE menggunakan campuran resin 4% dapat digunakan sebagai perkerasan jalan.



2. Campuran HDPE 4% dengan Resin 4%

Hasil pengujian marshall komposisi HDPE 4% dengan campuran resin 4% dapat diamati pada tabel uji Marshall berikut.

Tabel 4.31. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 4% dengan resin 4%

Barat Jenis Aspal : 1,037					G _{sa} : 2,638			G _{sb} : 2,656					
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat sed	volume	bi Bulk campuran	bi Maks. kembangan camp. Agg	% rongga diantara	% rongga dalam	% rongga tenisi	stabilitas		kelelahan plastis
											dibaca	di	(flow)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	$e - d$	c / f	$100 - \frac{(100 \cdot b) - b}{g \cdot e} \cdot T$	$100 - \frac{(100 \cdot b) - b}{g \cdot e} \cdot T$	$100 - \frac{(100 \cdot j) - j}{h}$	$100 \cdot \frac{(i - j)}{i}$			
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
22(4% Resin – 4% HDPE)	5,60	1195,0	690,0	1197,0	507,0	2,357					188	2060	4,11
23(4% Resin – 4% HDPE)	5,60	1190,0	686,0	1189,0	503,0	2,366					297	3255	5,07
24(4% Resin – 4% HDPE)	5,60	1193,0	686,0	1201,4	515,4	2,315					260	2850	4,90
rata - rata =	5,60					2,346	2,452	16,62	4,31	74,05		2722	4,69

Pada komposisi menggunakan HDPE kadar 4% dengan resin 4% dibuat 3 benda uji dimana masing-masing berat sesudah dilakukan perendaman adalah 1197 gram, 1189 gram, 1201,4 gram dan dihasilkan nilai rongga dalam campuran (VIM) rata-rata 4,31%.

Tabel 4.32. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 4% dengan resin 4%

No	Sifat-Sifat Campuran	Hasil	Spesifikasi
1	Rongga dalam Campuran (VIM)	4,31	3,0 – 5,0 %
2	Rongga Terhadap Agregat (VMA)	16,62	Min. 15 %
3	Rongga Terisi Aspal (VFB)	74,02	Min. 65 %
4	Stabilitas Marshall	2722	Min. 1000 kg
5	Kelelehan Plastis (Flow)	4,69	Min. 3 mm
6	Marshall Quotient	579,9	Min. 300 kg/mm

Pada aspal modifikasi komposisi 4%HDPE menggunakan campuran resin 4% dihasilkan nilai Rongga Udara (VIM) memenuhi nilai minimum spesifikasi yaitu antara 3,0 – 5,0% dan nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelehan Plastis (Flow), Marshall Quotient sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Sehingga aspal modifikasi komposisi 4%HDPE menggunakan campuran resin 4% dapat digunakan sebagai perkerasan jalan.



3. Campuran HDPE 8% dengan Resin 4%

Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 8% dengan campuran resin 4% dapat diamati pada tabel uji Marshall berikut.

Tabel 4.33. Hasil pengujian Marshall komposisi HDPE 8% dengan resin 4%

Berat Jenis Aspal : 1,037					G _{se} : 2,638			G _{sb} : 2,656					
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ses	volume/ isi	bi. Bulk campuran	bi. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (v _{ma})	% rongga dalam camp (v _m)	% rongga terisi aspal (v _t)	stabilitas		kelalahan plastis (flow)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	$e - d$	c / f	$100 - \frac{(100 - b) - b}{g \times T}$	$100 - \frac{(100 - b)g}{g_{sb}}$	$100 - \frac{(100 - j)h}{h}$	$100 \frac{(i - j)}{i}$			
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)
25(4% Resin – 8% HDPE)	5,60	1255,0	686,0	1208,8	522,8	2,401					242	2652	2,41
26(4% Resin – 8% HDPE)	5,60	1208,0	716,0	1258,0	542,0	2,229					172	1885	4,52
27(4% Resin – 8% HDPE)	5,60	1200,0	685,0	1212,0	527,0	2,277					252	2762	5,21
rata-rata =	5,60					2,302	2,452	18,13	6,10	66,45		2433	4,05

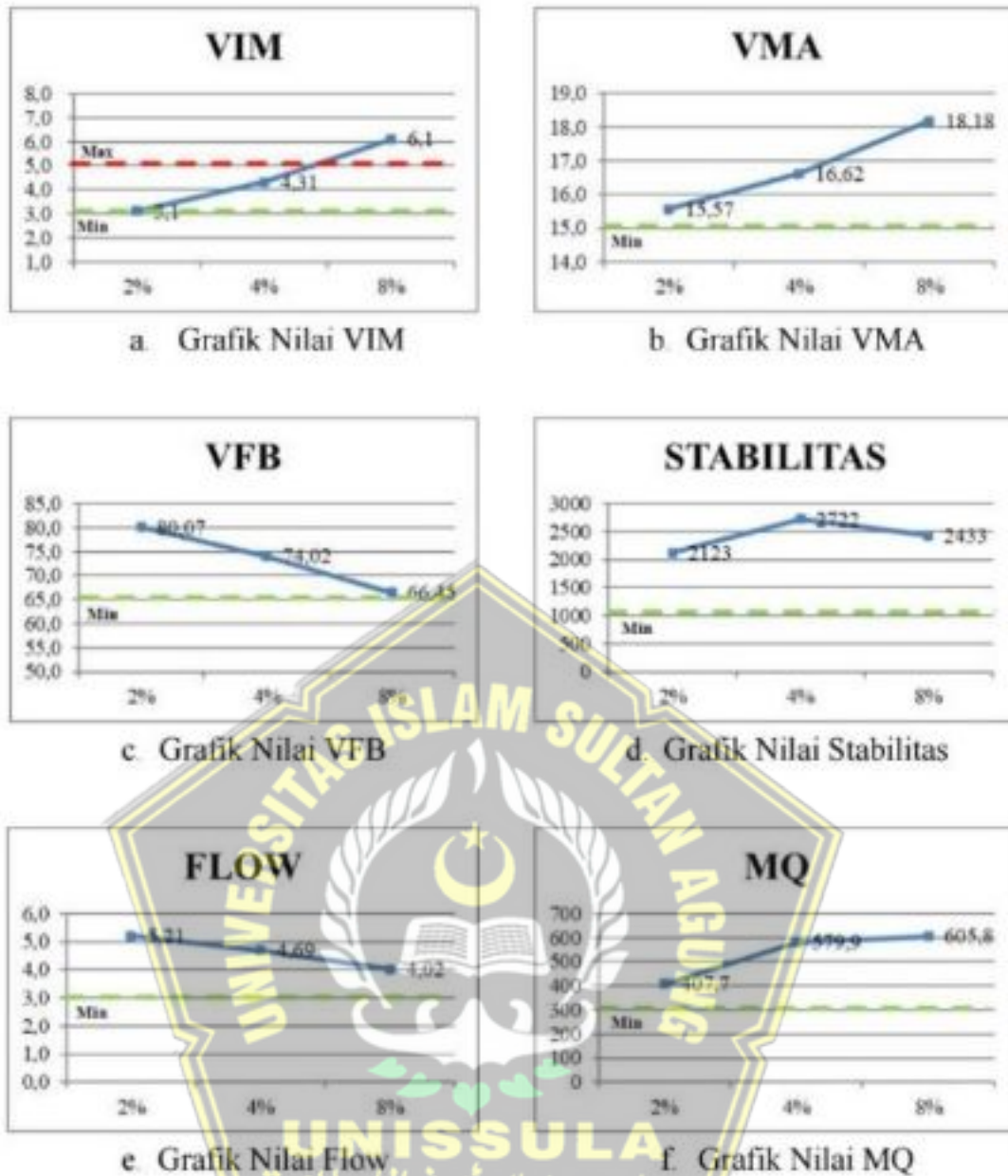
Pada komposisi menggunakan HDPE kadar 8% dengan resin 4% dibuat 3 benda uji dimana masing-masing berat sesudah dilakukan perendaman adalah 1208,8 gram, 1258 gram, 1212 gram dan dihasilkan nilai rongga dalam campuran (VIM) rata-rata 6,01%.

Tabel 4.34. Hasil rekap uji Marshall komposisi HDPE 8% dengan resin 4%

No	Sifat-Sifat Campuran	Hasil	Spesifikasi
1	Rongga dalam Campuran (VIM)	6,10	3,0 – 5,0 %
2	Rongga Terhadap Agregat (VMA)	18,18	Min. 15 %
3	Rongga Terisi Aspal (VFB)	66,45	Min. 65 %
4	Stabilitas Marshall	2433	Min. 1000 kg
5	Kelelehan Plastis (Flow)	4,02	Min. 3 mm
6	Marshall Quotient	605,8	Min. 300 kg/mm

Pada aspal modifikasi komposisi 8% HDPE menggunakan campuran resin 4% dihasilkan nilai Rongga Udara (VIM) tidak memenuhi nilai minimum spesifikasi yaitu antara 3,0 – 5,0% dan nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA), Rongga Terisi Aspal (VFB), Stabilitas Marshall, Kelelehan Plastis (Flow), Marshall Quotient sesuai dengan persyaratan spesifikasi. Sehingga aspal modifikasi komposisi 8%HDPE menggunakan campuran resin 4% tidak dapat digunakan sebagai perkerasan jalan.

Modifikasi aspal dengan campuran HDPE menggunakan campuran resin dengan kadar 2% dengan komposisi 2% HDPE, 4% HDPE, 8%HDPE dapat disimpulkan pada suatu grafik di bawah ini dengan perbandingan sesuai kadar campuran dan hasil uji Marshall



Gambar 4.4. Grafik Marshall Komposisi HDPE dengan Resin 4%

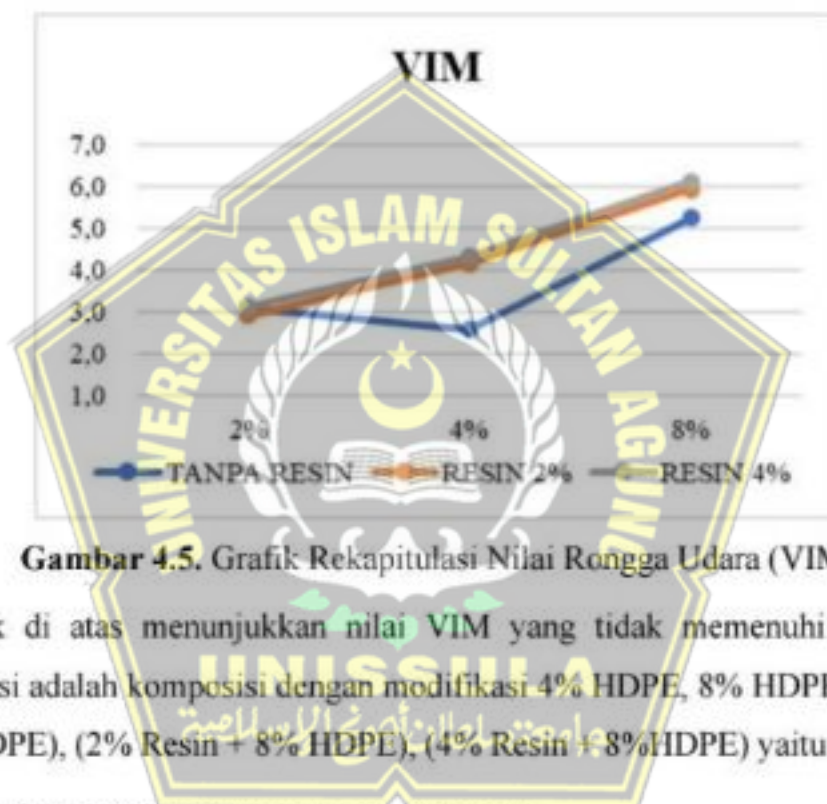
Modifikasi aspal dengan campuran HDPE tanpa menggunakan campuran resin dengan komposisi 2% HDPE, 4% HDPE, 8% HDPE dengan tambahan resin 4% dapat disimpulkan semua nilai flow dan stabilitas memenuhi standar spesifikasi. Dan nilai MQ pada semua komposisi memenuhi spesifikasi sehingga dapat digunakan pada perkerasan jalan.

4.6. Hasil Rekapitulasi Setiap Komposisi

4.6.1. Nilai Rongga Udara (VIM)

Tabel 4.35. Rekapitulasi Nilai Rongga Udara (VIM)

CAMPURAN	VIM		
	KADAR		
	2%	4%	8%
TANPA RESIN	3,08	2,57	5,24
RESIN 2%	2,9	4,15	5,92
RESIN 4%	3,1	4,31	6,1



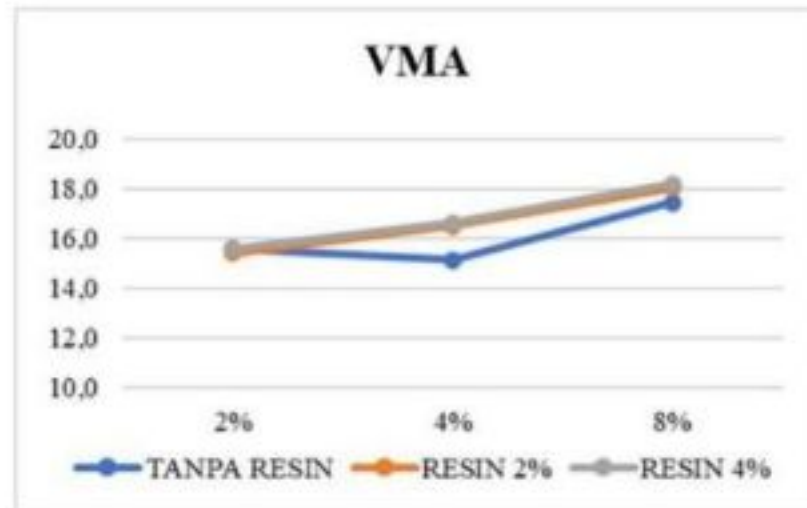
Gambar 4.5. Grafik Rekapitulasi Nilai Rongga Udara (VIM)

Grafik di atas menunjukkan nilai VIM yang tidak memenuhi persyaratan spesifikasi adalah komposisi dengan modifikasi 4% HDPE, 8% HDPE, (2% Resin + 2% HDPE), (2% Resin + 8% HDPE), (4% Resin + 8% HDPE) yaitu 3,0 – 5%.

4.6.2. Nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA)

Tabel 4.36. Rekapitulasi Nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA)

CAMPURAN	VMA		
	KADAR		
	2%	4%	8%
TANPA RESIN	15,54	15,1	17,43
RESIN 2%	15,39	16,48	18,02
RESIN 4%	15,57	16,62	18,18



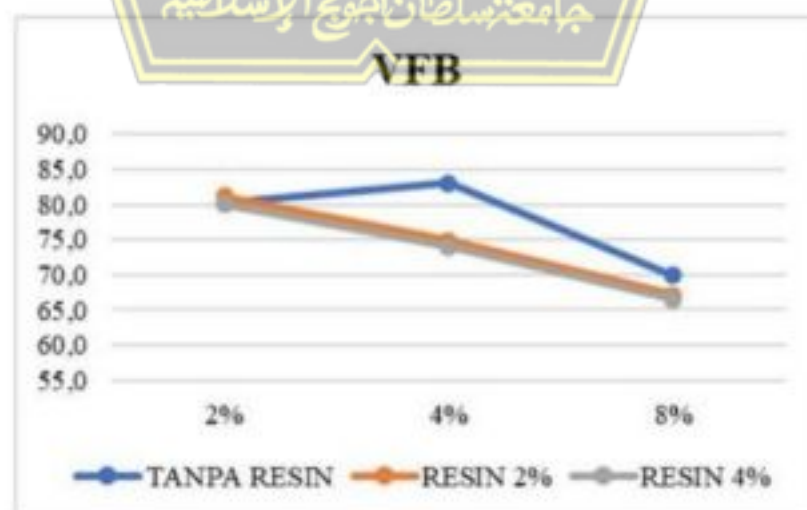
Gambar 4.6. Grafik Rekapitulasi Nilai Rongga Terhadap Agregat (VMA)

Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai VMA yang dihasilkan dari modifikasi komposisi HDPE dan campuran resin memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu Min. 15,0%

4.6.3. Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB)

Tabel 4. 37. Rekapitulasi Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB)

CAMPURAN	VFB		
	KADAR		
	2%	4%	8%
TANPA RESIN	80,21	82,99	69,95
RESIN 2%	81,18	74,82	67,15
RESIN 4%	80,07	74,02	66,45



Gambar 4.7. Grafik Rekapitulasi Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB)

Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai VFB yang dihasilkan dari modifikasi komposisi HDPE dan campuran resin memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu Min. 65,0%

4.6.4. Nilai Stabilitas

Tabel 4.38. Rekapitulasi Nilai Stabilitas

STABILITAS			
CAMPURAN	KADAR		
	2%	4%	8%
TANPA RESIN	1337	1991	1717
RESIN 2%	2554	2451	2813
RESIN 4%	2123	2722	2433



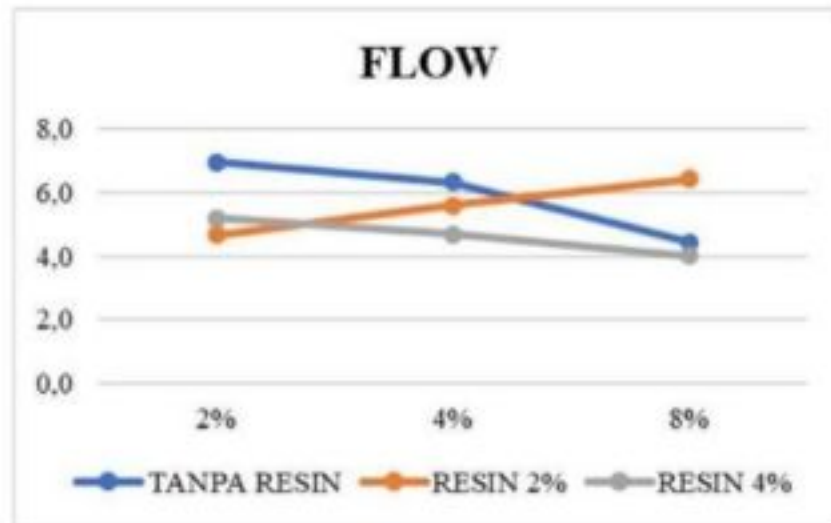
Gambar 4.8. Grafik Rekapitulasi Nilai Stabilitas

Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai Stabilitas yang dihasilkan dari modifikasi komposisi HDPE dan campuran resin memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu Min. 1000

4.6.5. Nilai Flow

Tabel 4.39. Rekapitulasi Nilai Flow

FLOW			
CAMPURAN	KADAR		
	2%	4%	8%
TANPA RESIN	6,97	6,33	4,43
RESIN 2%	4,67	5,61	6,43
RESIN 4%	5,21	4,69	4,02



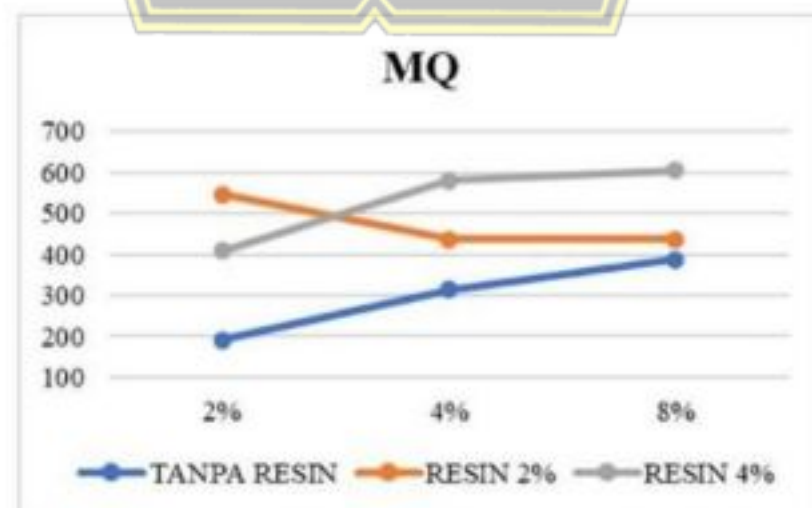
Gambar 4.9. Rekapitulasi Nilai Flow

Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai FLOW yang dihasilkan dari modifikasi komposisi HDPE dan campuran resin memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu Min.3%

4.6.6. Nilai Marshall Quotient

Tabel 4.40. Rekapitulasi Nilai Marshall Quotient

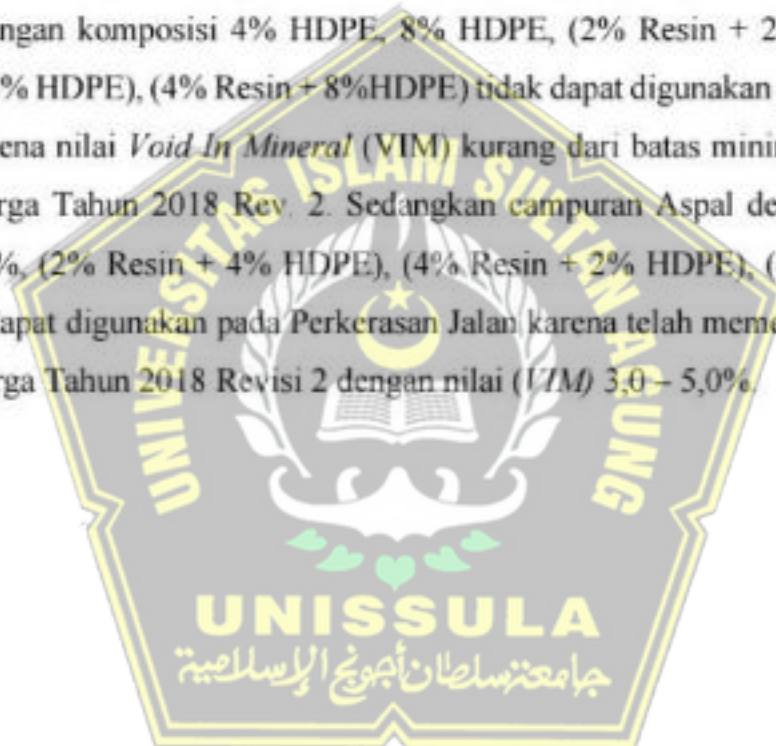
MARSHALL QUOTIENT			
CAMPURAN	KADAR		
	2%	4%	8%
TANPA RESIN	191,9	314,4	387,3
RESIN 2%	547,2	436,7	437,7
RESIN 4%	407,7	579,9	605,8



Gambar 4.10. Rekapitulasi Nilai Marshall Quotient

Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai MQ yang dihasilkan dari modifikasi komposisi HDPE dan campuran resin yang tidak memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 Min.300 adalah komposisi 2%HDPE tanpa menggunakan Resin.

Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* modifikasi *High Density Polyethylene* dan resin yang tahan terhadap kelelahan plastis pada penelitian ini adalah Aspal modifikasi dengan bahan tambah HDPE 2%, HDPE 4%, HDPE 8%, (2% Resin + 2% HDPE), (2% Resin + 4% HDPE), (2% Resin + 8% HDPE), (4% Resin + 2% HDPE), (4% Resin + 4% HDPE), (4% Resin + 8% HDPE). Namun tidak semua campuran Aspal modifikasi dapat digunakan pada Perkerasan Jalan, Aspal dengan komposisi 4% HDPE, 8% HDPE, (2% Resin + 2% HDPE), (2% Resin + 8% HDPE), (4% Resin + 8%HDPE) tidak dapat digunakan pada Perkerasan Jalan karena nilai *Void In Mineral* (VIM) kurang dari batas minimum spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Rev. 2. Sedangkan campuran Aspal dengan komposisi HDPE 2%, (2% Resin + 4% HDPE), (4% Resin + 2% HDPE), (4% Resin + 4% HDPE) dapat digunakan pada Perkerasan Jalan karena telah memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 dengan nilai (VIM) 3,0 – 5,0%.



BAB V KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

1. *Job mix* formula terbaik *Asphalt Concrete Wearing Course* modifikasi *High Density Polyethylene* dan resin yang dapat digunakan dalam perkerasan jalan adalah dengan komposisi 4% Resin dengan kadar HDPE 4%, komposisi ini memiliki hasil *marshall test*. Nilai stabilitas yang dihasilkan adalah 2722 dan nilai Kelelahan Plastis (Flow) 4,61
2. Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* modifikasi *High Density Polyethylene* dan resin yang tahan terhadap kelelahan plastis pada penelitian ini adalah *job mix* dengan kadar HDPE 2%, 4%, 8% tanpa penambahan kadar resin, kadar HDPE 2%, 4%, 8% dengan penambahan kadar resin 2%, dan kadar HDPE 2%, 4%, 8% dengan penambahan kadar resin 4%. Namun tidak semua *job mix* modifikasi dapat digunakan pada perkerasan jalan, campuran aspal dengan komposisi kadar HDPE 4% dan 8% tanpa resin, kadar HDPE 2% dan 8% dengan penambahan resin 2%, dan kadar HDPE 8% dengan penambahan resin 4% tidak dapat digunakan karena nilai *Void In Mineral* (VIM) tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Rev. 2. Sedangkan *job mix* dengan kadar HDPE 2% tanpa resin, kadar HDPE 4% dengan penambahan 2% resin, dan kadar HDPE 2% dan 4% dengan penambahan resin 4% dapat digunakan pada Perkerasan Jalan karena telah memenuhi spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 dengan nilai (VIM) 3,0 – 5,0%.

5.2. Saran

1. Dibutuhkan penerapan lapangan untuk mendapatkan hasil fisik yang maksimal terhadap campuran modifikasi *Asphalt Concrete Wearing Course*.
2. *Asphalt Concrete Wearing Course* modifikasi HDPE dan Resin disarankan untuk menambah kadar aspal yang digunakan sehingga dapat meningkatkan nilai Rongga Dalam Campuran (VIM).

3. Pengadaan penelitian untuk jenis *hot-mix* yang lain sangat disarankan, karena campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* dikhususkan dalam penelitian ini.



DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jendral Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal*.
- Djalante, Susanti. 2011. "Pengaruh Ketahanan Beton Aspal (Ac-Bc) Yang Menggunakan Asbuton Butir Tipe 5/20 Terhadap Air Laut Ditinjau Dari Karakteristik Mekanis Dan Durabilitasnya." *Journal of Transportation Management and Engineering* 1(1):57–68.
- Gadpalliwar, Sonali, Shraddha Kathalkar, and Nikhil Agrawal. 2018. "Experimental Analysis of Concrete by Replacing Aggregate with Steel Slag." 3(3):24–27.
- Gde Wikarga, I., I. Nyoman, Arya Thanaya, and Wayan Suweda. 2017. *Analisis Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin (Caed) Dengan Epoxy Sebagai Bahan Tambah Characteristic Analysis Of Cold Asphaled Mixed Emulles (Caed) With Epoxy As Additional Material*. Vol. 5.
- Jamshidi, Ali, Kiyofumi Kurumisawa, Gregory White, Tatsuo Nishizawa, Toshifumi Igarashi, Toyoharu Nawa, and Jize Mao. 2019. "State-of-the-Art of Interlocking Concrete Block Pavement Technology in Japan as a Post-Modern Pavement." *Construction and Building Materials* 200:713–55.
- Jenderal, Direktorat, and Bina Marga. 2018. "Spesifikasi Umum 2018." (September).
- Kurniawan, P. 2012. *Genangan, S., Pasang, A., Terhadap, S., Dan, K., Lapis, S., & Marshall, S.* Kota Pontianak.
- Materials, Road, and A. U. Ravi Shankar. 2006. "Strength Behaviour of Geogrid Reinforced Shedi Soil Subgrade and Aggregate Strength Behaviour of Geogrid Reinforced Shedi Soil Subgrade and Aggregate System." (September). doi: 10.3166/rmpd.7.313-330.
- Ramadhan, Arief, Norma Arisanti, Kinasih Pusat, and Penelitian Karet. 2015. *Peningkatan Titik Lembek Aspal Termodifikasi Menggunakan Block Skim Rubber (Bsr) Terdepolimerisasi Melting Point Enhancement of Modified Asphalt Using Depolymerized Block Skim Rubber*. Vol. 33.

- Shankar, Ayyala Udaya Ravi, and Subba Nagabhushana Suresha. 2006. "Strength Behaviour of Geogrid Reinforced Shedi Soil Subgrade and Aggregate System." *Road Materials and Pavement Design* 7(3):313–30. doi: 10.3166/rmpd.7.313-330.
- Sitanggang, Edy Surya, and Alfian Hamsi. 2013. "Studi Eksperimental Dan Simulasi Pengaruh Variasi Campuran High Density Polyetilena (Hdpe) Dan Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Menggunakan Program 12." *Jurnal Dinamis* 1(13).
- Sukardi. 2011. *Metodologi Penelitian Pendidikan Kompetensi Dan Praktiknya*. Jakarta: PT Bumi Aksara.
- Sumiati, Mahmuda, and A. Syapawi. 2019. "Perkerasan Aspal Beton (Ac-Bc) Limbah Plastik Hdpe Tahan Terhadap Cuaca Ekstrem." *Construction and Material Journal* 1(1).
- W A, Muhammad Rizal, Ratna Yuniarti, and Desi Widianty. 2018. "Artikel Ilmiah Pengaruh Penggunaan Gilsonite Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton (Ac-Wc)." *Artikel Ilmiah*.
- Wiwoho Mudjanarko, Sri, and dan Arthur Daniel Limantara. 2019. "Studi Penggunaan Variasi Campuran Material Plastik Jenis High Density Polyethylene (Hdpe) Pada Campuran Beraspal Untuk Lapis Aus Ac-Wc (Asphalt Concrete Wearing Course)." 8(2).
- Yuniarti, Ratna, Desi Widianty, Rohani Rohani, and Hasyim Hasyim. 2020. "Tinjauan Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course Menggunakan Aspal Tua Dengan Berbagai Bahan Peremaja." *JURNAL SAINS TEKNOLOGI & LINGKUNGAN* 6(2):132–43. doi: 10.29303/jstlv6i2.141