

TUGAS AKHIR

PENGGUNAAN LIMBAH PLASTIK HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) SEBAGAI BAHAN TAMBAH PADA CAMPURAN ASPAL BUTON TYPE CPHMA DENGAN PERENDAMAN BERULANG

(Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Mencapai Gelar S-1)



Disusun oleh :

ANDIKA SURYA

45 17 041 074

PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

2022



LEMBAR PENGESAHAN

Berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar No.A.183/FT/UNIBOS/III/2022 Tanggal 11 Februari 2022, Perihal Pengangkatan panitia dan tim penguji Tugas Akhir, maka pada :

Hari / Tanggal : Kamis / 17 Februari 2022

Nama : **ANDIKA SURYA**

No.Stambuk : **45 17 041 074**

Judul Tugas Akhir : “Penggunaan Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Aspal Buton Type CPHMA Dengan Perendaman Berulang”

Telah diterima dan disahkan oleh Panitia Tugas Akhir Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar setelah dipertahankan di depan tim penguji ujian sarjana strata satu (S-1) untuk memenuhi salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Ketua (Ex. Officio) : Ir. H. Abd. Rahim Nurdin, MT. (.....)

Sekretaris (Ex. Officio) : Ir. Arman Setiawan, ST.,MT. (.....)


Anggota : Ir. Nurhadijah Yuniarti, ST.,MT. (.....)

Ir. Tamrin Mallawangeng, MT. (.....)

Makassar, Februari 2022

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik
Univ. Bosowa Makassar


Dr. Ridwan, S.T., M.Si.
NIDN.09-101271-01

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil
Univ. Bosowa Makassar


Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT.
NIDN.00-010565-02



LEMBAR PENGAJUAN UJIAN TUTUP

Judul : **“Penggunaan Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Aspal Buton Type CPHMA Dengan Perendaman Berulang“**

Disusun dan diajukan oleh :

Nama : **ANDIKA SURYA**

No.Stambuk : **45 17 041 074**

Sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Program Studi Teknik Sipil / Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar

Telah disetujui oleh Komisi Pembimbing :

Pembimbing I : **Ir. H. Abd. Rahim Nurdin, MT** (.....)

Pembimbing II : **Ir. Arman Setiawan, ST. MT** (.....)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

Dr. Ridwan, ST.,M.T
NIDN.09-2406-7601

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil

Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT
NIDN. 09-04126502

SURAT PERNYATAAN

KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Andika Surya
Nomor Stambuk : 45 17 041 074
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : "Penggunaan Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Aspal Buton Type CPHMA dengan Perendaman Berulang"

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tugas akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak karya dan pendapat yang pernah ditulis atau diterbikan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar puskata.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila jurusan sipil fakultas Teknik universitas bosowa menyimpan, mengalihmediakan/mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk data base, mendistribusikan dan menampilkannya untuk kepentingan akademik.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak jurusan sipil fakultas Teknik universitas bosowa dari semua bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta tugas akhir ini.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya untuk dapat digunakan sebagaimana mestinya.

Makassar, Februari 2022
Yang membuat pernyataan,



(ANDIKA SURYA)
NIM: 45 17 041 074

ABSTRAK

Penelitian ini mencoba menggunakan limbah HDPE yang di harapkan dapat meningkatkan kualitas aspal buton tipe CPHMA terhadap karakteristik dan memenuhi syarat teknis untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) dengan variasi limbah HDPE pada perendaman berulang. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu suatu percobaan untuk mendapatkan hasil, dengam demikian akan terlihat pemanfaatan limbah HDPE pada konstruksi beton aspal dengan variasi kadar HDPE 5%, 10%, dan 15% dan perendaman berulang selama 6 hari, 12 hari, dan 18 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah HDPE dan perendaman berulang membuat karakteristik campuran CPHMA menurun.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang melimpahkan rahmat dan hidayah-nya sehingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana pada Fakultas Teknik Jurusan Sipil Universitas Bosowa Makassar.

Dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, Penulis memilih bidang Transportasi yang merupakan salah satu bagian disiplin ilmu teknik sipil. Dipilihnya bidang ini berdasarkan kenyataan dilapangan bahwa bidang transportasi khususnya jalan sangat banyak digunakan. Tugas Akhir ini berjudul **“Penggunaan Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Aspal Buton Type CPHMA Dengan Perendaman Berulang”**

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesainya tugas akhir ini berkat bantuan dan sumbangsi dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis ingin menghanturkan ucapan terima kasih tak terhingga kepada :

1. Kedua orangtua kami tercinta atas doa, dukungan bantuannya berupa moril maupun materi selama penulis menuntut ilmu di Universitas Bosowa Makassar.
2. Bapak DR. Ridwan, ST.,M.Si Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar
3. Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT Selaku Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

4. Bapak Ir. H. Abdul Rahim Nurdin, MT. Dan Bapak Ir. Arman Setiawan, ST.,MT Selaku Pembimbing I dan II yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membimbing dan membantu penulis dalam rangka menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Seluruh Staf dan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar
6. Kak Marlina Alwi, ST Asisten Laboratorium Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan masukan sehubungan dengan penelitian ini.
7. Rekan-Rekan mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar, Khususnya Sipil angkatan 2017, dan rekan-rekan seperjuangan di laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Dengan penuh kesadaran diri dan segala kerendahan hati penulis menyadari bahwa hanya Allah memiliki segala kesempurnaan, sehingga masih banyak lagi rahasia-Nya belum tergali dan belum penulis ketahui. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang positif demi menyempurnakan tugas akhir ini dan dapat memberikan manfaat bagi pembaca, Aamiin.

Makassar, Februari 2022

Andika Surya
NIM: 45 17 041 074

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PENGAJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN	iv
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	I-1
1.1. Latar Belakang	I-1
1.2. Rumusan Masalah.....	I-6
1.3. Tujuan Dan Manfaat Penelitian	I-6
1.4. Pokok Bahasan dan Batasan Masalah.....	I-7
1.5. Sistematika Penulisan	I-8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	II-1
2.1 Perkerasan Jalan.....	II-1
2.2 Aspek – aspek Yang Perlu Diperhatikan Dalam Beton Aspal.....	II-6
2.3 Agregat.....	II-10
2.4 Aspal	II-19
2.5 Asbuton	II-26

2.6	Modifier/Peremaja	II-30
2.7	CPHMA	II-31
2.8	Plastik (HDPE).....	II-39
2.9	<i>Marshall Test</i>	II-42
BAB III METODE PENELITIAN.....		III-1
3.1.	Metode	III-1
3.2.	Diagram Flowchart	III-2
3.3.	Bahan Penelitian	III-3
3.4.	Peralatan Penelitian	III-3
3.5.	Uji Campuran Aspal (Bitumen)	III-9
3.6.	Notasi dan Jumlah Sampel.....	III-10
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....		IV-1
4.1.	Penyajian Data	IV-1
4.2.	Komposisi campuran	IV-4
4.3.	Data Hasil uji dengan alat marshall	IV-5
4.4.	Hubungan Kadar Aspal Dengan Persentase Nilai IKS	IV-62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		V-1
5.1.	Kesimpulan.....	V-1
5.2.	Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

➤ Tabel 2.1 Ketentuan Agregat Kasar	II-10
➤ Tabel 2.2 Ketentuan agregat halus.....	II-11
➤ Tabel 2.3 Ketentuan aspal keras	II-25
➤ Tabel 2.4 Persyaratan peremaja	II-31
➤ Tabel 2.5 Tebal lapisan padat minimum CPHMA.....	II-32
➤ Tabel 2.6 Gradasi agregat CPHMA.....	II-32
➤ Tabel 2.7 Ketentuan asbuton butir.....	II-33
➤ Tabel 2.8 Sifat campuran CPHMA.....	II-35
➤ Tabel 2.9 Kadar dan sifat aspal hasil ekstraksi CPHMA.....	II-35
➤ Tabel 2.10 Temperatur aspal untuk pencampuran dan pemadatan	II-36
➤ Tabel 2.11 Kode jenis plastik.....	II-40
➤ Tabel 2.12 Ketentuan limbah plastik hasil cacahan.....	II-41
➤ Tabel 4.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat	IV-1
➤ Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	IV-2
➤ Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	IV-3
➤ Tabel 4.4 Kadar Aspal Hasil Ekstraksi CPHMA.....	IV-3
➤ Tabel 4.5 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	IV-3
➤ Tabel 4.6 Komposisi campuran dengan bahan limbah HDPE 5%...	IV-4
➤ Tabel 4.7 Komposisi campuran dengan bahan limbah HDPE 10%.	IV-4
➤ Tabel 4.8 Komposisi campuran dengan bahan limbah HDPE 15%.	IV-4
➤ Tabel 4.9 Hasil Uji Marshall Kadar Aspal 6,14% dengan perendaman selama 30 menit dan 2 x 24 jam pada suhu	

60°C.....	IV-36
➤ Tabel 4.10 Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Menggunakan Limbah HDPE 5% Dengan Perendaman Berulang.....	IV-36
➤ Tabel 4.11 Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Menggunakan Limbah HDPE 10% Dengan Perendaman Berulang....	IV-36
➤ Tabel 4.12 Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Menggunakan Limbah HDPE 15% Dengan Perendaman Berulang.....	IV-6
➤ Tabel 4.13 Analisis Penurunan Nilai Kepadatan	IV-59
➤ Tabel 4.14 Analisis Penurunan Nilai Stabilitas.....	IV-60
➤ Tabel 4.15 Analisis Peningkatan Nilai Flow	IV-60
➤ Tabel 4.16 Analisis Peningkatan Nilai VMA	IV-60
➤ Tabel 4.17 Analisis Peningkatan Nilai VIM.....	IV-61
➤ Tabel 4.18 Analisis Penurunan Nilai VFB	IV-61
➤ Tabel 4.19 Analisis Penurunan Nilai MQ.....	IV-62
➤ Hubungan Kadar Aspal 6,14% Dengan Persentase Nilai IKS Aspal	IV-62

DAFTAR GAMBAR

1. Gambar 2.1 Lapisan jalan lentur.....	II-2
2. Gambar 2.2 Pertimbangan volume pori agregat untuk penentuan SG	II-17
3. Gambar 2.3 Aspal buton dalam bentuk bongkahan.....	II-28
4. Gambar 3.1 Bagan alir penelitian	III-2
5. Gambar 3.2 CPHMA.....	III-3
6. Gambar 3.3 HDPE.....	III-3
7. Gambar 3.4 Timbangan.....	III-4
8. Gambar 3.5 Bak perendam	III-4
9. Gambar 3.6 Cetakan benda uji marshall	III-5
10. Gambar 3.7 Ejector	III-5
11. Gambar 3.8 Batang penumbuk.....	III-5
12. Gambar 3.9 Landasan pematat.....	III-6
13. Gambar 3.10 Alat uji marshall	III-6
14. Gambar 3.11 Kompor listrik	III-7
15. Gambar 3.12 Bak perendam	III-7
16. Gambar 3.13 Thermometer	III-8
17. Gambar 3.14 Sendok	III-8
18. Gambar 3.15 Stopwatch.....	III-8
19. Gambar 3.16 Jangka sorong	III-9
20. Gambar 3.17 Kaleng seng.....	III-9

21. Gambar 4.1 Diagram hubungan variasi limbah HPDE 5% dengan perendaman berulang terhadap kepadatan.....	IV-37
22. Gambar 4.2 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan perendaman berulang terhadap stabilitas	IV-38
23. Gambar 4.3 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% terhadap flow	IV-40
24. Gambar 4.4 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan variasi perendaman berulang terhadap VMA	IV-41
25. Gambar 4.5 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan variasi perendaman berulang terhadap VIM.....	IV-42
26. Gambar 4.6 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan variasi perendaman berulang terhadap VFB	IV-43
27. Gambar 4.7 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan variasi perendaman berulang terhadap nilai MQ	IV-44
28. Gambar 4.8 Diagram hubungan variasi limbah HPDE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap kepadatan	IV-45
29. Gambar 4.9 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap stabilitas.	IV-46
30. Gambar 4.10 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman terhadap flow	IV-47
31. Gambar 4.11 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap VMA	IV-48

32. Gambar 4.12 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap VIM.....	IV-49
33. Gambar 4.13 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap VFB	IV-50
34. Gambar 4.14 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap nilai MQ	IV-51
35. Gambar 4.15 Diagram hubungan variasi limbah HPDE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap kepadatan	IV-52
36. Gambar 4.16 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap stabilitas	IV-53
37. Gambar 4.17 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman terhadap flow.....	IV-54
38. Gambar 4.18 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap VMA	IV-56
39. Gambar 4.19 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap VIM.....	IV-57
40. Gambar 4.20 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap VFB	IV-58
41. Gambar 4.21 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap nilai MQ	IV-59

DAFTAR NOTASI

ASTM	= <i>America Standard Testing and Material</i>
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Official</i>
AC	= <i>Aspal Concrete</i>
AMP	= <i>Aspal Mixing Plant</i>
CPHMA	= <i>Cold Paving Hot Mix Asbuton</i>
HDPE	= <i>High Density Polyethylene</i>
LGA	= <i>Lawele granular aspal</i>
BGA	= <i>Buton granular aspal</i>
AC-WC	= <i>Asphalt Cocrete Wearing Course</i>
AC-BC	= <i>Aspal Concrete Base Course</i>
MFO	= <i>Marine flux oil</i>
SMP	= <i>Satuan mobil penumpang</i>
C	= <i>Berat kering / sebelum direndam (gram)</i>
CA	= <i>Agregat kasar</i>
mm	= <i>Milimeter</i>
cm	= <i>Centimeter</i>
d	= <i>Berat benda uji jenuh air</i>
F	= <i>Flow</i>
f	= <i>Volume benda uji (cc)</i>
FA	= <i>Agregat halus</i>
g	= <i>Nilai kepadatan (gr/cc)</i>
g	= <i>Persen rongga terisi aspal</i>
gr	= <i>Gram</i>

i dan j	= Rumus substitusi
K ₂ O	= Potassium oxide (magnesium oksida)
LPA	= Lapisan pondasi atas
LPB	= Lapisan pondasi bawah
MQ	= Nilai marshall quotient (kg/mm)
MgO	= Magnesium oxide (magnesium oksida)
Na ₂ O	= Sodium oxide (soda abu)
P	= Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat
PB	= Perkiraan keras aspal optimum
q	= Angka koreksi benda uji
S	= Nilai stabilitas
SS	= Sand sheet
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SMA	= Split Mastic Asphalt
MR	= Modulus Resilien
SC	= Slow Curing Cut Back
SSD	= Saturated surface dry
TD	= Lapisan tanah dasar
Usa	= United States Of America
VIM	= Void In The Mix
VFA	= Void Filled White Asphalt
VMA	= Void In Mineral Agregat
°C	= Derajat Celcius

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara yang memiliki kekayaan berupa aspal alam di pulau Buton Provinsi Sulawesi Tenggara yang biasa disebut dengan asbuton. Jumlah asbuton yang terdapat di Pulau Buton diperkirakan berjumlah 677.247.000 ton (Balitbang PU, 2016). Melihat jumlah asbuton yang melimpah Kementerian PU mengeluarkan peraturan Menteri No. 35/PRT/M/2006 tanggal 27 Desember 2006, yang berisi tentang peningkatan penggunaan asbuton untuk perkerasan jalan di Indonesia.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk mengoptimalkan penggunaan asbuton sebagai pekerjaan perkerasan jalan. Salah satu teknologi penggunaan asbuton yang baru berkembang adalah Cold Paving Hot Mix Asbuton. Menurut Ditjen Bina Marga (2013) CPHMA adalah campuran asbuton yang terdiri dari agregat, asbuton butir, peremaja dan bahan tambah lain yang dicampur panas hampar dingin. CPHMA memiliki keunggulan yaitu dalam penggunaan CPHMA dapat dipadatkan dingin sehingga sangat cocok digunakan untuk daerah yang berada jauh dari lokasi AMP. Tetapi pada aplikasinya dilapangan CPHMA juga memiliki kelamahan dalam workability karena campuran yang sudah dingin lebih kaku sehingga lebih susah untuk dipadatkan karenanya mempengaruhi kinerja campuran (Suroso, 2008).

Saat ini pemerintah Indonesia melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) sedang mengembangkan teknologi campuran aspal plastik atau karet yang terus diterapkan di beberapa ruas jalan di Indonesia sebagai upaya pemerintah dalam pemanfaatan limbah plastik. Hal ini disebabkan karena volume sampah di Indonesia mencapai 65 juta ton setahun, dimana komposisinya didominasi sampah organik sebesar 60 persen dan 14 persen oleh sampah plastik (Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan, 2017). Teknologi campuran aspal plastik ini memiliki kelebihan seperti tidak mudah meninggalkan jejak roda kendaraan saat aspal basah dilalui kendaraan, meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi atau alur, serta meningkatkan ketahanan terhadap retak (Kementerian PUPR, 2017).

Bahan-bahan limbah disekitar lingkungan dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah dalam campuran CPHMA. Hal tersebut dapat memberikan alternatif untuk memanfaatkan limbah - limbah yang tidak termanfaatkan, seperti limbah botol plastik High density polyethylene. Khusus mengenai limbah botol plastik, jika diperhatikan lebih lanjut mengenai bahan dasar botol plastik ini seperti yang tertera pada bagian dasarnya, terdapat tulisan HDPE (high density polyethylene) memiliki nomor 2 pada symbol daur ulang, yang berarti bahan dasar botol plastik ini adalah high density polyethylene. Dengan optimalisasi pemanfaatan limbah botol plastik High density polyethylene ini diharapkan dapat

mengurangi limbah yang mencemari lingkungan dan memberikan nilai tambah tersendiri.

Pada saat musim hujan tiba, tidak sedikit jalan-jalan yang ada di Indonesia terendam oleh air akibat banjir. Hal ini dapat mempengaruhi kinerja perkerasan aspal khususnya masalah ketahanan atau keawetan jalan (durability). Indikasi awal yang dapat dijadikan sebagai hipotesis bahwa semakin lama perkerasan aspal terendam oleh air, maka sifat durabilitas suatu campuran aspal tersebut juga akan berkurang sehingga lambat laun perkerasan jalan akan lebih cepat getas atau rapuh (Anita Rahmawati, 2017).

Berdasarkan uraian diatas penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Penggunaan Limbah Plastik High Density Polyethylene (HDPE) sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Aspal Buton Type CPHMA dengan Perendaman Berulang”.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas, berikut poin-poin yang menjadi rumusan masalah di dalam penelitian ini :

1. Bagaimana pengaruh limbah plastik high density polyethylene (HDPE) sebagai bahan tambah pada campuran aspal buton type CPHMA dengan perendaman berulang?
2. Berapakah besar volume limbah plastik high density polyethylene (HDPE) yang dapat memberikan nilai stabilitas maksimal?

1.3. Tujuan Dan Manfaat Penelitian

1.3.1. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh limbah plastik high density polyethylene (HDPE) sebagai bahan tambah pada campuran aspal buton type CPHMA dengan perendaman berulang.
2. Untuk menganalisis besar volume limbah plastik high density polyethylene (HDPE) yang dapat memberikan nilai stabilitas maksimal

1.3.2. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :

1. Mengetahui pengaruh limbah plastik high density polyethylene (HDPE) sebagai bahan tambah pada campuran aspal buton type CPHMA dengan perendaman berulang.
2. Dapat mengurangi limbah plastik tipe HDPE

1.4. Pokok Bahasan dan Batasan Masalah

1.4.1. Pokok Bahasan

Pokok Bahasan pada penelitian ini adalah:

1. Pengujian ekstraksi CPHMA.
2. Pengujian karakteristik agregat.
3. Pengujian aspal buton CPHMA dengan metode uji *Marshall Test*.
4. Pengujian setelah perendaman berulang.

1.4.2. Batasan Masalah

Masalah pada penelitian ini dibatasi pada sifat dan karakteristik campuran buton dengan melakukan pengujian di Laboratorium Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar. Ruang lingkup dan batasan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Tipe aspal yang di gunakan adalah aspal buton
2. Tipe campuran yang di gunakan adalah cold paving hot mix asbuton (CPHMA)
3. Penambahan plastik HDPE sebanyak 5%, 10%, dan 15% dengan perbandingan dari nilai kadar aspal hasil ekstraksi.
4. Perendaman berulang selama 6 hari, 12, hari, dan 18 hari.
5. Pengujian dilakukan dengan Metode Marshall.

1.5. Sistematika Penulisan

Untuk tetap terarah pada tujuan penelitian yang hendak dicapai, maka perlu disusun sebuah sistematika penulisan, dengan urutan sebagai berikut:

1.5.1. Bab I Pendahuluan

Berisi latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan penulisan, ruang lingkup penulisan, batasan masalah, dan sistematika penulisan

1.5.2. Bab II Tinjauan Pustaka

Pada bab ini membahas teori-teori serta rumus-rumus yang digunakan untuk menunjang penelitian yang diperoleh dari berbagai sumber.

1.5.3. Bab III Metode Penelitian

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian untuk data-data yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data

1.5.4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang pelaksanaan penelitian mencakup hasil pengumpulan data, pengolahan data, analisis, dan pembahasan data yang diperoleh dari teori yang ada.

1.5.5. Bab V Kesimpulan dan Saran

Bab ini berisi kesimpulan dan saran mengenai dari Tugas Akhir ini. Pada akhir penulisan akan dilampirkan daftar pustaka dan lampiran yang berisi data-data penunjang dalam proses pengolahan data.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Menurut Saodang (2005), perkerasan jalan adalah lapisan konstruksi yang dipasang langsung diatas tanah dasar badan jalan pada jalur lalu lintas yang bertujuan untuk menerima dan menahan beban langsung dari lalu lintas.

2.1.1. Jenis Konstruksi Perkerasan

Menurut Sukirman (1999), berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas:

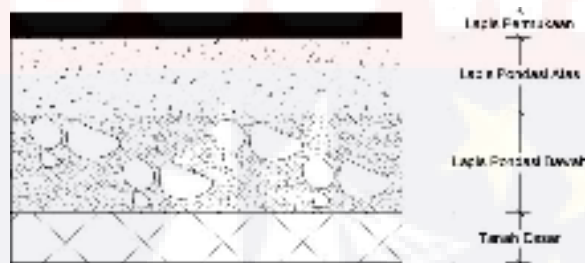
1. Konstruksi perkerasan lentur (*Flexible Pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Konstruksi perkerasan kaku (*Rigid Pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen (Portland cement) sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.
3. Konstruksi perkerasan komposit (*Composite Pavement*), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku, atau

perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

2.1.2. Struktur Jalan Lentur

Struktur perkerasan jalan lentur dibuat secara berlapis terdiri dari elemen perkerasan: lapisan pondasi bawah (*sub base course*), lapisan pondasi atas (*base course*), lapisan permukaan (*surface course*) yang dihampar pada tanah dasar (*sub grade*) Sukirman (1999).

Masing-masing elemen lapisan diatas termasuk tanah dasar secara bersama-sama memikul beban lalu-lintas. Tebal struktur perkerasan dibuat sedemikian rupa sampai batas kemampuan tanah dasar memikul beban lalu-lintas, atau dapat dikatakan tebal struktur perkerasan sangat tergantung pada kondisi ataudaya dukung tanah dasar



Gambar 2. 1 Lapis Perkerasan

Sumber: Sukirman (1999)

2.1.2.1 Elemen Tanah dasar (*sub grade*)

Kekuatan dan keawetan konstruksi perkerasan jalan sangat tergantung dari sifat-sifat dan daya dukung tanah dasar. Tidak semua jenis tanah dapat digunakan sebagai tanah dasar pendukung badan jalan secara baik, karena harus dipertimbangkan beberapa sifat yang penting untuk kepentingan struktur jalan, seperti:

- daya dukung dan kestabilan tanah yang cukup
- komposisi dan gradasi butiran tanah
- sifat kembang susut (swelling) tanah
- kemudahan untuk dipadatkan

Pemilihan jenis tanah yang dapat dijadikan tanah dasar melalui penyelidikan tanah menjadi penting karena tanah dasar akan sangat menentukan tebal lapis perkerasan di atasnya, sifat fisik perkerasan di kemudian hari dan kelakuan perkerasan seperti deformasi permukaan dan lain sebagainya.

2.1.2.2 Elemen Lapis Pondasi Bawah (*sub-base course*)

Lapis pondasi bawah (*sub-base*) adalah suatu lapisan yang terletak antara lapis tanah dasar dan lapis pondasi atas (*base*), yang berfungsi sebagai bagian perkerasan yang meneruskan beban di atasnya, dan selanjutnya menyebarkan tegangan yang terjadi ke lapis tanah dasar.

Lapis pondasi bawah dibuat di atas tanah dasar yang berfungsi diantaranya sebagai:

- a. Sebagai bagian dari konstruksi perkerasan untuk mendukung dan menyebarkan beban roda
- b. Menjaga efisiensi penggunaan material yang relatif murah agar lapisan-lapisan selebihnya dapat dikurangi tebalnya (penghematan biaya konstruksi).
- c. Untuk mencegah tanah dasar masuk ke dalam lapis pondasi.
- d. Sebagai lapis pertama agar pelaksanaan dapat berjalan lancar.

Ber macam-macam material setempat ($CBR > 20 \%$, $PI < 10 \%$) yang relative lebih baik dari tanah dasar dapat digunakan sebagai bahan pondasi bawah. Ada berbagai jenis lapis pondasi bawah yang sering dilaksanakan, yaitu:

- a. Pondasi bawah yang menggunakan batu pecah, dengan alas pasir.
- b. Pondasi bawah yang menggunakan sirtu yang mengandung sedikit tanah.
- c. Pondasi bawah yang menggunakan tanah pasir.
- d. Pondasi bawah yang menggunakan agregat.
- e. Pondasi bawah yang menggunakan material ATSB (*Asphalt Treated Sub-Base*) atau disebut Laston Bawah (Lapis Aspal Beton Pondasi Bawah)
- f. Pondasi bawah yang menggunakan stabilisasi tanah.

2.1.2.3 Elemen Lapis Pondasi Atas (*Base Course*)

Lapis Pondasi Atas (LPA) adalah suatu lapisan perkerasan jalan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah (sub base), yang berfungsi sebagai bagian perkerasan yang mendukung lapis permukaan dan beban-beban roda yang bekerja di atasnya dan menyebarkan tegangan yang terjadi ke lapis pondasi bawah, kemudian ke lapis tanah dasar.

Lapis pondasi atas dibuat diatas lapis pondasi bawah yang berfungsi diantaranya:

- a. Sebagai bagian perkerasan yang menahan beban roda.
- b. Sebagai perletakan terhadap lapis permukaan.
- c. Meneruskan limpahan gaya lalu lintas ke lapis pondasi bawah.

Ber macam-macam bahan alam/bahan setempat ($CBR > 50\%$, $PI < 4\%$) dapat digunakan sebagai bahan lapis pondasi atas, antara lain: batu pecah, kerikil pecah, dan/atau stabilisasi tanah dengan semen atau kapur. Secara umum dapat berupa:

- a. Pondasi atas yang menggunakan material agregat.
- b. Pondasi atas yang menggunakan stabilisasi agregat dengan semen.

2.1.2.4 Elemen Lapis Permukaan (*Surface Course*)

Fungsi lapis permukaan antara lain:

- a. Sebagai bahan perkerasan untuk menahan beban roda, lapisan mempunyai stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan.
- b. Sebagai lapisan kedap air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya tidak meresap ke lapisan dibawahnya dan melemahkan lapisan tersebut.
- c. Sebagai lapisan aus (*wearing course*), lapisan yang langsung berhubungan dengan gesekan rem kendaraan.
- d. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan bawah sehingga dapat dipikul oleh lapisan lain dibawahnya.

Bahan untuk lapis permukaan umumnya adalah campuran bahan

agregat dan aspal, dengan persyaratan bahan yang memenuhi standar. Penggunaan bahan aspal diperlukan sebagai bahan pengikat agregat dan agar lapisan dapat bersifat kedap air; disamping itu bahan aspal sendiri memberikan bantuan tegangan tarik, yang berarti mempertinggi daya dukung lapisan terhadap beban roda lalu-lintas.

Bahan yang umum digunakan untuk lapisan permukaan adalah: *Asphalt Concrete* (AC) = LASTON (Lapis Aspal Beton), *Hot Rolled Asphalt* (HRA) dalam hal ini HRS (*Hot Rolled Sheet*) = LATASTON (Lapis Tipis Aspal Beton).

2.2 Aspek – aspek Yang Perlu Diperhatikan Dalam Beton Aspal

Menurut Sukirman (2003), beton aspal adalah jenis perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan.

Beberapa aspek campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal yaitu stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan.

2.2.1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan

perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai nilai stabilitas yang tinggi.

2.2.2. Keawetan (*Durabilitas*)

Keawetan atau *durabilitas* adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperature. Durabilitas dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, beton aspal akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik. Tetapi semakin tebal selimut aspal, maka semakin mudah terjadi bleeding yang mengakibatkan jalan semakin licin. Besarnya pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam beton aspal, yang menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas, dan durabilitasnya menurun.

2.2.3. Kelenturan (*Fleksibilitas*)

Kelenturan atau *fleksibilitas* adalah kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/settlement) dan

pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi retak. Penurunan terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat di atas tanah asli. Fleksibilitas dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

2.2.4. Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi.

2.2.5. Kekesatan / Tahanan Geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan/tahanan geser (*skid resistance*) adalah kemampuan permukaan beton aspal terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, atau slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi, yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, luas bidang kontak antar butir atau bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan. Dalam hal ini agregat yang digunakan tidak saja harus mempunyai permukaan yang kasar, tetapi juga mempunyai daya tahan untuk permukaannya tidak mudah menjadi licin akibat repetisi kendaraan.

2.2.6. Kedap Air (*Impermeabilitas*)

Kedap air (*impermeabilitas*) adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara ke dalam lapisan beton aspal. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal, dan pengelupasan film/selimit aspal dari permukaan agregat. Jumlah pori yang tersisa setelah beton aspal dipadatkan dapat menjadi indikator kedap air campuran.

2.2.7. Mudah Dilaksanakan (*Workability*)

Mudah dilaksanakan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Tingkat kemudahan dalam pelaksanaan, menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperature, dan gradasi serta kondisi agregat. Revisi atau koreksi terhadap rancangan campuran dapat dilakukan jika ditemukan kesukaran dalam pelaksanaan.

Ketujuh sifat campuran beton aspal ini tidak mungkin dapat dipenuhi sekaligus oleh satu jenis campuran. Sifat-sifat beton aspal mana yang dominan lebih diinginkan, akan menentukan jenis beton aspal yang dipilih. Hal ini sangat perlu diperhatikan ketika merancang tebal perkerasan jalan. Jalan yang melayani lalu lintas ringan, seperti mobil penumpang, sepantasnya lebih memilih jenis beton aspal yang mempunyai sifat durabilitas, dan fleksibilitas yang tinggi, daripada memilih jenis beton aspal

dengan stabilitas tinggi.

2.3 Agregat

Menurut Saodang (2005), agregat merupakan elemen perkerasan jalan yang mempunyai kandungan 90-95% acuan berat, dan 75-85% acuan volume dari komposisi perkerasan, sehingga otomatis menyumbangkan faktor kekuatan utama dalam perkerasan jalan. Berfungsi sebagai penstabil mekanis, agregat harus mempunyai suatu kekuatan dan kekerasan, untuk menghindarkan terjadinya kerusakan akibat beban lalu lintas.

2.3.1. Klasifikasi Agregat

Berdasarkan besar partikel agregat dapat dibedakan atas (Dirjen Bina Marga, 2018):

a. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat tertahan 4,75 mm (saringan No.4) yang harus keras, bersih awet, bebas dari lempung dan memenuhi persyaratan pada Tabel 2. 1.

Tabel 2. 1 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
	magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	SNI 2417:2008	Maks.6 %
	100 putaran		Maks.30 %
	500 putaran		Maks.8 %
	Semua jenis	100 putaran	Maks.8 %

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
campuran beraspal bergradasi lainnya	500 putaran		Maks.40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Maks.95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90*)
	Lainnya		95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10	Maks.5 %
	Lainnya	Perbandingan 1 : 5	Maks.10 %
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks.1 %

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2 (1a)

b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat lolos 4,75 mm (saringan No. 4) yang harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung dan memenuhi persyaratan pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03 – 4428 - 1997	Min 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03 - 6877 - 2002	Maks. 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	Min. 10%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2.2

c. Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur, semen, atau mineral dari asbuton, yang harus kering dan bebas dari gumpalanda bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-4142-1996 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 *micron*) tidak kurang dari 75 % serta mempunyai sifat non plastis terhadap beratnya kecuali mineral asbuton. Mineral asbuton harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 100 (150 *micron*) tidak kurang dari 95 % terhadap beratnya.

2.3.2. Sifat Agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu lintas. Adapun sifat-sifat agregat yang perlu diperiksa pada campuran aspal menurut Ditjen Prasarana Wilayah (2004) adalah sebagai berikut:

2.3.2.1 Gradasi

Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing – masing ukuran partikel harus berada dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran, workabilitas dan nilai stabilitas suatu campuran.

Menurut Ditjen Prasarana Wilayah (2004) gradasi agregat

dibedakan atas:

1. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Adalah gradasi agregat yang memiliki ukuran hampir sama. Gradasi seragam juga dapat disebut sebagai gradasi terbuka karena mengandung sedikit agregat halus sehingga memiliki banyak rongga. Umumnya campuran dengan gradasi ini bersifat porus, stabilitas rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga juga sering disebut sebagai gradasi menerus. Sifat campuran ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap air dan memiliki berat isi besar.

Umumnya suatu campuran dikatakan bergradasi sangat rapat bila persentase lolos dari masing – masing saringan memenuhi persamaan berikut:

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

d = ukuran saringan yang ditinjau

D = Ukuran agregat maksimum dari gradasi tersebut

n = 0,35 – 0,45

3. Gradasi senjang (*gap graded*)

Adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya

sangat sedikit, oleh sebab itu gradasi ini disebut juga gradasi senjang.

2.3.2.2 Kebersihan Agregat

Dalam spesifikasi diatur mengenai kebersihan agregat dengan memberikan suatu batasan jenis dan jumlah material yang tidak diinginkan yang berada atau melekat pada agregat. Agregat yang kotor akan memberikan pengaruh yang jelek pada kinerja perkerasan, seperti berkurangnya ikatan antara antara aspal dan agregat yang disebabkan karena banyaknya kandungan lempung pada agregat tersebut. Kebersihan agregat dapat di uji dilaboratorium dengan analisa saringan basah, yaitu dengan menimbang agregat sebelum dan setelah dicuci lalu dibandingkan sehingga memberikan nilai persentase kebersihan agregat. Pengujian yang dilakukan dapat berupa *sand equivalent test* untuk agregat yang lolos saringan nomor 4 (4,75 mm).

2.3.2.3 Kekerasan (*toughness*)

Agregat yang digunakan pada umumnya harus kuat, mampu menahan abrasi dan degradasi selama proses produksi dan operasionalnya dilapangan. Agregat yang akan digunakan sebagai lapisan perkerasan permukaan harus lebih keras daripada agregat yang digunakan pada lapisan dibawahnya. Hal ini disebabkan karena lapisan permukaan perkerasan akan menerima dan menahan tekanan dan benturan akibat beban lalu lintas yang besar. Untuk itu agregat yang keras menjadi persyaratan yang mutlak yang harus dipenuhi oleh agregat yang

akan digunakan sebagai bahan campuran. Uji kekuatan agregat dilaboratorium biasanya dilakukan dengan pengujian abrasi dengan menggunakan mesin Los Angeles dengan syarat tertentu yang sesuai dengan spesifikasi campuran aspal.

2.3.2.4 Bentuk Butir Agregat

Agregat memiliki berbagai bentuk seperti bulat, lonjong dan bersudut. Bentuk butir agregat ini dapat mempengaruhi workabilitas campuran perkerasan selama penghamparan yaitu dalam hal energi pemadatan yang dibutuhkan untuk memadatkan campuran, dan kekuatan struktur perkerasan selama umur pelayanan.

Bentuk partikel agregat yang bersudut memberikan ikatan antara agregat yang baik dan dapat menahan pergerakan agregat yang mungkin terjadi. Agregat yang bersudut tajam, berbentuk kubikal dan memiliki lebih dari satu bidang pecahkan memberikan ikatan antar agregat yang paling baik.

2.3.2.5 Tekstur Permukaan Agregat

Selain memberikan sifat ketahanan terhadap gelincir (*skid resistance*) pada permukaan perkerasan, tekstur permukaan agregat juga merupakan faktor yang menentukan kekuatan, workabilitas, dan durabilitas campuran beraspal. Permukaan agregat yang kasar akan memberikan kekuatan pada campuran karena kekasaran permukaan agregat tersebut dapat menahan agregat tersebut dari pergeseran. Kekerasan agregat juga dapat memberikan tahanan gesek yang kuat pada roda kendaraan

sehingga akan meningkatkan keamanan terhadap slip. Selain itu film aspal akan lebih mudah melekat pada permukaan yang kasar sehingga menghasilkan lekatan yang baik antara agregat dan aspal sehingga menghasilkan campuran yang baik dan kuat.

2.3.2.6 Daya Serap Agregat

Keporusan agregat menentukan banyaknya zat cair yang dapat diserap agregat. Kemampuan agregat untuk menyerap aspal dan air merupakan hal penting yang harus diketahui dalam membuat campuran. Jika daya serap agregat tinggi, maka agregat tersebut akan menyerap aspal lebih banyak sehingga aspal lebih banyak masuk ke dalam agregat jika dibandingkan fungsi aspal untuk menyelimuti agregat dan sebagai pengikat partikel sehingga film aspal tipis. Oleh karena itu diperlukan agregat yang memiliki penyerapan yang kecil guna menghasilkan campuran aspal yang baik.

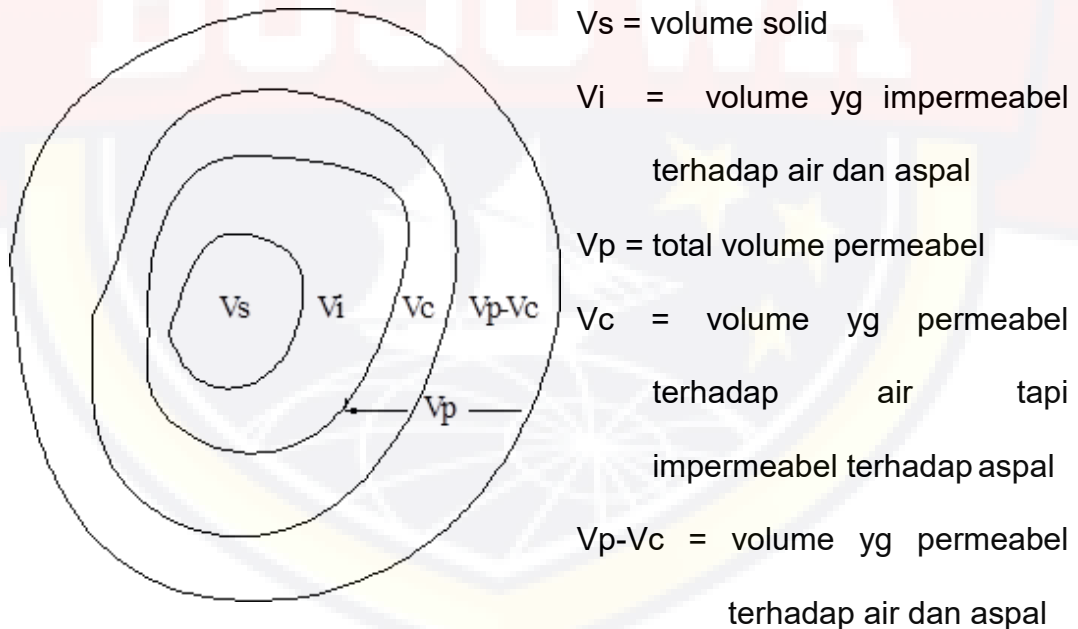
2.3.2.7 Kelekatan Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah kecenderungan agregat untuk menerima, menyerap, dan menahan film aspal. Agregat *hidrophobik* (agregat yang tidak menyukai air) adalah agregat yang memiliki kelekatan agregat terhadap aspal yang tinggi seperti batu gamping dan dolomit. Sebaliknya agregat *hidrofilik* (agregat yang menyukai air) agregat yang memiliki kelekatan terhadap aspal yang rendah. Sehingga agregat jenis ini cenderung terpisah dari film aspal bila terkena air seperti batu granit dan kuarsit. Salah satu cara pengujian kelekatan agregat adalah dengan

melakukan pengamatan secara visual terhadap agregat yang dilapisi aspal lalu direndam dalam air.

2.3.2.8 Berat Jenis Agregat

Dalam kaitan perencanaan campuran aspal, berat jenis adalah suatu rasio tanpa dimensi, yaitu rasio antara berat suatu benda terhadap berat air yang volumenya sama dengan benda tersebut. Sebagai standar dipergunakan air pada suhu 4°C karena pada suhu tersebut air memiliki kepadatan yang stabil. Pada perhitungan berat jenis agregat, volume agregat yang diperhitungkan adalah volume agregat yang tidak dapat diresapi aspal. Berat jenis agregat dapat digambarkan seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2. 2 Pertimbangan Volume Pori Agregat untuk Penentuan SG

Sumber: Sukirman (2003)

Ada beberapa jenis berat jenis agregat yaitu:

a. Berat jenis bulk (*Bulk specific gravity*)

Bila aspal diasumsikan hanya menyelimuti agregat di bagian permukaan saja, tidak meresap ke bagian agregat yang permeabel, volume yang diperhitungkan adalah:

$$\text{Bulk SG} = \frac{W_s}{(V_s + V_i + V_p) \times \gamma_w} = \frac{W_s}{V_{tot} \times \gamma_w} \dots\dots\dots (2.2)$$

dimana:

γ_w = berat volume air = 1 gr/cc = 1 t/m³.

Sehingga *Bulk SG* adalah rasio antara berat agregat dan berat air yang volumenya = $V_s + V_i + V_p$.

b. Berat jenis semu (*Apparent specific gravity*)

SG ini didasarkan atas asumsi bahwa aspal meresap ke dalam agregat dengan tingkat resapan yang sama dengan air, yaitu sampai V_c atau ke dalam seluruh V_p . Karenanya volume yang dipertimbangkan adalah: $V_s + V_i$.

$$\text{Apparent SG} = \frac{W_s}{(V_s + V_i) \times \gamma_w} \dots\dots\dots (2.3)$$

c. Berat jenis efektif (*Effective spesific gravity*)

SG *Bulk* dan SG *Apparent* didasarkan atas dua kondisi ekstrem. Asumsi yang realistis adalah bahwa aspal dapat meresap sampai ke $(V_p - V_c)$. Oleh karena itu SG atas asumsi ini disebut SG efektif.

$$\text{EffectiveSG} = \frac{W_s}{(V_s + V_i + V_c) \times \gamma_w} \dots\dots\dots (2.4)$$

dimana:

V_p = volume pori yang dapat diresapi air

V = volume total dari agregat

V_i = volume pori yang tidak dapat diresapi air

V_s = volume partikel agregat

W_s = berat kering partikel agregat

γ_w = berat volume air

2.4 Aspal

Menurut Ditjen Prasarana Wilayah (2004) aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapatkan pemanasan dan sebaliknya. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya. Pada umumnya terdapat 2 sumber aspal yaitu aspal yang diperoleh dari hasil destilasi minyak bumi atau aspal buatan dan aspal aspal yang diperoleh langsung dari alam atau aspal alam.

Komposisi dari aspal terdiri dari *asphaltenes* dan *malthenes*. *Asphaltenes* merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam *n- penten*. *Malthenes* adalah unsur kimia lain yang

terdapat dalam aspal selain *aspalten* yang terdiri dari *resin*, *aromatic*, *saturated*. *Resins* memiliki ukuran antara 1 – 5 nanometer berwarna coklat, berbentuk semi padat sampai padat, bersifat sangat polar dan memberikan sifat adhesi aspal. *Aromatic* berbentuk cairan kental berwarna coklat tua dan kandungannya di dalam aspal berkisar antara 40 – 60 % terhadap berat aspal. *Saturated* adalah bagian dari molekul malten yang berupa miyak kental yang berwarna outih ke kuning – kuningan. Sedangkan *oils* yang berwarna lebih muda merupakan media dari *asphalthe* atau *resin*.

Aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai (Sukirman, 1999):

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat serta antara aspal itu sendiri.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

2.4.1. Aspal Hasil Destilasi / Aspal Buatan

Menurut Ditjen Prasarana Wilayah (2004) aspal buatan merupakan hasil dari penyulingan minyak mentah dengan cara proses pemisahan fraksi dari minyak mentah atau biasa disebut destilasi. Yang prosesnya disertai oleh kenaikan temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Aspal buatan dapat dibedakan menjadi aspal keras, aspal cair, dan aspal emulsi.

2.4.1.1 Aspal Keras

Proses destilasi fraksi ringan yang terkandung dalam minyak bumi yang dipisahkan dengan destilasi sederhana hingga meninggalkan suatu residu yang dikenal dengan nama aspal keras. Selain melalui proses destilasi hampa aspal keras dapat juga dihasilkan melalui proses destilasi fraksi ringan yang terkandung dalam minyak bumi yang dipisahkan dengan destilasi sederhana hingga meninggalkan suatu residu yang dikenal dengan nama aspal keras. Selain melalui proses destilasi hampa aspal keras dapat juga dihasilkan melalui proses sehingga menghasilkan aspal sebagai residu. Contoh aspal keras adalah aspal Pen 60/70, aspal Pen 80/100.

2.4.1.2 Aspal Cair

Aspal cair dihasilkan dengan melarutkan aspal keras dengan pelarut berbasis minyak. Aspal ini juga dihasilkan langsung melalui proses destilasi dimana minyak ringan yang terkandung dalam minyak mentah tidak seluruhnya dikeluarkan. Jenis aspal cair menurut Ditjen Prasarana Wilayah (2004) seperti:

1. Aspal cair cepat mantap (RC = *rapid curing*) biasanya pelarut yang digunakan seperti bensin.
2. Aspal cair mantap sedang (MC = *medium curing*) biasanya pelarut yang digunakan seperti minyak tanah.
3. Aspal cair lambat sedang (SC = *slow curing*) biasanya pelarut yang digunakan solar.

2.4.1.3 Aspal Emulsi

Aspal emulsi menurut Ditjen Prasarana Wilayah (2004) dihasilkan melalui proses pengemulsian aspal keras. Pada proses ini, partikel aspal keras dipisahkan dan didispersikan dalam air yang mengandung *emulsifier (emulgator)*. Partikel aspal yang terdispersi ini berukuran sangat kecil bahkan sebagian besar berukuran koloid.

Berdasarkan muatan listrik pengemulsi, aspal emulsi dapat dibedakan atas:

1. Aspal emulsi anionik, yaitu aspal emulsi berion negatif.
2. Aspal emulsi kationik, yaitu aspal emulsi yang berion positif

Berdasarkan kecepatan pematangan aspal emulsi dapat dibedakan menjadi:

1. Aspal cepat mantap (RS = *rapid setting*)
2. Aspal mantap sedang (MS = *medium setting*)
3. Aspal lambat mantap (SS = *slow setting*)

2.4.2. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang secara alamiah terjadi di alam (Ditjen Prasarana Wilayah, 2004) . Berdasarkan depositnya aspal alam dapat dikelompokkan menjadi 2 kelompok yaitu:

1. Aspal Danau (*Lake Asphalt*)
2. Aspal Batu (*Rock Asphalt*)

2.4.2.1 Aspal Danau (*Lake Asphalt*)

Aspal ini terdapat di danau Trinidad, Venezuela. Aspal jenis ini umumnya muncul kepermukaan melalui celah dan menggenang seperti danau. Angka penetrasi jenis aspal ini sangat rendah dan memiliki titik lembek tinggi

2.4.2.2 Aspal Batu (*Rock Asphalt*)

Aspal ini ditemukan di daerah Kentucky dan di pulau Buton Indonesia. Aspal dari deposit alam ini terbentuk dalam celah – celah batuan kapur dan batuan pasir. Aspal yang terkandung dalam batuan ini berkisar antara 12 – 35 % dari berat batu dan memiliki angka penetrasi 0 – 40. Aspal batu ini perlu ditambang terlebih dahulu lalu diekstraksi dan dicampur dengan minyak pelunak sehingga didapat suatu campuran aspal yang memiliki angka penetrasi sesuai yang diinginkan.

2.4.3. Sifat Fisik Aspal

Sifat – sifat fisik aspal sangat mempengaruhi perencanaan, produksi dan kinerja campuran beraspal antara lain durabilitas, adhesi dan kohesi, kepekaan terhadap temperature, pengerasan dan penuaan (Ditjen Prasarana wilayah, 2004):

1. Daya tahan (*durability*)

Kinerja aspal sangat dipengaruhi oleh sifat aspal tersebut setelah digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal dan dihampar dilapangan. Hal ini disebabkan karena sifat aspal akan berubah secara signifikan akibat oksidasi dan pengelupasan yang

terjadi pada pencampuran, pengangkutan dan penghamparan. Perubahan sifat ini akan menyebabkan aspal berdaktilitas rendah atau dengan kata lain aspal mengalami penuaan. Kemampuan aspal untuk menghambat laju penuaan disebut dengan durabilitas aspal.

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui sifat durabilitas aspal adalah pengujian penetrasi, titik lembek, kehilangan berat dan daktilitas, TFOT, RTFOT.

2. Adhesi dan kohesi

Adhesi adalah kemampuan partikel aspal untuk melekat antara satu dengan yang lainnya. Sedangkan kohesi adalah kemampuan aspal untuk merekat dan mengikat agregat. Sifat adhesi dapat diuji dengan pengujian daktilitas aspal, sedangkan sifat kohesi dapat diuji dengan pengujian penyelimutan aspal.

3. Kepekaan terhadap temperatur

Seluruh aspal bersifat *thermoplastic* yaitu menjadi keras bila temperatur menurun dan melunak jika temperatur meningkat. Aspal yang memiliki nilai penetrasi dan viskositas yang sama belum tentu memiliki nilai yang sama ketika diberikan perubahan temperatur.

4. Pengerasan dan penuaan

Penuaan aspal adalah suatu parameter yang baik untuk mengetahui durabilitas campuran beraspal. Penuaan aspal

disebabkan oleh dua faktor yaitu penguapan kandungan minyak ringan dalam aspal, oksidasi (penuaan jangka pendek) dan oksidasi yang progresif (penuaan jangka panjang). Kedua proses penuaan ini menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal dan selanjutnya akan meningkatkan kekakuan campuran beraspal sehingga akan mempengaruhi kinerja campuran aspal tersebut. Aspal yang umum digunakan dalam campuran aspal panas di Indonesia adalah aspal Pen 60/70 dan aspal yang dimodifikasi dengan asbuton atau elastomer sintetis yang memenuhi ketentuan seperti pada Tabel 2. 3.

Tabel 2. 3 Ketentuan Aspal Keras

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Tipe 1 Aspal pen. 60/70
1	Penetrasi pada 25° C (0,1mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Temperatur yang menghasilkan G eser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10rad/detik > 1,0 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-
3	Viskositas 135° C (cSt) ⁽³⁾	ASTM D 2170-10	≥ 300
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas pada 25° C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	>232
7	Larutan dlm <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Tipe 1 Aspal pen. 60/70
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≥ 2
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SNI-03-6835-2002)			
11	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤ 0.82
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik > 2,2 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-
13	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 2456:2011	≥54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100oC dan tekanan 2,1 MPa			
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik < 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum 2018.

2.5. Asbuton

Asbuton adalah aspal alam yang terdapat di pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton atau aspal batu buton ini pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang porous.

Asbuton terdiri dari mineral dan bitumen, kadar bitumen dalam asbuton bervariasi dari 10% sampai 40%. Mineral asbuton didominasi oleh *Globigerines limestone* yaitu batu kapur yang sangat halus yang terbentuk dari jasad renik binatang purba foraminifera mikro yang

mempunyai sifat sangat halus, relatif keras, dan berkadar kalsium karbonatin.

Asbuton yang terdapat di Indonesia secara umum dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu asbuton dari daerah Kabungka, dan asbuton dari daerah Lawele. Kedua asbuton tersebut memiliki karakteristik yang berbeda, asbuton kabungka umumnya bersifat lebih keras, sedangkan asbuton jenis Lawele bersifat lebih lunak. Pada perkembangannya asbuton dari daerah Kabungka kemudian diolah menjadi asbuton butir yang kemudian dikenal dengan nama *Buton Granular Asphalt* (BGA), sedangkan asbuton dari daerah Lawele dikenal dengan nama *Lawele Granular Asphalt* (LGA).

2.5.1. Karakteristik Asbuton

Aspal buton terdiri dari kandungan aspal dan mineral. Pada prinsipnya, bitumen mengandung tiga komponen penting yang mempengaruhi karakteristik bitumen tersebut, yaitu asphaltene, resin dan minyak. Kandungan aspal di dalam pal buton mampu menggantikan aspal minyak karena kualitasnya lebih baik daripada aspal minyak. Kandungan aspal dalam aspal buton tersebut mencapai 40,9 %. Pengujian lainnya juga dilakukan oleh pusat penelitian jalan dan jembatan departemen pekerjaan umum dan hasilnya dituangkan dalam sertifikat uji kelayakan teknis No. 06.1.02.485701.33.11.002 dimana penggunaan aspal buton dalam pembangunan dan pemeliharaan jalan sudah sangat layak dan dapat segera dilaksanakan di Indonesia, bahkan di dunia. Berbagai tes

yang dilakukan menghasilkan kriteria yang sesuai dengan british standard dalam penggunaannya sebagai hot rolled asphalt mix untuk jalan padat lalu lintas.



Gambar 2.3 Aspal buton dalam bentuk bongkahan

Partikel aspal alam yang berasal dari kabungka umumnya keras dengan kandungan asphaltene tinggi dan kandungan maltene lebih rendah dibandingkan dengan aspal minyak. Semakin tinggi kandungan asphaltene, maka bitumen semakin keras, makin kental, makin tinggi titik lelehnya dan makin rendah harga penetrasinya. Tingginya kandungan asphaltene ini yang membuat kualitas asbuton 15 lebih baik dibandingkan aspal minyak karena sifatnya yang kuat dan panas

2.5.2. Asbuton Butir

Asbuton butir adalah hasil pengolahan dari asbuton berbentuk padat yang dipecah dengan alat pemecah batu (*crusher*) atau alat pemecah lainnya yang sesuai sehingga memiliki ukuran butir tertentu. Adapun bahan baku untuk membuat asbuton butir ini adalah asbuton yang memiliki nilai penetrasi rendah seperti asbuton Kabungka ataupun

asbuton Lawele ataupun gabungan dari kedua asbuton tersebut. Melalui proses pengolahan ini diharapkan dapat mengeliminasi kelemahan – kelemahan, yaitu ketidakseragaman kandungan bitumen dan kadar air serta dengan membuat ukuran maksimum butiran asbuton yang lebih halus diharapkan dapat mempermudah proses pencampuran dalam campuran aspal. Jenis asbuton butir yang ada adalah BGA dan LGA. Contoh produk BGA adalah BGA tipe 5/20, tipe 15/20, tipe 15/25, tipe 20/25. Sedangkan untuk LGA mempunyai produk B 5/20, B 30/25 dan B 50/30.

2.5.3. Asbuton Hasil Ekstraksi

Ekstraksi asbuton dapat dilakukan secara total hingga mendapatkan bitumen asbuton murni atau untuk mendapatkan keunggulan mineral asbuton sebagai filler. Proses ekstraksi dilakukan hingga mencapai suatu kadar bitumen tertentu. Produk ekstraksi asbuton dapat digunakan sebagai additif dalam campuran aspal ataupun sebagai bahan perekat seperti halnya aspal minyak atau aspal keras. Bahan baku untuk membuat asbuton hasil ekstraksi berasal dari asbuton Kabungka ataupun asbuton Lawele. Sedangkan bahan pelarut untuk ekstraksi asbuton diantaranya adalah kerosin, algoso, naptha, normal heptan, asam sulfat dan *Trichlor Ethylen*.

Terdapat beberapa produk hasil ekstraksi (*refine*) asbuton dengan kadar bitumen antara 60 hingga 100 %. Apabila bitumen hasil ekstraksi yang keras (penetrasi rendah) maka untuk membuat bitumen tersebut

setara dengan aspal keras Pen 40 dan Pen 60 maka bitumen tersebut dilunakkan dengan minyak berat (Ditjen Bina Marga, 2006b).

Hasil ekstraksi asbuton yang masih memiliki mineral antara 50% sampai dengan 60% diperlukan pelunak atau bahan peremaja agar asbuton tersebut dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran aspal. Penambahan hasil ekstraksi asbuton dengan peremaja disebut dengan aspal yang dimodifikasi dengan asbuton. Produk hasil ekstraksi yang beredar dipasaran seperti *Retona Blend 55*.

2.6. Modifier/Peremaja

Modifier/peremaja adalah bahan yang digunakan untuk meremajakan/melunakkan bitumen asbuton agar memiliki karakteristik yang sesuai sebagai bahan pengikat pada suatu campuran beraspal.

Bahan peremaja (*modifier*) adalah campuran dari aspal minyak, minyak tanah dan minyak berat atau oli bekas dengan komposisi tertentu serta mempunyai sifat teknis tertentu pula. Sedangkan minyak tanah berfungsi sebagai pelarut (*cutter*) sehingga bitumen cepat keluar dari partikel Asbuton dan bergabung dengan aspal minyak sebagai perekat (*adhesive*) antar butiran agregat.

Penggunaan peremaja diproporsikan sedemikian rupa pada campuran CPHMA sehingga diperoleh penggunaan peremaja yang sesuai dengan spesifikasi campuran CPHMA. Penggunaan peremaja pada CPHMA diproduksi khusus oleh produsen CPHMA dengan PH – 1000 (peremaja hangat dengan kelas kekentalan 1000 – 1500 cSt) yang

sifat-sifatnya harus memenuhi persyaratan seperti yang tertuang dalam

Tabel 2. 4:

Tabel 2. 4 Persyaratan Peremaja

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan PH - 1000
1.	Viskositas pada 60° C; detik cSt	SNI 03-6721-2002	500 – 750 1000 – 1500
2.	Kelarutan dalam TCE; %	RSNI M-04-2004	Min. 99,5
3.	Titik nyala; ° C	SNI 2433:2011	Min. 180
4.	Berat jenis	SNI 2441:2011	Min. 0,95
5.	Penurunan berat (TFOT); % terhadap berat awal	SNI 06-2440-1991	Maks. 4
6.	Kadar parafin lilin ; %	SNI 03-3639-2002	Maks 2

Sumber: Ditjen Bina Marga (2018)

2.7. CPHMA

CPHMA (*Cold Paving Hot Mix Asbuton*) adalah campuran beraspal panas yang mengandung agregat bergradasi tertentu, asbuton butir, bahan peremaja, dan bahan tambah lain bila diperlukan, yang sudah dicampur dengan baik sehingga siap hampar dan dipadatkan secara dingin (temperatur udara 30 °C) untuk membuat perkerasan jalan beraspal (Ditjen Bina Marga, 2015). Sebagai lapis permukaan, penghamparan CPHMA harus dilaksanakan di atas permukaan jalan lama atau lapis pondasi yang telah disiapkan. CPHMA yang dapat dipadatkan secara dingin memungkinkan untuk CPHMA dapat disimpan dalam bentuk kemasan 25 kg.



Gambar 2. 4 CPHMA (*Cold Paving Hot Mix Asbuton*)

Aplikasi CPHMA diperuntukkan untuk lapis permukaan perkerasan untuk jalan bervolume lalu lintas rendah (volume lalu lintas kurang atau sama dengan 500 SMP/hari) dengan ekuivalen beban sumbu kendaraan kurang dari atau sama dengan 1.000.000 ESA. Produk CPHMA dapat digunakan sebagai lapis perata ataupun lapis permukaan dan dapat dihampar lebih dari 1 lapis. Tebal lapisan padat minimum CPHMA harus disesuaikan dengan ukuran maksimum agregat yang digunakan seperti tertuang dalam Tabel 2. 5.

Tabel 2. 5 Tebal Lapisan Padat Minimum CPHMA

Ukuran maksimum agregat (mm)	Tebal padat minimum (mm)
12,5	30
19,0	40

Sumber: Ditjen Bina Marga (2018)

2.7.1. Bahan CPHMA

CPHMA memiliki gradasi campuran agregat yang diatur dalam spesifikasi sesuai pada Tabel 2. 6.

Tabel 2. 6 Gradasi Agregat CPHMA

No.	Ukuran ayakan	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat
	ASTM (mm)	
1.	¾ in (19 mm)	100
2.	½ in (12,5 mm)	90 – 100
3.	3/8 in (9,5 mm)	-
4.	No. 4 (4,75 mm)	45 - 70
5.	No. 8 (2,36 mm)	25 - 55
6.	No. 50 (0,300 mm)	5 – 20
7.	No. 200 (0,075 mm)	2 – 9

Sumber: Ditjen Bina Marga (2018)

Jenis asbuton butir yang dapat digunakan dalam campuran panas, dan CPHMA adalah Asbuton butir tipe B5/20, tipe B50/30, dengan persyaratan masing – masing tipe asbuton butir sesuai pada Tabel 2. 7.

Tabel 2. 7 Ketentuan Asbuton Butir

No.	Sifat-sifat Asbuton Butir	Metode Pengujian	Tipe B 5/20	Tipe B 50/30
1.	Sifat Bentuk Asli			
	Ukuran butir asbuton butir			
	✓ Lolos Ayakan 3/8” (9,5 mm); %	SNI 03-4142-1996	-	100
	✓ Lolos Ayakan No. 8 (2,36 mm); %	SNI-03-4142-1996	100	-
	Kadar bitumen asbuton; %	SNI 03-3640-1994	Min.18	Min.20
	Kadar air, %	SNI 2490;2008	Maks.2	Maks.4
2.	Sifat Bitumen Hasil Ekstaksi (SNI 8279;2016) dan Pemulihan (SNI 4797:2015)			
	Kelarutan dalam TCE; % berat	SNI 2438;2015	Min.99	Min.99

No.	Sifat-sifat Asbuton Butir	Metode Pengujian	Tipe B 5/20	Tipe B 50/30
	Penetrasi aspal asbuton pada 25°C, 100 g, 5 detik; 0,1 mm	SNI 2456;2011	2 - 15	40 - 70
	Titik lembek; °C	SNI 2434;2011	-	Min.50
	Daktalitas pada 25°C: cm	SNI 2431;2011	-	> 100
	Berat jenis	SNI 2441;2011	-	Min.1,0
	Penurunan berat (dengan TFOT); LoH (<i>Loss off Heating</i> , %)	SNI 06-2440-1991	-	< 2
	Penetrasi aspal asbuton setelah LoH pada 25°C, 100 g, 5 detik; (% terhadap penetrasi awal)	SNI 2456;2011	-	> 54

Sumber: Kementerian Pekerjaan Umum (2018)

Proporsi maksimum penggunaan asbuton butir terhadap berat total campuran beraspal panas dan campuran beraspal hangat dengan asbuton(Kementerian Pekerjaan Umum, 2018) adalah

1. Campuran beraspal panas dengan asbuton
 - a. Tipe B5/20 = 3 %
 - b. Tipe B30/25 = 5 %
 - c. Tipe B50/30 = 15 %
2. Campuran beraspal hangat dengan asbuton
 - a. Tipe B5/20 = 6 %
 - b. Tipe B30/25 = 12 %
 - c. Tipe B50/30 = 15 %

Asbuton tipe B5/20 adalah asbuton yang memiliki kelas penetrasi

5 dan kelas kadar bitumen 20 %. Asbuton tipe B30/25 adalah asbuton yang memiliki kelas pentrasi 30 dan kelas kadar bitumen 25 %. Asbuton tipe B50/30 adalah asbuton yang memiliki kelas pentrasi 50 dan kelas kadar bitumen 30 %.

2.7.2. Sifat Campuran CPHMA

Sifat campuran CPHMA dipadatkan dengan alat pemadat Marshall sebanyak 2x75 tumbukan pada temperatur udara (sekitar 30°C). Persyaratan campuran CPHMA mengacu pada pedoman pelaksanaan CPHMA (2015) yang tertuang pada tabel berikut:

Tabel 2. 8 Sifat Campuran CPHMA

Sifat-sifat Campuran CPHMA		Persyaratan
Jumlah tumbukan per bidang		75
Rongga dalam campuran (%)	Min.	4
	Maks.	10
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	16
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	60
Stabilitas Marshall pada temperatur udara; kg	Min.	500
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, temperatur udara	Min.	60

Sumber: Ditjen Bina Marga (2018)

Pada campuran CPHMA persyaratan kadar dan sifat aspal dalam campuran diatur seperti pada Tabel 2. 9

Tabel 2. 9 Kadar dan Sifat Aspal Hasil Ekstraksi CPHMA

Uraian	Metoda Pengujian	Persyaratan
Kadar Aspal, (%)	SNI 03 – 3640 –	6 – 8

Uraian	Metoda Pengujian	Persyaratan
	1994	
Karakteristik Bitumen Hasil Ekstraksi :		
Penetrasi 25°C, 100g, 5 detik: mm	SNI 2456: 2011	Minimum 100
Titik lembek °C	SNI 2434: 2011	Minimum 40
Daktilitas pada 25°C, 5 cm/menit ; cm	SNI 2432: 2011	Minimum 100

Sumber: Ditjen Bina Marga (2018)

Proses pencampuran CPHMA dilakukan secara panas sesuai dengan sifat bitumen asbuton. Suhu pencampuran panas dengan asbuton diatur dalam Pedoman Asbuton Campuran Panas (Balitbang PU, 2018) seperti pada Tabel 2. 10.

Tabel 2. 11 Temperatur Aspal untuk Pencampuran dan Pematatan

No.	Prosedur Pelaksanaan	Perkiraan Temperatur Aspal (°C)			
		Asbuton Murni	Asbuton B 50/30	Asbuton Pra-Campur	Asbuton B 5/20
1	Pencampuran benda uji Marshall	155 ± 1	160 ± 1	165 ± 1	
2	Pematatan benda uji Marshall	145 ± 1	150 ± 1	155 ± 1	
3	Pencampuran di Unit Pencampuran Aspal				
	• Pemanasan Agregat di Dryer	150-160	170-180	160-170	
	• Pemasangan Aspal di Tangki	155-165	160-170	165-175	
4	Menuangkan campuran aspal dari alat pencampur ke dalam truk	135-150	140-155	145-160	
5	Pemasokan ke Alat Penghampar	130-150	135-155	140-160	

No.	Prosedur Pelaksanaan	Perkiraan Temperatur Aspal (°C)			
		Asbuton Murni	Asbuton B 50/30	Asbuton Pra-Campur	Asbuton B 5/20
6	Pemadatan Awal (roda baja)	125-145	130-150	135-155	
7	Pemadatan Antara (roda karet)	100-125	105-130	110-135	
8	Pemadatan Akhir (roda baja)	>95	>100	>105	



Sumber: Ditjen Bina Marga(2018)

2.8. Plastik (HDPE)

Pada penelitian ini menggunakan bahan aditif plastik, yaitu plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE). Pada bagian bawah kemasan botol plastik, tertera logo daur ulang dengan angka 2 ditengahnya, serta tulisan HDPE (Polyethylene Densitas Tinggi) di bawah segitiga. Biasa dipakai untuk botol susu yang berwarna putih susu, tupperware, galon air minum, kursi lipat, dan lain-lain. Botol plastik jenis HDPE memiliki sifat bahan yang lebih kuat, keras, buram dan lebih tahan lama terhadap suhu tinggi. Merupakan salah satu bahan plastik yang aman untuk digunakan karena kemampuan untuk mencegah reaksi kimia antara kemasan plastik berbahan HDPE dengan makanan/minuman yang dikemasnya. HDPE direkomendasikan hanya sekali pakai. Jenis ini dapat digunakan kembali ke untuk bahan lantai ubin, drainase, botol HDPE baru, dan pipa. Adapun jenis-jenis kode plastik dapat dilihat pada Tabel 2.12.

Tabel 2.12 Kode Jenis Plastik

Jenis Polimer	Kode	Sifat	Penggunaan
Polietilen teraflalat (PET)		Jernih, kuat, tahan pelarut, kedap gas dan air, melunak pada suhu 80 °C	Botol minuman, minyak goreng, selai peanut butter, kecap dan sambal, try biskuit
High Density Polyethylene (HDPE)		Keras hingga semi fleksibel, tahan terhadap bahan kimia dan kelembaban, permeble terhadap gas, permukaan berliin (waxy), buram (opaque), mudah diwarnai, diproses dan dibentuk, melunak pada suhu 75 °C	Botol susu cair dan juice, tutup plastik, kantong belanja dan wadah es krim
Poivinii Klorida (PVC)		Kuat, keras, bisa jernih, bentuk bisa diubah dengan pelarut, melunak pada suhu 80 °C	Botol juice, air mineral, minyak sayur, kecap sambal, pembungkus makanan (food warp)
Low Density Polyethylene (LDPE)		Mudah diproses, kuat, fleksibel, kedap air, permukaan berliin, tidak jernih tapi tembus cahaya, melunak pada suhu 70 °C	Pot yoghurt, kantong belanja (kresek), kantong roti dan makanan segar, botol yang dapat ditekan
Polipropilen (PP)		Keras tapi fleksibel, kuat, permukaan berliin, tidak jernih tapi tembus cahaya, tahan terhadap bahan kimia, panas dan minyak, melunak pada suhu 140 °C	Pembungkus biskuit, kantong chips kentang, krat sereal, pita perekat kemasan dan sedotan

Jenis Polimer	Kode	Sifat	Penggunaan
Polistiren (PS)		Jernih seperti kaca, kaku, getas, buram, terpengaruh lemak dan pelarut, mudah dibentuk, melunak pada suhu 95°C	Wadah makanan beku, sendok dan garpu
Polistiren Busa (EPS- 'Stryofoam')		Bentuk busa, ringan, getas, kaku, biasanya berwarna putih	Wadah makanan siap saji dan cup kopi
Other – Lainnya (Misalnya Polikarbonat)		Keras, jernih, tahan panas	Galon air mineral, botol susu bayi
Melamin-Formadehid (MF)	Tidak dapat didaur ulang (Termoset)	Keras, kuat, mudah diwarnai, bebas rasa dan bau, tahan terhadap pelarut dan noda, kurang tahan terhadap asam dan alkali	Peralatan makan: gelas mangkok sendok dan piring

Sumber : (Badan Pengawas Obat dan Minuman, 2016).

Tabel 2.13 Ketentuan Limbah Plastik Hasil Cacahan

Pengujian	Persyaratan
Ukuran butir lolos saringan 3/8 inch (9,5 mm)	100
Ukuran butir lolos saringan No. 4 (4,75 mm)	90
Ketebalan	Maks. 0,07
Kadar air	Maks. 5
Titik leleh	100 – 120

Sumber : (Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas

Menggunakan Limbah Plastik, 2017).

2.9. Marshall Test

Karakteristik campuran aspal dapat diukur dari sifat-sifat Marshall yang ditunjukkan pada nilai-nilai sebagai berikut :

2.9.1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis atau dengan arti lain yaitu kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja di atasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (*internal friction*) dan penguncian antar agregat (*interlocking*), daya lekat (*cohesion*), dan kadar aspal dalam campuran.

Pemakaian aspal dalam campuran akan menentukan nilai stabilitas campuran tersebut. Seiring dengan penambahan aspal, nilai stabilitas akan meningkat hingga batas maksimum. Penambahan aspal di atas batas maksimum justru akan menurunkan stabilitas campuran itu sendiri sehingga lapis perkerasan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas berpengaruh pada fleksibilitas lapis perkerasan yang dihasilkan.

Syarat nilai stabilitas adalah lebih dari 800 kg. Lapis perkerasan dengan nilai stabilitas kurang dari 800 kg akan mudah mengalami *rutting* , karena perkerasan bersifat lembek sehingga kurang

mampu mendukung beban. Sebaliknya jika stabilitas perkerasan terlalu tinggi maka perkerasan akan mudah etak karena sifat perkerasan menjadi kaku. Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian Marshall. Hasil tersebut dicocokkan dengan angka kalibrasi proving ring dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji. Nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dengan rumus (2.5) di bawah ini:

$$S = p \times q \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = angka koreksi benda uji

2.9.2. Kelelahan (*Flow*)

Flow adalah besarnya penurunan atau deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun, yang menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterima. Deformasi yang terjadi erat kaitannya dengan sifat-sifat *Marshall* yang lain seperti stabilitas. VIM dan VFA, Nilai VIM yang besar menyebabkan berkurangnya

Interlocking resistance campuran dan dapat berakibat timbulnya deformasi. Nilai VFA yang berlebihan juga menyebabkan aspal dalam campuran berubah konsistensinya menjadi pelicin antar batuan. Nilai

flow dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan. Akan tetapi campuran yang memiliki angka kelelahan rendah dengan stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas. Sedangkan campuran yang memiliki angka kelelahan tinggi dan stabilitas rendah cenderung plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Kerapatan campuran yang baik, aspal yang cukup dan stabilitas yang baik akan memberikan pengaruh penurunan nilai *flow*.

Syarat nilai *flow* adalah minimal 3 mm. Nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang (*washboarding*) dan alur (*rutting*).

2.9.3. Kerapatan (*density*)

Density merupakan tingkat kerapatan campuran setelah campuran dipadatkan. Semakin tinggi nilai density suatu campuran menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Nilai density dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti : gradasi campuran, jenis dan kualitas bahan susun, faktor pemadatan dan jumlah pemadatan maupun temperatur pemadatan, penggunaan kadar aspal dan penambahan bahan additive dalam campuran. Campuran dengan nilai density yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibanding

dengan campuran yang dimiliki nilai density yang rendah, karena butiran agregat mempunyai bidang kotak yang luas sehingga gaya gesek (friction) antara butiran agregat menjadi besar. Selain itu density juga mempengaruhi kekedapan campuran, semakin besar nilai density campuran, maka campuran tersebut akan semakin kedap terhadap air dan udara. Nilai kepadatan/density dihitung dengan rumus (2.5) dan (2.6) di bawah ini :

$$g = c / f \dots\dots\dots(2.5)$$

$$f = d - e \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan :

g = Nilai kepadatan (gr/cc)

c = Berat kering / sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji jenuh air (gr)

e = Berat benda uji dalam air (gr)

f = Volume benda uji (cc)

2.9.4. VIM (Void In The Mix)

VIM (*Void In The Mix*) merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Air akan melarutkan komponen-komponen yang akan teroksidasi sehingga mengakibatkan terus berkurangnya kadar aspal dalam campuran.

Penurunan kadar aspal dalam campuran menyebabkan lekatan antara butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (revelling) dan pengelupasan permukaan (stripping) pada lapis perkerasan.

Syarat dari nilai VIM adalah 3,5% - 5%. Nilai VIM yang terlalu rendah akan menyebabkan bleeding karena pada suhu yang tinggi viskositas aspal menurun sesuai sifat termoplastisnya. Pada saat itu apabila lapis perkerasan menerima beban lalu lintas maka aspal akan terdesak keluar permukaan karena tidak cukupnya rongga bagi aspal untuk melakukan penetrasi dalam lapis perkerasan. Nilai VIM yang lebih dari 5% akan mengakibatkan berkurangnya keawetan lapis perkerasan, karena rongga yang terlalu besar akan mudah terjadi oksidasi.

VIM adalah persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Nilai VIM akan semakin kecil apabila kadar kadar aspal semakin besar. VIM yang semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan yang semakin cepat, berupa alur dan retak

Nilai VIM dihitung dengan rumus (2.7) – (10) di bawah ini :

$$VIM = (100 - i - j) \dots\dots\dots (2.7)$$

$$b = \frac{a}{100 + a} \times 100 \dots\dots\dots (2.8)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ.Agregat} \dots\dots\dots (2.9)$$

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{BJ.Agregat} \dots\dots\dots (2.10)$$

Keterangan :

a = Persentase aspal terhadap batuan

b = Persentase aspal terhadap campuran

g = Persen rongga terisi aspal

i dan j = rumus substitusi

2.9.5. VFA (Void Filled With Asphalt)

Void Filled With Asphalt (VFA) merupakan persentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VFA berpengaruh pada sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastisitas campuran. Dengan kata lain VFA menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Semakin tinggi nilai VFA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedap air dan udara campuran terhadap air dan udara juga akan semakin tinggi, tetapi nilai VFA yang terlalu tinggi akan menyebabkan *bleeding*.

Nilai VFA yang terlalu kecil akan menyebabkan campuran kurang kedap terhadap air dan udara karena lapisan film aspal akan menjadi tipis dan akan mudah retak bila menerima penambahan beban sehingga campuran aspal mudah teroksidasi yang akhirnya menyebabkan lapis perkerasan tidak tahan lama. Nilai VFA yang disyaratkan adalah minimal 63%. Nilai ini menunjukkan persentase rongga campuran yang berisi aspal, nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu, dimana rongga telah

penuh. Artinya rongga dalam campuran telah terisi penuh oleh aspal, maka persen kadar aspal yang mengisi rongga adalah persen kadar aspal maksimum.

Nilai VMA dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$VFA = 100 \times \frac{i}{j} \quad \dots\dots\dots (2.11)$$

$$b = \frac{a}{100 + a} \times 100 \quad \dots\dots\dots (2.12)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ.Agregat} \quad \dots\dots\dots (2.13)$$

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{BJ.Agregat} \quad \dots\dots\dots (2.14)$$

$$I = 100 - j \quad \dots\dots\dots (2.15)$$

Keterangan :

a = Persentase aspal terhadap batuan

b = Persentase aspal terhadap campuran

g = Persen rongga terisi aspal

i dan j = rumus substitusi

2.9.6. VMA (Void In Mineral Agregate)

Void In Mineral Agregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas,

dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi.

Nilai VMA dipengaruhi oleh faktor pemadatan, yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar aspal. Nilai VMA ini berpengaruh pada sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastis campuran. Dapat juga dikatakan bahwa nilai VMA menentukan nilai stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai VMA yang disyaratkan adalah 14%.

2.9.7. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient adalah hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai *Marshall Quotient* dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm. Nilai *Marshall Quotient* di bawah 250 kg/mm mengakibatkan perkerasan mudah mengalami washboarding, rutting dan bleeding, sedangkan nilai *Marshall Quotient* yang tinggi mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan mudah mengalami retak. Nilai dari *Marshall Quotient* (MQ) diperoleh dengan rumus (2.16) di bawah ini :

$$MQ = S / F \dots\dots\dots(2.16)$$

Keterangan :

S = Nilai stabilitas

F = Nilai *flow*

MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

Setelah dilakukan analisis dari pengujian *Marshall*, dan didapat nilai- nilai karakteristik *Marshall*, dibuat grafik hubungan antara kadar aspal terhadap nilai karakteristik tersebut.

2.8.1. Penelitian Tentang CPHMA dan HDPE

Firstyan, dkk. (2015) melakukan penelitian tentang pengaruh suhu pemadatan terhadap kinerja *Marshall* pada campuran CPHMA menggunakan LGA dan aspal minyak penetrasi 60/70. Dalam penelitian ini bahan yang digunakan berupa asbuton LGA, aspal minyak pen 60/70, agregat dan modifier. Percobaan ini menggunakan dua perlakuan yaitu terhadap suhu pmdatan 25°C, 37,5°C, 50°C, 67,5°C dan penambahan aspal minyak sebesar 5%, 10%, 15%, 20% terhadap kadar aspal campuran. Dari hasil analisis didapatkan suhu pemadatan optimum sebesar 90°C dan penambahan aspal minyak sebesar 7,653% yang didapatkan dari hasil iterasi persamaan VIM ($z = 25,0323 - 0,13041x - 0,45944y + 0,000225x^2 + 0,047268y^2 - 0,005576xy - 0,00000111x^2y^2$). Berdasarkan nilai suhu optimum dan penambahan aspal minyak optimum diatas diperoleh nilai stabilitas 1468,77 kg, *flow* 3,875 mm, VIM 15,834%, VMA 26,399 %, VFB 41,61%. Dalam penelitian ini penulis menyarankan agar perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai suhu pemadatan optimum, dikarenakan suhu pemadatan optimum yang diperoleh dari proses iterasi melebihi batas suhu pemadatan yang diteliti.

Akbariawan, dkk. (2015) melakukan penelitian tentang penggunaan material Madura terhadap kinerja campuran CPHMA. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan material Madura dan suhu pemadatan terhadap kinerja CPHMA. Bahan yang digunakan berupa asbuton LGA, agregat dan modifier. Percobaan ini menggunakan dua perlakuan yaitu terhadap suhu pemadatan 25°C, 37,5°C, 50°C, 67,5°C dan prosentase agregat Madura terhadap agregat lokal sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, 100%. Dari hasil analisis didapatkan suhu pemadatan optimum sebesar 81,748°C dan proporsi agregat Madura optimum sebesar 82,927% yang diperoleh dari nilai persamaan VIM ($z = 21,86049 - 0,172988x + 0,106850y + 0,001388x^2 - 0,000323y^2 - 0,000653xy$). Berdasarkan suhu pemadatan dan proporsi agregat Madura optimum didapatkan nilai stabilitas 1038,19 kg, *flow* 3,943 mm, VIM 19,22%, VMA 29,031 %, VFB 33,311%. Nilai VIM dan VFB tidak memenuhi standar spesifikasi. Dalam penelitian ini penulis menyarankan agar perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penentuan suhu pemadatan optimum dikarenakan suhu pemadatan optimum yang diperoleh dari proses iterasi melebihi batas suhu pemadatan yang diteliti.

Syukur (2016), melakukan penelitian studi laboratorium kuat tarik belah campuran asbuton campur panas hampar dingin. Campuran CPHMA ini menggunakan LGA sebagai bahan pengikat ditambahkan dengan peremaja dingin. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa CPHMA memiliki rata – rata nilai kuat tekan yang cenderung stabil pada

umur penyimpanan 4 jam, 3 hari, dan 7 hari yakni sebesar 1.686 Mpa, 1.513 Mpa, 1.633 Mpa. Sedangkan nilai kuat tarik untuk umur penyimpanan 4 jam, 3 hari, dan 7 hari sebesar 0,845 Mpa, 0,815 Mpa, dan 0,322 Mpa. Penelitian tersebut juga membandingkan capaian modulus *toughness* campuran pada umur penyimpanan 4 jam, 3 hari dan 7 hari sebesar 20446,67 J/m³, 20308,44 J/m³, 7620,67 J/m³. Berdasarkan hasil pengujian CPHMA tersebut memiliki penyimpanan efektif hingga umur 3 hari sebelum dipadatkan.

Sumiati, dkk (2019), melakukan penelitian tentang perkerasan aspal beton (AC-BC) limbah plastik HDPE yang tahan terhadap cuaca ekstrem. Dari hasil penelitian yang dilakukan terhadap campuran aspal beton lapis AC-BC menggunakan limbah plastik HDPE sebagai bahan tambah didapat simpulan bahwa:

1. Aspal yang dimodifikasi dengan limbah plastik HDPE yang memenuhi Spesifikasi Umum Divisi VI Revisi 3, Bina Marga, 2010 yaitu sebesar <4%
2. Limbah plastik HDPE yang dapat ditambahkan pada campuran aspal beton (AC-BC) berkisar 2-4% terhadap berat aspal, yang memenuhi nilai karakteristik Marshall dan tahan terhadap cuaca ekstrem.

Suprayitno, dkk (2019), melakukan penelitian tentang studi penggunaan variasi campuran material plastik jenis high density polyethylene (HDPE) pada campuran beraspal untuk lapis aus AC-WC

(asphalt concrete wearing course). Setelah melakukan penelitian di laboratorium dan analisis terhadap hasil percobaan tersebut dapat disimpulkan:

1. Untuk komposisi 1 campuran normal 0%, maka kadar aspal yang memenuhi semua persyaratan adalah kadar aspal perkiraan antara 5.6% - 6%. Kemudian komposisi 3 dengan tambahan plastik HDPE 8%, kadar aspal perkiraan yang memenuhi semua persyaratan adalah kadar aspal perkiraan antara 4.8% - 6,1%
2. Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk komposisi dengan komposisi normal 0% adalah 5.8%. Diantara komposisi campuran plastik HDPE 0-12% yang memenuhi VIM dan Stabilitas didapatkan campuran plastik HDPE 8 % yang optimal dengan kadar aspal optimal sebesar 4.45 %.

Anita Rahmawati, dkk (2015), melakukan penelitian tentang perbandingan pengaruh penambahan plastik high density polyetilene (HDPE) dalam LASTON-WC dan LATASTON-WC terhadap karakteristik marshall. Dari pengujian Marshall yang dilakukan didapatkan hasil bahwa penambahan HDPE sebanyak 2% pada aspal untuk campuran LASTON-WC dapat meningkatkan stabilitas campuran sebesar 37,18% dari campuran LASTON-WC tanpa tambahan HDPE, yaitu dengan nilai stabilitas campuran tanpa HDPE sebesar 1755kg dan dengan HDPE 2% sebesar 2407,5kg. Begitu juga campuran aspal dengan tambahan HDPE sebesar 4% dan 6% terjadi juga peningkatan nilai stabilitas sebesar

2306,25kg dan 2677,5 kg. Sedangkan untuk campuran LATASTON-WC, penambahan HDPE 2% pada campuran aspal dibandingkan tanpa tambahan HDPE pada campuran aspal memberikan hasil peningkatan stabilitas dari 1879 menjadi 254,50 atau sebesar 35%. Selain nilai stabilitas campuran, indikasi peningkatan kualitas campuran dengan penambahan HDPE juga terjadi pada hasil VIM, VMA, VFA dan MQ.



BAB III

METODE PENELITIAN

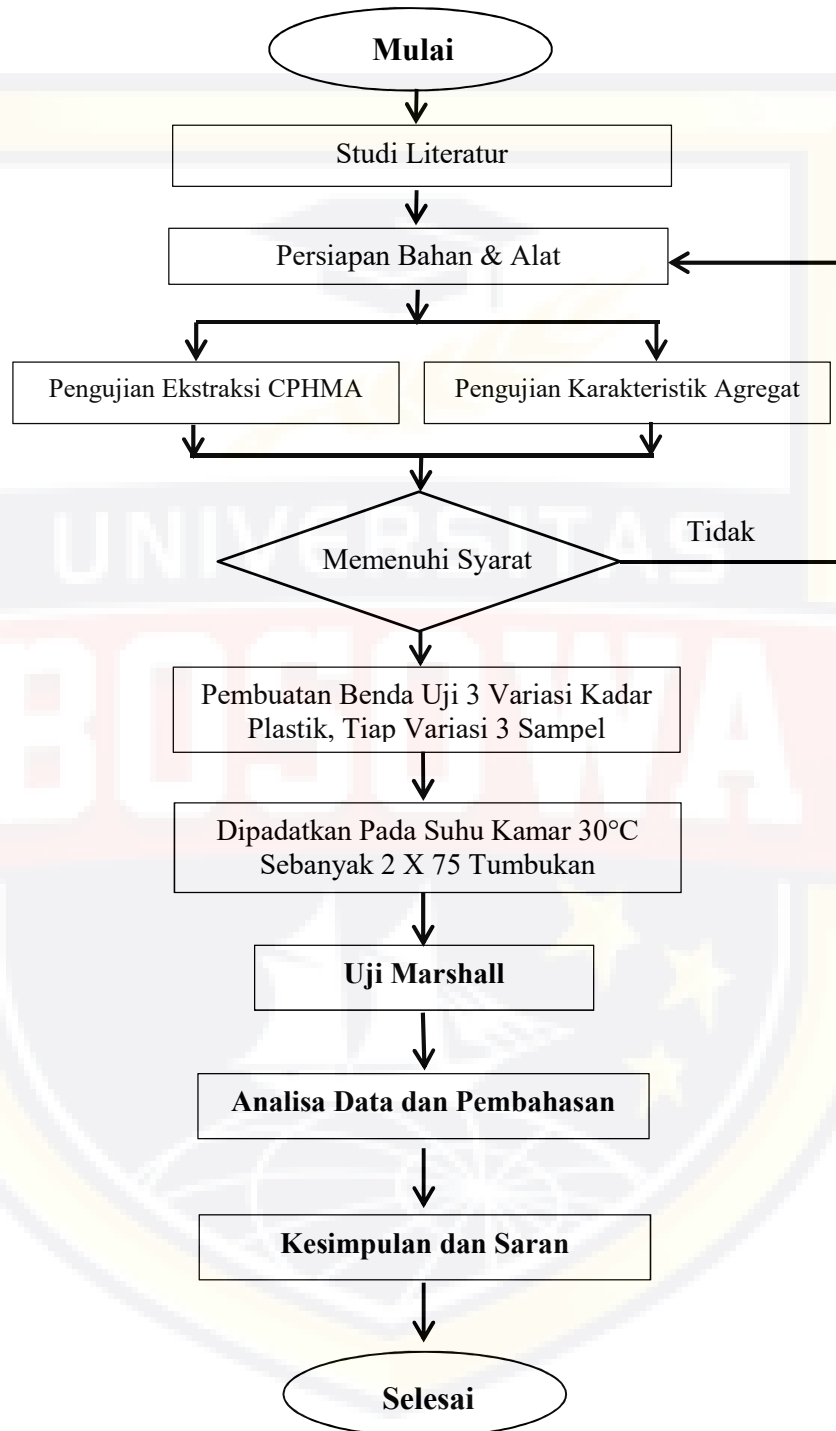
3.1. Metode

Penelitian proyek akhir ini dilaksanakan di Laboratorium Universitas Bosowa Makassar, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik dengan menggunakan sistem pencampuran aspal panas dengan hampar dingin tipe aspal buton (CPHMA). Sedangkan metode pengujiannya mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan AASHTO yang telah disahkan.

Penelitian ini dilakukan atas pengujian terhadap campuran (Uji Marshall). Selanjutnya setelah mendapatkan komposisi material dan kadar aspal terbaik maka dibuat benda uji sesuai dengan ketentuan teknis, benda uji tersebut akan digunakan untuk proses pengujian Marshall setelah perendaman benda uji yang mempunyai variasi waktu rendaman perendaman. Setelah pengujian perendaman dilakukan maka dilanjutkan pengujian Marshall untuk mendapatkan nilai yaitu stabilitas (*density*), kepadatan (*flow*), (*Void in the Mineral Agregat/VMA*), Rongga di dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture/VIM*), Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Bitumen/VFB*), Hasil bagi Marshall/*Marshall Quotient (MQ)*.

Dari nilai-nilai stabilitas dan kelelahan yang diperoleh akan dianalisa, dievaluasi dan mengambil kesimpulan seberapa besar pengaruh perendaman berulang terhadap sifat dan karakteristik campuran CPHMA.

3.2. Diagram Flowchart



Gambar 3.1. Bagan alir penelitian

3.3. Bahan Penelitian

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

1. CPHMA



Gambar 3.2 CPHMA

2. Plastik (HDPE)



Gambar 3.3 HDPE

3.4 Peralatan Penelitian

1. Timbangan

Digunakan untuk menimbang agregat yang akan diuji. Kapasitas timbangan 2 kg dengan ketelitian 0.1 gram



Gambar 3.4. Timbangan

2. Bak perendam

Digunakan untuk merendam agregat agar jenuh air dan sebagai tempat perendaman benda uji.



Gambar 3.5 Bak perendam

3.4.1 Alat Uji Karakteristik Campuran Agregat Aspal

Alat-alat yang digunakan untuk penelitian pengujian Marshall meliputi:

1. Cetakan benda uji yang berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3") lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.



Gambar 3.6 Cetakan benda uji marshall

2. Alat pengeluar benda uji

Untuk benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan benda

uji dipakai sebuah alat *ejector*.



Gambar 3.7 *Ejector*.

3. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder.



Gambar 3.8 Batang penumbuk.

4. Landasan pematik terdiri dari balok kayu (jati atau yang sejenisnya) berukuran kira-kira 20 x 20 x 45 cm (8" x 8" x 18") yang dilapisi dengan pelat baja dengan ukuran 30 x 30 x 2,5 cm (12" x 12" x 1") dan diikat pada lantai beton dengan 4 bagian siku.



Gambar 3.9 Landasan pematik.

5. Mesin tekan lengkap dengan:

- a) Kepala penekan berbentuk lengkung (breaking head).
- b) Cincin penguji (proving ring) yang berkapasitas 2500 kg (5000 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,00025 cm (0,0001”).
- c) Arloji kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01”) dengan perlengkapannya.



Gambar 3.10 Alat uji marshall.

6. Kompor Listrik.

Digunakan untuk memanaskan aspal dan untuk memanaskan agregat dalam pembuatan aspal dengan cara hot mix.



Gambar 3.11 Kompor listrik

7. Bak Perendam (*water bath*).

Digunakan untuk memanaskan benda uji sebelum proses pengujian tekan marshall. Dilakukan perendaman benda uji dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ dengan waktu 30-40 menit dengan kapasitas waterbath 2-30 liter air.



Gambar 3.12 Bak perendam

8. Perlengkapan lain :

a) Termometer

Pengukur suhu dari logam (metal thermometer) berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 0,5 atau 1% dari kapasitas.



Gambar 3.13 Thermometer

b) Sendok

Digunakan untuk mengambil aspal dan digunakan dalam mengaduk aspal saat pemanasan aspal.



Gambar 3.14 Sendok

c) *Stopwatch.*

Digunakan untuk menghitung waktu dalam proses pengujian.



Gambar 3.15 Stopwatch

d) Jangka Sorong

Digunakan untuk mengukur tinggi dan diameter benda uji.

Dengan kapasitas 150 mm.



Gambar 3.16 Jangka sorong

e) Kaleng seng

Digunakan sebagai tempat pemanasan agregat dan pencampuran beton aspal.



Gambar 3.17 Kaleng seng

3.5 Uji Campuran Aspal (Bitumen)

Briket yang telah didapat diuji stabilitas, kelelahan, keawetannya terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh air. Pengujian briket menggunakan metode Marshall untuk stabilitas dan kelelehannya, sedangkan untuk keawetannya menggunakan uji Marshall Rendaman.

3.5.1 Uji Marshall

Prinsip dasar dari metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran yang telah didapat dari hasil uji gradasi, sesuai spesifikasi campuran. Pengujian Marshall untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T245-90.

3.6 Notasi dan Jumlah Sampel

Tabel 3.1 Notasi dan Jumlah Sampel

NO	VARIASI	KODE SAMPEL	PERENDAMAN	CPHMA + HDPE	PLASTIK HDPE		JUMLAH
			(hari)	(gram)	(gram)	(%)	
1	CPHMA	CN	0	1200,00	-	-	3
2	CPHMA + 5% HDPE	CVH5P6	6	1203,68	3,68	5	3
3		CVH5P12	12	1203,68	3,68	5	3
4		CVH5P18	18	1203,68	3,68	5	3
5	CPHMA + 10% HDPE	CVH10P6	6	1207,37	7,37	10	3
6		CVH10P12	12	1207,37	7,37	10	3
7		CVH10P18	18	1207,37	7,37	10	3
8	CPHMA + 15% HDPE	CVH15P6	6	1211,05	11,05	15	3
9		CVH15P12	12	1211,05	11,05	15	3
10		CVH15P18	18	1211,05	11,05	15	3
TOTAL SAMPEL							30

BOSOWA

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Penyajian Data

Bahan yang digunakan pada penelitian ini yaitu cold paving hot mix asbuton (CPHMA) diperoleh dari CV. Ketahanan Aspal Nasional.

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat sesuai dengan metode pengujian yang dipakai dan spesifikasi yang disyaratkan dan disajikan dalam Tabel 4.1. - 4.3. dan hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus disajikan dalam Tabel 4.1. sebagai berikut :

a. Pemeriksaan Analisa Saringan

Tabel 4. 1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat

No.	Ukuran ayakan	% Lolos	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat
	ASTM (mm)		
1.	¾ in (19 mm)	100	100
2.	½ in (12,5 mm)	95,93	90 – 100
3.	3/8 in (9,5 mm)	82,79	-
4.	No. 4 (4,75 mm)	57,65	45 - 70
5.	No. 8 (2,36 mm)	41,80	25 - 55
6.	No. 50 (0,300 mm)	14,28	5 – 20
7.	No. 200 (0,075 mm)	6,98	2 – 9

Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium

b. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Rumus:

Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*)

$$= \frac{B_k}{B_j - B_a}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} &= \frac{B_j}{B_j - B_a} \\ \text{Berat jenis semu (Appernt Specific Gravity)} &= \frac{B_k}{B_k - B_a} \\ \text{Penyerapan (Absorption)} &= \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\% \end{aligned}$$

Keterangan :

B_k = Berat benda kering oven

B_j = Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)

B_a = Berat benda uji di dalam air

Tabel 4. 2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Jenis Pemeriksaan	Metode	Hasil	Spesifikasi		Satuan
			Min.	Maks.	
Gradasi	AASHTO T27-82		-	-	%
Berat jenis dan penyerapan					
1. Bulk	SNI 03-1969-1990	2.70	2.5	3	-
2. SSD		2.74	2.5		-
3. Semu		2.82	2.5		-
4. Penyerapan		1.63	-		-

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

c. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus:

Rumus :

$$\text{Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)} = \frac{B_k}{B + 500 - B_t}$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = \frac{500}{B + 500 - B_t}$$

$$\text{Berat jenis semu (Apparent Specific Gravity)} = \frac{B_k}{B + B_k - B_t}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\%$$

Keterangan :

SSD = Berat benda uji kering permukaan jenuh

B_k = Berat benda kering oven

B = Berat piknometer + air

B_t = Berat piknometer + air + benda uji

Tabel 4. 3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Jenis Pemeriksaan	Metode	Hasil	Spesifikasi		Satuan
			Min.	Max	
Gradasi	AASHTO T27-82		-	-	%
Berat jenis dan penyerapan	SNI 03-1970-1990				
1. Bulk		2.62	2.5	3	Gram
2. SSD		2.68	2.5		Gram
3. Semu		2.78	2.5		Gram
4. Penyerapan	2.29	-	Gram		

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Kadar Aspal

Jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal buton yang di ekstraksi. Hasil pengujian kadar aspal sesuai hasil pengujian dan penelitian, diperlihatkan pada Tabel 4.6. sebagai berikut :

Tabel 4. 4. Kadar Aspal Hasil Ekstraksi CPHMA

No.	Uraian	Metoda Pengujian	Hasil Pengujian	Persyaratan
1.	Kadar Aspal (%)	SNI – 03-6894-2002	6,14	6 – 8

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

4.1.3. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Campuran

Berdasarkan hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat diperoleh data sebagai berikut :

Tabel 4. 5 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Material	Berat jenis bulk	Berat jenis semu	Berat jenis efektif
	A	B	$c = \frac{(a + b)}{2}$
Agregat Kasar	2,70	2,82	2,76
Agregat Halus	2,62	2,78	2,70
Aspal	1,03		

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

Berdasarkan hasil pemeriksaan di atas, maka berat jenis gabungan agregat dapat dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \text{Bj. Bulk Agregat (G}_{sb}) &= \frac{100}{\left(\frac{54\%}{2,70}\right) + \left(\frac{46\%}{2,62}\right)} \\ &= 2,66 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bj. Semu Agregat (G}_{sa}) &= \frac{100}{\left(\frac{54\%}{2,82}\right) + \left(\frac{46\%}{2,78}\right)} \\ &= 2,80 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Bj. Efektif Agregat (G}_{se}) = \frac{2,66 + 2,80}{2} = 2,73 \text{ gram}$$

4.2. Komposisi Campuran

Komposisi CPHMA dengan variasi limbah HDPE 5%, 10%, dan 15% dari perbandingan kadar aspal pada perendaman berulang, 6 hari, 12 hari dan 18 hari.

Tabel 4.6. Komposisi campuran dengan bahan limbah HDPE 5%

Kadar Aspal	6,14%		6,14%	x	1200	=	73,68	gram
Hasil Combine :								
Limbah HDPE	5%	X	73,68	=	3,68	+	1200	gram
							1203,68	gram

Tabel 4.7. Komposisi campuran dengan bahan limbah HDPE 10%

Kadar Aspal	6,14%		6,14%	x	1200	=	73,68	gram
Hasil Combine :								
Limbah HDPE	10%	X	73,68	=	7,37	+	1200	gram
							1207,37	gram

Tabel 4.8. Komposisi campuran dengan bahan limbah HDPE 15%

Kadar Aspal	6,14%		6,14%	x	1200	=	73,68	gram
Hasil Combine :								
Limbah HDPE	15%	X	73,68	=	11,05	+	1200	gram
							1211,05	gram

4.3. Data Hasil Uji Dengan Alat Marshall

Tujuan dari uji Marshall ini ialah untuk mengetahui karakteristik CPHMA dengan kadar aspal 6,14% dengan waktu 30 menit. Maksud dari pengujian ini untuk mengetahui ketahanan (*Stabilitas*) terhadap kelelahan plastis (*Flow*) dari campuran aspal tersebut, untuk lebih jelas dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.9. Hasil Uji Marshall Kadar Aspal 6,14% dengan perendaman selama 30 menit dan 2 x 24 jam pada suhu 60°C.

NO	PEMERIKSAAN	Kadar Aspal 6,14%		Spesifikasi 2018
		Perendaman		
		30 Menit	2 x 24 jam	
1	Kepadatan	2,38	2,38	-
2	Stabilitas (Kg)	1430,40	1255,91	Min 500
3	FLOW (mm)	3,27	3,57	3 - 5
4	VMA (%)	16,19	16,30	Min 16
5	VIM (%)	4,18	4,31	4 - 10
6	VFB (%)	74,27	73,56	Min 60
7	MQ (Kg/mm)	437,95	351,95	Min 250

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

Dari hasil uji marshall dapat diketahui Cold Paving Hot Mix Asbuton (CPHMA) dengan variasi menggunakan penambahan limbah HDPE 5%, 10%, dan 15% kedalam campuran CPHMA dengan perendaman berulang selama 6, 12, dan 18 hari kemudian direndam 30 menit pada suhu 60°C. Dapat kita amati pengaruh campuran aspal terhadap nilai *Stabilitas*, *Flow*, *VIM*, *Marshall Quotient*, *VMA*, dan *VFB*. Dapat dilihat pada perhitungan dibawah:

A. BJ Max Campuran

Rumus :

$$\text{BJ Max Campuran} : \frac{100}{\frac{100}{C} - \frac{A}{T} + \frac{A}{T}}$$

Dimana :

- A** : Kadar Aspal
- C** : BJ Efektif Gab
- T** : Specific Gravity of Bitument

$$\text{Max Sg Combined Mix} : \frac{100}{\frac{100}{2,73} - \frac{6,14}{1,03} + \frac{6,14}{1,03}} = 2,48$$

B Volume of Speciment

Rumus :

$$\text{Volume of Speciment} = H - G$$

Dimana :

- H** : SSD
- G** : Berat Dalam Air

Perendaman Normal (HDPE 0%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Volume of Speciment} : 1210,00 - 707,80 = 502,20$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Volume of Speciment} : 1209,00 - 714,20 = 494,80$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Volume of Speciment} : 1214,00 - 710,20 = 503,80$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

Volume of Speciment : 1218,20 - 708,50 = 509,70

Sampel II (Dua)

Volume of Speciment : 1219,50 - 713,60 = 505,90

Sampel III (Tiga)

Volume of Speciment : 1213,80 - 708,30 = 505,50

Perendaman 12 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

Volume of Speciment : 1222,40 - 705,00 = 517,40

Sampel II (Dua)

Volume of Speciment : 1218,20 - 710,00 = 508,20

Sampel III (Tiga)

Volume of Speciment : 1226,30 - 712,00 = 514,30

Perendaman 18 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

Volume of Speciment : 1224,20 - 710,60 = 513,60

Sampel II (Dua)

Volume of Speciment : 1221,80 - 705,30 = 516,50

Sampel III (Tiga)

Volume of Speciment : 1218,70 - 702,20 = 516,50

Perendaman 6 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

Volume of Speciment : 1242,60 - 717,90 = 524,70

Sampel II (Dua)

Volume of Speciment : 1239,90 - 711,80 = 528,10

Sampel III (Tiga)

Volume of Speciment : 1234,10 - 712,50 = 521,60

Perendaman 12 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

Volume of Speciment : 1239,80 - 709,20 = 530,60

Sampel II (Dua)

Volume of Speciment : 1235,60 - 714,30 = 521,30

Sampel III (Tiga)

Volume of Speciment : 1243,80 - 716,30 = 527,50

Perendaman 18 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

Volume of Speciment : 1247,00 - 702,50 = 544,50

Sampel II (Dua)

Volume of Speciment : 1252,60 - 712,60 = 540,00

Sampel III (Tiga)

Volume of Speciment : 1235,10 - 710,10 = 525,00

Perendaman 6 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

Volume of Speciment : 1237,90 - 705,20 = 532,70

Sampel II (Dua)

Volume of Speciment : 1244,30 - 705,70 = 538,60

Sampel III (Tiga)

Volume of Speciment : 1232,80 - 696,50 = 536,30

Perendaman 12 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

Volume of Speciment : 1237,40 - 704,00 = 533,40

Sampel II (Dua)

$$\text{Volume of Speciment} : 1243,20 - 702,00 = 541,20$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Volume of Speciment} : 1240,50 - 701,00 = 539,50$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Volume of Speciment} : 1253,20 - 708,70 = 544,50$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Volume of Speciment} : 1254,10 - 712,40 = 541,70$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Volume of Speciment} : 1258,40 - 714,60 = 543,80$$

C. Bulk Sg Combined Mix

Rumus :

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{F}{I}$$

Dimana :

F : Berat Benda Uji di Udara
I : Volume of Speciment

Perendaman Normal (HDPE 0%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1190,00}{502,20} = 2,37$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1188,50}{494,80} = 2,40$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1191,90}{503,80} = 2,37$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1194,90}{509,70} = 2,34$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1190,90}{505,90} = 2,35$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1192,10}{505,50} = 2,36$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1194,80}{517,40} = 2,31$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1193,10}{508,20} = 2,35$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1195,90}{514,30} = 2,33$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1198,10}{513,60} = 2,33$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1198,90}{516,50} = 2,32$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1195,20}{516,50} = 2,31$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1202,10}{524,70} = 2,29$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1198,00}{528,10} = 2,27$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1199,20}{521,60} = 2,30$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1201,00}{530,60} = 2,26$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1200,30}{521,30} = 2,30$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1202,10}{527,50} = 2,28$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1205,29}{544,50} = 2,21$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1206,09}{540,00} = 2,23$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1202,37}{525,00} = 2,29$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 15)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1198,70}{532,70} = 2,25$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1197,00}{538,60} = 2,22$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1193,70}{536,30} = 2,23$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1192,70}{533,40} = 2,24$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1196,90}{541,20} = 2,21$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1194,30}{539,50} = 2,21$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1203,00}{544,50} = 2,21$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1198,00}{541,70} = 2,21$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Bulk Sg Combined Mix} : \frac{1204,70}{543,80} = 2,22$$

D. % VIM

Rumus :

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (E - J)}{E}$$

Dimana :

E : Max Sg Combined Mix

J : Bulk Sg Combined Mix

Perendaman Normal (HDPE 0%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,37)}{2,48} = 4,57$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,40)}{2,48} = 3,26$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,37)}{2,48} = 4,72$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,34)}{2,48} = 5,59$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,35)}{2,48} = 5,20$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,36)}{2,48} = 5,03$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,31)}{2,48} = 7,00$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} \quad : \quad \frac{100 (2,48 - 2,35)}{2,48} = 5,45$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} \quad : \quad \frac{100 (2,48 - 2,33)}{2,48} = 6,35$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} \quad : \quad \frac{100 (2,48 - 2,33)}{2,48} = 6,05$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} \quad : \quad \frac{100 (2,48 - 2,32)}{2,48} = 6,52$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} \quad : \quad \frac{100 (2,48 - 2,31)}{2,48} = 6,81$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} \quad : \quad \frac{100 (2,48 - 2,29)}{2,48} = 7,73$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} \quad : \quad \frac{100 (2,48 - 2,27)}{2,48} = 8,64$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} \quad : \quad \frac{100 (2,48 - 2,30)}{2,48} = 7,41$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,26)}{2,48} = 8,84$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,30)}{2,48} = 7,27$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,28)}{2,48} = 8,22$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,21)}{2,48} = 10,85$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,23)}{2,48} = 10,05$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,29)}{2,48} = 7,77$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,25)}{2,48} = 9,38$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,22)}{2,48} = 10,50$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,23)}{2,48} = 10,36$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,24)}{2,48} = 9,95$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,21)}{2,48} = 10,93$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,21)}{2,48} = 10,85$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,21)}{2,48} = 11,02$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,21)}{2,48} = 10,93$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (2,48 - 2,22)}{2,48} = 10,78$$

E. Stabilitas

Rumus :

$$\text{Stabilitas} \quad L \quad x \quad \text{Angka koreksi} \quad x \quad \text{Angka kalibrasi}$$

Dimana : L : Pembacaan Stabilitas

Perendaman Normal (HDPE 0%)

Sampel I (Satu)

$$98,00 \quad x \quad 1,00 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1460,20$$

Sampel II (Dua)

$$91,00 \quad x \quad 1,00 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1355,90$$

Sampel III (Tiga)

$$99,00 \quad x \quad 1,00 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1475,10$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$90,00 \quad x \quad 0,99 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1324,24$$

Sampel II (Dua)

$$79,00 \quad x \quad 0,99 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1162,39$$

Sampel III (Tiga)

$$81,00 \quad x \quad 0,99 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1191,81$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$77,00 \quad x \quad 0,99 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1132,96$$

Sampel II (Dua)

$$74,00 \quad x \quad 0,99 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1088,82$$

Sampel III (Tiga)

$$80,00 \quad x \quad 0,99 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1177,10$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$75,00 \quad x \quad 0,99 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1103,53$$

Sampel II (Dua)

$$72,00 \quad x \quad 0,99 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1059,39$$

Sampel III (Tiga)

$$70,00 \quad x \quad 0,99 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1029,96$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$74,00 \quad x \quad 0,94 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1039,89$$

Sampel II (Dua)

$$78,00 \quad x \quad 0,94 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1096,10$$

Sampel III (Tiga)

$$75,00 \quad x \quad 0,94 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1053,94$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$70,00 \quad x \quad 0,94 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 983,68$$

Sampel II (Dua)

$$71,00 \quad x \quad 0,94 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 997,73$$

Sampel III (Tiga)

$$73,00 \quad x \quad 0,94 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1025,84$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$64,00 \quad x \quad 0,94 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 899,36$$

Sampel II (Dua)

$$76,00 \quad x \quad 0,94 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1067,99$$

Sampel III (Tiga)

$$69,00 \quad x \quad 0,94 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 969,63$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$51,00 \quad x \quad 0,96 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 731,40$$

Sampel II (Dua)

$$82,00 \quad x \quad 0,96 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1175,98$$

Sampel III (Tiga)

$$72,00 \quad x \quad 0,96 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1032,57$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$69,00 \quad x \quad 0,96 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 989,55$$

Sampel II (Dua)

$$62,00 \quad x \quad 0,96 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 889,16$$

Sampel III (Tiga)

$$64,00 \quad x \quad 0,96 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 917,84$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$60,00 \quad x \quad 0,96 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 860,48$$

Sampel II (Dua)

$$59,00 \quad x \quad 0,96 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 846,13$$

Sampel III (Tiga)

$$74,00 \quad x \quad 0,96 \quad x \quad 14,9 \quad = \quad 1061,25$$

F. Marshall Quotien (Kg/mm)

Rumus :

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) } : \frac{M}{N}$$

Dimana :

M : Stability (Kg) Adjust

N : Flow (mm)

Perendaman Normal (HDPE 0%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) } : \frac{1460,20}{3,40} = 429,47$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1355,90}{3,10} = 437,39$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1475,10}{3,30} = 447,00$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1324,24}{4,20} = 315,29$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1162,39}{3,50} = 332,11$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1011,78}{5,20} = 194,57$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1058,38}{4,80} = 220,50$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1061,25}{4,50} = 235,83$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1099,62}{4,30} = 255,73$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1103,53}{5,40} = 204,36$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1011,78}{5,20} = 194,57$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1003,89}{5,10} = 196,84$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1039,89}{3,60} = 288,86$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1096,10}{4,40} = 249,11$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1103,53}{3,70} = 298,25$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1003,89}{4,50} = 223,09$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1018,23}{4,60} = 221,35$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1003,40}{5,00} = 200,68$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{879,70}{6,60} = 133,29$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1118,25}{5,80} = 192,80$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1015,25}{4,90} = 207,19$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{731,40}{3,60} = 203,17$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1152,31}{4,80} = 240,06$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1011,78}{3,50} = 289,08$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{989,55}{4,90} = 201,95$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{889,16}{4,50} = 197,59$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{917,84}{5,00} = 183,57$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{843,15}{6,00} = 140,53$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{846,13}{7,50} = 112,82$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1061,25}{4,50} = 235,83$$

G. VMA

Rumus :

$$\text{VMA } 100 - \frac{J}{C} \times 100 - B$$

Dimana :

J : BJ Bulk Campuran Pematatan

C : BJ Bulk Gab

B : Kadar Aspal

Perendaman Normal (HDPE 0%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,37}{2,66} \times 100 - 6,14 = 16,53$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,40}{2,66} \times 100 - 6,14 = 15,39$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,37}{2,66} \times 100 - 6,14 = 16,66$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,34}{2,66} \times 100 - 6,14 = 17,42$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,35}{2,66} \times 100 - 6,14 = 17,08$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,36}{2,66} \times 100 - 6,14 = 16,93$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,31}{2,66} \times 100 - 6,14 = 18,66$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,35}{2,66} \times 100 - 6,14 = 17,30$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,33}{2,66} \times 100 - 6,14 = 18,09$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,33}{2,66} \times 100 - 6,14 = 17,83$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,32}{2,66} \times 100 - 6,14 = 18,23$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,31}{2,66} \times 100 - 6,14 = 18,49$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,29}{2,66} \times 100 - 6,14 = 19,30$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,27}{2,66} \times 100 - 6,14 = 20,09$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,30}{2,66} \times 100 - 6,14 = 19,01$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,26}{2,66} \times 100 - 6,14 = 20,27$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,30}{2,66} \times 100 - 6,14 = 18,89$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,28}{2,66} \times 100 - 6,14 = 19,73$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,21}{2,66} \times 100 - 6,14 = 22,03$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,23}{2,66} \times 100 - 6,14 = 21,32$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,29}{2,66} \times 100 - 6,14 = 19,32$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,25}{2,66} \times 100 - 6,14 = 20,73$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,22}{2,66} \times 100 - 6,14 = 21,71$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,23}{2,66} \times 100 - 6,14 = 21,59$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,24}{2,66} \times 100 - 6,14 = 21,23$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,21}{2,66} \times 100 - 6,14 = 22,10$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,21}{2,66} \times 100 - 6,14 = 22,02$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,21}{2,66} \times 100 - 6,14 = 22,17$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,21}{2,66} \times 100 - 6,14 = 22,10$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2,22}{2,66} \times 100 - 6,14 = 21,96$$

H. VFB

Rumus :

$$\text{VFB} = \frac{R - K}{R} \times 100$$

Dimana :

R : Rongga Dalam Agregat (VMA)

K : Rongga Dalam Campuran (VIM)

Perendaman Normal (HDPE 0%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} : \frac{16,53 - 4,57}{16,53} \times 100 = 72,36$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} : \frac{15,39 - 3,26}{15,39} \times 100 = 78,79$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} : \frac{16,66 - 4,72}{16,66} \times 100 = 71,67$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} : \frac{17,42 - 5,59}{17,42} \times 100 = 67,93$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} : \frac{17,08 - 5,20}{17,08} \times 100 = 69,57$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \quad \frac{16,93}{:} \quad \frac{-}{16,93} \quad \frac{5,03}{} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 70,31$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} \quad \frac{18,66}{:} \quad \frac{-}{18,66} \quad \frac{7,00}{} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 62,48$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \quad \frac{17,30}{:} \quad \frac{-}{17,30} \quad \frac{5,45}{} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 68,49$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \quad \frac{18,09}{:} \quad \frac{-}{18,09} \quad \frac{6,35}{} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 64,88$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 5%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} \quad \frac{17,83}{:} \quad \frac{-}{17,83} \quad \frac{6,05}{} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 66,05$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \quad \frac{18,23}{:} \quad \frac{-}{18,23} \quad \frac{6,52}{} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 64,25$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \quad \frac{18,49}{:} \quad \frac{-}{18,49} \quad \frac{6,81}{} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 63,18$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} \quad \frac{19,30}{19,30} \quad - \quad \frac{7,73}{19,30} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 59,93$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \quad \frac{20,09}{20,09} \quad - \quad \frac{8,64}{20,09} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 56,99$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \quad \frac{19,01}{19,01} \quad - \quad \frac{7,41}{19,01} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 61,03$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} \quad \frac{20,27}{20,27} \quad - \quad \frac{8,84}{20,27} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 56,37$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \quad \frac{18,89}{18,89} \quad - \quad \frac{7,27}{18,89} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 61,52$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \quad \frac{19,73}{19,73} \quad - \quad \frac{8,22}{19,73} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 58,31$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 10%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} \quad \frac{22,03}{22,03} \quad - \quad \frac{10,85}{22,03} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 50,73$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \quad \frac{21,32}{21,32} \quad - \quad \frac{10,05}{21,32} \quad \times \quad 100 \quad = \quad 52,87$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \quad \frac{19,32}{19,32} - \frac{7,77}{19,32} \times 100 = 59,82$$

Perendaman 6 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} \quad \frac{20,73}{20,73} - \frac{9,38}{20,73} \times 100 = 54,78$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \quad \frac{21,71}{21,71} - \frac{10,50}{21,71} \times 100 = 51,66$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \quad \frac{21,59}{21,59} - \frac{10,36}{21,59} \times 100 = 52,03$$

Perendaman 12 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} \quad \frac{21,23}{21,23} - \frac{9,95}{21,23} \times 100 = 53,15$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \quad \frac{22,10}{22,10} - \frac{10,93}{22,10} \times 100 = 50,52$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \quad \frac{22,02}{22,02} - \frac{10,85}{22,02} \times 100 = 50,74$$

Perendaman 18 Hari (HDPE 15%)

Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} = \frac{22,17 - 11,02}{22,17} \times 100 = 50,29$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} = \frac{22,10 - 10,93}{22,10} \times 100 = 50,52$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} = \frac{21,96 - 10,78}{21,96} \times 100 = 50,91$$

K. Kadar aspal efektif

Rumus :

$$\text{kadar Aspal Efektif} = \frac{B - \frac{Q}{100} \times 100}{B}$$

Dimana :

B : Kadar aspal
Q : Absorsi Aspal

$$6,14 - \frac{0,93}{100} \times 100 = 5,27$$

I. Absorpsi Aspal terhadap berat total campuran

Rumus :

$$A + \frac{T (100 - A)}{B} - \frac{100 \times T}{D}$$

Dimana :

A : Kadar Aspal
B : BJ Bulk Gab
D : BJ Max Campuran GMM
T : Specific Gravity of Bitument

$$6,14 + \frac{1,033 (100 - 6,14)}{2,66} - \frac{100 \times 1,033}{2,48} = 0,93$$

Untuk perhitungan lainnya dapat dilihat pada lampiran

Tabel 4.10. Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Menggunakan Limbah HDPE 5% Dengan Perendaman Berulang

NO	PEMERIKSAAN	Penambahan HDPE 5%				Spesifikasi 2018
		Normal	Kadar Aspal 6,14%			
			Perendaman			
			6 HARI	12 HARI	18 HARI	
1	Kepadatan	2,38	2,35	2,33	2,32	-
2	Stabilitas (Kg)	1430,40	1226,15	1073,09	1039,73	Min 500
3	FLOW (mm)	3,27	3,73	4,53	5,23	3 - 5
4	VMA (%)	16,19	17,14	18,02	18,18	Min 16
5	VIM (%)	4,18	5,27	6,27	6,46	4 - 10
6	VFB (%)	74,27	69,27	65,29	64,49	Min 60
7	MQ (Kg/mm)	437,95	329,31	237,35	198,59	Min 250

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

Tabel 4.11. Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Menggunakan Limbah HDPE 10% Dengan Perendaman Berulang

NO	PEMERIKSAAN	Penambahan HDPE 10%				Spesifikasi 2018
		Normal	Kadar Aspal 6,14%			
			Perendaman			
			6 HARI	12 HARI	18 HARI	
1	Kepadatan	2,38	2,29	2,28	2,25	-
2	Stabilitas (Kg)	1430,40	1079,84	1008,51	1004,40	Min 500
3	FLOW (mm)	3,27	3,90	4,70	5,77	3 - 5
4	VMA (%)	16,19	19,47	19,63	20,89	Min 16
5	VIM (%)	4,18	7,93	8,11	9,56	4 - 10
6	VFB (%)	74,27	59,32	58,73	54,47	Min 60
7	MQ (Kg/mm)	437,95	278,74	215,04	177,76	Min 250

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

Tabel 4.12. Hasil Uji Karakteristik Campuran CPHMA Menggunakan Limbah HDPE 15% Dengan Perendaman Berulang

NO	PEMERIKSAAN	Penambahan HDPE 15%				Spesifikasi 2018
		Normal	Kadar Aspal 6,14%			
			Perendaman			
			6 HARI	12 HARI	18 HARI	
1	Kepadatan	2,38	2,23	2,22	2,21	-
2	Stabilitas (Kg)	1430,40	965,17	932,18	916,85	Min 500
3	FLOW (mm)	3,27	3,97	4,80	6,00	3 - 5
4	VMA (%)	16,19	21,35	21,78	22,08	Min 16
5	VIM (%)	4,18	10,08	10,58	10,91	4 - 10
6	VFB (%)	74,27	52,82	51,47	50,57	Min 60
7	MQ (Kg/mm)	437,95	244,10	194,37	163,06	Min 250

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

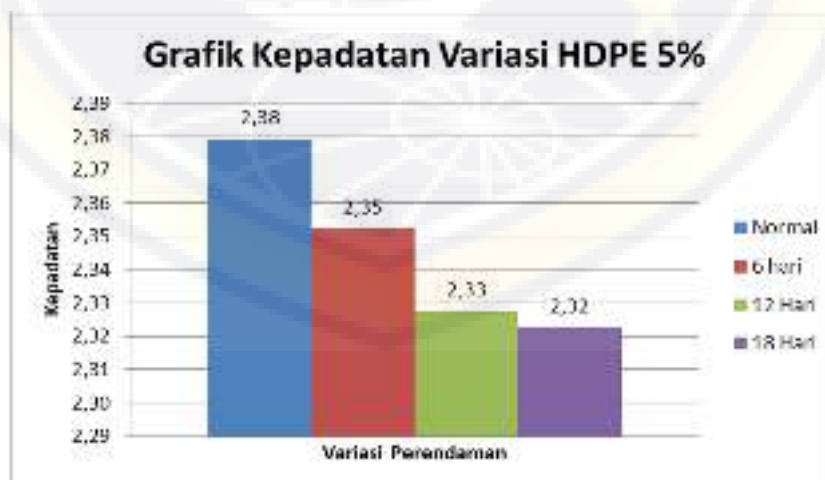
4.3.1. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah HDPE 5% Pada Campuran Beraspal Panas Asbuton Dihampar Dingin (CPHMA).

Hasil pengujian campuran benda uji pada alat pengujian marshall akan diperoleh hasil-hasil parameter marshall sebagai berikut:

a. Kepadatan

Nilai *density* (kepadatan) menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* tinggi dalam batas tertentu akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan dengan campuran yang mempunyai *density* yang rendah.

Nilai *density* suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas dan komposisi bahan susun serta cara pemadatan, suatu campuran akan memiliki *density* yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam dan porositas butiran rendah. Nilai kepadatan campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) dengan penambahan HDPE 5%, dapat dilihat pada gambar 4.1 :

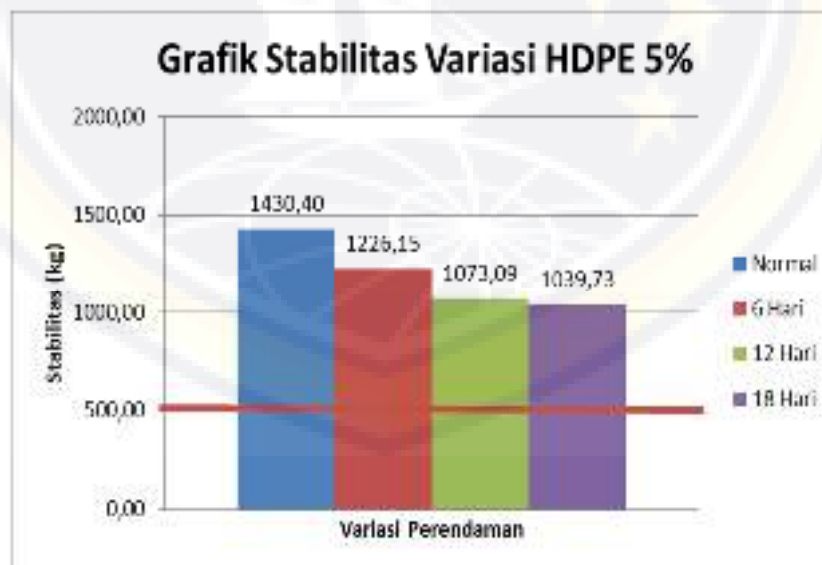


Gambar 4.1 Diagram hubungan variasi limbah HPDE 5% dengan perendaman berulang terhadap kepadatan.

Dari gambar 4.1 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai kepadatan menurun. Hal ini disebabkan karena semakin lama campuran terendam maka daya lekat aspal terhadap agregat semakin menurun.

b. Stabilitas Minimum 500 (Kg)

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) tetap, dinyatakan dalam satuan beban lalu lintas, perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas besar, akan tetapi stabilitas yang terlalu rendah akan mengakibatkan perkerasan akan mudah mengalami alur (*rutting*) oleh beban lalu lintas. Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi limbah HDPE diperlihatkan pada gambar 4.2.



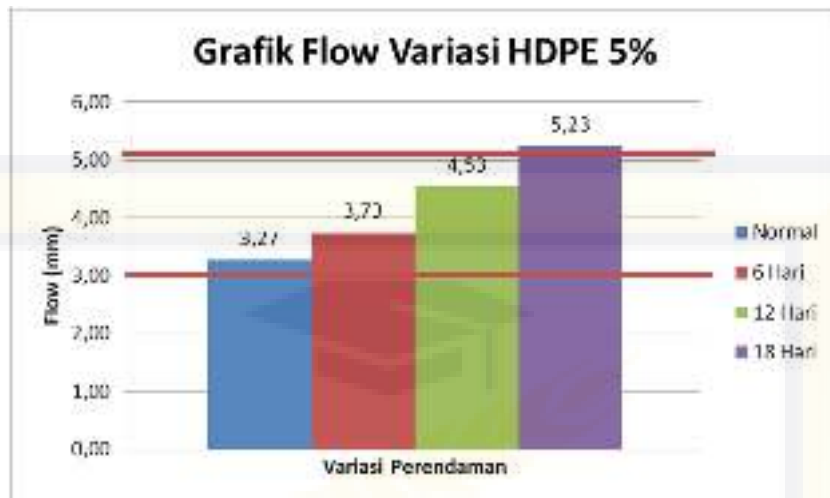
Gambar 4.2 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan perendaman berulang terhadap stabilitas.

Dari gambar 4.2. diatas menunjukkan bahwa stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang Nilai stabilitas mengalami penurunan. Ketika campuran aspal direndam dalam air dalam waktu yang lama, air akan berusaha untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Dengan demikian ternyata semakin lama campuran terendam dalam air, maka adhesi campuran akan berkurang dan peluang terjadinya kehilangan durabilitas atau keawetan campuran juga semakin besar.

c. Pelelehan (*Flow*) Minimum 3 - 5 (mm).

Nilai *Flow* menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan akibat beban lalu lintas. Suatu campuran dengan nilai *Flow* tinggi akan cenderung lembek sehingga akan menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban. Sebaliknya jika nilai *Flow* rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang mengalami daya dukungnya.

Grafik nilai *Flow* campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk variasi limbah HDPE dapat dilihat pada gambar 4.3



Gambar 4.3 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% terhadap flow

Dari gambar 4.3. menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE yang direndam secara berulang menyebabkan mengalami peningkatan nilai *Flow*. Semakin lama perendaman, air akan berusaha mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun baik agregat maupun aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalam dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Hal ini mengurangi daya rekat aspal. Sehingga semakin lama perendaman maka daya rekat aspal semakin berkurang.

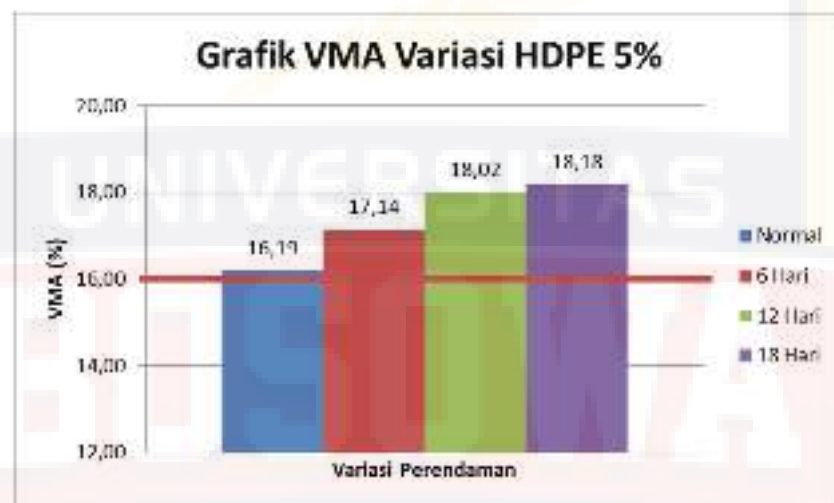
d. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 16%

Void In Mineral Aggregates (VMA) menunjukkan prosentase rongga antar butir agregat, termasuk didalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga yang terisi aspal efektif.

Faktor-faktor yang mempengaruhi VMA antara lain adalah jumlah tumbukan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA berpengaruh pada sifat, kedekatan dan keawetan campuran terhadap air dan udara bebas

serta kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai VMA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi

Grafik nilai VMA campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk berbagai variasi limbah HDPE dapat dilihat pada gambar 4.4.



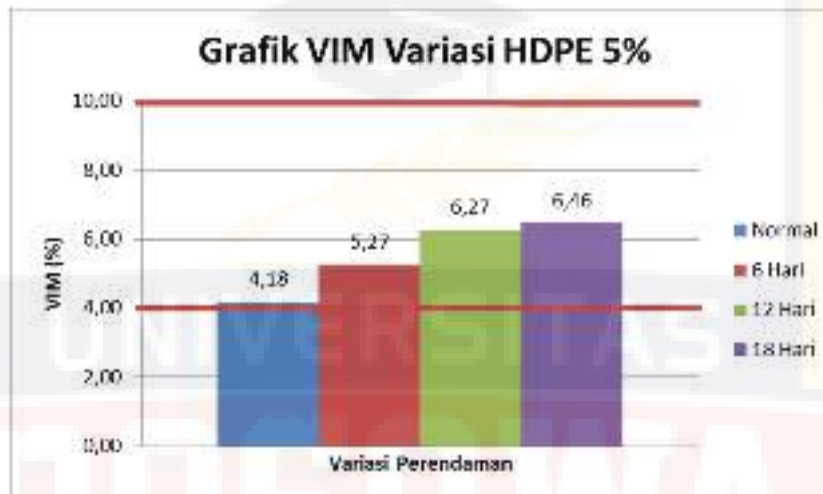
Gambar 4.4 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan variasi perendaman berulang terhadap VMA

Dari gambar 4.4 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai VMA berubah. Hal ini disebabkan karena semakin lama campuran terendam maka kondisinya akan semakin jenuh.

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 4% – 10%

VIM (*void in mixture*) merupakan presentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. VIM atau rongga dalam campuran adalah parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai VIM,

maka akan bersifat kedap air. Namun nilai *VIM* yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan. Grafik nilai *VIM* campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk berbagai variasi limbah HDPE 5%



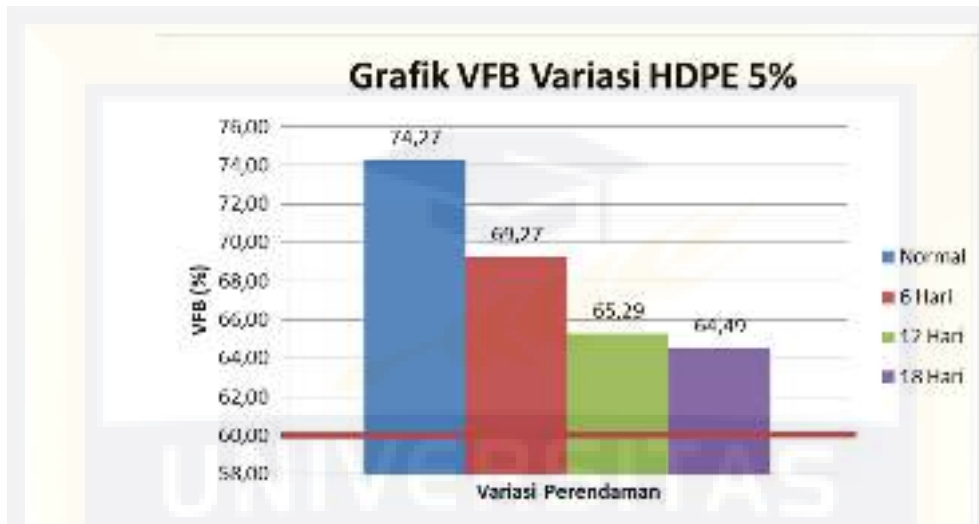
Gambar 4.4 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan variasi perendaman berulang terhadap *VIM*

Dari gambar 4.5 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE dalam campuran yang direndam secara berulang mengalami peningkatan pada nilai *VIM*. Semakin naiknya nilai *VIM* pada campuran aspal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam dalam air semakin lama air akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran. Rongga yang meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

f. Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 60 (%)

Nilai VFB menyatakan prosentase rongga yang dapat terisi aspal. Besarnya nilai VFB menentukan tingkat keawetan campuran. Nilai VFB

yang besar menunjukkan jumlah aspal yang mengisi rongga besar sehingga kekedapan campuran akan meningkat

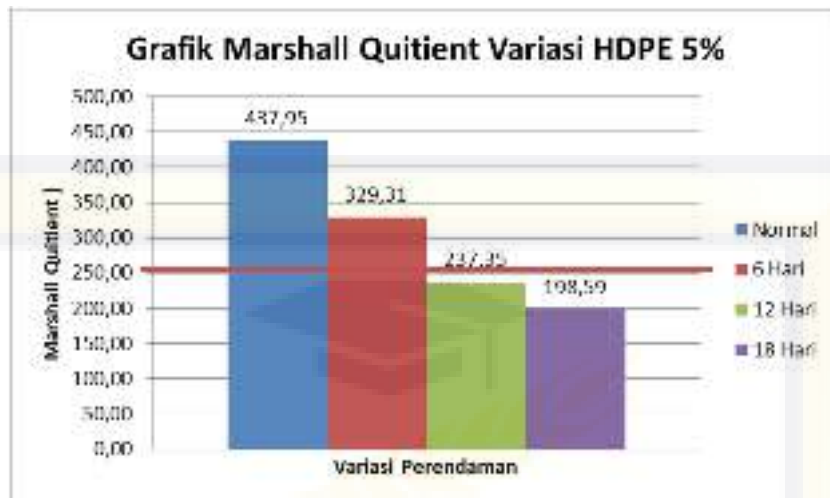


Gambar 4.5 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan variasi perendaman berulang terhadap VFB

Dari gambar 4.6. menunjukkan bahwa penambahan limbah HDPE ke dalam campuran yang direndam secara berulang akan mengalami penurunan nilai *VFB*. Hal ini di sebabkan karena volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal yang semakin menurun akibat lamanya perendaman.

g. *Marshall Questient*

Hasil bagi Marshall atau Marshall Questient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelahan yang juga merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan terhadap keretakan. Nilai MQ dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 5% dengan variasi perendaman berulang terhadap nilai MQ

Dilihat dari gambar diatas bahwa penambahan limbah HDPE dari kadar aspal yang direndam secara berulang mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun.

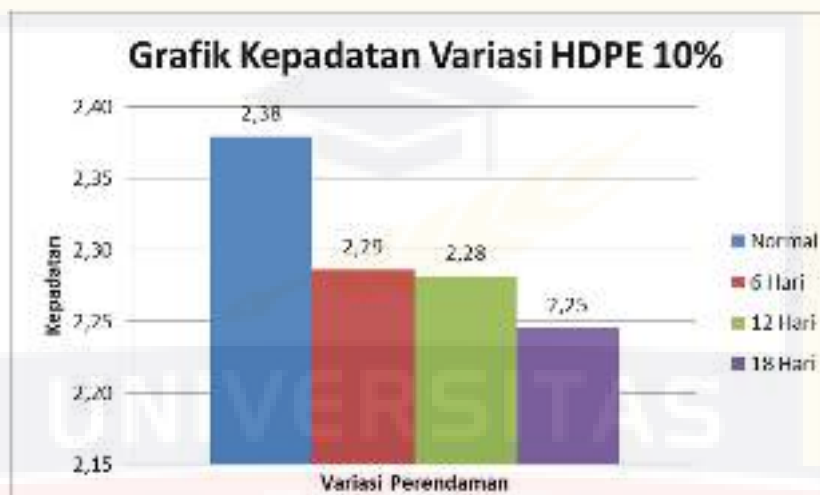
4.3.2. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah HDPE 10% Pada Campuran Beraspal Panas Asbuton Dihampar Dingin (CPHMA).

Hasil pengujian campuran benda uji pada alat pengujian marshall akan diperoleh hasil-hasil parameter marshall sebagai berikut:

a. Kepadatan

Nilai *density* (kepadatan) menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* tinggi dalam batas tertentu akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan dengan campuran yang mempunyai *density* yang rendah. Nilai *density* suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas dan komposisi bahan susun serta cara pemadatan, suatu campuran akan memiliki *density* yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam

dan porositas butiran rendah . Nilai kepadatan campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) dengan penambahan HDPE 10%, dapat dilihat pada gambar 4.8 :



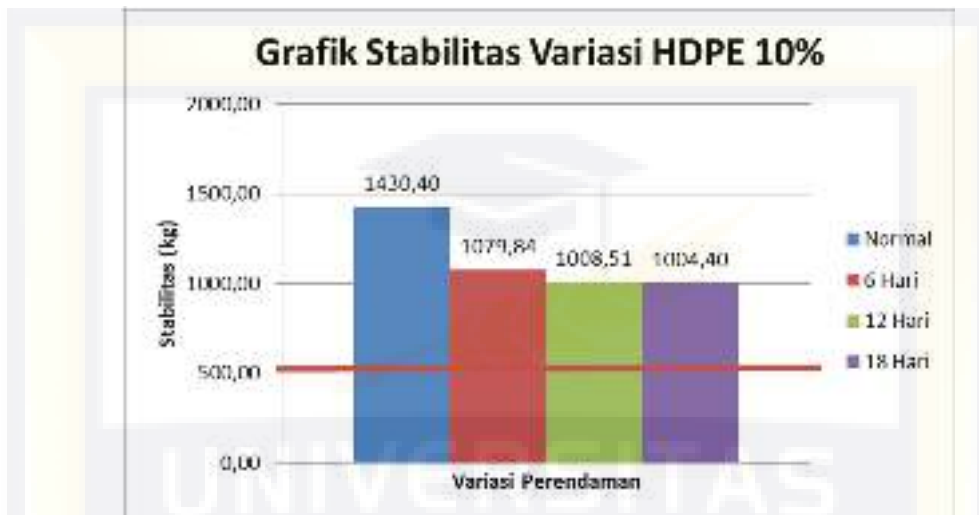
Gambar 4.6 Diagram hubungan variasi limbah HPDE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap kepadatan.

Dari gambar 4.8 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai kepadatan menurun. Hal ini disebabkan karena semakin lama campuran terendam maka daya lekat aspal terhadap agregat semakin menurun.

b. Stabilitas Minimum 500 (Kg)

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) tetap, dinyatakan dalam satuan beban lalu lintas, perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas besar, akan tetapi stabilitas yang terlalu rendah akan mengakibatkan perkerasan akan mudah mengalami alur (*rutting*) oleh beban lalu lintas. Hasil pengujian

stabilitas dengan berbagai variasi limbah HDPE diperlihatkan pada gambar 4.9



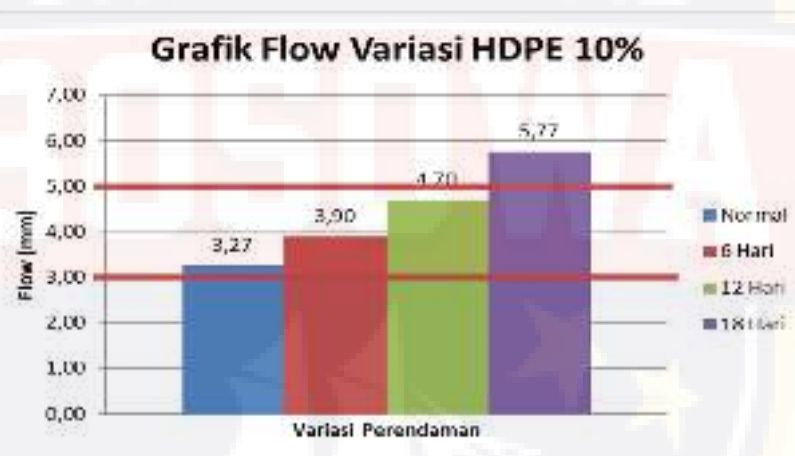
Gambar 4.7 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap stabilitas.

Dari gambar 4.9. diatas menunjukkan bahwa stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang Nilai stabilitas mengalami penurunan. Ketika campuran aspal direndam dalam air dalam waktu yang lama, air akan berusaha untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Dengan demikian ternyata semakin lama campuran terendam dalam air, maka adhesi campuran akan berkurang dan peluang terjadinya kehilangan durabilitas atau keawetan campuran juga semakin besar.

c. Pelelehan (*Flow*) Minimum 3 - 5 (mm).

Nilai *Flow* menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan akibat beban lalu lintas. Suatu campuran dengan nilai *Flow* tinggi akan cenderung lembek sehingga akan menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban. Sebaliknya jika nilai *Flow* rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang mengalami daya dukungnya.

Grafik nilai *Flow* campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk variasi limbah HDPE dapat dilihat pada gambar 4.10



Gambar 4.8 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman terhadap flow

Dari gambar 4.10. menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE yang direndam secara berulang menyebabkan mengalami peningkatan nilai *Flow*. Semakin lama perendaman, air akan berusaha mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun baik agregat maupun aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalam dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Hal ini mengurangi

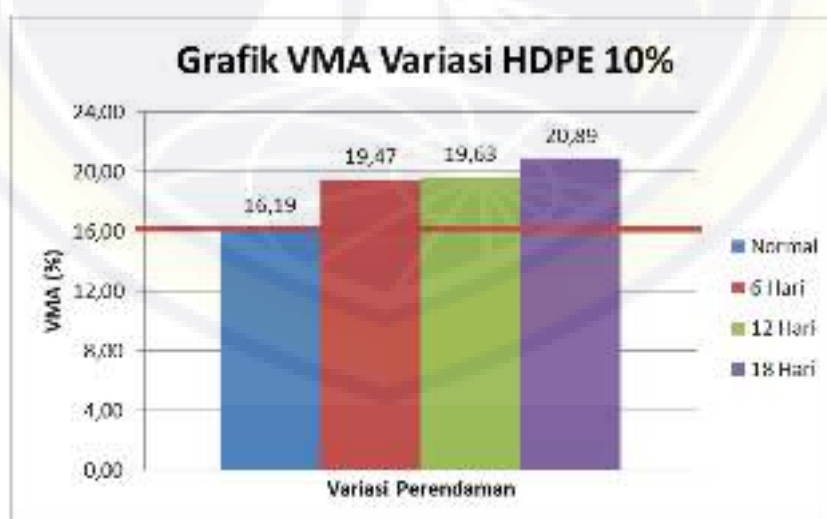
daya rekat aspal. Sehingga semakin lama perendaman maka daya rekat aspal semakin berkurang.

d. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 16%

Void In Mineral Aggregates (VMA) menunjukkan prosentase rongga antar butir agregat, termasuk didalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga yang terisi aspal efektif.

Faktor-faktor yang mempengaruhi VMA antara lain adalah jumlah tumbukan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA berpengaruh pada sifat, kekedapan dan keawetan campuran terhadap air dan udara bebas serta kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai VMA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi

Grafik nilai VMA campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk berbagai variasi limbah HDPE dapat dilihat pada gambar 4.11.

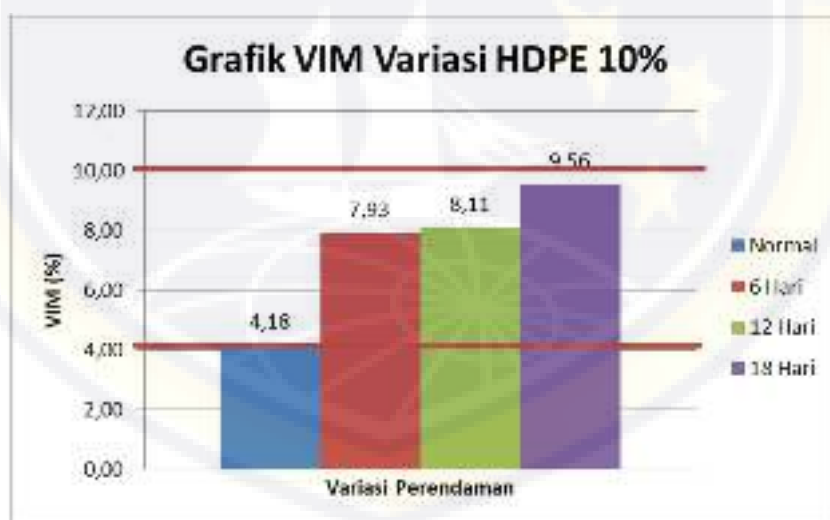


Gambar 4.11 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap VMA

Dari gambar 4.11 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai VMA berubah. Hal ini di sebabkan karena semakin lama campuran terendam maka kondisinya akan semakin jenuh.

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 4% – 10%

VIM (void in mixture) merupakan presentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. VIM atau rongga dalam campuran adalah parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai *VIM*, maka akan bersifat kedap air. Namun nilai *VIM* yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan. Grafik nilai *VIM* campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk berbagai variasi limbah HDPE 10%



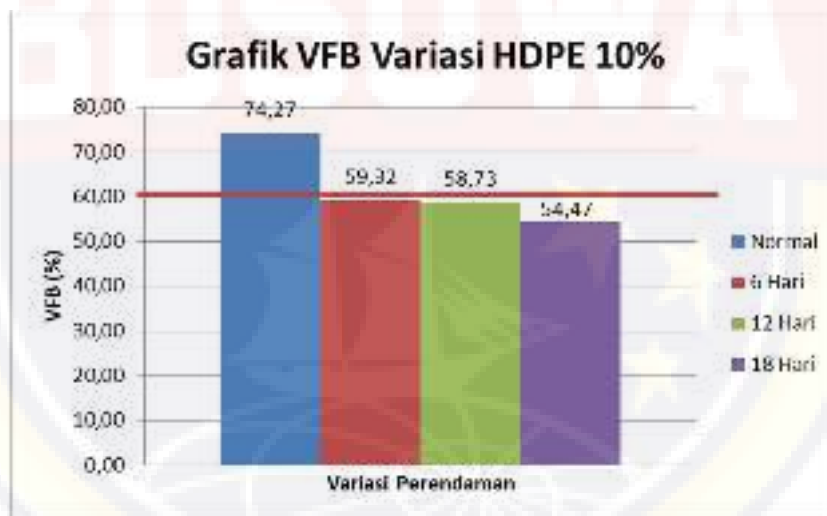
Gambar 4.9 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap VIM

Dari gambar 4.12 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE dalam campuran yang direndam secara berulang mengalami

peningkatan pada nilai *VIM*. Semakin naiknya nilai *VIM* pada campuran aspal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam dalam air semakin lama air akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran. Rongga yang meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

f. Rongga Terisi Aspal (*VFB*) Minimum 60 (%)

Nilai *VFB* menyatakan prosentase rongga yang dapat terisi aspal. Besarnya nilai *VFB* menentukan tingkat keawetan campuran. Nilai *VFB* yang besar menunjukkan jumlah aspal yang mengisi rongga besar sehingga kedekatan campuran akan meningkat.



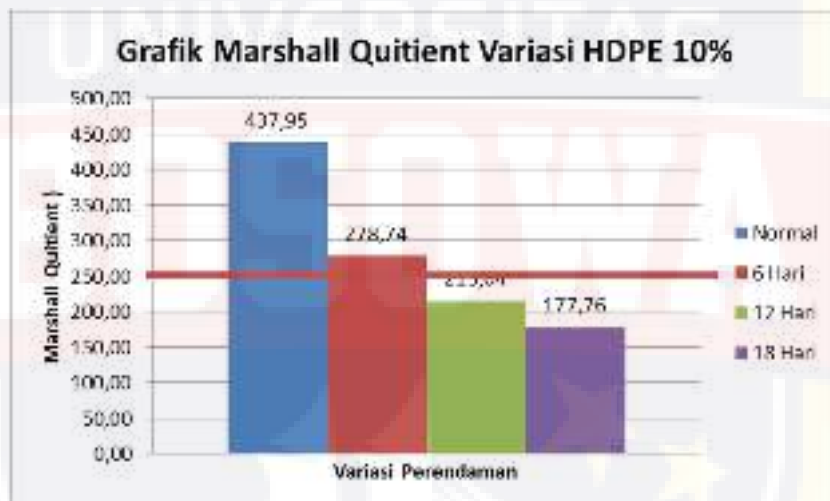
Gambar 4.10 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap *VFB*

Dari gambar 4.13. menunjukkan bahwa penambahan limbah HDPE ke dalam campuran yang direndam secara berulang akan mengalami penurunan nilai *VFB*. Hal ini disebabkan karena volume pori beton aspal

yang terisi oleh aspal yang semakin menurun akibat lamanya perendaman.

g. *Marshall Questient*

Hasil bagi Marshall atau Marshall Questient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelahan yang juga merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan terhadap keretakan. Nilai MQ dapat dilihat pada gambar 4.14.



Gambar 4.14 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 10% dengan variasi perendaman berulang terhadap nilai MQ

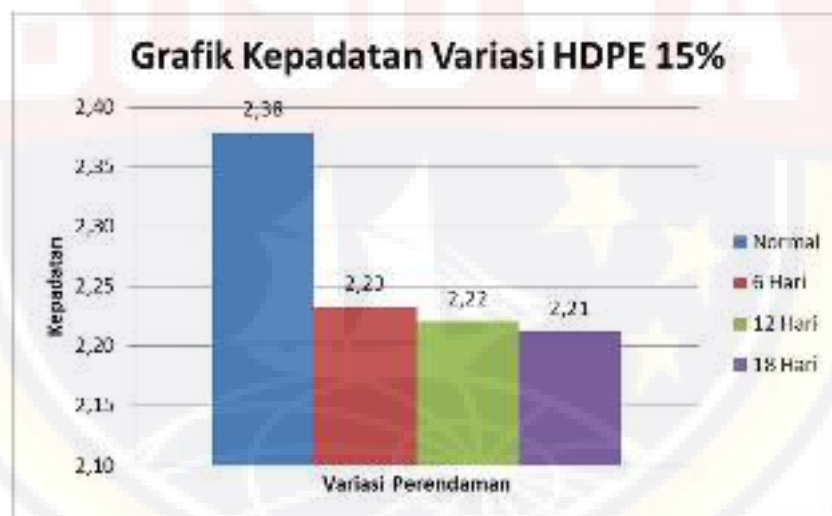
Dilihat dari gambar diatas bahwa penambahan limbah HDPE dari kadar aspal yang direndam secara berulang mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun.

4.3.3. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah HDPE 15% Pada Campuran Beraspal Panas Asbuton Dihampar Dingin (CPHMA).

Hasil pengujian campuran benda uji pada alat pengujian marshall akan diperoleh hasil-hasil parameter marshall sebagai berikut:

a. Kepadatan

Nilai *density* (kepadatan) menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* tinggi dalam batas tertentu akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan dengan campuran yang mempunyai *density* yang rendah. Nilai *density* suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas dan komposisi bahan susun serta cara pemadatan, suatu campuran akan memiliki *density* yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam dan porositas butiran rendah. Nilai kepadatan campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) dengan penambahan HDPE 15%, dapat dilihat pada gambar 4.15 :



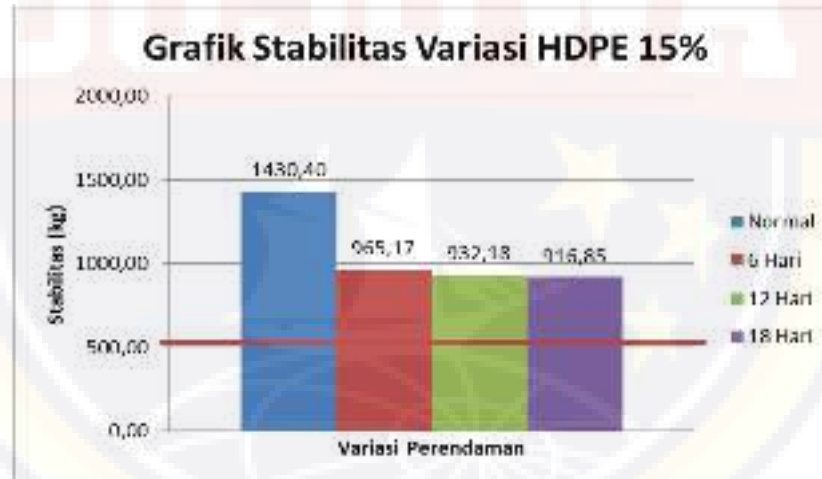
Gambar 4.11 Diagram hubungan variasi limbah HPDE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap kepadatan.

Dari gambar 4.15 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai kepadatan menurun. Hal ini di sebabkan karena semakin lama

campuran terendam maka daya lekat aspal terhadap agregat semakin menurun.

b. Stabilitas Minimum 500 (Kg)

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) tetap, dinyatakan dalam satuan beban lalu lintas, perkerasan yang memiliki nilai stabilitas yang tinggi akan mampu menahan beban lalu lintas besar, akan tetapi stabilitas yang terlalu rendah akan mengakibatkan perkerasan akan mudah mengalami alur (*rutting*) oleh beban lalu lintas. Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi limbah HDPE diperlihatkan pada gambar 4.16.



Gambar 4.12 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap stabilitas.

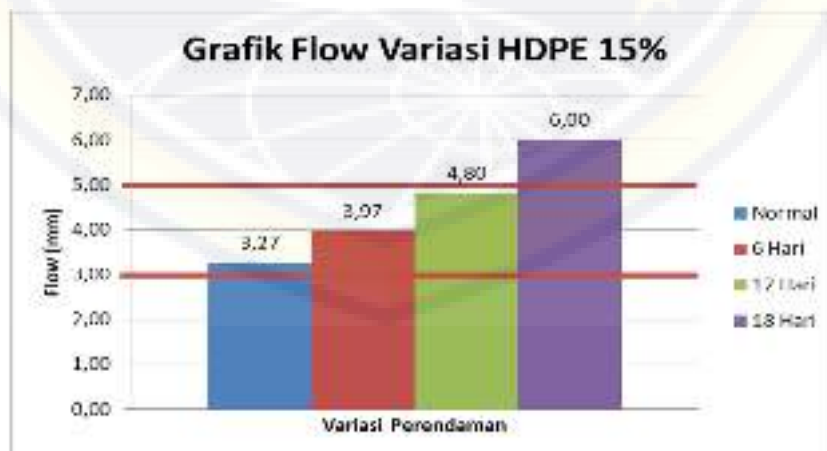
Dari gambar 4.16. diatas menunjukkan bahwa stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang Nilai stabilitas mengalami penurunan. Ketika campuran aspal direndam dalam air dalam waktu yang lama, air akan berusaha untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran

dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Dengan demikian ternyata semakin lama campuran terendam dalam air, maka adhesi campuran akan berkurang dan peluang terjadinya kehilangan durabilitas atau keawetan campuran juga semakin besar.

c. Pelelehan (*Flow*) Minimum 3 - 5 (mm).

Nilai *Flow* menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan akibat beban lalu lintas. Suatu campuran dengan nilai *Flow* tinggi akan cenderung lembek sehingga akan menyebabkan deformasi permanen apabila menerima beban. Sebaliknya jika nilai *Flow* rendah maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika menerima beban yang mengalami daya dukungnya.

Grafik nilai *Flow* campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk variasi limbah HDPE dapat dilihat pada gambar 4.17



Gambar 4.13 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman terhadap flow

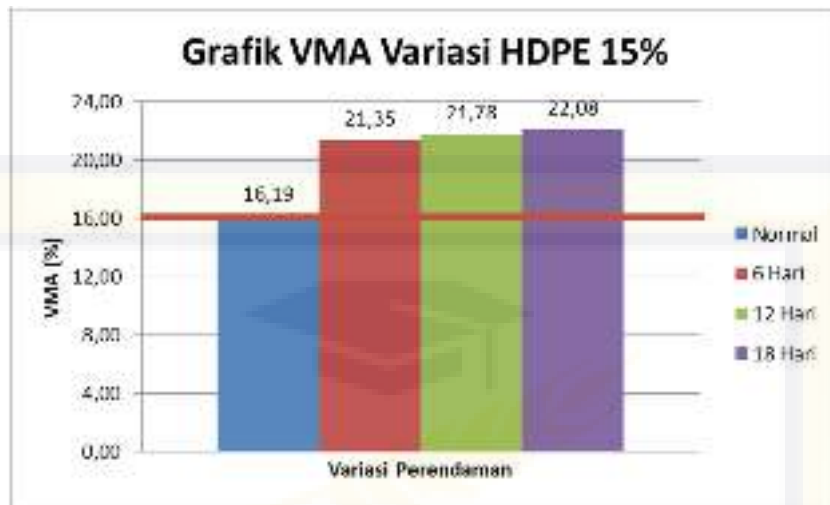
Dari gambar 4.17. menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE yang direndam secara berulang menyebabkan mengalami peningkatan nilai *Flow*. Semakin lama perendaman, air akan berusaha mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun baik agregat maupun aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalam dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Hal ini mengurangi daya rekat aspal. Sehingga semakin lama perendaman maka daya rekat aspal semakin berkurang.

d. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 16%

Void In Mineral Aggregates (VMA) menunjukkan prosentase rongga antar butir agregat, termasuk didalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga yang terisi aspal efektif.

Faktor-faktor yang mempengaruhi VMA antara lain adalah jumlah tumbukan, gradasi agregat dan kadar aspal. Nilai VMA berpengaruh pada sifat, kedekatan dan keawetan campuran terhadap air dan udara bebas serta kekakuan campuran. Semakin tinggi nilai VMA berarti semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi

Grafik nilai VMA campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk berbagai variasi limbah HDPE dapat dilihat pada gambar 4.18.

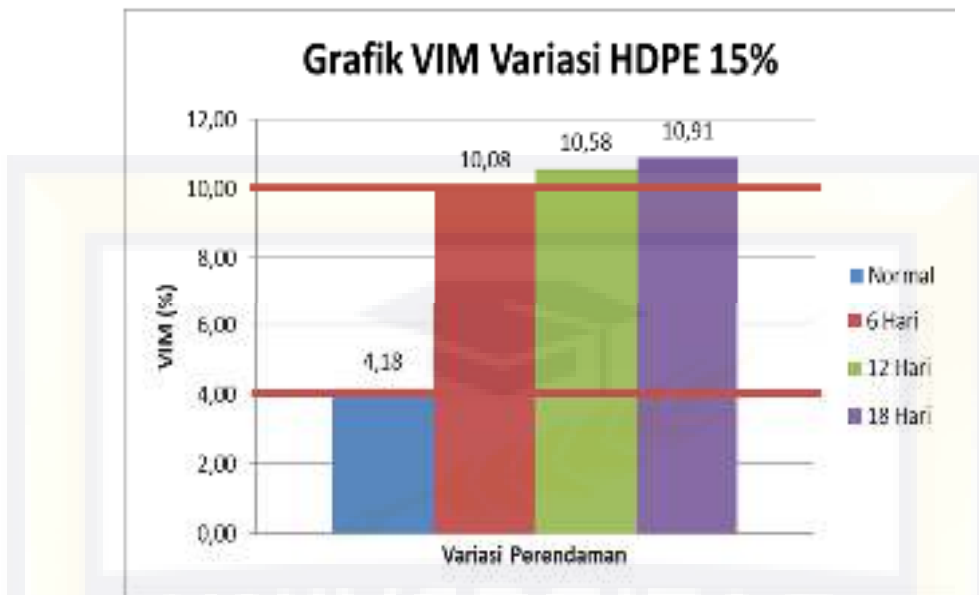


Gambar 4.18 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap VMA

Dari gambar 4.18 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai VMA berubah. Hal ini disebabkan karena semakin lama campuran terendam maka kondisinya akan semakin jenuh.

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 4% – 10%

VIM (*void in mixture*) merupakan presentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. VIM atau rongga dalam campuran adalah parameter yang biasanya berkaitan dengan durabilitas dan kekuatan dari campuran. Semakin kecil nilai VIM, maka akan bersifat kedap air. Namun nilai VIM yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan. Grafik nilai VIM campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA) untuk berbagai variasi limbah HDPE 15%

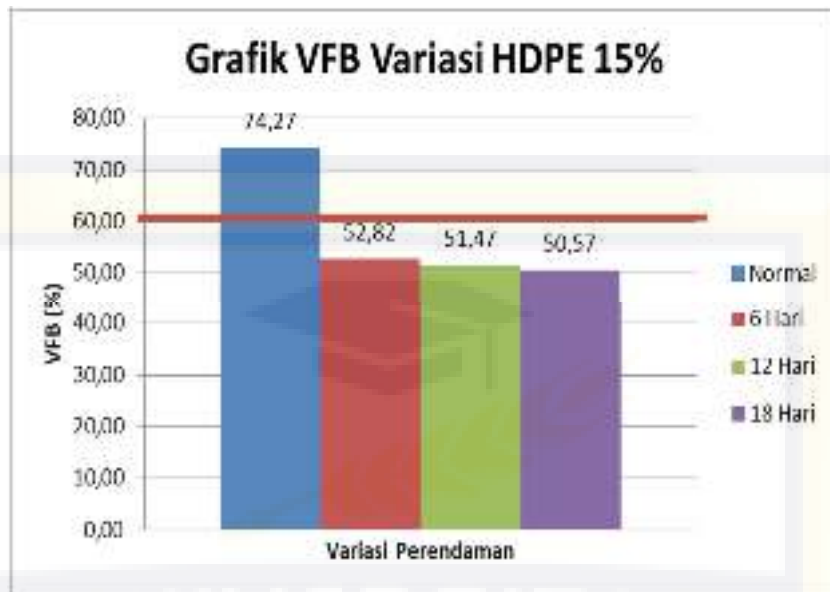


Gambar 4.14 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap VIM

Dari gambar 4.19 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah HDPE dalam campuran yang direndam secara berulang mengalami peningkatan pada nilai *VIM*. Semakin naiknya nilai *VIM* pada campuran aspal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam dalam air semakin lama air akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran. Rongga yang meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

f. Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 60 (%)

Nilai VFB menyatakan prosentase rongga yang dapat terisi aspal. Besarnya nilai VFB menentukan tingkat keawetan campuran. Nilai VFB yang besar menunjukkan jumlah aspal yang mengisi rongga besar sehingga kedekatan campuran akan meningkat.

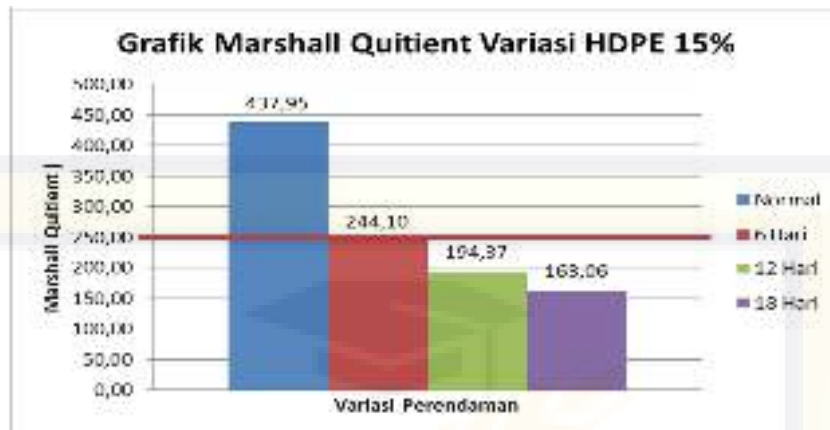


Gambar 4.15 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap VFB

Dari gambar 4.20. menunjukkan bahwa penambahan limbah HDPE ke dalam campuran yang direndam secara berulang akan mengalami penurunan nilai *VFB*. Hal ini disebabkan karena volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal yang semakin menurun akibat lamanya perendaman.

g. *Marshall Quesient*

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quesient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelahan yang juga merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan terhadap keretakan. Nilai MQ dapat dilihat pada gambar 4.21.



Gambar 4.21 Diagram hubungan variasi limbah HDPE 15% dengan variasi perendaman berulang terhadap nilai MQ

Dilihat dari gambar diatas bahwa penambahan limbah HDPE dari kadar aspal yang direndam secara berulang mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun.

4.3.4. Analisis Hasil Penurunan Dan Peningkatan Pengujian Limbah HDPE Dengan Perendaman Berulang Pada Campuran Beraspal Panas Asbuton Dihampar Dingin (CPHMA).

Hasil pengujian campuran benda uji pada alat pengujian marshall akan diperoleh hasil-hasil parameter marshall sebagai berikut:

a. Kepadatan

Tabel 4.13. Analis penurunan nilai kepadatan

HDPE (%)	PERENDAMAN (hari)	KEPADATAN	PENURUNAN
0	0	2,38	0%
	6	2,35	1%
	12	2,33	2%
	18	2,32	2%
10	6	2,29	4%
	12	2,28	4%
	18	2,25	6%
15	6	2,23	6%
	12	2,22	7%
	18	2,21	7%

b. Stabilitas Minimum 500 (Kg)

Tabel 4.14. Analisis penurunan nilai stabilitas

HDPE (%)	PERENDAMAN (hari)	STABILITAS (kg)	PENURUNAN
0	0	1430,40	0%
5	6	1226,15	14%
	12	1073,09	25%
	18	1039,73	27%
10	6	1079,84	25%
	12	1008,51	29%
	18	1004,40	30%
15	6	965,17	33%
	12	932,18	35%
	18	916,85	36%

c. Pelelehan (Flow) Minimum 3 - 5 (mm).

Tabel 4.15. Analisis peningkatan nilai flow

HDPE (%)	PERENDAMAN (hari)	FLOW (mm)	PENINGKATAN
0	0	3,27	0%
5	6	3,73	14%
	12	4,53	39%
	18	5,23	60%
10	6	3,90	19%
	12	4,70	44%
	18	5,77	77%
15	6	3,97	21%
	12	4,80	47%
	18	6,00	84%

d. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 16%

Tabel 4.16. Analisis peningkatan nilai VMA

HDPE (%)	PERENDAMAN (hari)	VMA (%)	PENINGKATAN
0	0	16,19	0%
5	6	17,14	6%
	12	18,02	11%
	18	18,18	12%
10	6	19,47	20%
	12	19,63	21%

HDPE (%)	PERENDAMAN (hari)	VMA (%)	PENINGKATAN
	18	20,89	29%
	6	21,35	32%
15	12	21,78	35%
	18	22,08	36%

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 4% – 10%

Tabel 4.17. Analisis peningkatan nilai VIM

HDPE (%)	PERENDAMAN (hari)	VIM (%)	PENINGKATAN
0	0	4,18	0%
5	6	5,27	26%
	12	6,27	50%
	18	6,46	54%
10	6	7,93	89%
	12	8,11	94%
	18	9,56	128%
15	6	10,08	141%
	12	10,58	153%
	18	10,91	161%

f. Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 60 (%)

Tabel 4.18. Analisis penurunan nilai VFB

HDPE (%)	PERENDAMAN (hari)	VFB (%)	PENURUNAN
0	0	74,27	0%
5	6	69,27	7%
	12	65,29	12%
	18	64,49	13%
10	6	59,32	20%
	12	58,73	21%
	18	54,47	27%
15	6	52,82	29%
	12	51,47	31%
	18	50,57	32%

g. Marshall Quesient

Tabel 4.19. Analis penurunan nilai MQ

HDPE (%)	PERENDAMAN (hari)	MQ (kg/mm)	PENURUNAN
0	0	437,95	0%
5	6	329,31	25%
	12	237,35	46%
	18	198,59	55%
10	6	278,74	36%
	12	215,04	51%
	18	177,76	59%
15	6	244,10	44%
	12	194,37	56%
	18	163,06	63%

4.4. Hubungan Kadar Aspal Dengan Persentase Nilai IKS

Marshall sisa dilakukan setelah direndam selama 2 x 24 jam pada suhu 60° pada kondisi kadar aspal. Jumlah tumbukan pada kondisi standar yaitu 75 tumbukan per sisi. Selanjutnya dibuat benda uji rendaman 30 menit pada kondisi kadar aspal tersebut. Kemudian dilakukan uji marshall sisa. Nilai marshall sisa diperoleh dari hasil stabilitas rendaman 2 x 24 jam dibagi dengan hasil stabilitas rendaman 30 menit kemudian dikalikan 100%.

Hubungan antara kadar aspal 6,14% dengan persentase nilai indeks kekuatan sisa tabel 4.20.

Tabel 4.20 Hubungan Kadar Aspal 6,14% Dengan Persentase Nilai IKS Aspal

KA 6,14%	Waktu Perendaman Suhu 60°C		IKS %	Spek. %
	30 Menit	2 x 24 Jam		
	1430,40	1255,91	0,88	Min. 75

Sumber : Hasil penelitian Laboratorium

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat di ambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh limbah plastik high density polyethylene (HDPE) sebagai bahan tambah pada campuran aspal buton type CPHMA dengan perendaman berulang dapat menyebabkan nilai kepadatan, stabilitas, MQ, dan VFB menurun. Sedangkan nilai flow, VMA, dan VIM meningkat.
2. Besar volume limbah plastik high density polyethylene (HDPE) yang dapat memberikan nilai stabilitas maksimal yaitu pada kadar HDPE 5%. Aspal yang dimodifikasi dengan limbah plastik HDPE yang memenuhi Spesifikasi Umum Divisi VI Revisi 3, Bina Marga, 2010 yaitu sebesar <4%, sehingga penambahan kadar HDPE 10% dan 15% menunjukkan nilai stabilitas menurun.

5.2 Saran

Beberapa hal yang disarankan sehubungan dengan hasil-hasil penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar menggunakan penumbuk listrik, agar beban yang diterima pada benda uji tetap sama.

2. Dengan hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi pedoman dalam campuran beraspal panas Asbuton dihampar dingin (CPHMA)



DAFTAR PUSTAKA

- Akbariawan, dkk. (2015) melakukan penelitian tentang *penggunaan material Madura terhadap kinerja campuran CPHMA*.
- Alderson, A. 1995. *Gyropac and Matta Training Course*. Australian: Australian Road Research Board Ltd.
- Anita Rahmawati, dkk (2015), melakukan penelitian tentang *perbandingan pengaruh penambahan plastik high density polyetilene (HDPE) dalam LASTON-WC dan LATASTON-WC terhadap karakteristik marshall*
- Anonim, 2002. SNI-03-6894-2002, (*Metode pengujian kadar aspal dari briket dengan alat Extractor*).
- Balitbang. 2016. *Asbuton (Aspal Batu Buton)*.[http:// ASBUTON \(Aspal Buton\) _ Badan Litbang PUPR.html](http://ASBUTON (Aspal Buton) _ Badan Litbang PUPR.html).
- Ditjen Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Khusus Interim Seksi 6.3 Asbuton Campuran Panas Hampar Dingin CPHMA*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Ditjen Bina Marga. 2015. *Pedoman Pelaksanaan Asbuton Campuran Panas Hampar Dingin Cold Pavement Hot Mix Asbuton, CPHMA*. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Fristyan, F., Bagus, G., Djakfar, L., Bowoputro, H. 2015. *Pengaruh Suhu Pematatan Terhadap Kinerja Marshall pada campuran CPHMA menggunakan LGA dan Aspal Minyak Penetrasi 60/70*. Malang: Universitas Brawijaya Faklutas Teknik.
- Suroso, T. W. 2008. *Faktor - faktor Penyebab Kerusakan Dini Pada Perkerasan Jalan*.
- Syukur (2016), melakukan penelitian *studi laboratorium kuat tarik belah campuran asbuton campur panas hampar dingin*.
- Sumiati, dkk (2019), melakukan penelitian tentang *perkerasan aspal beton (AC-BC) limbah plastik HDPE yang tahan terhadap cuaca ekstrem*.
- Suprayitno, dkk (2019), melakukan penelitian tentang *studi penggunaan variasi campuran material plastik jenis high density polyethylene (HDPE) pada campuran beraspal untuk lapis aus AC-WC (asphalt concrete wearing course)*.
- Thanaya, I N. A., Purbanto, I G. R., Nugraha, I N.S., 2015 *Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC - WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 Dengan Penambahan Lateks*. Laporan Akhir Penelitian Hibah Unggulan Program Studi. Badung: Universitas Udayana.



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

PEMERIKSAAN KADAR ASPAL DENGAN CARA EKSTRAKSI
(SNI-03-6894-2002)

PERHITUNGAN	SAT.		NOTASI	I	II	III
Berat sampel sebelum di ekstraksi	gr	(A)		500,00	500,00	500,00
Berat kertas filter	gr	(B)		15,30	15,30	15,00
Berat kertas filter setelah ekstraksi	gr	(C)		17,50	17,80	17,20
Berat masa dari kertas filter	gr	(D)	C - B	2,20	2,50	2,20
Berat sampel setelah di ekstraksi	gr	(E)		467,00	467,30	466,70
Kadar aspal	%	(H)	$\frac{(A-(D+E))}{A} \times 100\%$	6,16	6,04	6,22
Rata-rata Kadar Aspal	%	(H)		6,14		

UNIVERSITAS
BOSOWA

Makassar, 2021

Dosen Pembimbing I

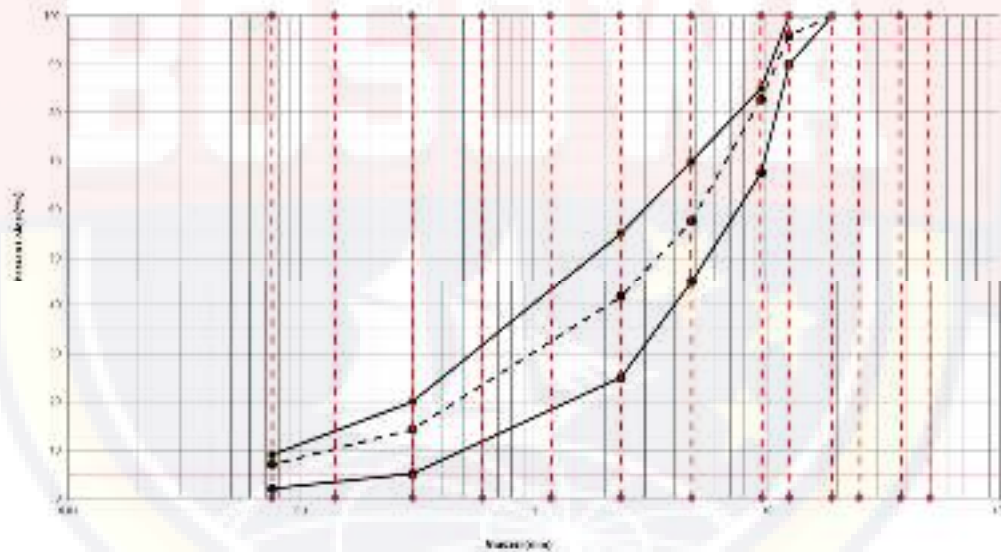
Ir. H. Abdul Rahim Nurdin, MT
NIDN : 0021125802



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

ANALISA GRADASI AGREGAT

Total :	467,00			Total :	467,30			Total :	466,70			Rata-Rata % Lolos	Spesifikasi CPHMA Binamarga 2018
No. Saringan	Contoh : Kumulatif Tertahan	1 % Tertahan	% Lolos	Contoh : kumulatif Tertahan	2 % Tertahan	% Lolos	Contoh : Kumulatif Tertahan	3 % Tertahan	% Lolos				
3/4"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00	100,00		
1/2"	20,80	4,45	95,55	17,80	3,81	96,19	18,40	3,94	96,06	95,93	90 - 100		
3/8"	83,30	17,84	82,16	78,30	16,76	83,24	79,60	17,06	82,94	82,78	-		
No.4	206,90	44,30	55,70	198,90	42,56	57,44	187,50	40,18	59,82	57,65	45 - 70		
No.8	277,70	59,46	40,54	271,30	58,06	41,94	266,40	57,08	42,92	41,80	25 - 55		
No.16	305,90	65,50	34,50	310,00	66,34	33,66	305,30	65,42	34,58	34,25	-		
No.30	337,50	72,27	27,73	331,50	70,94	29,06	336,90	72,19	27,81	28,20	-		
No.50	400,30	85,72	14,28	398,70	85,32	14,68	401,90	86,12	13,88	14,28	5 - 20		
No.100	417,40	89,38	10,62	420,00	89,88	10,12	422,00	90,42	9,58	10,11	-		
No.200	438,40	93,88	6,12	432,40	92,53	7,47	431,90	92,54	7,46	7,02	2 - 9		



Makassar, 2021

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Abdul Rahim Nurdin, MT
 NIDN : 0021125802



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

BERAT JENIS AGREGAT HALUS

URAIAN	A	B	C	Rata - rata
Berat benda uji kering - permukaan jenuh B_j	231,50	233,50	244,40	236,47
Berat benda uji kering oven B_k	226,40	227,90	239,20	231,17
Berat Piknometer diisi air (25°C) B	296,60	296,60	296,60	296,60
Berat piknometer + benda uji (SSD) B_t	434,00	438,20	460,20	444,13
	A	B	C	Rata - rata
Berat jenis (Bulk) $\frac{B_k}{(B + B_j - B_t)}$	2,41	2,48	2,96	2,62
Berat jenis kering - permukaan jenuh $\frac{B_j}{(B + B_j - B_t)}$	2,46	2,54	3,02	2,68
Berat jenis semu (Apparent) $\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2,54	2,64	3,16	2,78
Penyerapan (Absorption) $\frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \%$	2,25	2,46	2,17	2,29

Makassar,

2021

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Abdul Rahim Nurdin, MT
 NIDN : 0021125802



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

BERAT JENIS AGREGAT KASAR

URAIAN		A	B	C	Rata-Rata
Berat Benda Uji Kering Oven	B_k	203,40	196,10	184,30	194,60
Berat Benda Uji Kering - Permukaan Jenuh	B_j	206,90	198,90	187,50	197,77
Berat Benda Uji dalam Air	B_a	131,40	128,90	116,70	125,67

URAIAN		A	B	C	Rata-Rata
Berat Jenis (Bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,69	2,80	2,60	2,70
Berat Jenis Kering - Permukaan Jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,74	2,84	2,65	2,74
Berat Jenis Semu (Apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,83	2,92	2,73	2,82
Penyerapan (Absorption)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1,72	1,43	1,74	1,63

Makassar,

2021

Dosen Pembimbing I

Ir. H. Abdul Rahim Nurdin, MT
NIDN : 0021125802



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

Tabel Angka Koreksi Benda Uji

Volume Benda Uji cm ³	Tebal Benda Uji		Angka Koreksi
	mm	inch	
200 - 213	25,4	1,000	5,56
214 - 225	27,0	1,063	5,00
226 - 237	28,6	1,126	4,55
238 - 250	30,2	1,189	4,17
251 - 264	31,8	1,252	3,85
265 - 276	33,3	1,311	3,57
277 - 289	34,9	1,374	3,33
290 - 301	36,5	1,437	3,03
302 - 316	38,1	1,500	2,78
317 - 328	39,7	1,563	2,50
329 - 340	41,3	1,626	2,27
341 - 353	42,9	1,689	2,08
354 - 367	44,4	1,748	1,92
368 - 379	46,0	1,811	1,79
380 - 392	47,6	1,874	1,67
393 - 405	49,2	1,937	1,56
406 - 420	50,8	2,000	1,47
421 - 431	52,4	2,063	1,39
432 - 443	54,0	2,126	1,32
444 - 456	55,6	2,189	1,25
457 - 470	57,2	2,252	1,19
471 - 482	58,7	2,311	1,14
483 - 495	60,3	2,374	1,09
496 - 508	61,9	2,437	1,04
509 - 522	63,5	2,500	1,00
523 - 525	65,1	2,563	0,96
536 - 546	66,7	2,626	0,93
547 - 559	68,3	2,689	0,89
560 - 573	69,8	2,748	0,86
574 - 585	71,4	2,811	0,83
586 - 598	73,0	2,874	0,81
599 - 610	74,6	2,937	0,78
611 - 625	76,2	3,000	0,76

Sumber : Pedoman Praktikum jalan raya



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

SAMPEL	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
1CN	63,50	1,00
2CN	63,50	1,00
3CN	63,50	1,00
1CV5P6	64,00	0,99
2CV5P6	64,00	0,99
3CV5P6	64,00	0,99
1CV5P12	67,00	0,92
2CV5P12	65,00	0,96
3CV5P12	67,00	0,92
1CV5P18	64,00	0,99
2CV5P18	66,00	0,94
3CV5P18	65,00	0,96
1CV10P6	66,00	0,94
2CV10P6	66,00	0,94
3CV10P6	64,00	0,99
1CV10P12	65,00	0,96
2CV10P12	65,00	0,96
3CV10P12	67,00	0,92
1CV10P18	67,00	0,92
2CV10P18	64,00	0,99
3CV10P18	64,00	0,99
1CV15P6	65,00	0,96
2CV15P6	66,00	0,94
3CV15P6	66,00	0,94
1CV15P12	65,00	0,96
2CV15P12	65,00	0,96
3CV15P12	65,00	0,96
1CV15P18	66,00	0,94
2CV15P18	65,00	0,96
3CV15P18	65,00	0,96

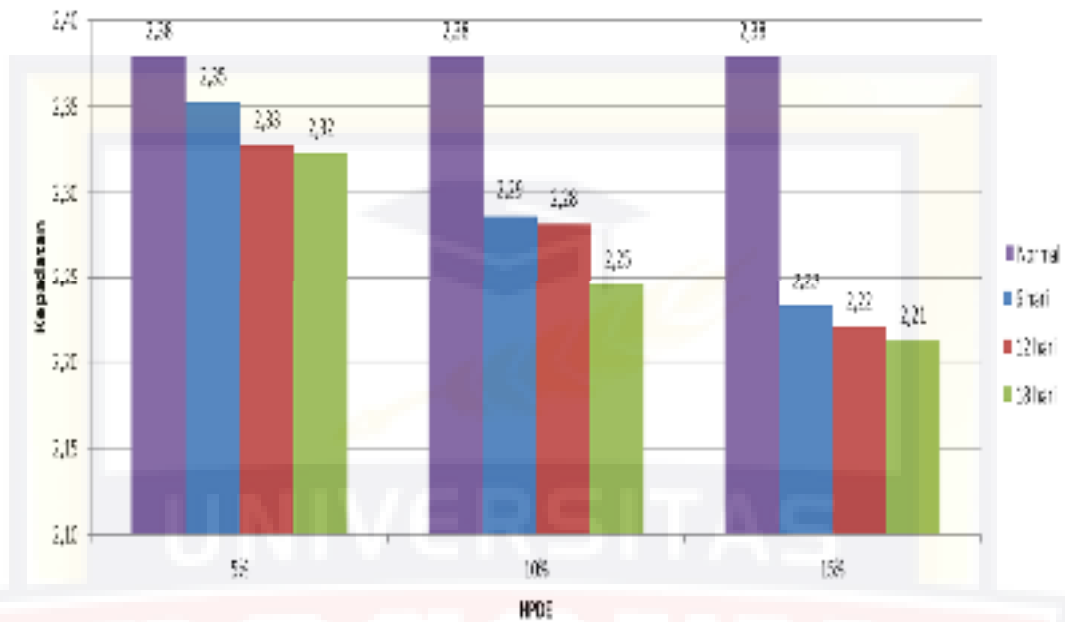
Sumber : Praktikum laboratorium jalan raya



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA

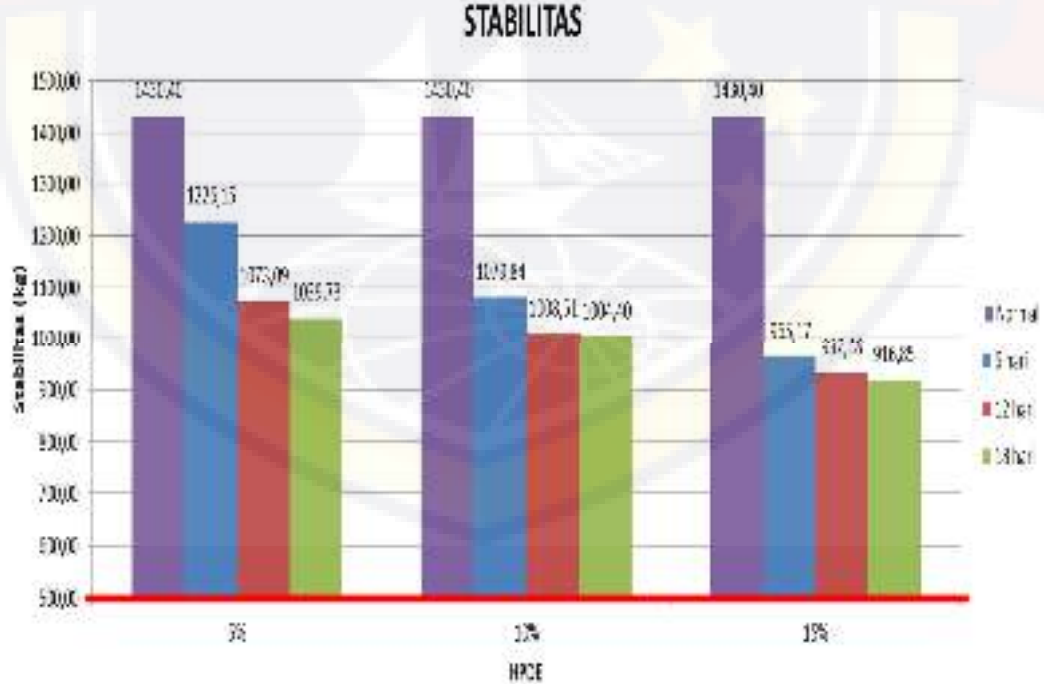
No.	PERENDAMAN	%			Bj Bulk Gabungan	Bj Efektif Gabungan	BJ Maksimum Campuran (GMM)	Berat (gram)			Volume Benda Uji	Bj Bulk Campuran (Kepadatan)	Rongga Dalam Campuran (VIM)	Stabilitas (kg)		(mm)	(kg/mm)	Angka Koreksi	Absorsi Aspal Terhadap Berat Total Campuran	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFB)
		HDPE	Kadar Aspal Efektif	Kadar Aspal				Udara	Air	SSD				Pembacaan	Rumus						
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S
IA	PERENDAMAN	0	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1190,00	707,80	1210,00	502,20	2,37	4,57	98,00	1460,20	3,40	429,47	1,00	0,93	16,53	72,36
IIB	0 HARI 30 MENIT	0	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1188,50	714,20	1209,00	494,80	2,40	3,26	91,00	1355,90	3,10	437,39	1,00	0,93	15,39	78,79
IIIC	SUHU 60°	0	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1191,90	710,20	1214,00	503,80	2,37	4,72	99,00	1475,10	3,30	447,00	1,00	0,93	16,66	71,67
							Rata-rata	1190,13	710,73	1211,00	500,27	2,38	4,18	96,00	1430,40	3,27	437,95	1,00	0,93	16,19	74,27
IA	PERENDAMAN	5	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1194,90	708,50	1218,20	509,70	2,34	5,59	90,00	1324,24	4,20	315,29	0,99	0,93	17,42	67,93
IIB	6 HARI 30 MENIT	5	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1190,90	713,60	1219,50	505,90	2,35	5,20	79,00	1162,39	3,50	332,11	0,99	0,93	17,08	69,57
IIIC	SUHU 60°	5	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1192,10	708,30	1213,80	505,50	2,36	5,03	81,00	1191,81	3,50	340,52	0,99	0,93	16,93	70,31
							Rata-rata	1192,63	710,13	1217,17	507,03	2,35	5,27	83,33	1226,15	3,73	329,31	0,99	0,93	17,14	69,27
IA	PERENDAMAN	5	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1194,80	705,00	1222,40	517,40	2,31	7,00	77,00	1058,38	4,80	220,50	0,92	0,93	18,66	62,48
IIB	12 HARI 30 MENIT	5	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1193,10	710,00	1218,20	508,20	2,35	5,45	74,00	1061,25	4,50	235,83	0,96	0,93	17,30	68,49
IIIC	SUHU 60°	5	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1195,90	712,00	1226,30	514,30	2,33	6,35	80,00	1099,62	4,30	255,73	0,92	0,93	18,09	64,88
							Rata-rata	1194,60	709,00	1222,30	513,30	2,33	6,27	77,00	1073,09	4,53	237,35	0,94	0,93	18,02	65,29
IA	PERENDAMAN	5	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1198,10	710,60	1224,20	513,60	2,33	6,05	75,00	1103,53	5,40	204,36	0,99	0,93	17,83	66,05
IIB	18 HARI 30 MENIT	5	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1198,90	705,30	1221,80	516,50	2,32	6,52	72,00	1011,78	5,20	194,57	0,94	0,93	18,23	64,25
IIIC	SUHU 60°	5	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1195,20	702,20	1218,70	516,50	2,31	6,81	70,00	1003,89	5,10	196,84	0,96	0,93	18,49	63,18
							Rata-rata	1197,40	706,03	1221,57	515,53	2,32	6,46	72,33	1039,73	5,23	198,59	0,96	0,93	18,18	64,49
IA	PERENDAMAN	10	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1202,10	717,90	1242,60	524,70	2,29	7,73	74,00	1039,89	3,60	288,86	0,94	0,93	19,30	59,93
IIB	6 HARI 30 MENIT	10	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1198,00	711,80	1239,90	528,10	2,27	8,64	78,00	1096,10	4,40	249,11	0,94	0,93	20,09	56,99
IIIC	SUHU 60°	10	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1199,20	712,50	1234,10	521,60	2,30	7,41	75,00	1103,53	3,70	298,25	0,99	0,93	19,01	61,03
							Rata-rata	1199,77	714,07	1238,87	524,80	2,29	7,93	75,67	1079,84	3,90	278,74	0,96	0,93	19,47	59,32
IA	PERENDAMAN	10	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1201,00	709,20	1239,80	530,60	2,26	8,84	70,00	1003,89	4,50	223,09	0,96	0,93	20,27	56,37
IIB	12 HARI 30 MENIT	10	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1200,30	714,30	1235,60	521,30	2,30	7,27	71,00	1018,23	4,60	221,35	0,96	0,93	18,89	61,52
IIIC	SUHU 60°	10	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1202,10	716,30	1243,80	527,50	2,28	8,22	73,00	1003,40	5,00	200,68	0,92	0,93	19,73	58,31
							Rata-rata	1201,13	713,27	1239,73	526,47	2,28	8,11	71,33	1008,51	4,70	215,04	0,95	0,93	19,63	58,73
IA	PERENDAMAN	10	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1205,29	702,50	1247,00	544,50	2,21	10,85	64,00	879,70	6,60	133,29	0,92	0,93	22,03	50,73
IIB	18 HARI 30 MENIT	10	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1206,09	712,60	1252,60	540,00	2,23	10,05	76,00	1118,25	5,80	192,80	0,99	0,93	21,32	52,87
IIIC	SUHU 60°	10	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1202,37	710,10	1235,10	525,00	2,29	7,77	69,00	1015,25	4,90	207,19	0,99	0,93	19,32	59,82
							Rata-rata	1204,58	708,40	1244,90	536,50	2,25	9,56	69,67	1004,40	5,77	177,76	0,97	0,93	20,89	54,47
IA	PERENDAMAN	15	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1198,70	705,20	1237,90	532,70	2,25	9,38	51,00	731,40	3,60	203,17	0,96	0,93	20,73	54,78
IIB	6 HARI 30 MENIT	15	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1197,00	705,70	1244,30	538,60	2,22	10,50	82,00	1152,31	4,80	240,06	0,94	0,93	21,71	51,66
IIIC	SUHU 60°	15	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1193,70	696,50	1232,80	536,30	2,23	10,36	72,00	1011,78	3,50	289,08	0,94	0,93	21,59	52,03
							Rata-rata	1196,47	702,47	1238,33	535,87	2,23	10,08	68,33	965,17	3,97	244,10	0,95	0,93	21,35	52,82
IA	PERENDAMAN	15	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1192,70	704,00	1237,40	533,40	2,24	9,95	69,00	989,55	4,90	201,95	0,96	0,93	21,23	53,15
IIB	12 HARI 30 MENIT	15	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1196,90	702,00	1243,20	541,20	2,21	10,93	62,00	889,16	4,50	197,59	0,96	0,93	22,10	50,52
IIIC	SUHU 60°	15	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1194,30	701,00	1240,50	539,50	2,21	10,85	64,00	917,84	5,00	183,57	0,96	0,93	22,02	50,74
							Rata-rata	1194,63	702,33	1240,37	538,03	2,22	10,58	65,00	932,18	4,80	194,37	0,96	0,93	21,78	51,47
IA	PERENDAMAN	15	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1203,00	708,70	1253,20	544,50	2,21	11,02	60,00	843,15	6,00	140,53	0,94	0,93	22,17	50,29
IIB	18 HARI 30 MENIT	15	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1198,00	712,40	1254,10	541,70	2,21	10,93	59,00	846,13	7,50	112,82	0,96	0,93	22,10	50,52
IIIC	SUHU 60°	15	5,27	6,14	2,66	2,73	2,48	1204,70	714,60	1258,40	543,80	2,22	10,78	74,00	1061,25	4,50	235,83	0,96	0,93	21,96	50,91
							Rata-rata	1201,90	711,90	1255,23	543,33	2,21	10,91	64,33	916,85	6,00	163,06	0,96	0,93	22,08	50,57

Kepadatan

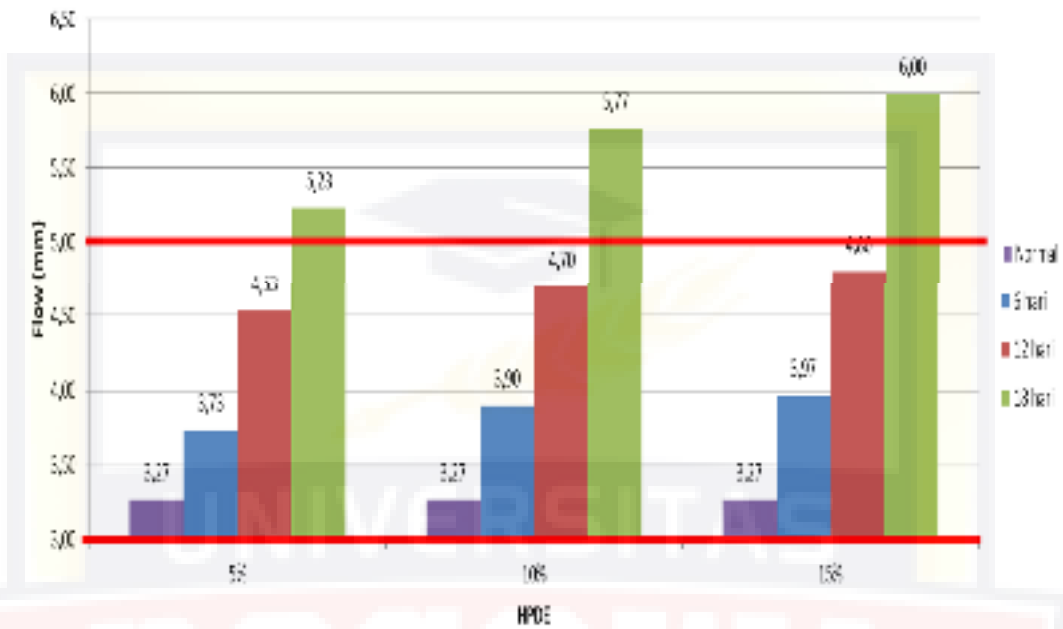


BOSOWA

STABILITAS

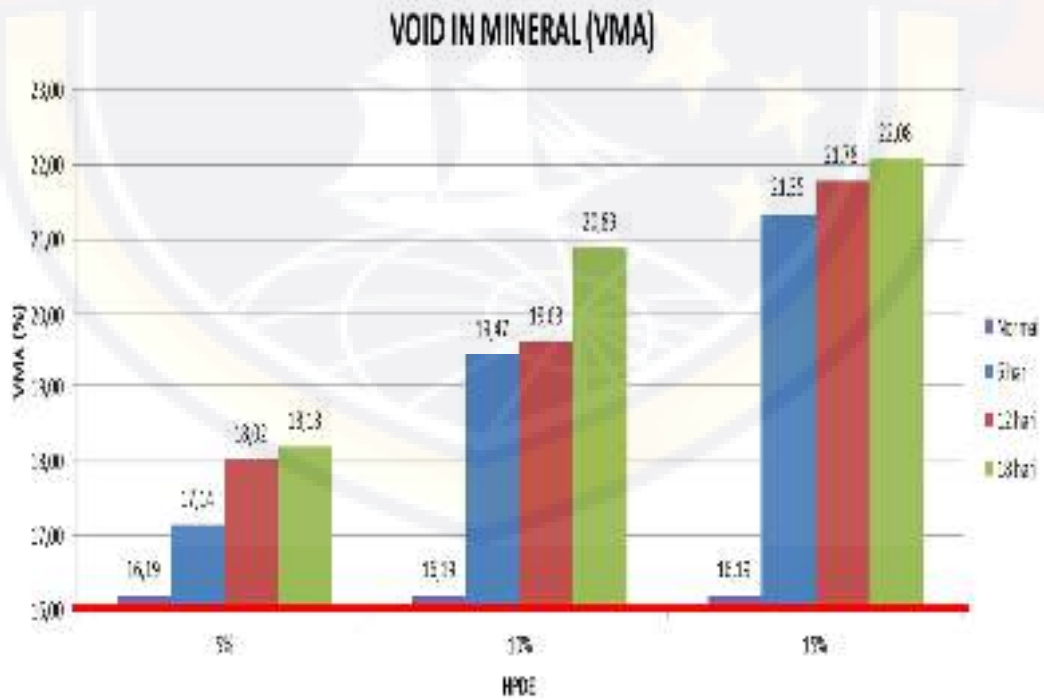


FLOW

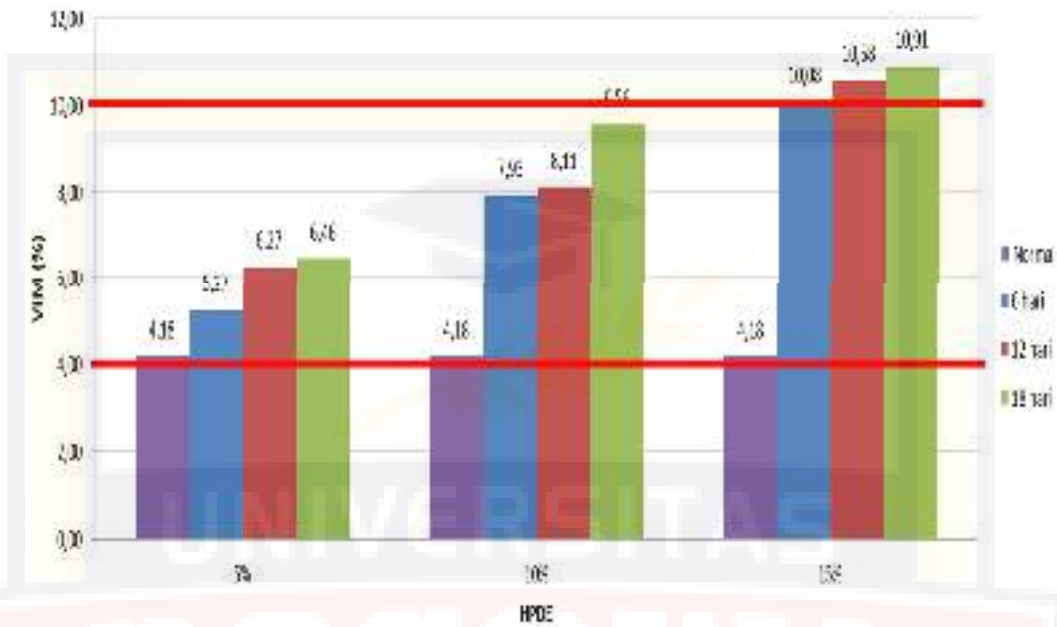


BOSOWA

VOID IN MINERAL (VMA)

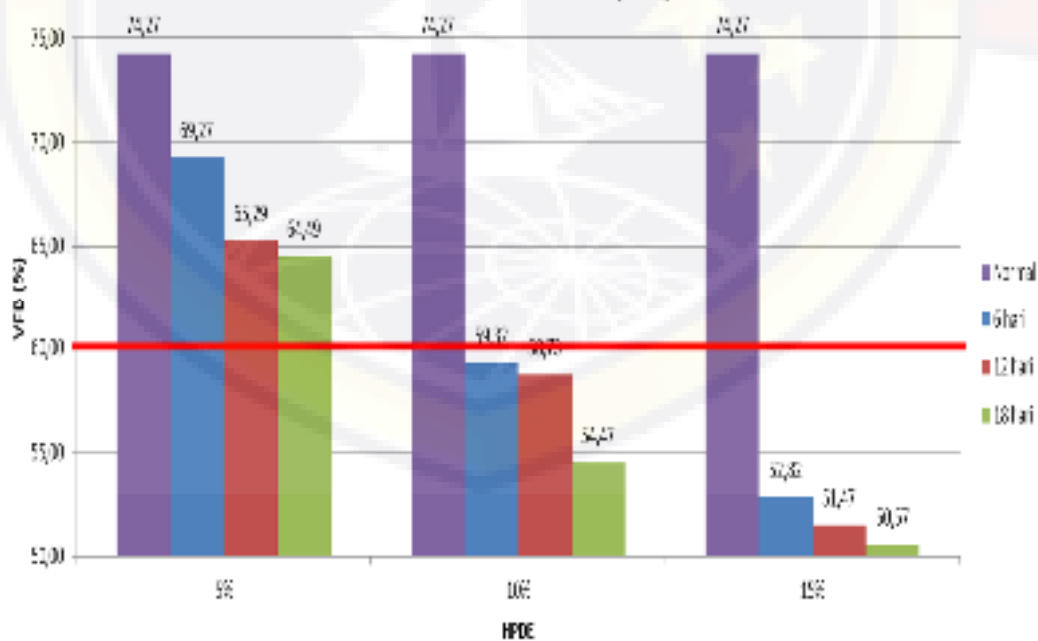


VOID IN MIXTURE (VIM)

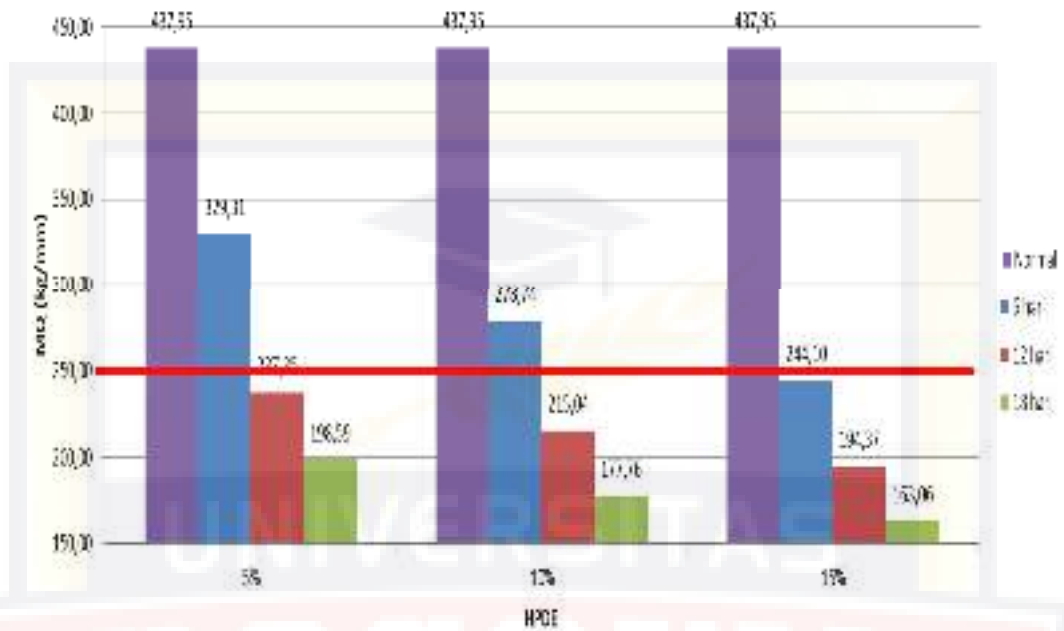


BOSOWA

VOID FILLED BITUMEN (VFB)



MARSHALL QUOTIENT (MQ)



BOSOWA





Pemeriksaan kadar aspal menggunakan mesin ekstraksi



Analisa saringan agregat kasar dan halus



Pemeriksaan berat jenis agregat kasar



Pemeriksaan berat jenis agregat halus



Proses pencampuran CPHMA dengan HDPE



Pembuatan benda uji dengan 75 kali tumbukan setiap sisi



Timbang untuk berat di udara



Perendaman sampel



Timbang dalam air



Timbang kering permukaan (ssd)



Perendaman di waterbath selama 30 menit dengan suhu 60°C



Pengujian marshall