

TUGAS AKHIR

**ANALISA ASHPALT WEARING COARSE (AC-WC)
MODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN HDPE (HIGH
DENSITY POLYETHYLENE) DAN ASBUTON GRANULAR**

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



Disusun Oleh :

**Indah Suryani
Nim : 30201900105**

**Meiya Eka Putri Hidayat
Nim : 30201900112**

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

2023

LEMBAR PENGESAHAN

**ANALISA ASHPALT WEARING COARSE (AC-WC)
MODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN HDPE (HIGH
DENSITY POLYETHYLENE) DAN ASBUTON GRANULAR**



Indah Suryani
NIM : 30201900105



Meiya Eka Putri Hidayat
NIM : 30201900112

Telah disetujui dan disahkan di Semarang Juli 2023

Tim Penguji

Tanda Tangan

1. **Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT**
NIDN : 0623026901
2. **Juny Andry Sulisty, ST, MT**
NIDN : 0611118903
3. **Selvia Agustina, ST, M.Eng**
NIDN : 06090999001

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: 24 /A.2/SA- T/ III / 2023

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

1. Nama : Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Juny Andry Sulisty, ST.,
Jabatan Akademik : Asisten Ahli
Jabatan : Dosen Pembimbing Pendamping

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

Indah Suryani
NIM : 30201900105

Meiya Eka Putri Hidayat
NIM : 30201900112

Judul : ANALISA ASHPALT WEARING COARSE (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN HDPE (HIGH DENSITY POLYETHYLENE) DAN ASBUTON GRANULAR
Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	13/03/2023	ACC
2	Seminar Proposal	24/05/2023	ACC
3	Pengumpulan data	25/06/2023	ACC
4	Analisis data	27/06/2023	ACC
5	Penyusunan laporan	05/07/2023	ACC
6	Selesai laporan	31/07/2023	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

Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT

Juny Andry Sulisty, ST MT

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Indah Suryani

NIM : 30201900105

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“Analisa *Asphalt Wearing Coarse (AC-WC)* Modifikasi dengan penambahan *HDPE (HighDensity Polyethylene)* dan *Asbuton Granular*”

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Juli 2023

Yang membuat pernyataan



Indah Suryani

NIM : 30201900105



PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Meiya Eka Putri Hidayat

NIM : 30201900112

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :

“Analisa *Asphalt Wearing Coarse (AC-WC)* Modifikasi dengan penambahan *HDPE (HighDensity Polyethylene)* dan Asbuton Granular”

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

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, Juli 2023

Yang membuat pernyataan



Meiya Eka Putri Hidayat

NIM : 30201900112



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Indah Suryani
NIM : 30201900105
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa *Asphalt Wearing Coarse (AC-WC)* Modifikasi dengan penambahan *HDPE (High Density Polyethylene)* dan Asbuton Granular

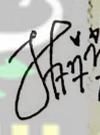
Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan – bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau 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, Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



10000
METERAI
TEMPEL
19C6DAKXS0-117444

Indah Suryani

NIM : 30201900105

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

NAMA : Meiya Eka Putri Hidayat
NIM : 302019001112
JUDUL TUGAS AKHIR : Analisa *Asphalt Wearing Course (AC-WC)* Modifikasi dengan penambahan *HDPE (High Density Polyethylene)* dan Asbuton Granular

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.

Scmarang, Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



081B5AKX504117445

Meiya Eka Putri Hidayat

NIM : 302019001112

MOTTO

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

(QS. Ali 'Imran Ayat 110)

Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, maka apabila kamu telah selesai (dari suatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang lain, dan hanya kepada Allah lah hendaknya kamu berharap.

(QS. Al- Insyirah Ayat 6-7)

"Allah tidak membebani seseorang melainkan sesuai dengan kesanggupannya.

(QS. Al-Baqarah 2: Ayat 286)



PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tucurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, (Bapak Sawali dan Ibu Mustakimah) Orang hebat yang selalu menjadi penyemangat saya sebagai sandaran terkuat dari kerasnya dunia. Yang tidak henti-hentinya memberikan kasih sayang dan selalu memberikan motivasi. Terimakasih selalu berjuang untuk kehidupan saya, sehat selalu dan hiduplah lebih lama lagi bapak dan ibu harus selalu ada disetiap perjalanan dan pencapaian hidup saya.
2. Syamsul Anwar, saudara terbaik yang selalu kebersamai meniti pahitnya kehidupan hingga diusia saya sekarang. Terimakasih sudah mengutkan dan jadi panutan. Saya persembahkan yang telah memberikan motivasi, dukungan untuk diri saya menjadi berkembang lebih baik, serta menjadi panutan yang baik.
3. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT., dan Bapak Juny Andry Sulisty, ST., MT. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
5. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Meiya Eka Putri Hidayat, terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Semua teman-teman Fakultas Teknik Sipil UNISSULA angkatan 2019, terimakasih atas semua bantuan, perhatian dan semangatnya.

Indah Suryani

NIM : 30201900105

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadiran Allah SWT, Tuhan pemilik jiwa dan alam semesta yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya. Sholawat serta salam selalu tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, keluarganya, sahabatnya dan juga para pengikutnya. Tugas akhir ini saya persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua saya, Ayah Rachmat Hidayat dan Ibu Lasmimi, atas semua dukungan moral maupun material, kasih sayang, kesabaran dan do'a.
2. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT dan Bapak Juny Andry Sulisty, ST., MT. yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikirannya untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Seluruh dosen Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil UNISSULA, terimakasih atas semua ilmunya yang sangat bermanfaat.
4. Kedua adik saya, Septian Dwi Putra Hidayat dan Diandra Oktariaono Tri Putra Hidayat yang telah memberikan motivasi, dukungan untuk diri saya menjadi berkembang lebih baik, serta menjadi panutan yang baik
5. Sahabat sekaligus partner laporan tugas akhir saya Indah Suryani, terimakasih sudah mau bertahan sampai sejauh ini dan juga terimakasih atas waktu serta semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Aziz Musyafaq yang selalu mendengarkan keluh kesah saya tentang Tugas Akhir ini, serta selalu memberikan motivasi kepada saya, dan dukungan kepada saya.
7. Untuk teman-temanku Angkatan 2019 Fakultas Teknik terimakasih atas bantuan serta perhatiannya untuk selama ini.

Meiya Eka Putri Hidayat

NIM : 30201900112

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT, karena hanya dengan rahmat dan karunia-Nya laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik tentang “Analisa *Asphalt Wearing Coarse (AC-WC)* Modifikasi dengan penambahan *HDPE (High Density Polyethylene)* dan Asbuton Granular”, guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan Program Sarjana Teknik Sipil di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Pada kesempatan ini, penulis hendak menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah mendukung dalam penyusunan tugas akhir ini, yaitu:

1. Bapak M. Rusli Ahyar, ST., M.Eng selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT selaku Dosen Pembimbing I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
3. Bapak Juny Andry Sulisty, ST, MT. selaku Dosen Pembimbing II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu, tenaga dan pikiran untuk memberikan bimbingan pada kami agar bisa menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
4. Seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil UNISSULA yang telah memberikan ilmunya kepada penulis
5. Semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya, semoga tugas akhir ini bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembacanya.

Semarang, Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
BERITA ACARA BIMBINGNAN TUGAS AKHIR.....	iv
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
PERNYATAAN KEASLIAN.....	vii
MOTTO.....	ix
PERSEMBAHAN.....	x
KATA PENGANTAR.....	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
DAFTAR GAMBAR.....	xix
DAFTAR GRAFIK.....	xx
ABSTRAK.....	xxi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Batasan Masalah.....	3
1.6. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1. Kadar Aspal Optimum.....	6
2.2. Density.....	7
2.3. Sifat Plastik PET.....	8

2.4. Plastik dan Campuran Aspal	8
2.5. Aspal Buton.....	8
2.6. Penyusun Perkerasan Jalan.....	10
2.6.1. Persyaratan Agregat	11
2.6.2. Gradasi Agregat.....	12
2.7. Material Penyusun Perkerasan Jalan	12
2.8. Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis (AC – WC).....	12
2.8.1. Aspal.....	13
2.8.2. Penentuan kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall	13
2.9. Pengikat Bitumen	14
2.10. Sifat Bahan Aggregate Aspal Wearing Course	15
2.11. Lapis Pengikat	18
2.12. Validitas.....	19
2.13. Polypropylene.....	20
2.14. Sifat – Sifat Campuran Aspal.....	20
2.14.1. Stabilitas	21
2.14.2. Kelelahan Plastis (Flow)	21
2.15. Laston Lapis Aus.....	21
2.16. Penelitian Terdahulu yang sejenis.....	22
BAB III METODOLOGI	28
3.1. Tipe Penelitian.....	28
3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian	28
3.2.1. Bahan Penelitian	28
3.2.2. Peralatan Penelitian	28
3.3. Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian	30
3.4. Prosedur Perencanaan Penelitian.....	31
3.5. Metode Keawetan (Durability).....	35

3.6. Aspal.....	36
3.6.1. Sifat-sifat Campuran Aspal	37
3.6.2. Metode Analisis.....	39

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN..... 41

4.1. Pembuatan Kadar Aspal Optimum.....	41
4.2. Rancangan Campuran Aspal	43
4.3. Hasil Pengujian Bahan	48
4.3.1. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70.....	48
4.4. Pemeriksaan Gradasi Agregat	49
4.5. Pembuatan Benda Uji	53
4.6. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM	54
4.7. Ekstraksi	54
4.8. Sifat - sifat Campuran Aspal Panas Dengan Metode Marshall	55
4.9. Rekapitulasi Hasil Campuran Aspal.....	55
4.10. Gradasi Material Agregat	56
4.11. Hasil Pemeriksaan <i>Marshall</i>	56
4.11.1. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi Normal.....	57
4.11.2. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi HDPE 2% + Asbuton 0% ..	57
4.11.3. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi HDPE 2% + Asbuton 10%.	59
4.11.4. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi HDPE 2% + Asbuton 20%.	61
4.11.5. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi HDPE 2% + Asbuton 30%.	65
4.11.6. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi HDPE 4% + Asbuton 0% ..	67
4.11.7. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi HDPE 4% + Asbuton 10%.	69
4.11.8. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi HDPE 4% + Asbuton 20%.	71
4.11.9. Hasil Marshall Benda Uji Komposisi HDPE 4% + Asbuton 30%.	73
4.12. Hasil Rekapitulasi.....	75

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	77
5.1. Kesimpulan.....	77
4.2. Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA	78



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persyaratan Agregat Kasar	11
Tabel 2.2 Ketentuan Agregat Halus	12
Tabel 2.3 Spesifikasi Pengujian Aspal	14
Tabel 2.4. Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk <i>Wearing Course</i>	17
Tabel 2.5. Sifat- Sifat Agregat Lapis Drainase untuk <i>Wearing Course</i>	18
Tabel 2.6. Tabel Penelitian Terdahulu.....	22
Tabel 3.1. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.	35
Tabel 3.2. Jumlah Benda Uji untuk variasi HDPE dan Asbuton Granular ..	35
Tabel 4.1. Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	42
Tabel 4.2. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) <i>Normal</i>	44
Tabel 4.3. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 2 % dan Asbuton 0 %	44
Tabel 4.4 Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 2 % dan Asbuton 10 %	45
Tabel 4.5. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 2 % dan Asbuton 20 %	45
Tabel 4.6. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 2 % dan Asbuton 30 %	46
Tabel 4.7. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 4 % dan Asbuton 0%.....	46
Tabel 4.8. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 4 % dan Asbuton 10%.....	46
Tabel 4.9. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 4 % dan	

Asbuton 20%.....	47
Tabel 4.10. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) HDPE 4 % dan Asbuton 30 %	48
Tabel 4.11. Data Pengujian Aspal Pertamina Penetrasi 60/70	48
Tabel 4.12. Hasil pemeriksaan saringan agregat kasar ukuran 1/2 inch.....	49
Tabel 4.13. Analisa Pembagian Butiran Batu Pecah $\frac{3}{4}$ inch.....	50
Tabel 4.14. Analisis Pembagian Butiran Abu Batu.....	50
Tabel 4.15. Analisa Pembagian Filler	51
Tabel 4.16. Perhitungan Kombinasi Agregat	52
Tabel 4.17. Rencana pembuatan benda uji	53
Tabel 4.18. Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM (AASHTO – T.209 – 90).....	54
Tabel 4.19. Hasil Gradasi Ekstraksi	54
Tabel 4.20. Sifat – sifat campuran aspal panas dengan Metode Marshall.....	55
Tabel 4.21. Rekapitulasi Hasil Campuran Aspal.....	55
Tabel 4.22. Gradasi Material Agregat	56
Tabel 4.23. Hasil <i>Marshall</i> Komposisi Normal.....	57
Tabel 4.24. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 0%.....	59
Tabel 4.25. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 10%.....	61
Tabel 4.26. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 20%.....	63
Tabel 4.27. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 30%.....	65
Tabel 4.28. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 0%.....	67
Tabel 4.29. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 10%.....	69
Tabel 4.30. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 20%.....	71
Tabel 4.31. Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 30%.....	73
Tabel 4.32. Hasil Rekapitulasi.....	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Lokasi deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara ...	9
Gambar 2.2. Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test	15
Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian.....	31
Gambar 3.2. Pengolahan Minyak Bumi Menjadi Aspal.....	37
Gambar 3.3. Grafik Kurva Keawetan (Crus, J, et.al, 1981)	36
Gambar 4.1. Grafik Kombinasi Agregat.....	52
Gambar 4.2. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Komposisi Normal	58
Gambar 4.3. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>HDPE</i> 2% + Asbuton 0%	60
Gambar 4.4. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>HDPE</i> 2% + Asbuton 10%	62
Gambar 4.5. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>HDPE</i> 2% + Asbuton 20%	64
Gambar 4.6. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>HDPE</i> 2% + Asbuton 30%	66
Gambar 4.7. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>HDPE</i> 4% + Asbuton 0%	68
Gambar 4.8. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>HDPE</i> 4% + Asbuton 10%	70
Gambar 4.9. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>HDPE</i> 4% + Asbuton 20%	72
Gambar 4.10. Grafik Hasil <i>Marshall</i> Kombinasi <i>HDPE</i> 4% + Asbuton 30%	74
Gambar 4.11. Grafik Hasil Rekapitulas	76

ANALISA ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC) MODIFIKASI DENGAN PENAMBAHAN HDPE (HIGH DENSITY POLYETHYLENE) DAN ASBUTON GRANULAR

Abstrak

Kerusakan yang sering terjadi pada perkerasan jalan raya di Indonesia diantaranya diakibatkan oleh pertambahan jumlah penduduk yg pesat serta faktor cuaca seperti oksidasi yang disebabkan oleh sinar matahari serta curah hujan yang tinggi, dengan system drainase yang belum dikelola dengan tepat sehingga menyebabkan aspal menjadi lembab mudah lapuk dan cepat mengalami kerusakan. Dengan permasalahan tersebut perlu dilakukan peningkatan kualitas dari perkerasan jalan itu sendiri dengan memodifikasi.

Salah satu cara untuk mengatasi kerusakan yang terjadi adalah dengan memodifikasi aspal menggunakan bahan tambah polimer. Polimer yang digunakan berupa limbah plastik Polyethylene (PE) dengan jenis HDPE (High Density Polyethylene), dan asbuton dalam campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC – WC). Pada percobaan yang dilakukan di laboratorium dengan menggunakan bahan tambah plastik HDPE dengan kadar 0%, 2%, 4% sedangkan untuk Asbuton kadar yang digunakan 10%, 20% dan 30%. Dengan beberapa pengujian yang dilakukan seperti pengujian agregat lolos saringan, pengujian berat jenis maksimum, dan pengujian marshall terhadap benda uji aspal yang telah dibuat. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kadar aspal yang digunakan untuk analisis data.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari penelitian ini, komposisi terbaik pada Asphalt Concrete Wearing Course Modifikasi HDPE dan Asbuton yaitu pada komposisi HDPE 20% dan Asbuton 30% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018.

Kata Kunci: *High Density Polyethylene; Asbuton; Asphalt Concrete Wearing Course*

**ANALYSIS OF ASPHALT WEARING COARSE (AC-WC)
MODIFIED WITH THE ADDITION OF HDPE (HIGH
DENSITY POLYETHYLENE) AND GRANULAR ASBUTON**

Abstract

The damage that often occurs to highway pavements in Indonesia is caused by the rapid population growth and weather factors such as oxidation caused by sunlight and high rainfall, with a drainage system that has not been managed properly, causing asphalt to become damp, easily weathered and get damaged quickly. With these problems it is necessary to improve the quality of the pavement itself by modifying it.

One way to overcome the damage that occurs is to modify asphalt using polymer additives. The polymer used is in the form of plastic waste Polyethylene (PE) with the type of HDPE (High Density Polyethylene), and asbuton in a mixture of Asphalt Concrete Wearing Course (AC – WC). In experiments conducted in the laboratory using HDPE plastic additives with levels of 0%, 2%, 4% while for Asbuton the levels used were 10%, 20% and 30%. Several tests were carried out, such as aggregate passing the sieve test, maximum specific gravity test, and Marshall testing on the asphalt specimens that had been made. From the test results, the asphalt content value was obtained which was used for data analysis.

Based on the results obtained from this study, the best composition of Asphalt Concrete Wearing Coarse Modified HDPE and Asbuton is the composition of 20% HDPE and 30% Asbuton which meets the 2018 Bina Marga specifications.

Keywords: *High Density Polyethylene; Asbuton; Asphalt Concrete Wearing Course*

BABI PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Permasalahan yang sering terjadi pada perkerasan jalan raya di Indonesia yaitu kerusakan yang diakibatkan oleh penambahan jumlah penduduk yg pesat, mengakibatkan kerusakan perkerasan jalan lebih cepat, karena jalan yang kurang mampu menampung beban/kapasitas kendaraan yang melewati jalan tersebut. Selain faktor tersebut, cuaca juga dapat menyebabkan aspal mudah lapuk dan rusak seperti cuaca di Indonesia sendiri yaitu panas yang mengakibatkan oksidasi yang disebabkan oleh sinar matahari serta curah hujan yang tinggi dengan system drainase yang belum dikelola dengan tepat menyebabkan aspal menjadi lembab.

Dengan adanya permasalahan tersebut maka dapat dilakukan peningkatan kualitas dari perkerasan jalan tersebut agar dapat melayani beban lalu lintas kendaraan dengan baik. Perkerasan jalan yang baik tentunya dapat memperlancar mobilitas dari kendaraan serta menghemat biaya perawatan pada jalan. Salah satu carameningkatkan kualitas perkerasan jalan adalah dengan meningkatkan mutu aspal sebagai bahan pengikat dari agregat.

Pencemaran lingkungan selalu diperburuk oleh sampah plastik. Sampah plastik tidak hanya mencemari daratan tetapi juga lautan karena merupakan produk yang serbaguna, ringan, fleksibel, dan relatif murah. Namun, karena banyaknya manfaat tersebut, plastik digunakan secara luas di seluruh dunia sehingga efek negatifnya tidak disadari. Selain mencemari tanah, sampah plastik juga mencemari lautan. Menurut laporan tahun 2015, Indonesia menempati urutan kedua setelah China dalam hal jumlah sampah plastik di perairan. Diperlukan waktu ratusan tahun untuk sampah plastik terurai secara organik karena sifat limbah dan proses penanganannya yang berbahaya dan karsinogenik. Bahwa negara-negara Eropa menggunakan bahan plastik, dengan Jumlah sampah plastik yang dihasilkan setiap tahunnya di Barat adalah 60 kg per orang, 80 kg per orang di Amerika Serikat, dan sedikitnya 3 juta ton per tahun di Inggris. Plastik merupakan 57% dari sampah yang terkumpul di pantai, dan 46 ribu kepingnya mengapung di setiap mil persegi lautan.

Kedalaman sampah plastik di Samudera Pasifik bahkan sudah melampaui 100 meter, (Indonesia Solid Waste Association, 2013). Menurut Karuniastuti (2013), pemanfaatan kemasan plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* tidak terlepas dari fakta bahwa sebagian sampah plastik mengandung *HDPE* yang sulit terurai secara alami.

Pada tahun 1924, seorang ahli geologi Belanda bernama WH Hetzel Asbuton menemukan asbuton dan menggunakannya pertama kali untuk mengaspal jalan dua tahun kemudian. Sedikitnya ada 750 juta ton sumber daya alam aspal di Pulau Buton. Artinya Pulau Buton memiliki 80% cadangan aspal alam dunia; 20% lainnya berada di Trinidad, Tobago, Meksiko, dan Kanada. Aspal dan minyak yang diimpor dari negara tetangga merupakan mayoritas bahan konstruksi jalan di Indonesia. Indonesia membutuhkan 2 juta ton aspal setiap tahunnya dengan biaya Rp.18 Triliun untuk impor minyak dan aspal. Dibandingkan dengan Asbuton, harganya hanya Rp. 8,5 Triliun Bila aspal digunakan untuk membangun jalan baru di Indonesia, negara bisa menghemat Rp. 9,3 triliun per tahun dalam devisa(Zebua, 2015). Penghematan ini dapat direalisasikan selama minimal 350 tahun.

Lapisan aspal alam atau aspal batu yang dikenal dengan nama Asbuton (Natural Asphalt Buton) tersebar luas di Indonesia, khususnya di Pulau Buton di Provinsi Sulawesi Tenggara. Asbuton secara alami termasuk dalam kategori bahan hidrokarbon. Kandungan bitumen dalam asbuton berkisar antara 10% hingga 40%, dengan porsi sisanya berupa mineral. 600 juta ton atau sekitar itu membentuk deposit Asbuton. Selain itu, deposit Asbuton diperkirakan mengandung 24 juta barel minyak bitumen.

Dalam pengujian ini, akan memanfaatkan limbah plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* dan asbuton granular sebagai bahan campuran aspal untuk perkerasan jalan. Dengan Penggunaan limbah plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* dan asbuton granular akan sedikit membantu mengurangi limbah plastik yang ada di Indonesia serta mengurangi penggunaan aspal minyak.

1.2. Rumusan Masalah

Di Pulau Jawa, berbagai daerah telah menggunakan Modifikasi *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* untuk konstruksi jalan. *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* modifikasi ini memenuhi persyaratan aspal tipe II B pada

spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Devisi 6 Revisi 2 dengan memanfaatkan kualitas Asphalt Polymer Pen 60/70.

Permasalahan yang dirumuskan dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh High Density Polyethylene (HDPE) dan asbuton granular modifikasi terhadap stabilitas Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)?
2. Bagaimana pengaruh High Density Polyethylene (HDPE) dan asbuton granular modifikasi terhadap durabilitas Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)?

1.3. Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan Job Mix Formula karakteristik *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* modifikasi dengan pemanfaatan limbah plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* dan asbuton granular.
2. Menganalisis pengaruh campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC- WC) modifikasi dengan pemanfaatan limbah plastik High Density Polyethylene (HDPE) dan asbuton granular terhadap stabilitas.

1.4. Manfaat Penelitian

1. Mengkaji tentang pengaruh High Density Polyethylene (HDPE) dan asbuton granular modifikasi terhadap stabilitas Asphalt Concrete Wearing Course(AC-WC).
2. Mengkaji tentang pengaruh High Density Polyethylene (HDPE) dan asbuton granular modifikasi terhadap durabilitas Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC).

1.5. Batasan Masalah

Ruang lingkup penelitian ini harus dibatasi agar tidak menyimpang dari tujuannya. Kriteria berikut merupakan fokus eksklusif dari penelitian ini:

1. Agregat kasar dan halus yang digunakan berasal dari AMP Kudus PT. Deltamarga Adyatama.
2. Menggunakan bahan Aspal Polimer Pen 60/70 dan asbuton granular.

3. Pencampuran menggunakan pedoman Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) revisi 2 dan campuran aspal yang dibuat adalah *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* modifikasi.
4. Untuk mencari campuran kadar aspal optimum (KAO) digunakan variasi kadar aspal (4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 5,6%, 6%).
5. Menggunakan kadar plastik *High Density Polyethylene (HDPE)* 0%, 2%, 4%
6. Gradasi campuran aspal beton yang digunakan berdasarkan gradasi pada agregat gabungan yang ditunjukkan pada Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6 Revisi 2.
7. *High Density Polyethylene (HDPE)* adalah bahan plastik yang sering digunakan untuk kemasan plastik botol Minuman dengan karakteristik fisik yang fleksibel untuk bahan *additive* akan dipotong dengan ukuran 1 cm x 1 cm.
8. Asbuton granular adalah aspal yang diperoleh dari alam dengan penambahan kadar 0%, 10%, 20%, 30% dari kadar aspal.
9. Hanya dilakukan penelitian pada pengujian laboratorium dan tidak dilakukan penghamparan lapangan.

1.6. Sistematika Penulisan

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

BAB I : PENDAHULUAN

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

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang adanya aspek legalitas dan teknis yang berkaitan dengan analisis dalam penelitian. pengembangan berkelanjutan dari teori – teori yang digunakan sebagai dasar untuk mengatasi masalah yang muncul selama penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

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

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil penelitian dan penelitian aktual yang dilakukan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

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



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Kerusakan jalan karena beban lalu lintas berulang (Overload), suhu panas atau udara, air dan hujan, dan massa awal produk jalan yang buruk. Karena itu, selain merencanakan cara yang tepat. Harus dipelihara dengan baik untuk mengakomodasi pertumbuhan lalu lintas selama pelayanan usia program. Perawatan jalan yang rutin dan teratur diperlukan untuk menjaga keamanan dan kenyamanan pengguna jalan serta melindungi daya tahan atau keawetan sampai umur desain (Zumrawi et al., 2016).

Untuk mengetahui sejauh mana pelayanan jalan yang ada, maka diperlukan survei kondisi perkerasan struktural dan nonstruktural secara berkala. Keserasian (kekasaran), keteguhan (tekstur) dan ketahanan selip adalah beberapa tujuan inspeksi non-struktural (fungsional). Program rehabilitasi dan pemeliharaan jalan dapat ditentukan dengan mengukur kehalusan permukaan jalan (Pahlavi, 2019). Kehalusan permukaan jalan belum diukur salah satunya penilaian yang dilakukan di Indonesia adalah kurangnya peralatan yang tersedia. Memeriksa jalan perlu diratakan secara teratur agar kerusakan dapat diperbaiki dapat diidentifikasi karena kelancaran jalan sangat penting untuk keselamatan dan kenyamanan pengguna jalan (White, 2019). Aspek yang paling kritis dari pemilihan proyek merupakan penilaian terhadap jenis dan kondisi perkerasan eksisting, Karena faktor-faktor tersebut akan menentukan nilai suatu unit manfaat ekonomi perbaikan jalan.

2.1 Kadar Aspal Optimum

Kandungan bitumen yang digunakan dalam campuran dan seterusnya definisi yang akan ditimpa di lapangan adalah konten aspal optimal. Kandungan aspal yang optimal menjadi persyaratan mutlak untuk campuran lapisan apa pun jalan aspal. Kandungan aspal yang optimal bervariasi menurut sifat aspal, agregat, gradasi Jenis agregat dan campuran itu sendiri. Kode Umum Interpretasi dan Tata Kelola 2010 spesifikasi sifat campuran laston (AC). Persyaratan yang ditentukan harus dipenuhi. Properti berikut diperlukan untuk campuran laston memenuhi:

- a. Kepadatan
- b. Rongga dalam campuran (Void in The Mix)
- c. Aspal Pengisi Rongga (Void Filling Bitumen)
- d. Stabilitas Marshall
- e. Meleleh (Flow)

Penelitian lebih lanjut akan di lanjutkan dengan beberapa pembahasan, berdiskusi, meneliti, atau sebelumnya dilakukan dalam bentuk jurnal, seminar nasional dan lain-lain.

2.2 Density

Menurut Roberts, FL (1991), jika nilai level saat aspal naik, begitu pula kerapatannya, hingga mencapai puncaknya akan turun. puncak kemacetan Biasanya bersama dengan kandungan aspal yang optimal dan stabilitas puncak. Hal utama adalah menjadi dekat antara konsentrasi yang diperoleh di laboratorium mendapatkan kemacetan di lapangan sesudahnya. Lalu lintas tidak nyaman selama beberapa tahun. Penyumbatan tinggi akan menghasilkan kemampuan menahan beban tinggi dan impermeabilitas terhadap air dan udara yang tinggi.

Kepadatan adalah tingkat kerapatan setelah pencampuran . Kepadatan (density) adalah berat campuran per satuan volume. Ada beberapa faktor yang bisa mempengaruhi nilai densitas, yaitu kadar aspal, gradasi agregat, berat jenis agregat dan proses pemadatan termasuk suhu dan jumlah tumbukan. Kombinasi itu memiliki nilai kerapatan yang baik dan mampu menahan beban lebih besar dari pada campuran kepadatan rendah.

Dengan meningkatnya kandungan aspal dan resin, nilai kepadatan meningkat dengan meningkatnya kadar aspal dan menurun dengan meningkatnya kandungan resin. Pada harga aspal yang sama, semakin tinggi kandungan resinnya menambahkan sedikit ruang untuk diisi aspal sehingga kandungan pori campuran meningkat tinggi, untuk bercampur dengan plastik menjadi kurang terkompresi daripada yang tanpa plastik. nilai kerapatan yang tertinggi adalah 2.2862 di mix dengan not.

2.3 Sifat Plastik PET

Sifat mekanis plastik PET meliputi kejernihan, kekuatan, dan ketangguhan pelarut, kedap air dan gas, dan mudah lunak pada suhu 80 derajat celcius. Selain itu, plastik ini mudah diolah, mudah larut dalam campuran, dan memiliki perlindungan yang baik dari uap air, serta memiliki densitas 1,34-1,39 g/cm³.

2.4 Plastik dan Campuran Aspal

Menurut Suroso (2004), ada dua teknik (metode) pencampuran plastik bening dalam campuran aspal, yaitu:

- Metode Basah, (proses basah), cara mencampurnya dimana plastik dimasukkan ke dalam bitumen panas dan dicampur dengan kecepatan tinggi hingga homogen. Metode ini membutuhkan dana besar termasuk bahan bakar, mixer berkecepatan tinggi. Sebab, aspal modifikasi yang dihasilkan cukup mahal perbedaan dari aspal biasa.

- Metode Kering, yaitu metode pengeringan ditambahkan ke agregat dipanaskan sampai suhu tercampur, lalu tambahkan aspal panas. Cara ini bisa lebih mudah dari metode basah, hanya dengan memasukkan plastik dalam agregat panas, tanpa peralatan lain untuk pengaduk (mixer). Namun, pendekatan ini perlu dipertimbangkan keseragaman dan keseragaman jumlah resin yang ditambahkan atau dicampurkan.

Dalam penelitian ini, proses kering digunakan untuk menambahkan plastik dalam campuran aspal. Dari segi ekonomi, proses pengeringan lebih murah karenawaktu pencampuran lebih cepat, tidak diperlukan peralatan berbeda untuk pencampuran, lebih mudah ditangani daripada metode basah.

2.5 Aspal Buton

Aspal batu buton atau biasa disebut asbuton ditemukan pada tahun 1924 di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton mulai digunakan dalam pengaspalan gula sejak tahun 1926. Berdasarkan data yang ada, asbuton memiliki kandungan sekitar 677 juta ton atau setara dengan 170 juta ton aspal bitumen. Asbuton Ini adalah tambang aspal alami terbesar di dunia.

Aspal Buton merupakan aspal alam yang ada di Indonesia khususnya di pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Asbuton atau Aspal batu buton biasanya berupa butiran yang terbentuk secara alami oleh proses geologis. Proses pembentukan Asbuton berawal dari minyak yang terdorong ke atas permeabilitas permukaan antara batuan berpori (Direction des travaux Sintesis, 2006). Cadangan asbuton diperkirakan sekitar 60.991.554,38 ton atau setara dengan 24.352.833,07 barel minyak. (Suaryana, 2008).

Asbuton berbentuk padat dan terbentuk secara alami oleh proses geologis. Pada Buku 1 Menggunakan Asbuton (Building and Building Guide) No: 001 – 01/BM/2006 Kementerian Pekerjaan Umum (Indonesia) menjelaskan Asbuton butiran ini merupakan hasil pengolahan asbuton dalam bentuk padat hancurkan dengan alat penghancur batu (crusher) atau alat penghancur sejenis lainnya sesuai dengan ukuran partikel tertentu. Nilai penetrasi aspal alam buton (Asbuton) sekitar

Dibandingkan dengan aspal bitumen, penetrasi minyak aspal lebih besar dibandingkan dengan Asbuton. Hal yang paling mendasar tentang perbedaan antara aspal bitumen dan aspal alam buton (Asbuton) Asbuton lebih keras sedangkan aspal bitumen lebih ulet.



Gambar 2.1. Lokasi deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara

Gambar 2.5 menunjukkan deposit Aspal Buton (Asbuton) di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara, Indonesia. Endapan asbuton tersebar di beberapa Kecamatan di Pulau Buton, antara lain di Kecamatan Enreke 170 juta ton, sub zona Lawe 210 juta ton, sub zona Siantopina dan Dusun Ulala 220 juta ton, Dusun Kabungka 60 juta ton dan Kabupaten Banabungi.

2.6 Penyusun Perkerasan Jalan

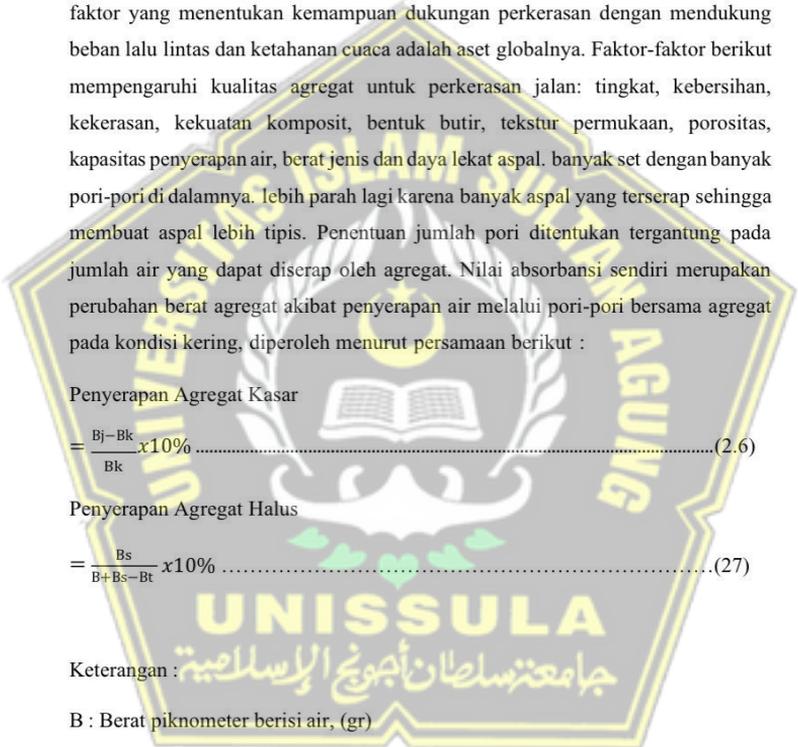
Agregat adalah batu pecah halus, kerikil, pasir atau mineral lainnya alami atau buatan dalam bentuk mineral padat dalam bentuk koloid ukuran besar atau kecil atau pecahan. Komponen utama struktur perkerasan terbuat dari agregat, bervariasi dari 75 sampai 85% agregat atas dasar persen massa atau 90 sampai 95 persen atas dasar agregat persen berat. Dengan demikian, sifat-sifat agregat dan hasil pencampurannya dengan bahan lain ini juga menentukan kualitas trotoar. Salah satu faktor yang menentukan kemampuan dukungan perkerasan dengan mendukung beban lalu lintas dan ketahanan cuaca adalah aset globalnya. Faktor-faktor berikut mempengaruhi kualitas agregat untuk perkerasan jalan: tingkat, kebersihan, kekerasan, kekuatan komposit, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kapasitas penyerapan air, berat jenis dan daya lekat aspal. Banyak set dengan banyak pori-pori di dalamnya. Lebih parah lagi karena banyak aspal yang terserap sehingga membuat aspal lebih tipis. Penentuan jumlah pori ditentukan tergantung pada jumlah air yang dapat diserap oleh agregat. Nilai absorpsi sendiri merupakan perubahan berat agregat akibat penyerapan air melalui pori-pori bersama agregat pada kondisi kering, diperoleh menurut persamaan berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \dots\dots\dots (2.6)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{B_s}{B + B_s - B_t} \times 10\% \dots\dots\dots (27)$$

Keterangan : 

B : Berat piknometer berisi air, (gr)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air, (gr)

Bs : Berat sample, (gr)

Bj : Berat sample kering permukaan jenuh (gr)

Bk: Berat sample kering oven (gr)

2.6.1 Persyaratan Agregat

Berdasarkan pada jenis dan ukuran partikel, agregat dibagi menjadi agregat kasar agregat halus dan bahan pengisi.

a. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan untuk desain tertahan pada saringan nomor 4 (4,75 mm) dan harus bersih, tahan lama dan bebas dari tanah liat atau kotoran lainnya. Untuk tujuan pengujian, bahan baku harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus ditawarkan dalam ukuran normal. Sintesis kasar ini membuat permukaan jalan lebih stabil dan tahan slip (anti selip) tinggi untuk memastikan keamanan lalu lintas. Agregat kasar memiliki bentuk butiran bulat yang membuat proses lebih mudah dipadatkan tetapi stabilitasnya rendah, sementara bentuknya bersudut. Sudutnya sulit runtuh tetapi stabilitasnya tinggi. Diperlukan agregat kasar tahan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran proses keausan, untuk ini, nilai uji kehilangan sudut keausan harus dipenuhi.

Table 2.1 Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12 %
	magnesium sulfat		Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6%
		500 putaran	Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95 %
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90 ²⁾
	Lainnya		95/90 ³⁾
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10 %
Material lolos Ayakan No. 200		SNI-ASTM C117: 2012	Maks. 1%

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran partikel kurang dari 2,36 mm. Saringan no. 8. Dengan saling mengunci antar partikel, agregat dapat diperbaiki stabilisasi campuran; Agregat halus juga mengisi celah antar partikel. pasir alami, batu pecah, atau kombinasi keduanya, bisa menjadi bahan ini. Spesifikasi Divisi Bina Marga Tahun 2010 menetapkan persyaratan umum untuk agregat halus.

Tabel 2.2 Persyaratan Agregat Halus

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

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

c. Filler (Bahan Pengisi)

Pengisi adalah bahan yang melewati filter No.200 (0,075mm) dan tidak kurang dari 75% berat. Fungsi beban adalah sebagai berikut mengisi celahudara pada material, sehingga mengeraskan lapisan aspal. Pengeluaran dapat digunakan dalam bentuk debu abu atau semen portland.

2.6.2 Gradasi Agregat

Kestabilan perkerasan dapat ditentukan dengan cara meratakan. Ukuran ruang antar partikelmenentukan stabilitas dan kemudahan implementasi, sering terpengaruh pada tingkat global. hirarki sintetik dibedakan berdasarkan :

a. Gradasi Seragam (Uniform Graded)

Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang kira-kira sama.Gradasi seragam juga dikenal sebagai peredupan terbuka karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga banyak lubang atau rongga ruang antar himpunan. Campuran aspal dibuat dengan klasifikasi ini berpori atau sangat permeabel, stabilitas rendah dan memiliki berat jenis yangrendah.

b. Gradasi Rapat (Dense Graded)

Gradasi rapat adalah gradasi yang di dalamnya terdapat pelet sintetik dari kasar sampai halus dalam fraksi yang seimbang, sehingga sering disebut sebagai kontinu atau bergradasi baik. Agregat gradasi dianggap jika persentase lulus setiap kelas tingkat memenuhi :

$$P = 100(d/D)^{0.45} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana :

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm (%)

d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan (%)

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka (%)

Lapisan perkerasan memiliki kestabilan yang tinggi, daya serap air yang rendah, drainase yang buruk, dan berat unit yang tinggi akan dihasilkan dari agregat dengan lereng padat.

c. Gradasi Senjang (Gap Graded)

Gradasi senjang adalah peningkatan komposit di mana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau memiliki bagian global yang tidak ada atau jumlahnya sangat kecil. Agregat dengan gap grading akan membentuk lapisan perkerasan kualitasnya antara agregat bergradasi seragam dan agregat bergradasi pertemuan.

2.7 Material Penyusun Perkerasan Jalan

Batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, alami atau buatan, dalam bentuk mineral padat dalam ukuran besar atau kecil atau serpihan disebut agregat. Komponen utama struktur perkerasan adalah grade, bervariasi dari 75 hingga 85% dari total persen volume atau 90-95% agregat sebagai persentase berat. Akibatnya, properti agregat dan output campurannya dengan bahan lain juga menentukan kualitas trotoar. Salah satu faktor yang menentukan daya dukung perkerasan yang didukung beban lalu lintas dan tahan cuaca adalah karakteristik keseluruhannya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kualitas agregat untuk bahan paving adalah: jenis, kebersihan, kekerasan, kekuatan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, penyerapan air, densitas dan daya lekat aspal. Aspal teradsorpsi akan menghasilkan agregat bitumen yang lebih halus dan lebih berpori tinggi akan membutuhkan jumlah aspal yang lebih besar. Jumlah air penyerapan oleh agregat digunakan untuk menentukan jumlah pori.

2.8 Spesifikasi Gradasi Agregat Lapis (AC – WC)

Sifat-sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan perkerasan jalan. Di mana agregat itu sendiri adalah bahan yang keras dan kaku. Dikombinasikan

dengan kualitas yang baik diperlukan untuk pelapisan permukaan langsung membawa beban lalu lintas dan meneruskannya ke lapisan bawah. Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi :

2.8.1 Aspal

Aspal pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sebagaimana mestinya dengan kondisi yang ada seperti pada table berikut :

Tabel 2.3 Spesifikasi Pengujian Aspal

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

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

Aspal atau bitumen merupakan bahan yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastik sehingga akan melunak dan meleleh. Properti kental ini memungkinkan aspal menutupi dan menahan agregat di tempatnya selama masa produksi dan penggunaan konstruksi jalan, aspal pada dasarnya diproduksi rantai hidrokarbon yang disebut bitumen.

2.8.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall

Tes Marshall adalah metode atau metode laboratorium yang paling umum untuk perkerasan biasa digunakan untuk memverifikasi kinerja aspal campuran panas, yaitu dengan mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan plastis atau aliran campuran potong dengan alat Marshall. Konsep ini dikembangkan oleh Bruce Marshall pada tahun 1939, seorang insinyur bahan aspal dari The Departemen Jalan Raya Negara Bagian Mississippi. Kajian ini kemudian dilanjutkan oleh Amerika

ke industri konstruksi perkerasan, bandara dan pelabuhan, serta manufaktur sirap atap dan produk lainnya.

Secara tradisional, produksi aspal menggunakan bitumen yang tidak dimodifikasi, Biasanya dinilai berdasarkan viskositas atau ketahanan terhadap penetrasi filler pada suhu tertentu. Namun, tergantung pada persyaratan karakteristik teknis dari campuran aspal tersebut meningkat dari waktu ke waktu, polimer, asam dan aditif lainnya dibuat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi, retak termal campuran aspal pada suhu tinggi kelembaban rendah dan kerusakan.

Secara tradisional, produksi aspal menggunakan bitumen yang tidak dimodifikasi, Biasanya dinilai berdasarkan viskositas atau ketahanan terhadap penetrasi filler pada suhu tertentu. Namun, tergantung kebutuhan Seperti banyak negara, atau Australia dan Inggris terutama menggunakan bitumen atau non- polimer aspal modifikasi sebagai bahan pengikat dalam campuran aspal. Inggris mempertahankan peringkat penetrasi sistematis untuk aspal no dimodifikasi sementara Australia menggunakan peringkat berbasis viskositas. Namun, viskositas dan penetrasi umumnya berbanding terbalik dan nilainya adalah umumnya setara, meskipun ada beberapa tumpang tindih secara signifikan, hubungan yang berbeda antara sumber. Penilaian polimer dimodifikasi aspal (PMB) lebih kompleks dan banyak negara beralih ke sistem Peringkat Kinerja (GP) yang dikembangkan di Amerika Serikat (FHA 2011). Namun, Australia mempertahankan sistem nilai PMB berdasarkan karakteristik produksi yang menunjukkan jenis dan persentase polimer (Putih2017). Untuk aplikasi berkinerja tinggi, A10E dan A35P adalah PMB elastomer danplastik umum untuk produksi bitumen di Australia. Meskipun kandungan aspal biasanya hanya 5-6%, pantulan bahan pengikat sekitar 60%ri biaya bahan baku dalam aspal dan penggantian sebagian aspal dengan produk sampingan dan pemborosan memiliki keuntungan biaya yang signifikan ketika kinerja dicampur tidak terpengaruh secara negative.

2.10 Sifat Bahan Aggregate Aspal Wearing Course

Aspal Wearing Course adalah aspal wearing dengan gradasi senjang dengan agregat lolos melalui saringan No.16.

1. Fraksi Agregat Kasar

Agregat kasar yang tertahan pada saringan 4,75 mm harus terdiri dari partikel-partikel atau potongan batu yang keras dan tahanan lama. Bahan rusak karena berulang kali basah dan kering sebaiknya tidak digunakan.

2. Fraksi Agregat Halus

Agregat halus yang tertahan pada saringan 4,75 mm harus terdiri dari partikel-partikel pasir alam atau batu pecah halus dan partikel halus lainnya yang memenuhi syarat.

3. Sifat Bahan yang Disyaratkan

Semua agregat harus bebas dari bahan organik dan/atau gumpalan tanah liat atau bahan lain yang tidak diinginkan dan setelah pemadatan harus memenuhi persyaratan (menggunakan saringan basah) dan memenuhi persyaratan yang ditentukan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 2.4 Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk Wearing Course

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2 ^{3/4} "	50		100		
1 1/2 ^{3/4} "	37,5	100	88 - 95	100	100
1 ^{3/4} "	25,0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	71 - 87
3/4 ^{3/4} "	19,0				58 - 74
1/2 ^{3/4} "	12,5				44 - 60
3/8 ^{3/4} "	9,50	44 - 58	30 - 65	41 - 66	34 - 50
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	19 - 31
No.8	2,36				8 - 16
No.10	2,0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No.16	1,18				0 - 4
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26	
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16	

Sumber ; Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 5

Tabel 2.5 Sifat- Sifat Agregat Lapis Drainase untuk Wearing Course

Sifat – sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dan Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ³⁾	80/75 ³⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indek Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No.200	maks.25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	min.90 %	min.60 %	min.50 %	-
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40	maks.2/3	maks.2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	> 3,5

Sumber ; Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 6

4. Pencampuran Bahan

Mencampur bahan untuk memenuhi persyaratan dilakukan di lokasi pemecah batu standar (stone crusher) solusinya menggunakan dispenser mekanis yang dikalibrasi untuk mendapatkan aliran komponen yang konstan mencampur dalam proporsi yang tepat dan tidak ada kasus diizinkan untuk berintegrasi di lapangan.

2.11 Lapis Pengikat

Lapisan pengikat meliputi persiapan dan penempatan bahan aspal di atasnya permukaan yang telah disiapkan. Lapisan perekat ditempatkan di permukaan pondasi tanpa perekat lapisan dasar sintetis.

1. Cuaca yang diizinkan untuk bekerja :

Lapisan pengikat harus diaplikasikan pada permukaan yang bersih dan kering. Aplikasi lapisan perekat tidak dapat diaplikasikan dalam kondisi berangin kuat, hujan atau akan hujan.

2. Kesiapan Pekerjaan :

Kesiapan pekerjaan lapis pengikat meliputi beberapa hal sebagai berikut :

- a. Sampel 5 liter dari setiap materi disediakan dalam buku ini dengan sertifikat pabrikan dan hasil uji yang disyaratkan.

- b. Catatan kalibrasi semua instrumen, pengukur dan batang pengukur plunger untuk distributor aspal. Pengukur, alat dan harus dikalibrasi untuk memenuhi akurasi, toleransi akurasi terpenuhi spesifikasi dan tanggal kalibrasi tidak boleh melebihi tahun sebelum pelaksanaan.
- c. Laporan harian untuk pekerjaan yang dilakukan dan dosis material yang digunakan harus memenuhi spesifikasi.

2.12 Validitas

Istilah “validitas” berasal dari kata “validitas” yang mengacu pada sejauh mana alat ukur yang melakukan fungsi pengukuran yang tepat. Selanjutnya, di Binus2014, Cooper and Schindler, Zulganef, 2006 menyatakan bahwa nilai merupakan ukuran keyakinan peneliti terhadap variabel yang diukur. Saat itu, dalam Binus 2014, Sugiharto dan Sitinjak (2006) menyatakan bahwa nilai mengacu pada variabel yang mengukur apa yang seharusnya diukur. Dalam penelitian ini, validitas menunjukkan ketepatan ukuran penelitian dibandingkan dengan konten terukur yang sebenarnya. Tes validasi adalah digunakan untuk menunjukkan seberapa baik suatu alat ukur mengukur apa yang diukur. Aspek akurasi pengukuran adalah sisi lain dari konsep tersebut memengaruhi. Selain memiliki ketelitian yang tinggi, alat ukur yang valid jugadapat menjalankan fungsinya dengan baik. Dalam konteks ini, presisi mengacupada kemampuan untuk mengidentifikasi variasi kecil dalam sifat-sifat yang diukurnya. Berdasarkan SNI 19-17025-2000, autentikasi juga dipahami sebagai validasi suatu metode dengan menguji dan mengumpulkan bukti-bukti yang memenuhi persyaratan tertentu dihadapi.

Validitas perlu dilakukan laboratorium terhadap :

1. Metode non standar
2. Metode yang dikembangkan sendiri
3. Metode standar yang digunakan diluar ruang lingkup yang dimaksud
4. Metode standar modifikasi
5. Metode standar untuk mengkonfirmasi

Bahwa metode ini dapat digunakan. Jadi untuk hasil pengujian yang baik disamping memerlukan perhatian khusus terhadap benda uji dan perangkat, perangkat lunak juga diperlukan untuk digunakan. Perangkat lunak diperlukan untuk memvalidasi pengalaman murni yang penuh dengan kemungkinan kesalahan, baik oleh alatnya, oleh bahannya, maupun oleh orang yang melakukan tes. Dengan kata lain, autentikasi dengan program diperlukan untuk hasil pencarian tingkat akurasi yang diketahui (setidaknya nilai komparatif dari grafik uji di atas studi sebelumnya) dan keakuratannya.

2.13 Polypropylene

Setelah PE dan PVC, polipropilen adalah polimer yang paling banyak digunakan keliling dunia. Nama kimia polipropilena, atau PP, adalah $(C_3H_6)_x$. Sebagian besar polipropilen komersial bersifat isotatik dan mengkristal pada antara polietilen densitas rendah dan polietilen densitas tinggi. Polypropylene juga dikenal sebagai polypropylene (PP), adalah termoplastik diproduksi oleh industri kimia yang digunakan dalam banyak aplikasi, SETARA: pengemasan, tekstil (seperti tikar, tali, dan pakaian dalam termal), peralatan notebook, wadah untuk berbagai peralatan dan rumah tangga bisa dapat digunakan kembali (seperti ember plastik, gelas dan toples), onderdil mobil, permukaan speaker polimer, peralatan laboratorium, dan uang kertas. Polimer tambahan ini, yang terdiri dari monomer propilena, tidak beraturan dan tidak memiliki Tahan terhadap pelarut kimia seperti basa dan asam. Polypropylene biasanya bisa mendaur ulang. Menurut Nurminah (2002), PP adalah film tahan benturan dan air mata dengan baik, kenyal, transparan dan lembut. Pada 150°C , PP yang telah dipanaskan akan menjadi lunak dan meleleh. Polypropylene memiliki properti berikut: Kekerasan tinggi, padat, stabilitas dimensi, ketahanan sifat termal dan kimia yang baik, dan sifat listrik yang baik. Penyerapan air dan uap rendah di P.P. Pada 150°C , ekstrusi (disebut juga peleburan) dapat dilakukan digunakan untuk mengobati PP. Itu juga dapat ditangani dengan metode cetakan tiup atau cetakan injeksi. Menurut Mujiarto (2005), botol plastik PP bisa dibuat lebih tipis dari botol PE karena kekuatannya yang unggul.

2.14 Sifat – Sifat Campuran Aspal

2.14.2 Stabilitas

Faktor terpenting dalam aspal adalah stabilitas yang cukup untuk menahan deformasi dan peleburan plastis yang disebabkan oleh variabel dinamis dan statis, mencegah bekas roda serata perubahan permukaan perkerasan jalan. Persyaratan stabilitas perkerasan akan ditentukan oleh volume lalu lintas yang diantisipasi dan beban kendaraan pada rute tersebut. Stabilitas adalah hasil dari gesekan antar butir, menjaga antar partikel, dan kepatuhan yang lebih besar terhadap aspal. Nilai satuan stabilitas KN atau kg.

2.14.3 Kelelahan Plastis (Flow)

Ketika campuran aspal dibebani melewati batas keruntuhannya, yang diukur dalam mm atau inci, terjadi situasi yang dikenal sebagai Kelelahan plastis (flow). Karena komponen aspal yang tinggi maka campuran akan terlihat lentur jika nilai flow tinggi, namun jika rendah maka campuran akan terlihat kaku karena kadar aspal yang rendah.

2.14.3 Marshall Quotient

Marshall Quotient yang diukur dalam kilogram per milimeter, adalah hasil perbandingan antara stabilitas dan pelelehan plastik. Ketika terkena tekanan lalu lintas, campuran dengan indeks Marshall tinggi menunjukkan tingkat stabilitas yang tinggi dan tingkat leleh plastik yang rendah, yang kaku dan meningkatkan risiko retak perkerasan. Di sisi lain, MQ rendah dihasilkan oleh kombinasi plastisitas tinggi dan stabilitas rendah, membuatnya lebih cenderung tidak stabil dan plastis

2.15 Laston Lapis Aus

Saat membangun jalan beraspal, laston merupakan lapisan penutup dengan signifikansi struktural yang signifikan. Campuran ini dibuat dengan menggabungkan, menyebarkan, dan memadatkan aspal keras dan agregat bergradasi terus menerus pada suhu tertentu. Lapisan Laston merupakan gradasi menerus dari aspal keras dan kerikil yang digunakan dalam konstruksi jalan. Ini dicampur, disebarkan, dan dipadatkan pada suhu tertentu. Meskipun terdapat berbagai variasi campuran beton aspal panas, penelitian ini akan fokus pada variasi AC-WC (Silvia Sukirman, 2012). Laston berfungsi sebagai lapisan

pengikat di bawah lapisan aus (*Binder Course*). Roda kendaraan harus memiliki ketebalan minimal minimal 5 cm agar dapat menahan beban lalu lintas, meskipun tidak langsung terpengaruh oleh cuaca.

Sebaliknya, Laston adalah lapisan perkerasan dengan kekasaran yang dipersyaratkan dan ketebalan nominal minimal 4 cm, berfungsi sebagai lapisan aus (*Wearing Course*). Ini berhubungan dengan ban mobil dan tahan cuaca dan air. Lapisan ini berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dari lapisan di bawahnya berupa beban kendaraan (gaya vertikal), gaya rem (gaya horizontal), dan hambusan roda kendaraan (getaran). Karena cara penyebaran beban, setiap lapisan mengalami beban yang berbeda, dan semakin tinggi bebannya, semakin rendah bebannya. Lapisan permukaan, yang merupakan lapisan atas, harus mampu menangani beban kerja apa pun.

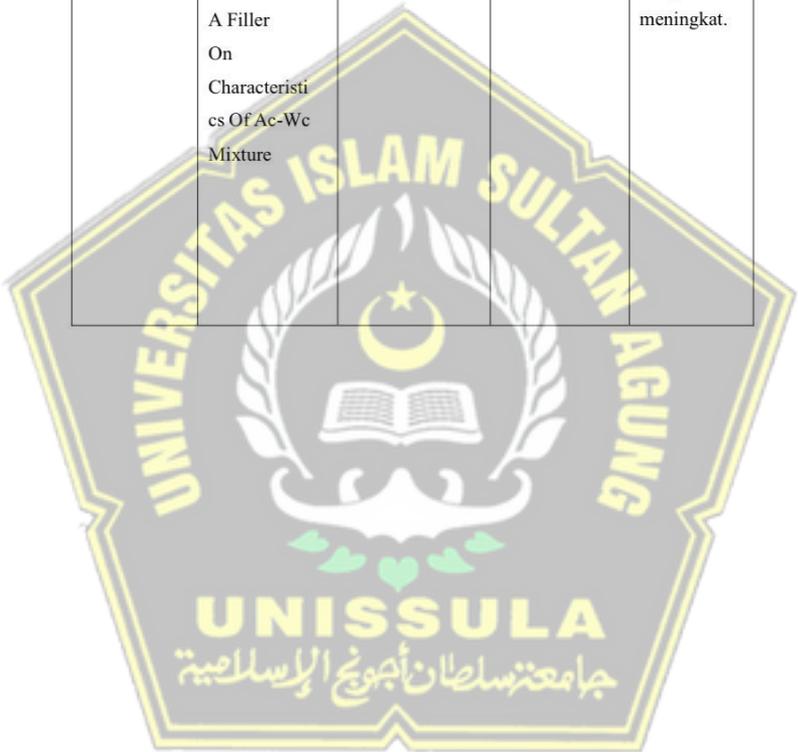
2.16 Penelitian Terdahulu yang sejenis

Tabel 2.6 Tabel Penelitian Terlebih dahulu

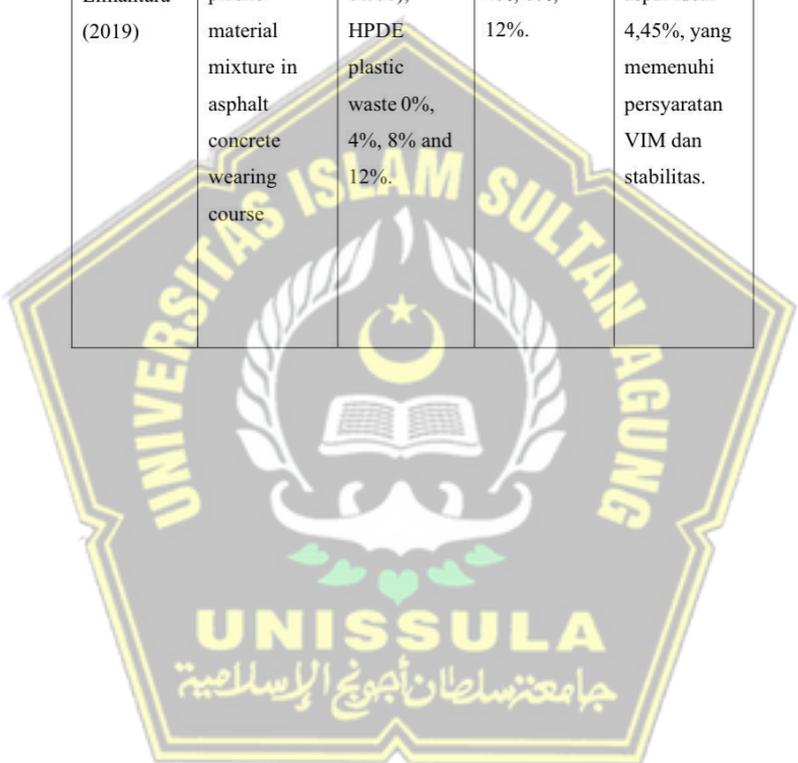
Peneliti	Judul	Metode	Variabel	Hasil
Anita Rahmawati (2015)	The Effect Of Using Polyethylene (Pe) And High Density Polyethylene (Hdpe) Plastic In Laston-Wc Mixture On Marshall Characteristics	HDPE and PE plastic as a mixture of thin layer of asphalt concrete in wearing course	coarse aggregate, fine aggregate, bitumen and HDPE and PE plastic Mixture	Jika dibandingkan dengan campuran aspal-PE, pengaruh kombinasi aspal-HDPE menghasilkan hasil yang setara atau lebih baik dari segi sifat Marshall.

<p>Bayu Adwitya Novrianto, (2016)</p>	<p>The Effect Of Addition Of Plastic Waste As A Material Addition To Ac-Wc Asphalt Concrete With Gypsum Filler</p>	<p>Percentages 6% PET</p>	<p>Properties of the asphalt mixtures 6% PET content addition</p>	<p>Menambahkan PET ke dalam aspal akan meningkatkan mutu campuran beton aspal maupun mutu aspal yang dihasilkan.</p>
<p>Harry, Malz Harpendi (2017)</p>	<p>Making Green Pavement With Utilization Of Pet, Hdpe And Ldpe As An Additive In Mixings Ac-Wc</p>	<p>Percentage 33.3% PET, 33.3% HDPE and 33.3% LDPE</p>	<p>PET plastic bag, HDPE, and LDPE as additives</p>	<p>Dibandingkan dengan material normal, nilai stabilitas yang diperoleh dengan kombinasi plastik naik sebesar 66,73% Pada komponen plastik 8%.</p>

<p>Isnanda, Sofyan M. Saleh, Muhamm ad Isya (2018)</p>	<p>The Effect Of Polystyrene (Ps) And Ash Substitution Coconut Shell Charcoal As A Filler On Characteristi cs Of Ac-Wc Mixture</p>	<p>Ratio of PS plastic waste to the weight of the asphalt: 7%, 9%, or 11%.</p>	<p>PS plastic Used As Aggregate in Asphalt Mixture</p>	<p>Dibanding kan dengan campuran tanpa alternatif plastik, nilai stabilitas campuran meningkat.</p>
--	--	--	--	---



Suprayitno, Sri Wiwoho Mudjanarko, Koespiadi, dan Arthur Daniel Limantara (2019)	Study of the use of variations of high density polyethylene (hdpe) plastic material mixture in asphalt concrete wearing course	A mixture of aggregate (coarse, medium and fine), asphalt (pen 60/70), HPDE plastic waste 0%, 4%, 8% and 12%.	Aggregate coarse, medium and fine with HDPE plastic 0%, 4%, 8%, 12%.	pada campuran plastik HDPE 8% dengan konsentrasi aspal ideal 4,45%, yang memenuhi persyaratan VIM dan stabilitas.
--	--	---	--	---



1. Penelitian Indah dan Meiya (2023) dengan judul Analisa *Asphalt Wearing Coarse (AC – WC)* Modifikasi dengan Penambahan *HDPE (High Density Polyethylene)* dan Asbuton Granular. Untuk mendapatkan Job Mix Formula karakteristik *Asphalt Concrete Wearing Course (AC – WC)* modifikasi dengan pemanfaatan limbah plastic High Density Polyethylene (*HDPE*) dan asbuton granular. Mengetahui keawetan dan daya tahan *Asphalt Concrete Wearing Course (AC- WC)* modifikasi dengan pemanfaatan limbah plastik (*HDPE*) dan asbuton granular.
2. Penelitian Mohd Ezree Abdullah, Siti Aminah Abd Kader, Ramadhansyah Putra Jaya, Haryati Yaacob, Norhidayah Abdul Hassan, and Che NorazmanChe Wan dengan Judul A Study on Use of Waste Plastic Materials in Flexible Pavements. Pada Hasil menunjukkan bahwa campuran dengan 4%plastik memiliki stabilitas tertinggi (184kN). Namun, stabilitas sedikit menurun dengan peningkatan aditif plastik. Dilain pihak kekuatan tarik tertinggi di antara beton aspal yang dimodifikasi adalah 1049kPa (tambah 8% plastik). Campuran aspal yang dimodifikasi dengan plastik 8% memiliki modulus tangguh tertinggi, yaitu 3422 MPa (25 °C) dan 494Mpa (40°C). Dimana modulus creep tertinggi tercatat 73,30Mpa di 8% plastik ditambahkan. Dapat disimpulkan bahwa penambahan 8% plastik memberikan sifat nilai tertinggi dari campuran aspal. Akhirnya, dapat dikatakan bahwa 8% plastik adalah nilai tambah yang optimal.
3. Penelitian Suprayitno, Sri Wiwoho Mudjanarko, Koespiadi, dan Arthur Daniel Limantara (2019) dengan judul Studi Penggunaan Variasi Campuran Material Plastik Jenis *High Density Polyethylene (HDPE)* Pada Campuran Beraspal Untuk Lapis Aus *AC- WC (Asphalt Concrete Wearing Course)*. Penelitian ini diperlukan untuk mengetahui seberapa baik pengaruh penggunaan plastik jenis HDPE sebagai campuran sampah plastik terhadap perkerasan jalan mengingat banyaknya volume sampah plastik bekas yang kini dihasilkan. Kandungan aspal yang memenuhi semua standar diperkirakan antara 5,6% dan 6% setelah diuji di laboratorium dan diperiksa sesuai dengan Spesifikasi Jalan Umum untuk komposisi normal tanpa aditif 0% plastik. Berdasarkan temuan studi dengan menggunakan empat komposisi berbeda, dimungkinkan untuk membuat campuran plastik HDPE dengan kandungan bitumen ideal 0%, 4%, 8%, dan 12% yang juga memenuhi persyaratan VIM dan stabilitas.

4. Penelitian Aris Firman Wijaya, dan Rini Mulyani, Taufik Taufik (2020) dengan judul Analisis Pengaruh Ketahanan Campuran Aspal Plastik Dan Aspal Biasa Terhadap Genangan Air Hujan. Pada penelitian ini diuji ketahanan aspal plastik terhadap genangan air hujan. Low density polyethylene (LDPE), jenis plastik yang banyak dihasilkan namun kurang dalam pemanfaatannya karena dipandang jelek dan daya jualnya lemah. Tingkat LDPE yang digunakan bervariasi dari 0% sampai 2% sampai 4% sampai 6% sampai 8%. Berdasarkan hasil pengujian, penggantian LDPE pada kisaran 0,1% - 4% cenderung menaikkan Stability Value, VIM, VMA, dan Marshall Quotient (MQ), namun cenderung menurunkan nilai Flow dan VFB.
5. Penelitian Julius Evandanata, Desriantomy Desriantomy dan Supiyan Supiyan (2021) dengan Judul Pemanfaatan Limbah Botol Plastik (PET) Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Asphalt Concrete Wearing Course. Jalan memiliki peran penting dalam pembangunan daerah. Salah satu cara untuk mengembangkan jalan adalah dengan memperbaiki kondisi fisik jalan untuk menunjang kelancaran lalu lintas. Upaya untuk mencapai kriteria tersebut dilakukan dengan meningkatkan kinerja campuran, misalnya dengan zat aditif. Penelitian ini mencoba bahan pelengkap lokal yaitu pemanfaatan limbah botol plastik minuman yang dihaluskan dengan blender menjadi flakes. Uji Marshall dilakukan dengan 2 tahap yaitu pengujian Marshall dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar.

BAB III

METODOLOGI

3.1. Tipe Penelitian

Selain itu, metode eksperimen adalah strategi penelitian yang digunakan untuk memastikan, dalam keadaan terkendali, dampak dari satu perlakuan terhadap perlakuan lainnya (Jaya et al., 2019). Menurut definisi yang diberikan oleh beberapa ahli tersebut, penelitian eksperimen adalah penelitian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh perlakuan terhadap subjek penelitian.

Penelitian ini merupakan penelitian yang menggunakan metodologi data primer karena dilakukan secara eksperimen untuk mendapatkan benda uji yang paling tepat untuk selanjutnya dilakukan penelitian, karena data diperoleh secara langsung. Dalam penelitian ini digunakan American Society for Testing Material (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI) sebagai pedoman dalam proses pembuatannya.

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1. Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian ini meliputi;

- a) Agregat kasar, halus, dan abu batu diperoleh dari AMP (Asphalt Mixing Plant) PT. Deltamarga Adyatama Kudus Jawa Tengah.
- b) Menggunakan bahan Aspal Polimer Pen 60/70.
- c) *High Density Polyethylene (HDPE)* adalah bahan plastik yang sering digunakan untuk kemasan plastik seperti botol Minuman dengan karakteristik fisik yang fleksibel, digunakan kadar 0%, 2%, 4%, dari kadar aspal Optimum (KAO) pada bahan HDPE ini.
- d) Asbuton dengan jenis butir tipe 5/20 variasi kadar 0%, 10%, 20%, 30%.

3.2.2. Peralatan Penelitian

- a. Alat penguji agregat dan *filler*

Diantara peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat termasuk mesin Los Angeles (untuk uji abrasi), saringan standar (untuk penilaian agregat)

oven (untuk pengering), timbangan, penguji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).

b. Alat penguji aspal

Peralatan untuk pengujian aspal meliputi; alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji titik lembek, alat uji kelarutan, dan alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan).

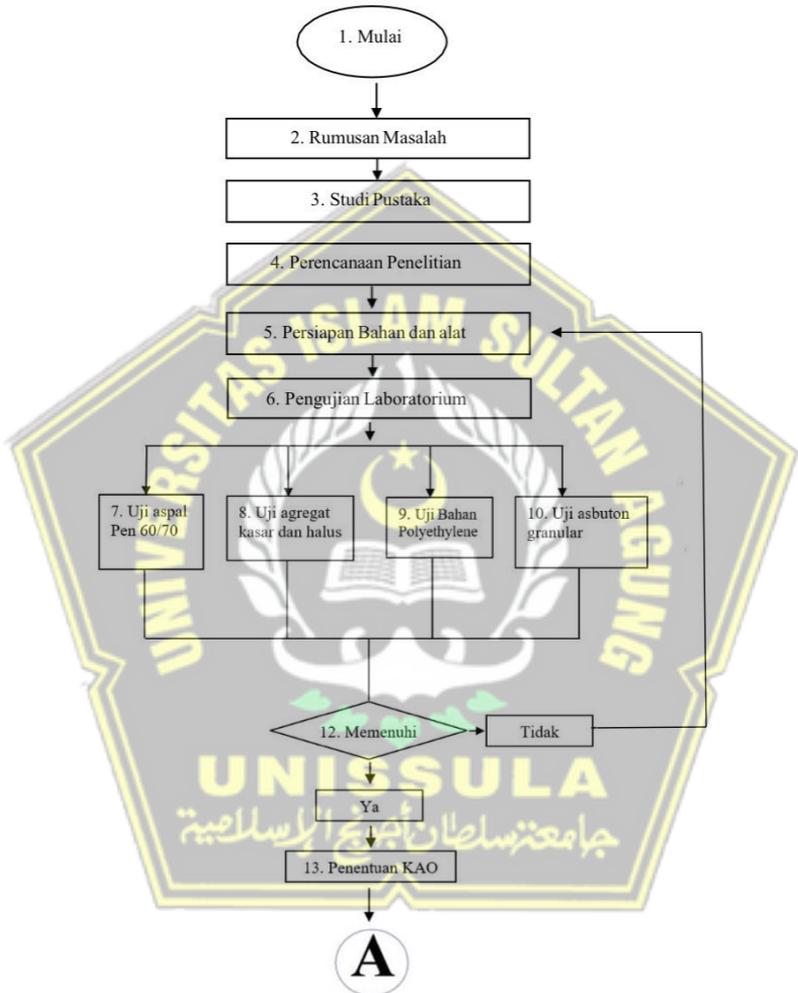
c. Alat pengujian campuran metode *Marshall*

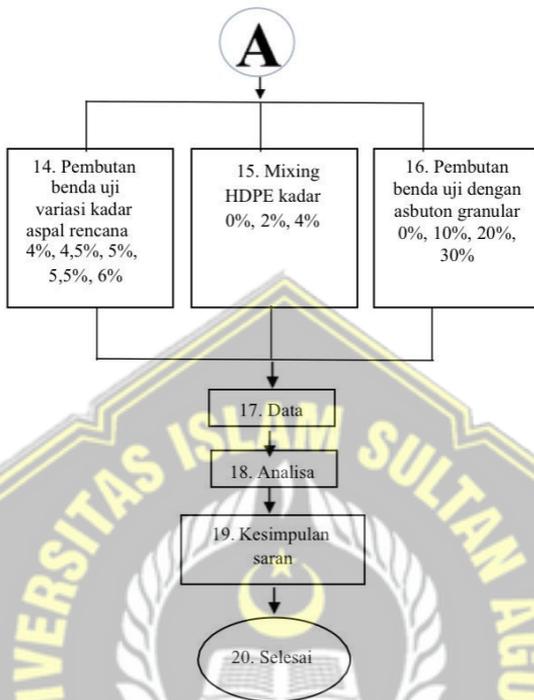
Seperangkat alat metode *Marshall* digunakan sebagai alat uji, yang meliputi;

- 1) Alat tekan *Marshall* terdiri dari kepala penekan dengan bentuk lengkung, cincin penguji yang berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) dan dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flowmeter*).
- 2) Alat cetak benda uji silinder dengan diameter 10,2 cm (4 inci) serta tinggi 7,5cm (3 inci) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 inci) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasi dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci), berat 4,5 kg (10 lbs), dengan tinggi jatuh bebas 45,7cm (18 inci) untuk *Marshall* standar.
- 4) *Ejektor* untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- 5) Alat-alat penunjang meliputi panci pencampur, kompor pemanas, termometer, kipas angin, sendok pengaduk, kaus tangan anti panas, sarung tangan karet, kain lap, kaliper, spatula, timbangan dan spidol untuk menandai benda uji.
- 6) Alat Pencacah *High Density Polyethylene (HDPE)* adalah bahan plastik yang paling umum digunakan. Plastik dapat dicacah atau dihancurkan dengan alat yang disebut pencacah sampah plastik. mulai dari lembaran plastik, botol oli, botol jerigen, dan botol minuman. Para pengusaha dapat memanfaatkan plastik cacahan tersebut sebagai bahan daur ulang plastik yang sangat dibutuhkan oleh pabrik-pabrik yang mendaur ulang plastik. Hitungan ini biasanya memiliki dimensi +0,5 secara umum.

3.3. Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Bagan alir penelitian berupa tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan selama penelitian ini dijelaskan pada Gambar 3.1.





Gambar 3.1. Bagan Alir Penelitian

3.4. Prosedur Perencanaan Penelitian

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

1. Persiapan

Langkah pertama adalah melakukan studi pustaka dan menyiapkan peralatan dan perlengkapan. Bahan yang digunakan dalam campuran aspal diperiksa untuk memastikan memenuhi standar sehingga penelitian dapat berjalan dengan lancar.

2. Pemeriksaan campuran material aspal

Semua pengujian mengikuti standar pengujian yang ditetapkan oleh *American Society for Testing Materials* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pemeriksaan agregat kasar dan halus meliputi hal-hal berikut:

- a. Berat Jenis Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008) dan Penyerapan

Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008).

- b. Tingkat Keausan atau Abrasi Agregat Kasar (berdasarkan SNI 2417:2008).
- c. Partikel Pipih dan Lonjong (berdasarkan ASTM D 4791-95).
- d. Daya Lekat Agregat terhadap Aspal (berdasarkan SNI-06-2439-1991).
- e. *Soundness* atau Uji Sifat Kekekalan Bentuk agregat (berdasarkan SNI 3407:2008).
- f. Berat Jenis Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008) dan Penyerapan Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:).
- g. Kadar Lumpur/ Sand Equivalent Test (berdasarkan SNI 3423 : 2008).
- h. Analisis Butiran (berdasarkan SNI-M-02-1994-03).
- i. Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian iniyaitu aspal Pen 60/70. Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan antara lain:
 - a. Pemeriksaan penetrasi aspal (berdasarkan SNI 06-2456-1991).
 - b. Pemeriksaan titik lembek (berdasarkan SNI 06-2434-1991).
 - c. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar (berdasarkan SNI 06-2433-1991).
 - d. Pemeriksaan penurunan berat minyak dan aspal (berdasarkan SNI 06-2240-1991).
 - e. Pemeriksaan kelarutan aspal dalam karbon tetraklorida/ CCl₄ (berdasarkanASTM D5546).
 - f. Pemeriksaan daktilitas (berdasarkan SNI 06-2432-1991).
 - g. Pemeriksaan berat jenis bitumen (berdasarkan SNI 06-2441-1991).
 - h. Penetrasi setelah RTFOT (berdasarkan SNI 06-2456-1991).

Sampel uji dibuat setelah komposisi campuran aspal telah ditetapkan. Pada temperatur saat ini, aspal memiliki viskositas kinematik 170 sampai 20 centistok ketika dicampur dengan agregat, dan pada saat pemadatan, aspal memiliki viskositas kinematik 280 sampai 30 centistok. Karena tidak dilakukan pengujian viskositas kinematik aspal, dan suhu pencampuran biasanya ditentukan antara 145 dan 155 derajat Celcius, dan suhu pemadatan antara 110 dan 135 derajat Celcius.

3. Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

a. Pembuatan benda uji

Tahapan pembuatan benda uji sebagai berikut :

1. Menimbang agregat sesuai dengan persentase yang dihitung, kemudian membuat dua benda uji untuk setiap variasi kadar aspal.
 2. Memanaskan aspal untuk proses pencampuran dan mencampur agregat, aspal, dan limbah dengan menggunakan pemanas dan diaduk hinggamerata.
 3. Pastikan bahwa suhu campuran mencapai 140°C sebelum ditempatkan dalam cetakan yang telah dibersihkan dan dipanaskan hingga suhu antara (93.3°C – 148.9°C) dan diolesi dengan vaselin / oli / pelumas.
 4. Sebelum melakukan pemadatan, dilakukan proses rojokan 15 kali pada bagian tepi cetakan dan 10 kali pada bagian dalam, lalu dilakukan pemadatan dengan scrap dan diletakkan di atas landasan pematat. Setelah itu dilakukan pemadatan dengan menggunakan alat penumbuk sebanyak 75kali pada bagian atas dan 75 kali pada bagian bawah cetakan dengan tinggijatuh sebesar 45 cm.
 5. Setelah proses pemadatan selesai, benda uji diambil menggunakan alat pengeluar dan diberi tanda atau label. Kemudian benda uji diletakkan di atas permukaan yang rata dan mulus dan dibiarkan selama ± 24 jam pada suhu kamar.
- b. Pengujian benda uji
- Tahapan pengujian benda uji sebagai berikut :
1. Pastikan bahwa benda uji dalam keadaan bersih dari kotoran yang menempel. Ukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm menggunakan jangka sorong dan hitung beratnya untuk mendapatkan berat benda uji yang dalam keadaan kering..
 2. Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama ± 24 jam untuk memastikan benda uji jenuh.
 3. Timbang benda uji dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air. Kemudian benda uji keluarkan dari bak perendam dan keringkan hingga permukaan kering. Timbang kembali benda uji untuk mendapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD).
 4. Proses Pengujian benda uji menggunakan alat Marshall Test meliputi beberapa tahap yaitu :
 - a. Menyimpan benda uji dalam bak perendam pada suhu sekitar 60°C selama 30 menit.

- b. Membersihkan bagian dalam permukaan kepala penekan dan melumasi agar benda uji dapat dilepaskan setelah pengujian.
- c. Menempatkan cetakan stabilitas dan dial *flow* pada mesin tekan, kemudian meletakkan benda uji yang telah direndam pada cetakan stabilitas dan menyetel dial pada angka nol.
- d. Menyesuaikan posisi piston agar berada pada poros cetakan stabilitas.
- e. Melakukan pembebanan dengan cara menekan tombol UP, kemudian menghentikan tekanan dengan tombol OFF setelah mencapai kelelahan maksimum. Mencatat nilai kelelahan maksimum yang didapat.
- f. Mencatat nilai pembebanan pada proving ring.
- g. Setelah pengujian selesai, menurunkan pembebanan dengan menekan tombol Down, mengeluarkan benda uji, dan membuka bagian atas cetakan.
5. Menghitung Parameter Marshall
Setelah pengujian Marshall selesai dan nilai stabilitas dan flow diperoleh, langkah selanjutnya adalah menghitung parameter Marshall yaitu VIM, VMA, VFA, dan Marshall Quotient.
6. Pengolahan dan Pembahasan Hasil
Setelah hasil penelitian di laboratorium dikumpulkan, perbandingan nilai stabilitas dan karakteristik campuran dari variasi kadar aspal dan perlakuan terhadap limbah serta hasil pengolahan. Kemudian, tampilkan hasil tersebut dalam grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall seperti stabilitas, *flow*, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient* (MQ).
Menggunakan Marshall Compaction Hammer, dengan tumbukan sebanyak 2x75 kali untuk mengatasi lalu lintas yang berlebihan. Spesimen kemudian dikeringkan, disimpan pada suhu ruang selama 24 jam, dan dicatat tinggi dan beratnya. Spesimen kemudian direndam dalam air selama 24 jam dan ditimbang basah dan kering untuk mendapatkan data volumetrik aspal (densitas, VIM, VMA, dan VFA).
Sampel kemudian dianalisis dengan alat Marshall untuk menghasilkan data empiris setelah direndam dalam air yang dipanaskan hingga 60 derajat Celcius selama 30 menit (stabilitas, kelelahan dan Marshall Quotient). Komposisi campuran aspal yang sesuai ditentukan dengan menganalisis statistik Marshall, meliputi

stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan Marshall Quotient. Kadar aspal yang digunakan sebagai sampel adalah 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6% masing-masing menggunakan 3 sampel, penjelasan rinci pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

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

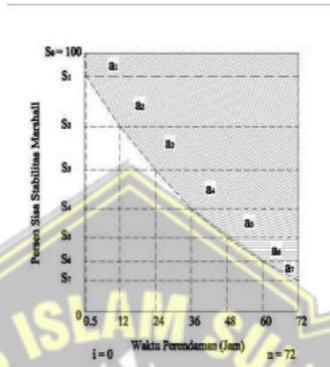
Tabel 3.2. Jumlah Benda Uji untuk variasi HDPE dan Asbuton Granular

Jumlah Benda Uji untuk Variasi HDPE dan Asbuton Granular		
(Kadar HDPE 0%, 2%, 4%)	Asbuton Granular 0%, 10%, 20%, 30%	Jumlah Benda Uji
Kadar 0%	Kadar 0%	3
Kadar 2%	Kadar 0%	3
Kadar 2%	Kadar 10%	3
Kadar 2%	Kadar 20%	3
Kadar 2%	Kadar 30%	3
Kadar 4%	Kadar 0%	3
Kadar 4%	Kadar 10%	3
Kadar 4%	Kadar 20%	3
Kadar 4%	Kadar 30%	3
Total		27

3.5. Metode Keawetan (*Durability*)

Daya tahan kombinasi ini berkorelasi dengan ketahanannya terhadap perendaman dalam air dalam waktu lama. Daya tahan dapat ditingkatkan dengan memadatkan campuran aspal dan membuatnya kedap air dan tidak tembus dengan agregat.

Kualitas kombinasi setelah perendaman 24 jam belum tentu sesuai dengan daya tahan campuran aspal dalam waktu perendaman yang lebih lama (Craus, J, et.al, 1981).



Gambar 3.2. Grafik Kurva Keawetan (Craus, J, et.al, 1981)

3.6. Aspal

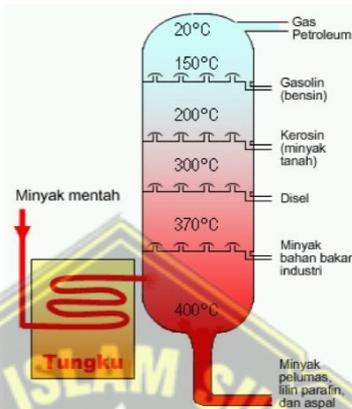
Tiga komponen hidrokarbon yang paling banyak terdapat dalam aspal adalah aromatik, naften, dan alkan. Spesifikasi ditentukan oleh sifat-sifat aspal. Pedoman dan pengujian aspal berikut digunakan untuk memastikan bahwa kualitas aspal yang dibutuhkan terpenuhi:

1. Sampel aspal untuk pengujian
2. Pengkajian penetrasi
3. Pengkajian titik lembek
4. Pengkajian daktilitas
5. Pengkajian titik nyala dan titik bakar

Untuk setiap jenis pengujian, Standar Nasional Indonesia (SNI) menentukan metode atau prosedur pengujian.

Aspal akan lebih cepat teroksidasi dengan udara jika memiliki lebih banyak komponen nonlogam daripada aspal yang memiliki nonlogam sedikit. Meskipun elemen sensor karbon berinteraksi dengan udara lebih lambat daripada elemen non-logam. Aspal lebih rapuh daripada bahan lain, membuatnya lebih rentan terhadap persentase atau berat komponen non-logam seperti nitrogen dan belerang. Kandungan non-logam aspal, dinyatakan sebagai persentase dari beratnya. Salah satu penentu utama tinggi atau rendahnya kualitas pengikat aspal adalah titik lembeknya, yang

merupakan komponen penting lainnya. Kualitas meningkat dengan titik



pelunakan.

Gambar 3.3. Pengolahan Minyak Bumi Menjadi Aspal

3.6.1. Sifat-sifat Campuran Aspal

a. Stabilitas

Faktor terpenting dalam aspal adalah stabilitas yang cukup untuk menahan deformasi dan peleburan plastis yang disebabkan oleh variabel dinamis dan statis, mencegah bekas roda serata perubahan permukaan perkerasan jalan. Persyaratan stabilitas perkerasan akan ditentukan oleh volume lalu lintas yang diantisipasi dan beban kendaraan pada rute tersebut. Stabilitas adalah hasil dari gesekan antar butir, menjaga antar partikel, dan kepatuhan yang lebih besar terhadap aspal. Nilai satuan stabilitas KN atau kg.

b. Kelelahan Plastis (*Flow*)

Ketika campuran aspal dibebani melewati batas keruntuhannya, yang diukur dalam mm atau inci, terjadi situasi yang dikenal sebagai Kelelahan plastis (*flow*). Karena komponen aspal yang tinggi maka campuran akan terlihat lentur jika nilai *flow* tinggi, namun jika rendah maka campuran akan terlihat kaku karena kadar aspal yang rendah.

c. Marshall Quotient

Marshall Quotient yang diukur dalam kilogram per milimeter, adalah hasil perbandingan antara stabilitas dan pelelehan plastik. Ketika terkena tekanan lalu lintas, campuran dengan indeks Marshall tinggi menunjukkan tingkat stabilitas yang tinggi dan tingkat leleh plastik yang rendah, yang kaku dan meningkatkan risiko retak perkerasan. Di sisi lain, MQ rendah dihasilkan oleh kombinasi plastisitas tinggi dan stabilitas rendah, membuatnya lebih cenderung tidak stabil dan plastis.

d. Laston Lapis Aus (AC – WC)

Saat membangun jalan beraspal, laston merupakan lapisan penutup dengan signifikansi struktural yang signifikan. Campuran ini dibuat dengan menggabungkan, menyebarkan, dan memadatkan aspal keras dan agregat bergradasi terus menerus pada suhu tertentu. Lapisan Laston merupakan gradasi menerus dari aspal keras dan kerikil yang digunakan dalam konstruksi jalan. Ini dicampur, disebar, dan dipadatkan pada suhu tertentu. Meskipun terdapat berbagai variasi campuran beton aspal panas, penelitian ini akan fokus pada variasi AC-WC (Silvia Sukirman, 2012). Laston berfungsi sebagai lapisan pengikat di bawah lapisan aus (*Binder Course*). Roda kendaraan harus memiliki ketebalan minimal minimal 5 cm agar dapat menahan beban lalu lintas, meskipun tidak langsung terpengaruh oleh cuaca.

Sebaliknya, Laston adalah lapisan perkerasan dengan kekasaran yang dipersyaratkan dan ketebalan nominal minimal 4 cm, berfungsi sebagai lapisan aus (*Wearing Course*). Ini berhubungan dengan ban mobil dan tahan cuaca dan air. Lapisan ini berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dari lapisan di bawahnya berupa beban kendaraan (gaya vertikal), gaya rem (gaya horizontal), dan hembusan roda kendaraan (getaran). Karena cara penyebaran beban, setiap lapisan mengalami beban yang berbeda, dan semakin tinggi bebannya, semakin rendah bebannya. Lapisan permukaan, yang merupakan lapisan atas, harus mampu menangani beban kerja apapun.

3.6.2. Metode Analisis

Proses penelitian agregat untuk penelitian ini dilakukan dalam 8 (delapan) langkah sebagai berikut, dengan menggunakan metodologi eksperimen di Laboratorium Material Perkerasan (Indriani Santoso, 2013):

Tahap I : Persiapan Berikut adalah beberapa tindakan yang diambil sebelum penelitian ini:

1. Menyiapkan bahan material seperti agregat, aspal.
2. Menyiapkan peralatan yang digunakan.
3. Menyiapkan form pengujian serta mengolah data hasil pengujian

Tahap II : Pemeriksaan bahan

Pemeriksaan agregat yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi:

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus
- b. Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus.
- c. Pemeriksaan berat jenis aspal.
- d. Pemeriksaan penetrasi
- e. Pemeriksaan titik lembek.
- f. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar
- g. Pemeriksaan daktilitas

Tahap III :

1. Perancangan agregat menggunakan agregat batu belah dan asbuton granular dengan kombinasi agregat.
2. Pencacahan HDPE atau limbah plastik dilakukan bersamaan dengan penyiapan bahan pengujian dengan kebutuhan limbah plastik 0%, 2%, 4% dari kadar aspal optimum yang dimasukkan kedalam lubang pugmill pada AMP dengan suhu 160°C.
3. Perancangan campuran pada tahap ini kadar aspal optimum ditentukan dengan (Mix Design) dan pembuatan benda uji dengan kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%.

Tahap IV : Dengan menggunakan tes Marshall untuk menemukan jumlah aspal ideal (KAO). Pada tahap ini, benda uji dengan kadar

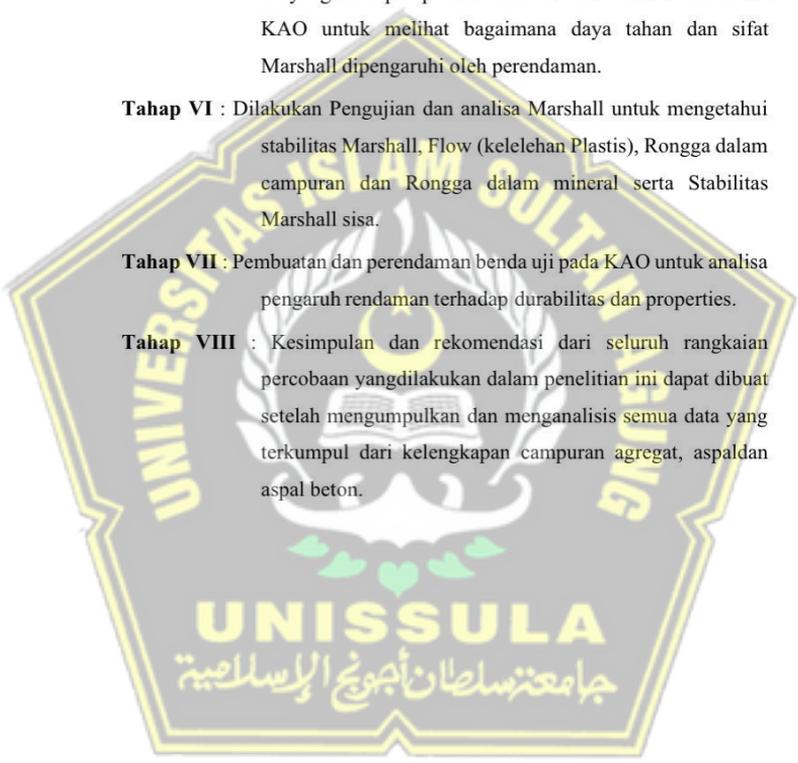
aspal yang bervariasi menjalani uji Marshall untuk mengumpulkan data stabilitas dan aliran. Spesimen ditimbang dengan tiga cara berbeda sebelum ini: berat kering, berat SSD, dan berat sampel dalam air.

Tahap V : Tes perendaman standar Marshall melibatkan perendaman spesimen selama 30 menit dan 24 jam dalam wadah berisi air yang disimpan pada suhu konstan 60°C . Dilakukan di KAO untuk melihat bagaimana daya tahan dan sifat Marshall dipengaruhi oleh perendaman.

Tahap VI : Dilakukan Pengujian dan analisa Marshall untuk mengetahui stabilitas Marshall, Flow (kelelahan Plastis), Rongga dalam campuran dan Rongga dalam mineral serta Stabilitas Marshall sisa.

Tahap VII : Pembuatan dan perendaman benda uji pada KAO untuk analisa pengaruh rendaman terhadap durabilitas dan properties.

Tahap VIII : Kesimpulan dan rekomendasi dari seluruh rangkaian percobaan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat dibuat setelah mengumpulkan dan menganalisis semua data yang terkumpul dari kelengkapan campuran agregat, aspal dan aspal beton.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian yang meliputi pengujian laboratorium terhadap agregat halus, agregat kasar, penetrasi aspal 60/70, dan bahan pengganti agregat dalam kombinasi tersebut dibahas dalam bab ini. Dengan menggunakan metode uji Marshall, dibuat perbandingan kombinasi standar penetrasi aspal 60/70 perkerasan lentur AC-WC dan campuran dengan penambahan HDPE dan Asbuton Granular sebagai bahan pengganti agregat. Berikut adalah hasil penelitian yang sudah dilakukan sebagai berikut:

4.1. Pembuatan Kadar Aspal Optimum

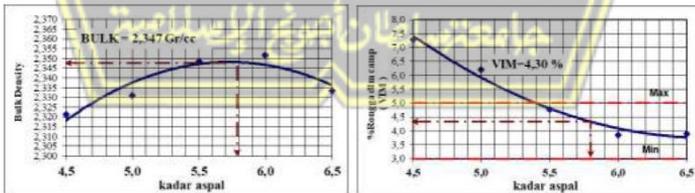
Pembuatan Benda Uji Variasi Kadar Aspal rencana yaitu 4%; 4,5%; 5%; 5,5%; 6%. Untuk menentukan kadar aspal optimum dengan cara memilih kadar aspal dari variasi kadar aspal rencana. Pengujian ini menggunakan 3 buah benda uji dari masing-masing variasi kadar aspal, Secara keseluruhan jumlah yang digunakan adalah 27 benda uji dari 9 variasi kadar aspal.

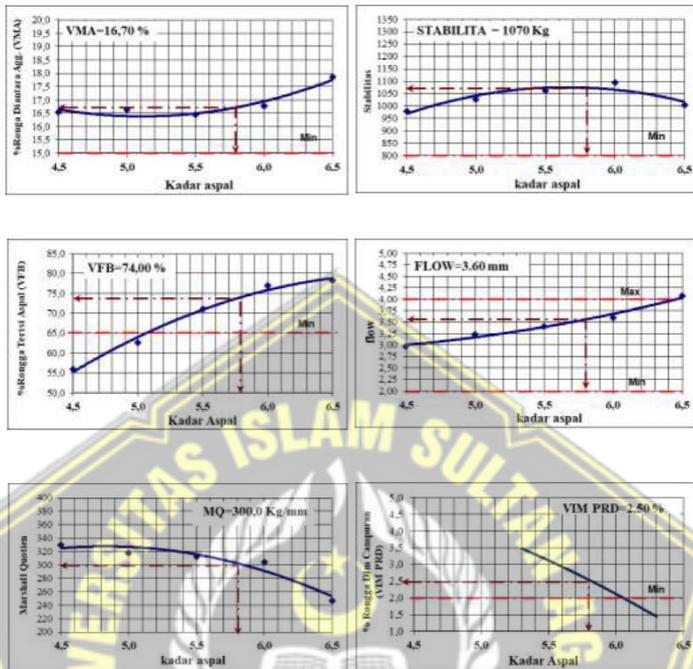
Berdasarkan karakteristik campuran aspal, seperti berat isi, ruang udara, rongga dalam agregat, rongga terisi aspal, stabilitas, dan marshall quotient, dihitung kadar aspal ideal pada Tabel 4.1. Nilai median antara rentang kadar aspal maksimum dan kadar aspal terendah yang memenuhi persyaratan spesifikasi selanjutnya akan digunakan untuk menghitung kadar aspal optimal. Setelah dilakukannya penelitian pada masing masing benda uji dengan metode penelitian yang sama dengan pengujian sifat-sifat campuran beragam diantaranya Bulk Density, Rongga udara, Rongga udara PRD, Rongga dalam agregat, Rongga terisi aspal, Stabilitas marshall, kelelahan, dan Mashall Qoutient. Sehingga didapat data sebagaimana tabel berikut ini.

Tabel 4.1 Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum



Dari hasil grafik rekapitulasi sifat-sifat campuran aspal batas atas dan batas bawah juga dapat disimpulkan bahwa Kadar Aspal Optimal adalah 5,8%.





Gambar 4.1 Grafik Hasil Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari grafik diatas dapat disimpulkan bahwa hasil Bulk Density, VIM, VMA, Stability, VMA, VFB, FLOW, MQ, dan VIM PRD memiliki hasil kadar aspal optimum sebesar 5,8%.

4.2. Rancangan Campuran Aspal

Komposisi aspal yang di rencanakan yaitu LDPE dengan kadar 0%, 2%, dan 4% sedangkan kadar Asbuton dengan kadar 10%, 20, % dan 30%.

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

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	<i>Medium Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
4.	<i>Coarse Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
5.	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
7.	LDPE	0 %	0,0 gram
8.	Asbuton	0 %	0,0 gram

Tabel 4.3. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 2 % dan Asbuton 0 %.

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	<i>Medium Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
4.	<i>Coarse Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
5.	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
7.	HDPE	2 %	1,392 gram
8.	Asbuton	0 %	0,0 gram

Tabel 4.4. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 2 % dan Asbuton 10 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	<i>Medium Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
4.	<i>Coarse Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
5.	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
7.	HDPE	2 %	1,392 gram
8.	Asbuton	10 %	6,96 gram

Tabel 4.5. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 2 % dan Asbuton 20 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	<i>Medium Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
4.	<i>Coarse Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
5.	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
7.	HDPE	2 %	1,392 gram
8.	Asbuton	20 %	13,92 gram

Tabel 4.6. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 2 % dan Asbuton 30 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	<i>Medium Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
4.	<i>Coarse Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
5.	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
7.	HDPE	2 %	1,392 gram
8.	Asbuton	30 %	20,88 gram

Tabel 4.7. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 4 % dan Asbuton 0 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	<i>Medium Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
4.	<i>Coarse Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
5.	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
7.	HDPE	4 %	2,784 gram
8.	Asbuton	0 %	0,0 gram

Tabel 4.8. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 4 % dan Asbuton 10 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	<i>Medium Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
4.	<i>Coarse Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
5.	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
7.	HDPE	4 %	2,784 gram
8.	Asbuton	10 %	6,96 gram

Tabel 4.9. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 4 % dan Asbuton 20%

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	<i>Medium Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
4.	<i>Coarse Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
5.	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
7.	HDPE	4 %	2,784 gram
8.	Asbuton	20 %	13,92 gram

Tabel 4.10. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) HDPE 4 % dan Asbuton 30%

No.	Komposisi	%	Hasil
1.	Abu Batu	40,0 %	480,0 gram
2.	Pasir	3,0 %	36,0 gram
3.	<i>Medium Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
4.	<i>Coarse Agregat</i>	25,0 %	300,0 gram
5.	<i>Filler</i>	1,2 %	14,4 gram
6.	Aspal	5,8 %	69,6 gram
		100,0 %	1200,0 gram
7.	HDPE	4 %	2,784 gram
8.	Asbuton	30 %	20,88 gram

4.3. Hasil Pengujian Bahan

4.3.1. Hasil Pengujian Aspal Pertamina Penetrasi 60/70

Pada penelitian ini, data aspal dengan penetrasi 60/70 yang dihasilkan oleh Pertamina dan memenuhi Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/1976 Transportasi diterima dari Laboratorium Transportasi Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang . Pengujian dilakukan antara lain pada penetrasi aspal keras, titik lembek, titik nyala, keuletan, dan berat jenis. hasil tes aspal. Hasil pengujian aspal ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.11. Data Pengujian Aspal Pertamina Penetrasi 60/70

Jenis Pengujian	Hasil Uji	Spesifikasi Aspal Modifikasi Tipe II	Metode Pengujian	Satuan
Original				
Penetrasi pada 25 °C	65	Dilaporkan	SNI 24556:2011	0.1 mm
Titik Lembek	48,75	Dilaporkan	SNI 24556:2012	°C
Titik Nyala (COC)	357	≥ 230	SNI 24556:2013	°C
Daktilitas	151,5	-	SNI 06-2432-1991	Cm
Berat Jenis Bitumen Keras	1,034	-	SNI 244:2011	gr/ml
RTFOT				

Kehilangan (RTFOT) *	0,265	≤ 0.8	SNI 03-6835-2002	%
Penetrasi pada 25 °C setelah RTFOT	92	≥ 54	SNI 2456:2011	%
Daktilitas setelah RTFOT	61	≥ 50	SNI 06-2432-1991	Cm

4.4. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Tabel 4.12. Hasil pemeriksaan saringan agregat kasar ukuran 1/2 inch.

UKURAN SARINGAN		KOMULATIF			Rata - rata	KOMULATIF		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
inch	mm	gr	%	%		gr	%	%
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	557,4	20,27	79,73	79,61	540	20,52	79,48
# 4	4,75	1.653,5	60,13	39,87	39,07	1.624	61,73	38,27
# 8	2,36	2.513,8	91,41	8,59	8,88	2.389	90,83	9,17
# 16	1,15	2.718,5	98,85	1,15	1,25	2.595	98,65	1,35
# 30	0,6	2.722,7	99,01	0,99	1,12	2.597	98,76	1,24
# 50	0,3	2.727,5	99,18	0,82	0,93	2.603	98,97	1,03
#100	0,15	2.730,3	99,28	0,72	0,75	2.609	99,22	0,78
# 200	0,075	2.733,5	99,40	0,60	0,62	2.614	99,37	0,63
Berat Contoh		2.750				2.630		

Dalam analisis saringan, batu pecah agregat kasar berukuran 1/2" tertahan pada saringan 3/8" atau 9,52 mm setelah melewati saringan ukuran 1/2". Agregat yang lolos saringan 3/8" dan terhenti pada No. 79,48 % dari seluruh analisis saringan media sampel, saringan No. 4 atau 4,75 mm hingga 61,73%, dianggap sebagai agregat sedang.

Tabel 4.13. Analisa Pembagian Butiran Batu Pecah ¾ inch.

UKURAN SARINGAN		KOMULATIF			Rata - rata	KOMULATIF		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
inch	mm	gr	%	%		gr	%	%
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	2.426,4	48,07	51,93	51,89	2.513	48,15	51,85
3/8"	9,5	3.745,3	74,19	25,81	25,86	3.868	74,09	25,91
# 4	4,75	4.931,7	97,70	2,30	2,22	5.109	97,86	2,14
# 8	2,36	5.006,2	99,17	0,83	0,88	5.171	99,07	0,93
# 16	1,15	5.009,8	99,24	0,76	0,79	5.178	99,19	0,81
# 30	0,6	5.015,3	99,35	0,65	0,67	5.184	99,32	0,68
# 50	0,3	5.020,6	99,46	0,54	0,57	5.189	99,41	0,59
#100	0,15	5.024,0	99,52	0,48	0,46	5.197	99,56	0,44
# 200	0,075	5.036,1	99,76	0,24	0,23	5.209	99,78	0,22
Berat Contoh		5.048				5.220		

Dalam analisis 51,89% agregat melewati saringan 1/2" dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,5 mm, dengan total yang tertahan 74,09%, menurut analisis saringan butiran batu pecah ¾" untuk agregat kasar. Agregat tersebut melewati saringan 3/8" dan disimpan di 25,91% dari seluruh sampel untuk analisis ayakan sedang dengan saringan 4 atau 4,76 mm naik menjadi 2,22% untuk distribusi agregat menengah.

Tabel 4.14. Analisis Pembagian Butiran Abu Batu

UKURAN SARINGAN		KOMULATIF			Rata - rata	KOMULATIF		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
inch	mm	gr	%	%		gr	%	%
1 1/2"	37,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1"	25,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/4"	19,0	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
1/2"	12,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
3/8"	9,5	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 4	4,75	0,00	0,00	100,00	100,00	0,00	0,00	100,00
# 8	2,36	102,4	19,43	80,57	80,04	108,7	20,49	79,51
# 16	1,15	240,5	45,63	54,37	53,77	248,5	46,83	53,17
# 30	0,6	336,6	63,86	36,14	35,71	343,4	64,72	35,28
# 50	0,3	420,0	79,68	20,32	21,12	414,3	78,08	21,92
#100	0,15	445,3	84,48	15,52	15,07	453,1	85,39	14,61
# 200	0,075	495,6	94,02	5,98	6,05	498,2	93,89	6,11
Berat Contoh		527,1				530,6		

Dalam analisis saringan butiran batu pecah yang tertahan dalam saringan 3/8" atau 9,52 mm dan berdiameter 1/2" dihitung hingga 100% agregat dalam analisis saringan. Hingga 100% dari total sampel analisis saringan melewati ayakan sambil dipertahankan pada pengepungan nomor satu untuk distribusi agregat menengah. 4,76 mm atau 4 hingga 100%. Untuk membagi agregat halus di antara masing-masing saringan,

Tabel 4.15. Analisa Pembagian Filler

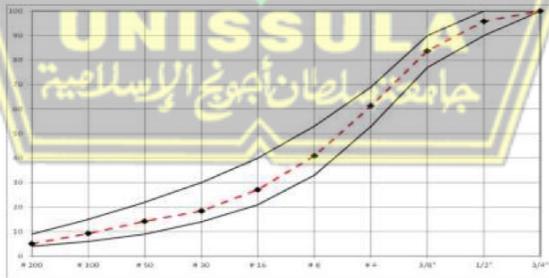
Ukuran Saringan	Berat		Kumulatif			Ukuran Saringan	Berat		Kumulatif			Rata - rata
	Tertahan	Individu	Berat	Tertahan	Lolos		Tertahan	Individu	Berat	Tertahan	Lolos	
Inchi	(gram)	(gram)	(%)	(%)	(%)	Inchi	(gram)	(gram)	(%)	(%)	(%)	(%)
1 1/2"		0,0	0,0	100,0		1 1/2"		0,0	0,0	100,0		100,0
1"		0,0	0,0	100,0		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"		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		0,9	0,0	100,0		# 100		0,0	0,0	100,0		100,0
# 200		8,8	2,2	97,8		# 200		10,3	2,5	97,5		97,7
Berat Sampel		407,5 gram				Berat Sampel		412,7 gram				

Pada setiap saringan agregat halus terbagi pada tiap saringan, kecuali untuk saringan No. 200, yang menahan 2,5% agregat, setiap saringan membagi agregat halus. Semua bahan disaring dan lolos saringan 1" sampai saringan No. 100 atau 100 mm pada tabel Analisis Distribusi Granular untuk jenis bahan Pengisi Semen, kecuali saringan No. 200 yang memiliki persentase 97,7% tertahan agregat.

Tabel 4.16. Perhitungan Kombinasi Agregat

PERENCANAAN GARADASI CAMPURAN AC WEARING COARSE												
Uraian												
Inch		1"	3/4"	1/2"	3/8"	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200
mm		25	19	12,7	9,5	4,75	2,36	1,18	0,6	0,3	0,15	0,075
Data Material												
Batu Pecah Max 3/4"		100,00	100,00	72,05	25,99	1,52	0,92	0,28	0,32	0,32	0,27	0,27
Batu Pecah Max 1/2"		100,00	100,00	100,00	85,82	31,89	4,42	0,75	0,44	1,54	1,30	-0,69
Abu Batu		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	77,95	49,24	32,12	24,47	16,10	8,01
Asbuton		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	29,06	25,16	16,40	7,84
Pasir		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	91,83	82,76	58,11	41,90	16,11	6,06
Filler Semen		100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	98,64
Total Campuran		70,00	70,00	64,69	52,54	34,94	22,29	13,52	8,83	7,04	6,05	2,51
Batu Max 1 Pecah	25,0%	25,00	25,00	18,01	6,50	0,38	0,23	0,07	0,08	0,08	0,07	0,07
Batu Pecah Max 1/2"	25,0%	25,00	25,00	25,00	21,46	7,97	1,10	0,19	0,11	0,38	0,33	-0,17
Asbuton	5,8%	25,00	5,80	5,80	5,80	580,00	5,80	5,80	168,55	145,93	2764,19	1144,08
Abu Batu	40,0%	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	31,18	19,69	12,85	9,79	6,44	3,20
Pasir	3,2%	3,20	3,20	3,20	3,20	3,20	2,94	2,65	1,86	1,34	0,52	0,19
Filler Semen	1,0%	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01
Total Campuran	100%	119,22	100,02	93,03	77,97	632,57	42,27	29,42	184,46	158,54	2772,55	1148,37
Max Spesifikasi Gradasi		100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9
Min		100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4
Toleransi Komposisi												
max		100,00		100,00	88,50	66,00	46,00	33,50	25,00	18,50	12,50	7,50
min		95,00		90,00	78,50	56,00	40,00	27,50	19,00	12,50	8,50	5,50

Diketahui pada analisa saringan agregat kasar yaitusebanyak 100% merupakan agregat yang lolos pada saringan 1/2" dan tertahan pada saringan 3/8" atau 9,5 mm sebanyak 100 %. Untuk agregat medium, sebanyak 100% dari total sampel analisa saringan medium merupakan agregat lolos saringan 3/8" dan tertahan pada saringan No. 4 atau 4,76 mm sebanyak 100 %. Untuk agregat halus terbagi disetiap saringan.



Gambar 4.1. Grafik Kombinasi Agregat

4.5. Pembuatan Benda Uji

Dengan masing-masing kadar aspal rencana 5,8% yang memiliki tiga benda uji, pada hasil akhir. Pada tabel di bawah ini dirinci jumlah benda uji yang akan dibuat pada Tabel 4.15 berikut ini.

Tabel 4.17. Rencana pembuatan benda uji

No	Benda Uji	Total
1	Komposisi Normal + HDPE 2% + Asbuton 0%	3
2	Komposisi Normal + HDPE 2% + Asbuton 0%	3
3	Komposisi Normal + HDPE 2% + Asbuton 0%	3
4	Komposisi Normal + HDPE 2% + Asbuton 10%	3
5	Komposisi Normal + HDPE 2% + Asbuton 20%	3
6	Komposisi Normal + HDPE 2% + Asbuton 30%	3
7	Komposisi Normal + HDPE 4% + Asbuton 10%	3
8	Komposisi Normal + HDPE 4% + Asbuton 20%	3
9	Komposisi Normal + HDPE 4% + Asbuton 30%	3
Total		27

Apabila salah satu benda uji tidak sesuai dengan spesifikasi teknis Bina Marga 2018 revisi 2 dan dua benda uji lainnya tidak sesuai dengan spesifikasi teknis Bina Marga 2018 revisi 2, maka hasil dari berbagai pengujian tersebut dapat dibandingkan. Ada tiga benda uji total untuk tujuan perbandingan.

4.6. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM

Tabel 4.18. Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM (AASHTO – T.209 – 90)

No	Uraian Pemeriksaan		No Contoh :							
			1	2	3	4	5	6	7	8
1	Berat Sampel + Tempat	Gr								
2	Berat Tempat	Gr								
3	Berat Sampel (1 - 2)	Gr	1855,4	1963,9	1877,2	1835,9	1845,7	1859,3	1836,4	1825,9
4	Berat Botol + Air	Gr	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2	2062,2
5	Berat Botol + Sampel + Air	Gr	3175,9	3242,5	3183,9	3159,0	3159,7	3167,5	3149,2	3140,3
6	Berat Jenis (3/ 3+4-5)	Gr/Cc	2,502	2,506	2,485	2,484	2,467	2,466	2,450	2,442
7	Suhu Air	°C	25	25	25	25	25	25	25	25
8	Kontroll Suhu		1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
9	Berat Jenis Terkoreksi (6 X 8)	Gr/Cc	2,502	2,506	2,485	2,484	2,467	2,466	2,450	2,442
10	Rata - rata	Gr/Cc	2,504		2,484		2,466		2,446	
11	Kadar Aspal		4,5%		5,0%		5,5%		6,0%	

Pada pemeriksaan berat jenis campuran aspal dengan 4 variasi kadar aspal yaitu 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dengan berat jenis maksimum aspal adalah 2,504 gr/cc.

4.7. Ekstraksi

Tabel 4.19. Hasil Gradasi Ekstraksi

NO	URAIAN PEMERIKSAAN	NO.1	NO.2	SAT
A	Berat Pan /Cawan	105,6	105,6	gr
B	Berat Material + Pan Sebelum	554,2	542,9	gr
C	Berat Material + Pan Setelah	539,4	525,4	gr
D	Berat Sebelum Ekstraksi (B - A)	448,6	437,3	gr
E	Berat Setelah Ekstraksi (C - A)	427,8	419,8	gr
F	Berat Kertas Filter	6,5	6,6	gr
G	Berat Total Mineral (C - A - F)	421,3	413,2	gr
H	Berat Aspal Dalam Campuran (D - G)	27,3	24,1	gr
I	Prosen (%) Aspal Dalam Campuran (H / D X 100)	6,09	5,51	%
	Rata - rata	5,80		%

Hasil gradasi ekstraksi menunjukkan bahwa rata-rata dari semua uraian pemeriksaan adalah 5,80%.

4.8. Sifat – sifat Campuran Aspal Panas Dengan Metode Marshall

Tabel 4.20. Sifat – sifat campuran aspal panas dengan Metode Marshall

Berat Jenis Aspal : 1,034				Gase : 2,665				Gab : 2,656				Penyesuaian (Abn) : 0,136					
no benda uji	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat sed	volume isi	ly Bulk campuran	ly Maks kombinasi camp. Agg	% smpgs diantara aggr.(v/m)	% smpgs dalam aspal(v/b)	stabilitas ditinjau dari kesesuaian	kelelahan plastis (flow)	luas hrg Marshall (m ²)	luas permukaan agregat	kadar aspal efisien	tebal lapis aspal(10)		
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	c-d	e/f	100-(100-h)/g	100-(100-i)/h	100-(100-j)/i				Mar	luas kombinasi agregat	3-100(b-a)	100(h-a)	100(i-a)
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)			(%)	(%)	(%)	(emp)	(kg)	(mm)	(kg/mm ²)	(m ² /kg)	(m ² /kg)	(mm)	
1	1179,6	680,8	1184,9	504,1	2,340					100	1096	3,70					
2	1180,4	679,1	1185,1	506,0	2,333					97	1063	3,80					
3	1178,5	680,2	1185,3	505,1	2,335					98	1074	3,60					
rata-rata = 5,80					2,336	2,452	17,15	4,73	72,41		1078	3,70	291,3	5,57	5,67	10,13	
4	1181,7	680,6	1186,7	506,1	2,335					92	1008	3,90					
5	1180,8	680,7	1186,2	505,5	2,336					90	986	3,80					
6	1181,1	680,8	1186,6	505,8	2,335					92	1008	3,90					
rata-rata = 5,80					2,335	2,452	17,17	4,76	72,29		1001	3,87	288,9	5,57	5,67	10,13	
STABILITAS TERSESI SETELAH PERENDAMAN 24 JAM Suhu 60 °C =										(1001 : 1078) x 100 = 92,88 %							

Hasil dari Sifat-sifat Campuran Aspal Panas dengan Metode Marshall menggunakan kadar aspal optimum sebesar 5,8% dengan menghitung Stabilitas Tersesi setelah perendaman 24 jam dengan suhu 60°C adalah **(1001 : 1078) x 100 = 92,88%**

4.9. Rekapitulasi Hasil Campuran Aspal

Tabel 4.21. Rekapitulasi Hasil Campuran Aspal

GRADASI MATERIAL						
SIEVE	HASIL PEMERIKSAAN			SPESIFIKASI		
SIZE	AGREGAT	EKSTRAK	GRADASI	TOLERANSI	Min	Max
1"	100,0	100,0	100,0	±5 %	100,0	100,0
3/4"	100,0	100,0	100,0	±5 %	100,0	100,0
1/2"	94,3	93,1	94,3	±5 %	90,0	100,0
3/8"	85,4	83,9	85,5	±5 %	77,0	90,0
#4	64,1	64,1	63,7	±5 %	53,0	69,0
#8	40,7	39,7	40,9	±3 %	33,0	53,0
#16	26	27,1	26,7	±3 %	21,0	40,0
#30	17,8	17,9	18,2	±3 %	14,0	30,0
#50	12,9	13,5	13,2	±3 %	9,0	22,0
#100	7,4	7,7	7,6	±2 %	6,0	15,0
#200	5,8	5,6	5,7	±1 %	4,0	9,0

Dari hasil pengujian gradasi material agregat diperoleh kombinasi gradasi pada ekstraksi yaitu pada saringan No.200 sebanyak 5,83% dan pada kombinasi gradasi agregat sebanyak 5,62%.Dilihat dari rekapitulasi hasil campuran aspal dapat diperoleh agregat pada saringan No.200 sebanyak 5,8% dan agregat pada saringan 1" sebanyak 100% sehingga tidak melewati batas maksimum dan minimum dari spesifikasi teknis.

4.10. Gradasi Material Agregat

Tabel 4.22. Gradasi Material Agregat

UKURAN SARINGAN		KOMBINASI GRADASI		SPESIFIKASI	TOLERANSI
mm	Inchi	AGREGAT	EKSTRAK		
25,4	1"	100,00	100,00	100	} ± 5 %
19,1	3/4"	100,00	100,00	100	
12,7	1/2"	93,96	92,53	90 - 100	
9,5	3/8"	82,17	86,22	77 - 90	
4,75	# 4	59,15	62,14	53 - 69	
2,38	# 8	38,27	38,74	33 - 53	} ± 3 %
1,18	# 16	26,43	27,11	21 - 40	
0,60	# 30	18,22	19,36	14 - 30	
0,30	# 50	13,08	12,98	9 - 22	
0,15	# 100	7,44	8,10	6 - 15	
0,075	# 200	5,62	5,83	4 - 9	± 1 %

Dari hasil pengujian gradasi material agregat diperoleh kombinasi gradasi pada ekstraksi yaitu pada saringan No.200 sebanyak 5,83% dan pada kombinasi gradasi agregat sebanyak 5,62%.

4.10 Hasil Pemeriksaan *Marshall*

Setelah 27 benda uji dibuat dan desain campuran pekerjaan dan formula campuran desain telah ditetapkan, semua benda uji ditimbang saat masih kering. Setelah masa perendaman selama 24 jam, benda uji ditimbang kembali dalam keadaan SSD. Setelah didapatkan berat benda uji kemudian dilakukan perendaman pada waterbath (pemanasan cairan dengan cara merendamnya pada air yang telah dipanaskan sebelumnya) pada temperature 60°C selama 30 menit. Untuk mendapatkan pembacaan stabilitas dan pembacaan kelelahan (*flow*) pada sampel spesimen aspal pada waterbath, semua sampel spesimen harus segera dilakukan proses pengujian pada alat marshall. Nilai KAO (Optimum Asphalt Content) yang merupakan parameter Marshall akan dihasilkan oleh uji Marshall. Perlu terlebih dahulu mendapatkan beberapa kriteria untuk menentukan nilai perolehan KAO (Optimum Asphalt Content). Parameter yang didapatkan yaitu VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, *flow* (kelelahan), dan MQ (*Marshall Quotient*).

Hasil dari pemeriksaan *Marshall Test* terdapat pada tabel yang telah di rekap pada tabel dibawah dan juga terdapat pula grafik dari seluruh nilai parameter *Marshall Test* yaitu VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB

(Void Filled Bitumen), stabilitas, *flow* (kelelahan), dan MQ (*Marshall Quotient*) yang telah memenuhi persyaratan dari Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2).

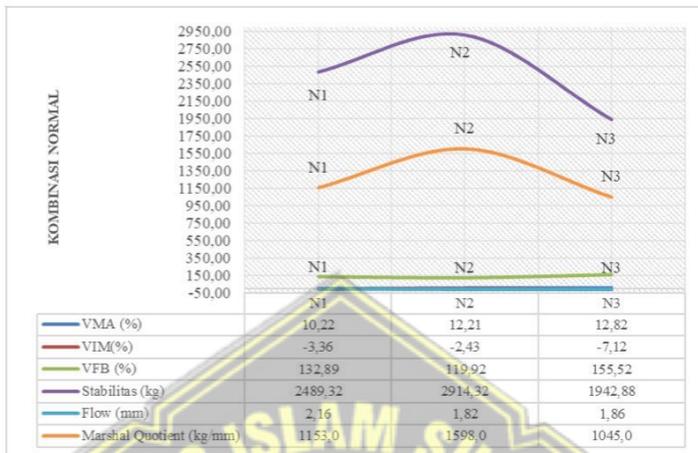
Untuk hasil yang didapatkan dari pengujian *Marshall* pada penelitian diklasifikasikan ke dalam 9 komposisi, yaitu hasil pengujian *Marshall* untuk benda uji komposisi normal, benda uji kombinasi *HDPE* 2% + Asbuton 0%, benda uji kombinasi *HDPE* 2% + Asbuton 10%, benda uji kombinasi *HDPE* 2% + Asbuton 20%, benda uji kombinasi *HDPE* 2% + Asbuton 30%, benda uji kombinasi *HDPE* 4% + Asbuton 0%, benda uji kombinasi *HDPE* 4% + Asbuton 10%, benda uji kombinasi *HDPE* 4% + Asbuton 20%, benda uji kombinasi *HDPE* 4% + Asbuton 30%, dengan masing – masing 3 benda uji per komposisi.

4.11.1. Hasil *Marshall* Benda Uji Komposisi Normal

Tabel 4.23. Hasil *Marshall* Komposisi Normal

HASIL (Komposisi Normal)																	
BJ Aspal (T) : 1,037		BJ Elemen Total Agregat (Gsb) : 2,632				BJ Total Agg (Gsb) : 2,616			Kuliterasi Preview Ring = 12,143 Kg								
no benda uji	% HDPE	% BA (Asbuton)	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat sed	volumer isi	bj. Buk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Asg	% rongga diantara asp. (v/m)	% rongga dalam campuran	% rongga tersisi aspal (v/b)	stabilitas	kelelahan	hasil bau		
			a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
			% berat total campuran (%)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	e - d	c / f	G/M	100 - (100 - b)g / gsb	100 - (100 - c)h	100 (1 - j)	ditaca arfor	di sesuaikan	plastis (flow)	marshall (mc)	
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(mm)	(kN/mm)	
N1	0%	0%	5,8	1189,4	702,4	1198,4	496,0	2,999	2,320	10,22	-3,36	132,89	205	2489,32	2,16	1153,0	
Rata-rata								2,999	2,320	10,22	-3,36	132,89	205	2489,32	2,16	1153,0	
N2	0%	0%	5,8	1161,9	695,8	1172,4	476,6	2,438	2,380	12,21	-2,43	119,92	240	2914,32	1,82	1598,0	
Rata-rata								2,438	2,373	12,21	-2,43	119,92	240	2914,32	1,82	1598,0	
N3	0%	0%	5,8	1166,4	694,8	1176,6	481,8	2,421	2,260	12,82	-7,12	155,52	190	1942,88	1,86	1045,0	
Rata-rata								2,421	2,260	12,82	-7,12	155,52	190	1942,88	1,86	1045,0	

Setelah hasil uji Marshal pada benda uji komposisi normal semuanya telah dirangkum dalam bentuk tabel, kemudian data tersebut ditransformasikan ke dalam format grafik seperti yang terlihat pada Grafik 4.2 di bawah ini. sesuai dengan Spesifikasi Jalan Umum Tahun 2018.



Gambar 4.2. Grafik Hasil *Marshall* Komposisi Normal

Dari Grafik yang diperoleh pada Grafik 4.3. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 10,22 untuk N1, 12,21 untuk N2, dan 12,82 untuk N3.

Nilai VIM (*Void in Mix*) atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai VMA dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VIM hanya mendapatkan nilai sebesar : -3,36 untuk N1, -2,43 untuk N2, dan -7,12 untuk N3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 132,89 untuk N1, 119,92 untuk N2, dan 155,52 untuk N3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.3. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar :

2489,32 untuk N1, 2914,32 untuk N2, dan 1942,88 untuk N3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,16 untuk N1, 1,82 untuk N2, dan 1,86 untuk N3.

Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.3. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 1153,0 untuk N1, 1598,0 untuk N2, dan 1045,0 untuk N3.

4.11.2. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 0%

Tabel 4.24. Hasil Marshall Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 0%

HASIL (Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 0%)																
BJ Aspal (T) : 1,037		BJ EMH Total Agregat (Gg) : 2,632					BJ Total Agg (Gg) : 2,516			Kandiasi Paving Resin : 12,143 Kg						
no benda uji	% HDPE	% BA (Asbuton)	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat sed	volume/isi	bi Bulk campuran	bi Maska kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (vme)	% rongga dalam camp(vrn)	% rongga terisi aspal(vrb)	stabilitas di arbi	kelelahan plastis di sesuaikan (flow)	hasil bagi marshall (mq)	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		
		% berat total campuran	dala timbang	dala timbang	dala timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100-b)g/gb	100 - (100-j)h	100 (k) i			m/n		
		(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(step)	(kg)	(mm)	(kg/cm)	
A1	2%	0%	5,8	1166,4	708,4	1197,8	489,4	2,424	2,320	9,24	-4,49	148,62	257	3120,75	1,57	1981,7
<i>Rata-rata</i>								2,359	2,320	9,24	-4,49	148,62	158,23	3120,75	1,57	1981,7
A2	2%	0%	5,8	1164,3	677,4	1171,0	489,6	2,369	2,360	15,06	0,89	94,08	153	1857,88	1,37	1354,5
<i>Rata-rata</i>								2,369	2,360	15,06	0,89	94,08	153,00	1857,88	1,37	1354,5
A3	2%	0%	5,8	1174,3	696,8	1183,3	487,0	2,411	2,260	13,17	-6,69	150,83	249	3023,61	1,93	1566,3
<i>Rata-rata</i>								2,411	2,260	13,17	-6,69	150,83	249,00	3023,61	1,93	1566,3

Setelah hasil uji Marshal pada benda uji komposisi Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 0% semuanya telah dirangkum dalam bentuk tabel, kemudian data tersebut ditransformasikan ke dalam format grafik seperti yang terlihat pada Grafik 4.3 di bawah ini. sesuai dengan Spesifikasi Jalan Umum Tahun 2018.



Gambar 4.3. Grafik Hasil Marshall Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 0%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.4. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi. Untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 9,24 untuk A1, 9,24 untuk A2, dan 9,24 untuk A3.

Nilai VIM (*Void in Mix*) atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai VMA dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VIM hanya mendapatkan nilai sebesar : -4,49 untuk A1, 0,89 untuk A2, dan 0,89 untuk A3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 148,62 untuk A1, 94,08 untuk A2, dan 150,83 untuk A3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa

dilihat pada Grafik 4.4. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 3120,75 untuk A1, 1857,88 untuk A2, dan 3023,61 untuk A3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 1,57 untuk A1, 1,37 untuk A2, dan 1,93 untuk A3.

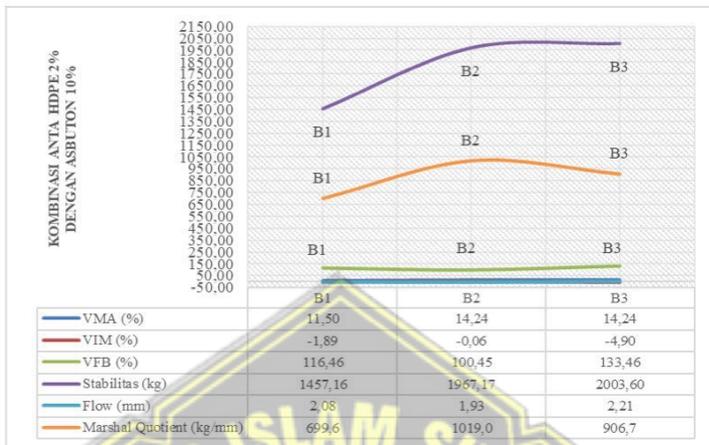
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.4. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 1981,7 untuk A1, 1354,5 untuk A2, dan 1566,3 untuk A3.

4.11.3. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 10%

Tabel 4.25. Hasil Marshall Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 10%

HASIL (Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 10%)																
BJ Aspal (T) : 1.037		BJ Enkaf Total Agregat (Gib) : 2.632					BJ Total Agg (Gib) : 2.516			Kualitas Previsi Ring = 12.143 Kg						
no benda uji	% BA + FA	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat ssd	volumen as	bj Bulk campuran	bj Maksi kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (mm)	% rongga galim (cm) / total	% rongga henti aspal (Vb)	stabilitas	kelelahan	hasil bagi		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	v-e	e/f	GMM	100 - (100-b)/g	100 - (100-i)/j	i	g	(kg)	(mm)	m/n	
B1	2%	10%	5,8	1181,0	686,2	1188,8	499,6	2.364	2.320	11,50	-1,89	116,46	120,09	1457,16	2,00	699,6
Rata-rata								2.364	2.330	11,50	-1,89	116,46	120,09	1457,16	2,00	699,6
B2	2%	10%	5,8	1177,9	692,8	1187,4	494,6	2.382	2.380	14,24	-0,06	100,45	162,00	1967,17	1,93	1019,0
Rata-rata								2.382	2.380	14,24	-0,06	100,45	162,00	1967,17	1,93	1019,0
B3	2%	10%	5,8	1185,8	686,2	1196,4	500,2	2.371	2.260	14,63	-4,90	133,46	165	2003,60	2,21	906,7
Rata-rata								2.371	2.260	14,63	-4,90	133,46	165,00	2003,60	2,21	906,7

Setelah hasil uji Marshal pada benda uji komposisi Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 10% semuanya telah dirangkum dalam bentuk tabel, kemudian data tersebut ditransformasikan ke dalam format grafik seperti yang terlihat pada Grafik 4.4 di bawah ini. sesuai dengan Spesifikasi Jalan Umum Tahun 2018.



Gambar 4.4. Grafik Hasil *Marshall* Kombinasi *HDPE 2% + Asbuton 10%*

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.5. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 11,50 untuk B1, 14,24 untuk B2, dan 14,24 untuk B3.

Nilai VIM (*Void in Mix*) atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai VMA dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VIM hanya mendapatkan nilai sebesar : -1,89 untuk B1, -0,06 untuk B2, dan -4,90 untuk B3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 116,46 untuk B1, 100,45 untuk B2, dan 133,46 untuk B3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.5. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar :

1457,16 untuk B1, 1967,17 untuk B2, dan 2003,60 untuk B3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,08 untuk B1, 1,93 untuk B2, dan 2,21 untuk B3.

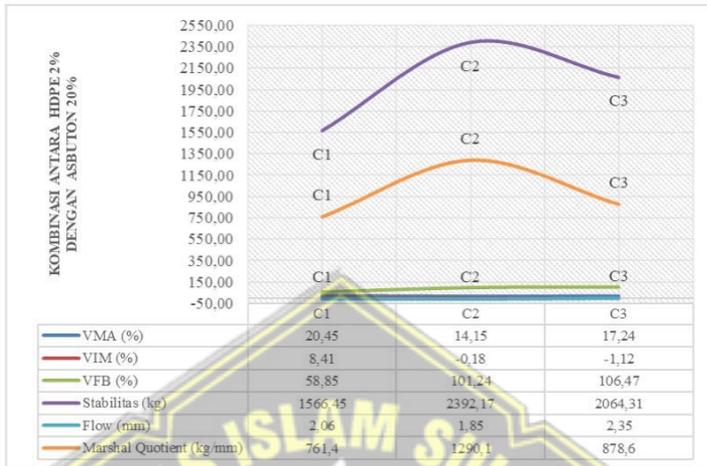
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.5. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 699,6 untuk B1, 1019,0 untuk B2, dan 906,7 untuk B3.

4.11.4. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 20%

Tabel 4.26. Hasil Marshall Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 20%

HASIL (Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 20%)																
BJ Aspal (T) : 1.037		BJ Efektif Total Aggregat (Gse) : 2.632				BJ Total Agg (Gsb) : 2.516			Kualitas Primer: R _{max} = 12,143 Kg							
no benda uji	% FA	kadar aspal	berat di udara	berat dim air	berat sdd	volume isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (v _m)	% rongga dalam camp (v _m)	% rongga terisi aspal (v _f)	stabilitas dibaca arloji	di sesuaikan	kelelahan plastik (flow)	hasil bj. marshall (m _c)	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c · T	G _{mm}	100 - (100 · b) / g _s	100 - (100 · c) / h	100 · (j - i) / (100 · k)	(30p)	(kn)	(mm)	(g/mm)		
C1	2%	20%	5.8	1175.6	624.0	1175.4	551.4	2.125	2.320	20.45	6.41	58.85	129	1566.45	2.06	751.4
Rata-rata								2.125	2.320	20.45	6.41	58.85	129.00	1566.45	2.06	751.4
C2	2%	20%	5.8	1175.4	627.2	1186.2	493.0	2.384	2.380	14.15	-0.18	161.24	197	2392.17	1.85	1290.1
Rata-rata								2.384	2.380	14.15	-0.18	161.24	197.00	2392.17	1.85	1290.1
C3	2%	20%	5.8	1147.6	654.4	1153.6	499.4	2.258	2.273	17.24	-1.12	166.47	170	2064.31	2.35	878.6
Rata-rata								2.258	2.273	17.24	-1.12	166.47	170.00	2064.31	2.35	878.6

Setelah hasil uji Marshal pada benda uji komposisi Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 20% semuanya telah dirangkum dalam bentuk tabel, kemudian data tersebut ditransformasikan ke dalam format grafik seperti yang terlihat pada Grafik 4.5 di bawah ini. sesuai dengan Spesifikasi Jalan Umum Tahun 2018.



Gambar 4.5. Grafik Hasil *Marshall* Kombinasi *HDPE* 2% + *Asbuton* 20%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.6, dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter *Marshall* Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai *VMA* (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai *VMA* hanya mendapatkan nilai sebesar : 20,45 untuk C1, 14,15 untuk C2, dan 17,24 untuk C3.

Nilai *VIM* (*Void in Mix*) atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai *VMA* dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai *VIM* hanya mendapatkan nilai sebesar : 8,41 untuk C1, -0,18 untuk C2, dan -1,21 untuk C3.

Nilai *VFB* (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai *VMA* dan *VIM*, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai *VFB* hanya mendapatkan nilai sebesar : 58,85 untuk C1, 101,24 untuk C2, dan 106,47 untuk C3.

Nilai *Stabilitas* mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai *stabilitas* yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa

dilihat pada Grafik 4.6. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 1566,45 untuk C1, 2392,17 untuk C2, dan 2064,31 untuk C3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,06 untuk C1, 1,85 untuk C2, dan 2,35 untuk C3.

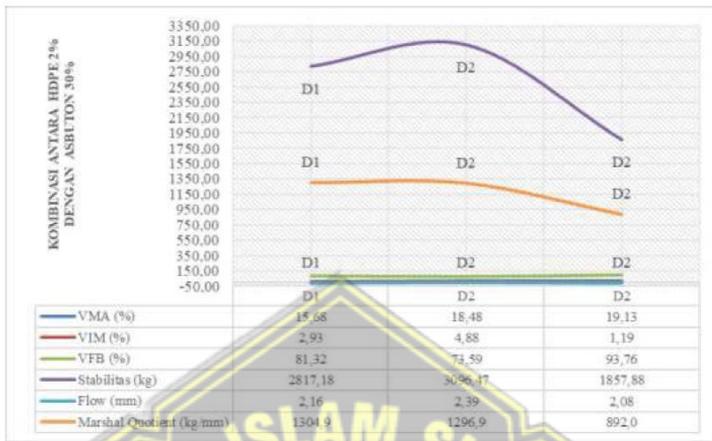
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.6. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 761,4 untuk C1, 1290,1 untuk C2, dan 878,6 untuk C3.

4.11.5. Hasil *Marshall* Benda Uji Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 30%

Tabel 4.27. Hasil *Marshall* Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 30%

HASIL (Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 30%)																
BJ Aspal (T) : 1.037		BJ Ekuivalen Agregat (G) : 2.632				BJ Total Agg (G) : 2.516				Kalibrasi Preveng Ring = 12.143 Kg						
no benda uji	% FA + BA	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat sed	volumen isi	% Buk campuran	% Maks kombinasi camp. Agg	% antara aspal (mm)	% ringga dalam camp (mm)	% ringga terisi aspal (vb)	stabilitas di adasi	di sesuaikan	kelelahan plastik (flow)	hasil bap Marshall (mc)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
		% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - b) / g	100 - (100 - j) / i	100 (i) / i				m / n	
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)					(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
D1	2%	30%	5,8	1188,4	667,0	1194,7	627,7	2,252	2,320	15,68	2,93	81,32	232	2817,18	2,16	1304,9
Rata-rata								2,252	2,320	15,68	2,93	81,32	232,00	2817,18	2,16	1304,9
D2	2%	30%	5,8	1187,6	663,4	1194,0	626,6	2,264	2,380	18,48	4,88	73,59	255	3096,47	2,39	1296,9
Rata-rata								2,264	2,380	18,48	4,88	73,59	255,00	3096,47	2,39	1296,9
D3	2%	30%	5,8	1172,6	664,8	1196,8	622,2	2,245	2,273	19,13	1,19	93,76	153	1857,88	2,08	892,0
Rata-rata								2,245	2,273	19,13	1,19	93,76	153,00	1857,88	2,08	892,0

Setelah hasil uji Marshal pada benda uji komposisi Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 30% semuanya telah dirangkum dalam bentuk tabel, kemudian data tersebut ditransformasikan ke dalam format grafik seperti yang terlihat pada Grafik 4.6 di bawah ini. sesuai dengan Spesifikasi Jalan Umum Tahun 2018.



Gambar 4.6. Grafik Hasil Marshall Kombinasi HDPE 2% + Asbuton 30%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.7, dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 15,68 untuk D1, 18,48 untuk D2, dan 19,13 untuk D3.

Nilai VIM (*Void in Mix*) atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai VMA dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VIM hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,93 untuk D1, 4,88 untuk D2, dan 1,19 untuk D3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 81,32 untuk D1, 73,59 untuk D2, dan 93,76 untuk D3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.7. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 2817,18 untuk D1, 3096,47 untuk D2, dan 1857,88 untuk D3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,16 untuk D1, 2,39 untuk D2, dan 2,08 untuk D3.

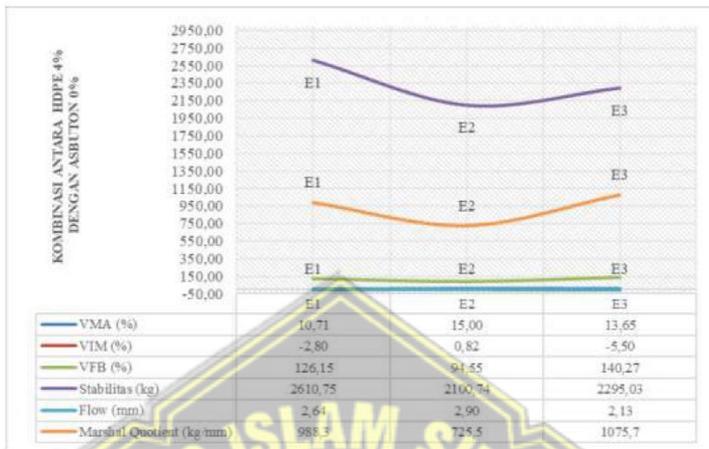
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.7. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 1304,9 untuk D1, 1296,9 untuk D2, dan 892,0 untuk D3.

4.11.6. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 0%

Tabel 4.28. Hasil Marshall Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 0%

HASIL (Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 0%)																
BJ Aspal (T) : 1,037			BJ Hasil Total Agregat (Ges) : 2,662			BJ Total Agg (Ges) : 2,516			Kalibrasi Previus Riser = 12,143 Kg							
no benda uji	% FA + BA	kadar aspal	berat di udara	berat di air	berat sed	volumenasi	bj Bulk campuran	bj Maksi kombinasi camp. Agg	% rongga diantara aspal (v/s)	% rongga dalam camp (v/s)	% rongga total aspal (v/s)	stabilitas	kelelahan	hasil bag		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	c / f	GMM	100 - 100 (100 - b) / g	100 - 100 (100 - b) / h	100 (100 - k) / i	(%)	(%)	(%)	(mm)	(korrn)	
E1	4%	0%	5,8	1170,6	689,6	1184,2	494,6	2,385	2,320	10,71	-2,89	126,15	215	2610,75	2,64	988,3
Rata-rata								2,385	2,320	10,71	-2,89	126,15	215,00	2610,75	2,64	988,3
E2	4%	0%	5,8	1171,3	679,8	1176,0	496,2	2,361	2,380	15,00	0,82	94,55	173	2100,74	2,90	725,5
Rata-rata								2,361	2,380	15,00	0,82	94,55	173,00	2100,74	2,90	725,5
E2	4%	0%	5,8	1179,8	694,5	1186,6	492,0	2,398	2,273	13,65	-5,50	140,27	169	2295,03	2,13	1075,7
Rata-rata								2,398	2,273	13,65	-5,50	140,27	169,00	2295,03	2,13	1075,7

Setelah hasil uji Marshal pada benda uji komposisi Kombinasi 4% + Asbuton 0% semuanya telah dirangkum dalam bentuk tabel, kemudian data tersebut ditransformasikan ke dalam format grafik seperti yang terlihat pada Grafik 4.7 di bawah ini. sesuai dengan Spesifikasi Jalan Umum Tahun 2018.



Gambar 4.7. Grafik Hasil Marshall Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 0%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.8. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (Void in the Mineral Agregat) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 10,7194 untuk E1, 15,00 untuk E2, dan 13,65 untuk E3.

Nilai VIM (*Void in Mix*) atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai VMA dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VIM hanya mendapatkan nilai sebesar : -2,80 untuk E1, -0,82 untuk E2, dan -5,50 untuk E3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilai sebesar : 126,15 untuk E1, 94,55 untuk E2, dan 140,27 untuk E3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa

dilihat pada Grafik 4.8. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 2610,75 untuk E1, 2100,74 untuk E2, dan 2295,03 untuk E3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,64 untuk E1, 2,90 untuk E2, dan 2,13 untuk E3.

Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.3. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 988,3 untuk E1, 725,5 untuk E2, dan 1075,7 untuk E3.

4.11.7. Hasil *Marshall* Benda Uji Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 10%

Tabel 4.29. Hasil *Marshall* Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 10%

HASIL (Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 10%)																
BJ Aspal (T) : 1,037		BJ Ekuival Total Agregat (Gse) : 2,632			BJ Total Agg (Gsb) : 2,516			Kalibrasi Preveng Ring = 12,143 Kg								
no benda uji	% HDPE	% BGA (Asbuton)	kadar aspal	berat (g) udara	berat dim air	berat sad	volumen isi	bi. Buk campuran	bi. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg (vma)	% rongga dalam campuran (vmi)	% rongga terisi aspal (Vt)	stabilitas di baca anjoi	di sesuaikan	kelelahan plastik (flow)	hasil bap marshall (mt)
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		
			% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	a - d	c - f	GMM	100 - (100 - b) / (c - h)	100 - (100 - i) / (j - h)	100 (L) / (100 - k)				m / n
			(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
F1	4%	10%	5,8	1181,0	678,6	1188,8	508,2	2,324	2,320	12,99	-0,17	101,29	160	1842,88	2,46	788,6
Rate-rata								2,324	2,320	12,99	-0,17	101,29	160,00	1842,88	2,46	788,6
F2	4%	10%	5,8	1182,7	686,4	1188,8	602,2	2,355	2,375	15,20	0,84	94,47	145	1780,74	1,07	1650,5
Rate-rata								2,355	2,375	15,20	-4,46	94,47	145,00	1780,74	1,07	1650,5
F3	4%	10%	5,8	1188,8	693,6	1195,2	501,6	2,370	2,269	14,66	-4,45	130,37	165	2003,60	0,85	2354,7
Rate-rata								2,370	2,269	14,66	-4,45	130,37	165,00	2003,60	0,85	2354,7

Setelah seluruh hasil data pengujian *Marshall* pada benda uji komposisi Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 10% di rekap ke dalam bentuk tabel, maka selanjutnya seluruh data dibuat ke dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada grafik 4.8 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Gambar 4.8. Grafik Hasil *Marshall* Kombinasi *HDPE* 4% + Asbuton 10%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.9, dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai *VMA (Void in the Mineral Agregat)* atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai *VMA* hanya mendapatkan nilai sebesar : 20,45 untuk F1, 14,15 untuk F2, dan 17,24 untuk F3.

Nilai *VIM (Void in Mix)* atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai *VMA* dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai *VIM* hanya mendapatkan nilai sebesar : 8,41 untuk F1, -0,18 untuk F2, dan -1,12 untuk F3.

Nilai *VFB (Void Filled Bitumen)* atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai *VMA* dan *VIM*, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai *VFB* hanya mendapatkan nilai sebesar : 58,85 untuk F1, 101,24 untuk F2, dan 106,47 untuk F3.

Nilai *Stabilitas* mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai *stabilitas* yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa

dilihat pada Grafik 4.9. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 1942,88 untuk F1, 1760,74 untukF2, dan 2003,60 untuk F3.

Nilai *Flow* (kelehan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,46 untuk F1, 1,07 untukF2, dan 0,85 untuk F3.

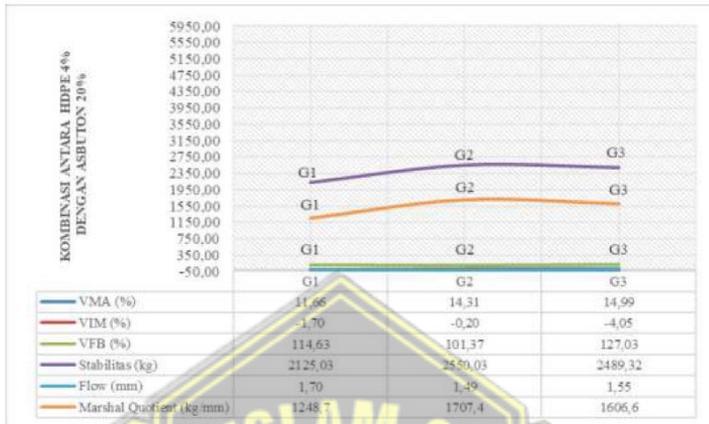
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik danmemenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sampleyang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.9. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 788,6 untuk F1, 1650,5 untuk F2, 2354,7 untuk F3.

4.11.8. Hasil *Marshall* Benda Uji Kombinasi *HDPE* 4% + *Asbuton* 20%

Tabel 4.30. Hasil *Marshall* Kombinasi *HDPE* 4% + *Asbuton* 20%

HASIL (Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 20%)																
BJ Aspal (T) : 1,037		BJ Elemen Total Agregat (Gse) : 2,632				BJ Total Agg (Gsb) : 2,516			Kalibrasi Printing Ring = 12,143 Kg							
no. benda uji	% HDPE	% BGA (Asbuton)	kadar aspal	berat di udara	berat dim ar	berat ssd	volume/isi	bj Bulk campuran	bj Maks kombinasi camp. Agg	% rongga di antara agg (vma)	% rongga dalam camp.(vmi)	% rongga aspal(rb)	stabilitas di atas	kelelahan di bawah	hasil bag marshall (mc)	
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	data timbang	a - d	c / f	GMM	100 - (100 × b ÷ g)	100 - (100 × c ÷ h)	100 (c ÷ i)	i			m / n	
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	
G1	4%	20%	5,8	1187,8	690,6	1184,0	503,4	2,380	2,320	11,66	-1,70	114,63	175	2125,03	1,70	1248,7
Rata-rata								2,380	2,320	11,66	-1,70	114,63	175,00	2125,03	1,70	1248,7
G2	4%	20%	5,8	1188,4	696,2	1195,6	499,4	2,380	2,375	14,31	-0,20	101,37	210	2550,03	1,49	1707,4
Rata-rata								2,380	2,375	14,31	-0,20	101,37	210,00	2550,03	1,49	1707,4
G3	4%	20%	5,8	1178,1	695,4	1184,4	499,0	2,381	2,269	14,99	-0,05	127,03	205	2489,32	1,55	1606,6
Rata-rata								2,381	2,269	14,99	-0,05	127,03	205,00	2489,32	1,55	1606,6

Setelah hasil uji Marshal pada benda uji komposisi Kombinasi *HDPE* 4% + *Asbuton* 20% semuanya telah dirangkum dalam bentuk tabel, kemudian data tersebut ditransformasikan ke dalam format grafik seperti yang terlihat pada Grafik 4.9 di bawah ini. sesuai dengan Spesifikasi Jalan Umum Tahun 2018.



Grafik 4.9. Hasil Marshall Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 20%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.7. dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter Marshall Test mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai VMA (*Void in the Mineral Agregat*) atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai VMA hanya mendapatkan nilai sebesar : 11,66 untuk G1, 14,31 untuk G2, dan 14,99 untuk G3.

Nilai VIM (*Void in Mix*) atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai VMA dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VIM hanya mendapatkan nilaisebesar : -1,70 untuk G1, -0,20 untuk G2, dan -4,05 untuk G3.

Nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai VMA dan VIM, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai VFB hanya mendapatkan nilaisebesar : 114,63 untuk G1, 101,37 untuk G2, dan 127,03 untuk G3.

Nilai Stabilitas mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai stabilitas yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.7. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar :

2125,03 untuk G1, 2550,03 untuk G2, dan 2489,32 untuk G3.

Nilai *Flow* (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai *Flow* hanya mendapatkan nilai sebesar : 1,70 untuk G1, 1,49 untuk G2, dan 1,55 untuk G3.

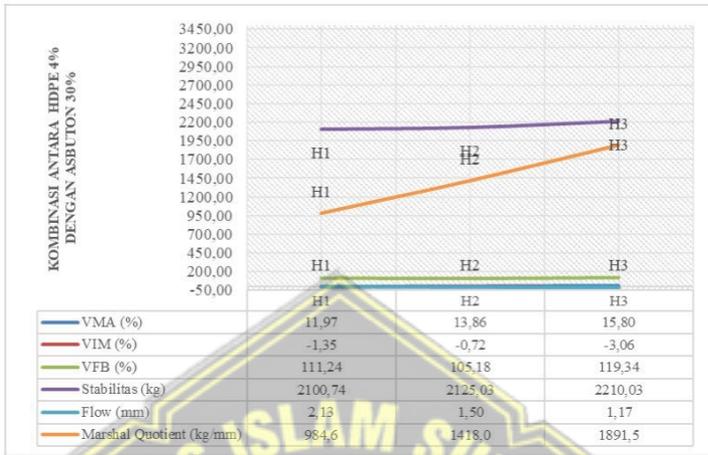
Nilai MQ (*Marshall Quotient*) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.7. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 1248,7 untuk G1, 1707,4 untuk G2, dan 1606,6 untuk G3.

4.11.9. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 30%

Tabel 4.31. Hasil Marshall Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 30%

HASIL (Kombinasi HDPE 4% + Asbuton 30%)																
BJ Aspal (T) : 1,037		BJ Emulsi Total Aggregat (Gse) : 2,632			BJ Total Agg (Gsb) : 2,516			Kalibrasi Peralat: R _{ap} = 12,143 Kg								
no benda uji	% HDPE	% BGA (Asbuton)	kadar aspal	berat di udara	berat dim air	berat ssd	volume isi	bj. Bulik campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga dari atas agg (mra)	% rongga dalam camp (vni)	% rongga terisi aspal (vbi)	stabilitas dbaca artoj	kelelahan di sesuaikan	hasil baco marshol (mc)	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o		
			% berat total campuran (%)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	data timbang (gr)	e - d	c / f	GMM	100 - (100 - bj gab	100 - (100 - j) h	100 - l i	(atp)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
H1	4%	30%	5,8	1191,6	691,2	1198,0	506,8	2,361	2,320	11,97	-1,35	111,24	173	2100,74	2,13	984,6
Rata-rata								2,351	2,320	11,97	-1,35	111,24	173,00	2100,74	2,13	984,6
H2	4%	30%	5,8	1165,5	698,6	1194,2	495,6	2,392	2,375	13,86	-0,72	105,18	175	2125,03	1,50	1418,0
Rata-rata								2,392	2,375	13,86	-0,72	105,18	175,00	2125,03	1,50	1418,0
H3	4%	30%	5,8	1184,6	685,8	1192,4	506,6	2,338	2,269	15,80	-3,06	118,34	192	2210,03	1,17	1891,5
Rata-rata								2,338	2,269	15,80	-3,06	118,34	192,00	2210,03	1,17	1891,5

Setelah hasil uji Marshal pada benda uji komposisi Kombinasi 4% + Asbuton 30% semuanya telah dirangkum dalam bentuk tabel, kemudian data tersebut ditransformasikan ke dalam format grafik seperti yang terlihat pada Grafik 4.10 dibawah ini. sesuai dengan Spesifikasi Jalan Umum Tahun 2018.



Gambar 4.10. Grafik Hasil *Marshall* Kombinasi *HDPE* 4% + *Asbuton* 30%

Dari Grafik yang diperoleh pada Gambar 4.8, dapat dilihat bahwa nilai yang dihasilkan dari parameter *Marshall Test* mendapatkan hasil yang bervariasi, untuk nilai *VMA (Void in the Mineral Agregat)* atau rongga diantara mineral agregat, mendapatkan hasil yang cukup rendah dan belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana nilai *VMA* hanya mendapatkan nilai sebesar : 11,97 untuk H1, 13,86 untuk H2, dan 15,80 untuk H3.

Nilai *VIM (Void in Mix)* atau rongga di dalam campuran, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai *VMA* dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai *VIM* hanya mendapatkan nilai sebesar : -1,35 untuk H1, -0,72 untuk H2, dan -3,06 untuk H3.

Nilai *VFB (Void Filled Bitumen)* atau rongga dalam benda uji yang terisi aspal, juga masih mendapatkan hasil yang cukup rendah tetapi lebih baik jika dibandingkan dengan nilai *VMA* dan *VIM*, masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan dimana, nilai *VFB* hanya mendapatkan nilai sebesar : 111,24 untuk H1, 105,18 untuk H2, dan 119,34 untuk H3.

Nilai *Stabilitas* mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai *stabilitas* yang paling optimum dan memiliki sifat yang paling fleksibel diantara semua nilai parameter pada benda uji komposisi normal, hasilnya bisa

dilihat pada Grafik 4.8. diatas, dimana nilai stabilitas mendapatkan nilai sebesar : 2100,74 untuk H1, 2125,03 untuk H2, dan 2210,03 untuk H3.

Nilai Flow (kelelahan) masih mendapatkan hasil yang cukup rendah dibandingkan nilai Stabilitas dan masih belum mencapai hasil minimal pada spesifikasi yang telah ditentukan, dimana nilai Flow hanya mendapatkan nilai sebesar : 2,13 untuk H1, 1,50 untuk H2, dan 1,17 untuk H3.

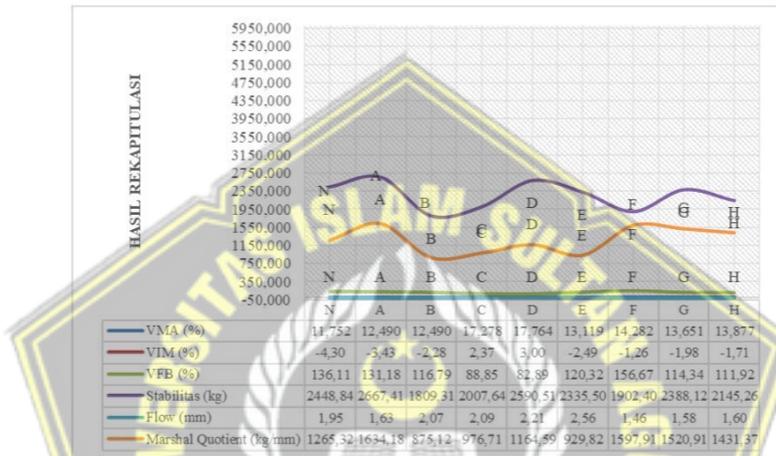
Nilai MQ (Marshall Quotient) mendapatkan hasil yang cukup baik dan memenuhi spesifikasi, disini nilai MQ cenderung semakin meningkat setiap sample yang telah diuji berbeda dengan nilai parameter pada benda uji komposisi normal yang lain, hasilnya bisa dilihat pada Grafik 4.3. diatas, dimana nilai MQ mendapatkan nilai sebesar : 984,6 untuk H1, 1418,0 untuk H2, dan 1891,5 untuk H3.

4.12 Hasil Rekapitulasi

Tabel 4.32. Hasil Rekapitulasi

HASIL REKAPITULASI																			
BJ Aspal (T) :		1,037		BJ Ekuival Total Agregat (Gsd) :			2,632			BJ Total Agg (Gsb) :			2,516			Kilobara Proving Ring =		12,243 Kg	
nama benda uji	Kode aspal	kadar di atas	berat di atas	berat di atas	berat di atas	volume isi	by Maks campuran	by Maks karbitas	% rongga di antara camp. Agg	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(vh)	stabilitas di arkoji	kelelahan di sesuaikan (flow)	hasil Marshall (m)	RATA RATA				
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o					
		% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	e - d	e / f	GMM	100 - (100 - i) gsb	100 - (100 - j) i	100 (k)			m / n					
		(%)	(g)	(gr)	(gr)			(%)	(%)	(%)	(stp)	(kg)	(mm)	(kg/mm)					
NORMAL		Y	1172,6	697,7	1182,5	484,8	2,419	2,320	11,752	-4,30	156,11	201,67	2448,84	1,95		1265,32	584,89		
HOPE 2% + ASBUTON 0%		A	1175,0	694,2	1184,2	490,0	2,398	2,320	12,490	-3,43	151,18	219,67	2667,41	1,63		1634,18	631,63		
HOPE 2% + ASBUTON 10%		B	1181,6	692,7	1190,9	498,1	2,372	2,320	12,490	-2,28	116,79	149,00	1809,31	2,07	875,12	502,34			
HOPE 2% + ASBUTON 20%		C	1164,9	657,2	1171,8	514,6	2,269	2,324	17,278	2,37	88,85	165,33	2107,64	2,09	976,71	521,03			
HOPE 2% + ASBUTON 30%		D	1182,9	667,0	1191,8	524,8	2,254	2,324	17,764	3,00	82,89	213,33	2590,51	2,21	1164,59	588,11			
HOPE 4% + ASBUTON 0%		E	1176,9	688,0	1182,3	494,3	2,381	2,324	13,119	-2,49	120,32	192,33	2335,50	2,56	929,82	549,02			
HOPE 4% + ASBUTON 10%		F	1184,2	686,2	1190,2	504,0	2,350	2,321	14,282	-1,26	156,67	190,40	1902,40	1,46	1597,91	703,32			
HOPE 4% + ASBUTON 20%		G	1184,8	690,7	1191,3	500,6	2,367	2,321	13,651	-1,98	114,34	196,67	2388,12	1,58	1520,91	600,42			
HOPE 4% + ASBUTON 30%		H	1187,2	691,9	1194,9	503,0	2,361	2,321	13,877	-1,71	111,92	176,67	2145,26	1,60	1431,37	573,90			
NILAI TERENDAH			1187,2	697,7	1194,9	524,8	2,42	2,32	17,764	3,00	156,67	190,40	2667,41	2,56	1634,18	703,32			
NILAI TENGAH			1181,6	690,7	1190,2	500,6	2,37	2,32	13,651	-1,98	116,79	196,67	2335,50	1,95	1265,32	584,89			
NILAI TERENDAH			1164,9	657,2	1171,8	484,8	2,25	2,32	11,752	-4,30	82,89	149,00	1809,31	1,46	875,12	502,34			

Pada tabel 4.32 diatas, Secara khusus, tabel rekapitulasi menunjukkan seluruh data uji dari seluruh susunan benda uji yang telah dibuat dan direkapitulasi dalam bentuk tabel. Langkah selanjutnya adalah mengubahnya menjadi bagan rekapitalisasi, yang ditunjukkan dalam grafik, 4.11 dibawah. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.



Gambar 4.11. Grafik Hasil Rekapitulas

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat pada penelitian ini adalah:

1. Job Mix Formula karakteristik terbaik Asphalt Concrete Wearing Course Modifikasi HDPE dan Asbuton pada kombinasi HDPE 2% dengan Asbuton 30% sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018.
2. Nilai rata-rata stabilitas campuran HDPE dan asbuton granular dari berbagai benda uji yang telah diteliti menunjukkan nilai tertinggi 2590,51 kg yang didapat dari uji Marshall pada kombinasi HDPE 2% dengan Asbuton 30%. Hal ini menunjukkan bahwa nilai stabilitas yang didapat memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Mengenai ketentuan sifat-sifat campuran lapis *Asphalt Concrete- Wearing Coarse (AC-WC)*.

5.2. Saran

Agar penelitian ini dapat berjalan lancar dan sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai serta rekomendasi untuk penelitian selanjutnya, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan yaitu :

1. Teliti dan analisis sifat fisik dan kimia dari hdpe dan asbuton granular yang akan digunakan sebagai bahan tambahan campuran aspal.
2. Penelitian ini secara khusus difokuskan pada campuran aspal AC-WC, oleh karena itu disarankan untuk dilakukan penelitian tambahan yang melibatkan jenis campuran hot-mix lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO.(1990). *Standard Specification for Transportation Material and Methods of Sampling and Testing*. Part II Spesification, 15th. AASHTO Publication Washington.
- Abdullah, M. E., Aminah, S., Kader, A., & Jaya, R. P. (2017). *Effect of Waste Plastic as Bitumen Modified in Asphalt Mixture*. 09018, 0–6.
- A. Kumalawati, M., & Tri M. W. Sir., ST, M. E. Y. M. (2013). *Jurnal Teknik Sipil, Vol. II, No. 2, September 2013*. II(2), 191–200.
- Ardhian, H., et. al. 2015. Pengaruh Penggunaan Asbuton Butir pada Campuran Laston. Universitas Kristen Petra, 1-8.
- Arduino, M., Alat, P., Tingkat, P., Aritonang, W., Bangsa, I. A., Rahmadewi, R., & Karawang, U. S. (2021). *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*. 7(1). <https://doi.org/10.5281/zenodo.4541278>
- Batara, I. M., & Mangontan, R. (2020). *Pemanfaatan Agregat Sungai Lamasi Kabupaten Luwu Sebagai Campuran Lapisan Aspal Beton AC-WC*. 2(3).
- Bina Marga. 2014. Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 Divisi 6 Revisi Kementerian Pekerjaan Umum, Republik Indonesia, Jakarta
- Djalante, S. (2011). *Pengaruh ketahanan beton aspal (ac-bc) yang menggunakan asbuton butir tipe 5/20 terhadap air laut ditinjau dari karakteristik mekanis dan durabilitasnya*.
- Fahmi, R., Saleh, S. M., & Isya, M. (2017). *Pengaruh Lama Rendaman Airlaut Terhadap Durabilitas Campuran Aspal Beton Menggunakan Aspal Pen . 60 / 70 Yang Disubstitusi*. 6, 271–282.
- Fatmawati, S. (2011). *Analisa sifat ...*, Siti Fatmawati, FT UI, 2011.
- Gadpalliwari, S., Kathalkar, S., & Agrawal, N. (2018). *Experimental Analysis of Concrete by Replacing Aggregate with Steel Slag*. 3(3),

- 24–27.
- Fatoni, A. (2021). Pengaruh Penggunaan Aspal Buton B5/20 dengan Agregat Lokal Madura pada Campuran Aspal Panas AC-WC terhadap Karakteristik Marshall. *Rekayasa: Jurnal Teknik Sipil*, 6(1), 11. <https://doi.org/10.53712/rjrs.v6i1.1157>
- Hainin, M. R., Yusoff, N. I., Fahmi, M., Sabri, M., Azizi, M., Aziz, A., Anwar, M., Hameed, S., & Reshi, W. F. (2012). *Steel Slag as an Aggregate Replacement in Malaysian Hot Mix Asphalt*. 2012. <https://doi.org/10.5402/2012/459016>
- I Dewa Made Alit Karyawan, Desi Widianty, L. S. R. (2020). *Jurnal SIPILsains*. 10(September), 141–150.
- Jailani, A. K. (2018). *Universitas sumatera utara*. Jalan, P. L., & Solo, J. (2017). *Teknologi Campuran Beraspal Menggunakan Limbah PLASTIK (Teknologi Aspal Plastik)*. 1– 25.
- Jenderal, D., & Marga, B. (2018). *Spesifikasi umum 2018*. September.
- Kc, B., Bir, G., & Tamrakar, S. (2019). *Utilization of Steel Slag as a Replacement for Filler Material in the Asphalt Concrete*. 235–241.
- Kirana, D. E. I. W. F. F. W. (2018). *Analisis Karakteristik Campuran Lataston (Hrs- Wc) Modifikasi Polimer Starbit E-55*. 7(2).
- Kurniawan, P., Genangan, S., Pasang, A., Terhadap, S., Dan, K., Lapis, S., & Marshall, S. (2012). *Kota Pontianak yang dilalui garis*. 1–16.
- Materials, R., & Shankar, A. U. R. (2006). *Strength Behaviour of Geogrid Reinforced Shedi Soil Subgrade and Aggregate Strength Behaviour of Geogrid Reinforced Shedi Soil Subgrade and Aggregate System*. September. <https://doi.org/10.3166/rmpd.7.313-330>.
- Milad, A., Suliman, A., Ali, B., & Izzi, N. (2020). *A Review of the Utilisation of Recycled Waste Material as an Alternative Modifier in Asphalt Mixtures*. 6, 42–60.
- Mishra, B., & Mishra, R. S. (2015). *A Study on Use of Waste Plastic Materials in Flexible Pavements*. 6927–6935.
- Pahlevi, W. R. (2019). *Studi Penggunaan Plastik Polypropylene Pada Campuran Asphalt Concrete- Wearing Course*. 4247, 65–71.
- Palankar, N., Shankar, A. U. R., & Mithun, B. M. (2015). *Studies on eco-*

friendly concrete incorporating industrial waste as aggregates.
International Journal Of Sustainable Environment, June. [https://Doi.Org/10.1016/J.Ijsbe.2015.05.002](https://doi.org/10.1016/J.Ijsbe.2015.05.002).
Rahmadi, Sofyan, M. S., & Angraini, R. (2018). Analisis Marshall Campuran Ac-Wc Dengan Buton Granular Asphalt Dan Abu Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Substitusi. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil Dan Perencanaan*, 1(3), 56–63.
<https://doi.org/10.24815/jarsp.v1i3.11776>

Rahmawati.2015.Kontribusi Polimer HDPE dalam Aspal.Jakarta.

Rosiyida, M.,A.,Oftiana,N. 2013.Pengaruh Penambahan Plastik Hing Densty Polytilene (HDPE) dalam Campuran Laston.Tugas Akhir Sarjana Sastra Universitas Muhammadiyah Yokyakarta.

