

“TUGAS AKHIR”

“PENGUNAAN LIMBAH KACA SEBAGAI FILLER TERHADAP SIFAT DAN KARAKTERISTIK CAMPURAN PERKERASAN ASPAL PANAS DENGAN PERENDAMAN BERULANG”

Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Mencapai Gelar S- 1



Oleh

DASRIN UDIN

45 16 041 023

**JURUSAN SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA
MAKASSAR**

2021



LEMBAR PENGAJUAN UJIAN TUTUP
TUGAS AKHIR

Judul : “PENGUNAAN LIMBAH KACA SEBAGAI FILLER TERHADAP SIFAT
DAN KARAKTERISTIK CAMPURAN PERKERASAN ASPAL PANAS
DENGAN PERENDAMAN BERULANG“

Disusun dan diajukan oleh :

N a m a : **DASRIN UDIN**

No.Stambuk : **45 16 041 023**

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. Tamrin Mallawangeng, M.T.** (.....)

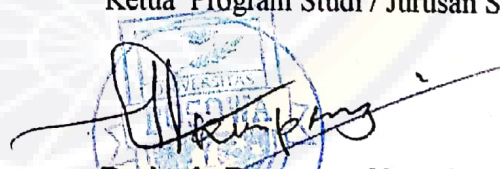
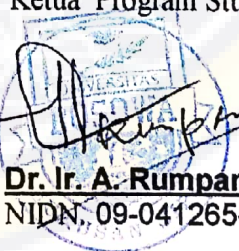
Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik




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

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil

Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT
NIDN. 09-041265-02



LEMBAR PENGESAHAN

Berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar No. A133/FT/UNIBOS/III/2021 Tanggal 24 Agustus 2021, Perihal Pengangkatan panitia dan tim penguji Tugas Akhir, maka pada :

Hari / Tanggal : Selasa / 24 Agustus 2021
N a m a : **Dasrin Udin**
No.Stambuk : **45 16 041 023**

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. Tamrin Mallawangeng, MT
Anggota : Prof. Dr. Ir. M, Natsir Abduh, M.Si
Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, ST., MT

Makassar, Juli 2021

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.00-040565-02

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : **Dasrin Udin**
Nomor Stambuk : **45 16 041 023**
Program Studi : **Teknik Sipil**
Judul Tugas Akhir : **“Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler Terhadap Sifat Dan Karakteristik Campuran Perkerasan Aspal Panas Dengan Perendaman Berulang”**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa:

1. Tugas akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa menyimpan, mengalih mediakan / mengalih formatkan, 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 dalam tugas akhir ini.

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

Makassar, 2021
Yang Menyatakan


Dasrin Udin

ABSTRAK

Lapis aspal beton (laston) adalah jenis perkerasan jalan raya yang terdiri dari campuran aspal dan agregat bergradasi menerus dengan ukuran butir terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir.

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kinerja limbah kaca sebagai pengganti filler terhadap karakteristik *marshall*, Tipe campuran yang digunakan adalah *Asphalt Concrete - Wearing Coarse (AC-WC)*. Kinerja tersebut diukur melalui pengujian Stabilitas, flow, *marshall* Quotient, rongga dalam campuran, rongga diantara mineral agregat, rongga terisi aspal, *marshall* immersion. Adapun variasi kadar aspal rencana yaitu : 5,8% sedangkan variasi filler limbah kaca yaitu 40%, 60%, 80% dan 100%. Setiap variasi di buat 3 sampel. Dengan variasi perendaman 7 hari, 14 hari, dan 21 hari. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall* Test. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca dengan proporsi 60% terhadap total berat filler meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran sehingga lebih mampu menerima pembebanan.

Kata Kunci: aspal panas, filler, limbah kaca,

ABSTRAK

Asphalt concrete layer is a type of road pavement consisting of a mixture of asphalt and aggregates graded continuously with grain sizes distributed evenly within a grain size range.

The purpose of this research is to determine the performance of glass waste as a substitute for filler on marshall characteristics. The type of mixture used is Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC). The performance is measured by testing Stability, flow, marshall Quotient, voids in the mixture, voids between mineral aggregates, voids filled with asphalt, marshall immersion. As for the variation of the design asphalt content, namely: 5.8% while the variation of the glass waste filler is 40%, 60%, 80%, and 100%. Each variation made 3 samples. With variations of immersion 7 days, 14 days, and 21 days. Then the Marshall Test was carried out. The results of the study showed that the use of glass waste with a proportion of 60% to the total weight of the filler increased the stability and strength of the mixture so that it was more able to accept loading.

Keywords: hot mix, filler, waste of glass

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan berkat, kasih karunia yang berlimpah sehingga Penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul **“Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler Terhadap Sifat Dan Karakteristik Campuran Perkerasan Aspal Panas Dengan Perendaman Berulang”**. Tugas akhir ini disusun berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang dilakukan di Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan Universitas Bosowa. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa.

Dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan – bantuan pihak lain dalam memberi bantuan dan bimbingan, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dan penyusunan Tugas akhir. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada :

1. Allah SWT tempat meminta dan memohon pertolongan.
2. Orang tua, kaka dan adik saya yang telah memberikan dukungan moral dan materi yang tidak terhitung jumlahnya, sehingga Tugas akhir ini dapat rampung seperti saat ini.
3. Bapak Ir. H. Abd. Rahim Nurdin, MT Selaku Ketua kelompok dosen Bidang Kajian transportasi dan juga Sebagai Dosen Pembimbing I saya, yang sudah banyak meluangkan waktunya untuk membimbing

dan mengarahkan saya sehingga terselesainya penyusunan Tugas akhir ini.

4. Bapak Ir. Tamrin Mallawangeng, MT. Selaku Dosen Pembimbing II saya, yang telah bersedia meluangkan waktu untuk membimbing dan mengarahkan saya sehingga terselesainya penyusunan Tugas akhir ini.
5. Bapak Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT. Selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Bosowa.
6. Ibu Marlina Alwi, ST yang telah membimbing dan mengarahkan saya selama melakukan penelitian di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bosowa.
7. Seluruh jajaran Dosen dan Staf Teknik Sipil Universitas Bosowa
8. Teman – Teman Seangkatan Teknik Sipil Universitas Bosowa 2016 yang telah banyak bertukar pikiran, cerita, saran, dan semangat kepada saya selama hampir 5 Tahun, Semogah kalian juga cepat menyusul.
9. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu yang telah membantu dan memberikan dukungan selama penyusunan Tugas akhir ini.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa pada penulisan tugas akhir ini masih banyak terdapat kekurangan dan kesalahan, oleh sebab itu penulis mohon maaf dan mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun dari semua pihak.

Semoga penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun rekan-rekan mahasiswa lainnya dimasa yang akan datang dan semoga segala bantuan dari semua pihak dapat bernilai ibadah disisi Tuhan Yang Maha Esa, Amin.

Makassar, 30 Agustus 2021

Dasrin Udin

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	i
LEMBAR PENGAJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR NOTASI	xxiv
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. LATAR BELAKANG.....	I-1
1.2. Rumusan Masalah.....	I-4
1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian	I-4
1.3.1.tujuan penelitian	I-4
1.3.2.manfaat penelitian	I-4
1.4. Pokok Bahasan dan Batasan Masalah Penelitian	I-5
1.4.1. Pokok Bahasan Penelitian	I-5
1.4.2.Batasan Masalah Penelitian	I-5
1.5. Sistematika Penulisan.....	I-6

1.5.1. Bab I Pendahuluan	I-6
1.5.2. Bab II Tujuan Pustaka	I-6
1.5.3. Bab III Metode Penelitian	I-6
1.5.4. Bab IV Hasil Dan Pembahasan	I-6
1.5.5. Bab V Kesimpulan dan Saran	I-6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Jalan.....	II-1
2.2. Struktur jalan	II-2
2.2.1. Lapis permukaan (<i>Surface course</i>).....	II-2
2.2.2. Lapis pondasi atas (<i>Base course</i>).....	II-3
2.2.3. Lapis pondasi bawah (<i>Subbase course</i>).....	II-3
2.2.4. Tanah dasar (<i>Subgrade</i>).....	II-4
2.3. Perkerasan jalan.....	II-4
2.3.1. Perkerasan Lentur (<i>Flexible Pavement</i>)	II-9
2.3.2. Perkerasan Kaku (<i>Rigid Pavement</i>).....	II-9
2.3.3. Perkerasan komposit (<i>composite pavement</i>)	II-10
2.3.4. Fungsi Perkerasan.....	II-10
2.4. Aspal Beton (<i>Laston</i>)	II-12
2.4.1. Karakteristik Campuran Aspal Beton	II-13
2.4.2. Jenis-jenis Aspal Beton	II-16

2.5. Bahan Penyusunan Perkerasan Jalan	II-19
2.5.1. Agregat.....	II-19
2.5.2. Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	II-26
2.5.3. Aspal	II-27
2.6. KACA.....	II-35
2.6.1. Limbah Kaca	II-36
2.6.2. Sifat kimia kaca	II-37
2.7. Perendaman Sampel	II-38
2.8. Marshall Test	II-40
2.8.1. Stabilitas (<i>stability</i>).....	II-40
2.8.2. Kelelahan (<i>Flow</i>).....	II-41
2.8.3. Kerapatan (<i>density</i>)	II-42
2.8.4. Marshall Quotient (MQ)	II-43
2.8.5. VMA (Void In Mineral Agregate)	II-44
2.8.6. VFB (Void Filled With Bitument)	II-45
2.8.7. VIM (Void In The Mix)	II-46
2.9. Penelitian Terdahulu	II-48

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian	III-1
-----------------------------	-------

3.2	Bagan Alir Penelitian	III-2
3.3	Bahan Penelitian.....	III-4
3.4	Peralatan Penelitian.....	III-5
3.4.1	Peralatan Pengujian Agregat	III-5
3.4.2	Peralatan Pengujian Aspal	III-8
3.4.3	Alat Uji Karakteristik Campuran Agregat Aspal	III-10
3.4.4	Perlengkapan lain.....	III-12
3.5	Pengujian Bahan	III-13
3.5.1.	Pengujian Agregat Kasar	III-13
3.5.2.	Pengujian Agregat Halus	III-14
3.5.3.	Pengujian Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	III-14
3.5.4.	Pengujian aspal	III-15
3.6.	Penentuan Jumlah Dan Pembuatan benda uji	III-16
3.6.1	Penentuan Jumlah Benda Uji.....	III-16
3.6.2	Pembuatan Benda Uji untuk menentukan kadar aspal optimum.....	III-17
3.7.	Pengetesan Benda Uji Dengan Alat Marshall untuk menentukan (KAO)	III-18
3.8.	Pembuatan Benda Uji dengan variasi filler limbah kaca	III-19

3.9. Pengetesan Benda Uji Dengan Variasi Filler Limbah Kaca	
Dengan Alat Marshall.....	III-20

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Penyajian Data	IV-1
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	IV-1
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Minyak	IV-4
4.1.3. Analisis Rencana Campuran.....	IV-4
4.2. Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum. IV-7	
4.2.1. Perkiraan Kadar Aspal Optimum Rencana (Pb).....	IV-7
4.2.2. Penentuan Berat Agregat dan Aspal dalam Campuran	IV-8
4.2.3. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Campuran	IV-9
4.3. Data Uji Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum	IV-9
4.4. Pembuatan Benda Uji dengan Limbah Kaca Pada Perendaman Berulang.....	IV-15
4.4.1. Perhitungan Berat Agregat Dan Berat Aspal Menggunakan Kadar Aspal Optimum Dengan Menggunakan Bahan Limbah serbuk kaca.....	IV-15
4.4.2. Data Hasil Uji Dengan Alat Marshall Yang Diperoleh Dengan Menggunakan Kadar Aspal Optimum	IV-17
4.4.3. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah Kaca	

40% Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC..... IV-31

4.4.4. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah Serbuk Kaca 60%

Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC..... IV-40

4.4.5. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah Serbuk Kaca 80%

Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC..... IV-48

4.4.6. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah kaca 100%

Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC..... IV-55

4.5. Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS..... IV-62

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan V-1

5.2 Saran V-2

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR TABEL

➤ Tabel 2.1 Perbedaan anatara perkerasan lentur dan perkerasan kaku	II-7
➤ Tabel 2.2 Kelebihan dan kekurangan perkerasan lentur	II-7
➤ Tabel 2.3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Beraspal Panas (AC)	II-13
➤ Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Kasar.....	II-21
➤ Tabel 2.5 Ketentuan agregat halus	II-22
➤ Tabel 2.6 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal....	II-24
➤ Tabel 2.7. sifat campuran agregat bergradasi baik dan buruk	II-26
➤ Tabel 2.8 ketentuan Aspal Keras	II-34
➤ Tabel 2.9 Kandungan Kaca	II-37
➤ Tabel 2.10. Kandungan Serbuk Kaca	II-38
➤ Tabel 2.11 Hasil pengujian marshall dan volumetric campuran Hasil pengujian marshall dilakukan oleh Patria Ratna Yuniarti dkk	II-48
➤ Table 2.12 hasil pengujian KAO yang dilakukan oleh Miftahul Fauziah dkk.....	II-49
➤ Table 2.13 hasil pengujian variasi yang dilakukan oleh Miftahul Fauziah dkk.....	II-50
➤ Table 2.14 hasil pengujian yang dilakukan oleh hartina	II-51
➤ Tabel 3.1. Ketentuan Agregat kasar	III-14
➤ Tabel 3.2. Ketentuan Agregat Halus	III-14
➤ Tabel 3.3. Ketentuan Agregat <i>Filler</i>	III-15
➤ Tabel 3.4. Ketentuan Aspal	III-15

➤ Tabel 3.5 Perhitungan benda Uji	III-16
➤ Tabel 4.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat.....	IV-1
➤ Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar (Batu Pecah 1-2, dan Batu Pecah 0,5 - 1).....	IV-2
➤ Tabel 4.3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Abu Batu	IV-3
➤ Tabel 4.4. Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70	IV-4
➤ Tabel 4.5. Rancangan Campuran Aspal Panas AC-WC.....	IV-6
➤ Tabel 4.6. Komposisi campuran AC-WC	IV-8
➤ Tabel 4.7. Berat Aspal dan agregat pada campuran aspal Panas AC-WC Standar.....	IV-8
➤ Tabel 4.8 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat....	IV-9
➤ Tabel 4.9 Hasil Marshall tes KAO	IV-10
➤ Tabel 4.10. Komposisi campuran dengan bahan limbah serbuk kaca 40%.....	IV-16
➤ Tabel 4.11. Komposisi campuran dengan bahan limbah serbuk kaca 60%.....	IV-16
➤ Tabel 4. 12. Komposisi campuran dengan bahan limbah serbuk kaca 80%.....	IV-16
➤ Tabel 4.13. Komposisi campuran dengan bahan limbah serbuk kaca 100%.....	IV-17
➤ Tabel 4.14. Hasil Uji Marshall Sisa KAO dengan perendaman selama 30 menit dan 24 jam pada suhu 60°C.....	IV-17
➤ Tabel 4.15. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah kaca 40% dengan perendaman berulang kemudian direndam selama 30 menit pada suhu 60°C	IV-30

- Tabel 4.16. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah kaca 60% dengan perendaman berulang kemudian direndam selama 30 menit pada suhu 60°C IV-30
- Tabel 4.17. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah kaca 80% dengan perendaman berulang kemudian direndam selama 30 menit pada suhu 60°C IV-31
- Tabel 4.18. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah kaca 100% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C IV-31
- Tabel 4.19 Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS Aspal Beton AC– WC IV-62

BOSOWA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur jalan dan potongan lapisan pada perkerasan.....	II-4
Gambar 2.2 Lapisan perkerasan jalan lentur	II-9
Gambar 2.3 lapisan perkerasan jalan kaku	II-10
Gambar 2.4 Komponen perkerasan komposit	II-10
Gambar 2.5 Skema Volume Butir Agregat	II-23
Gambar 2.6. Skematis Berbagai Jenis Volume Beton Aspal.....	II-46
Gambar 2.7. Pengertian Tentang VIM, Selimut Aspal, Aspal yang	II-47
Gambar 2.8. Ilustrasi Pengertian VMA dan VIM.....	II-47
Gambar 3.1. Bagan alir penelitian	III-3
Gambar 3.2. Agregat.....	III-4
Gambar 3.3. <i>Filler</i> kaca.....	III-4
Gambar 3.4. Aspal AC 60/70	III-5
Gambar 3.5. Mesin <i>Los Angeles</i>	III-5
Gambar 3.6. Satu Set Saringan	III-6
Gambar 3.7. Timbangan.....	III-6
Gambar 3.8. Oven atau alat pengering.	III-7
Gambar 3.9. Kain lap dan Kuas	III-7
Gambar 3.10. Bak perendam.....	III-8
Gambar 3.11. Alat Uji Penetrasi Aspal.....	III-8
Gambar 3.12. Alat Uji Titik Lembek.	III-9
Gambar 3.13. Alat Uji Titik Nyala dan Titik Bakar.	III-9
Gambar 3.14. Alat Uji Berat Jenis Aspal	III-10

Gambar 3.15. Cetakan Benda Uji Marshall.....	III-10
Gambar 3.16. <i>Ejector</i>	III-10
Gambar 3.17 batang Penumbuk.....	III-11
Gambar 3.18. Landasan Pemasad.....	III-11
Gambar 3.19. Alat Uji Marshall.....	III-12
Gambar 3.20. Bak perendam.....	III-12
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Penggabungan Agregat AC-WC.....	IV-7
Gambar 4.2.a. Grafik Kepadatan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO.....	IV-10
Gambar 4.2.b. Grafik Stabilitas Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO.....	IV-11
Gambar 4.2.c. Grafik Pelehan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO.....	IV-11
Gambar 4.2.d. Grafik VIM Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO.....	IV-12
Gambar 4.2.e. Grafik Marshall Quotient Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO.....	IV-12
Gambar 4.2.f. Grafik VFB Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO ..	IV-13
Gambar 4.2.g. Grafik VMA Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO .	IV-13
Gambar 4.3 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	IV-14
Gambar 4.4 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C	IV-32
Gambar 4.5 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum	

dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C . IV-33

Gambar 4.6 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-35

Gambar 4.7 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-36

Gambar 4.8 Diagram hubungan variasi kadar Serbuk kaca 40 % terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-37

Gambar 4.9 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-38

Gambar 4.10 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-39

Gambar 4.11 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-41

Gambar 4.12 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C . IV-42

Gambar 4.13 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-43

Gambar 4.14 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-44

Gambar 4.15 Diagram hubungan variasi kadar Serbuk kaca 60 % terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C	IV-45
Gambar 4.16 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.....	IV-46
Gambar 4.17 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C	IV-47
Gambar 4.18 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80 % terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C	IV-48
Gambar 4.19 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80 % terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C .	IV-49
Gambar 4.20 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80 % terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C	IV-50
Gambar 4.21 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80 % terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C	IV-51
Gambar 4.22 Diagram hubungan variasi kadar Serbuk kaca 80 % terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C	IV-52
Gambar 4.23 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80 % terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.....	IV-53

- Gambar 4.24 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80 % terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-54
- Gambar 4.25 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 100 % terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-55
- Gambar 4.26 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 100 % terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C . IV-56
- Gambar 4.27 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 100 % terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-57
- Gambar 4.28 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 100 % terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-58
- Gambar 4.29 Diagram hubungan variasi kadar Serbuk kaca 100 % terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-59
- Gambar 4.30 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 100 % terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C..... IV-60
- Gambar 4.31 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 100 % terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C IV-61

DAFTAR NOTASI

a	= <i>Persentase aspal terhadap batuan</i>
ASTM	= <i>America Standard Testing and Material</i>
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
AC	= <i>Aspal Concrete</i>
AC-WC	= <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i>
AC – BC	= <i>Asphalt Concrete Base Course</i>
Al ₂ O ₃	= <i>Aluminum Oxide (aluminium oksida)</i>
b	= <i>Persentase aspal terhadap campuran</i>
B-0	= <i>blinding concrete/beton lantai kerja</i>
c	= <i>Berat kering / sebelum direndam (gram)</i>
CA	= <i>Agregat kasar</i>
cm	= <i>Centimeter</i>
CaO	= <i>Calcium Oxide (kalsium oksida/ batu kapur)</i>
d	= <i>Berat benda uji jenuh air (gr)</i>
e	= <i>Berat benda uji dalam air (gr)</i>
F	= <i>flow</i>
f	= <i>Volume benda uji (cc)</i>
Fe ₂ O ₃	= <i>Iron Oxide (besi oksida)</i>
FA	= <i>Agregat halus</i>
g	= <i>Nilai kepadatan (gr/cc)</i>
g	= <i>Persen rongga terisi aspal</i>

gr	= Gram
HRS	= Hot Rolled Sheet
i dan j	= Rumus Substitusi
K_2O	= Potassium Oxide (potasium oksida)
LPA	= Lapisan Pondasi Atas
LPB	= Lapisan Pondasi Bawah
MQ	= Nilai Marshall Quotient (kg/mm)
MgO	= Magnesium Oxide (magnesium oksida)
MC	= Medium Curingcut back
Na_2O	= Sodium Oxide (soda abu)
ODOL	= Over Dimension Over load
P	= Pembacaan Arloji Stabilitas x Kalibrasi Alat
PB	= Perkiraan Karas Aspla Optimum
q	= Angka Koreksi Benda Uji
RC	= Rapid Curing cat back
S	= Nilai Stabilitas
SS	= Sand Sheet
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SMA	= Split Mastic Asphalt
SC	= Slow Curing Cat Back
SiO_2	= Silica (silika)
SO_3	= Sulfur Trioxide (belerang trioksida)
SSD	= Saturated Surface Dry

TD	= <i>Lapisan Tanah Dasar</i>
USA	= <i>United States of America</i>
VIM	= <i>Void In The Mix</i>
VFA	= <i>Void Filled With Asphalt</i>
VMA	= <i>Void In Mineral Agregate</i>
°C	= <i>Derajat Celcius</i>



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Aspal adalah bahan bitumen atau perekat utama yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan yang sering di gunakan. Aspal memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bahan perekat lain seperti semen. Aspal relatif lebih murah dan lebih lentur dibanding semen yang mahal dan sangat kaku sebagai bahan perekat. Sehingga bila di aplikasikan pada kontruksi perkerasan jalan, aspal lebih nyaman digunakan dari pada semen.

Shaw (2000) menyebutkan bahwa salah satu persyaratan yang harus dipenuhi sebagai material *filler* adalah harga yang terjangkau. Dengan keterbatasan sumber dana yang ada, pemilihan jenis *filler* dilakukan untuk memenuhi kriteria tersebut. Di samping itu, sesuai dengan konsensus internasional untuk menerapkan pembangunan berwawasan lingkungan, dimana menggunakan limbah kaca sebagai *filler*. Dewasa ini kita ketahui bersama bawasanya limbah kaca tidak dapat terurai dalam kurung waktu yang singkat, maka dari itu beberapa program yang dapat dikembangkan adalah mengurangi penggunaan sumber daya alam dan memaksimalkan pemanfaatan bahan buangan atau limbah (Johnson, 1993

Untuk mengurangi keterbatasan material aspal, limbah kaca bisa dijadikan sebagai bahan pengisi atau penambah pada perkerasan aspal. Sisa limbah kaca melimpah dan mudah di jumpai. Ketersediaan limbah kaca di Indonesia mudah didapat serta limbah kaca lebih tahan terhadap perubahan suhu, sehingga lapis permukaan jalan mampu menahan deformasi. Saat ini banyak penelitian tentang aspal modifikasi salah satunya dengan menggunakan bahan polimer, sedangkan pada penelitian ini dicoba memodifikasi aspal dengan limbah kaca sebagai bahan tambah yang diharapkan mampu memperbaiki karakteristik aspal dan mampu menguri dampak lingkungan yang di sebabkan oleh limbah kaca. Percobaan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh limbah kaca terhadap kekuatan campuran beton aspal. Limbah kaca yang mengandung CaO yang cukup tinggi dapat dijumpai atau didapat pada lingkungan sekitar.

Pemilihan limbah kaca sebagai filler dikarenakan bahan baku alternatif ini termasuk mudah diperoleh dan berupa limbah. Material ini banyak terbuang di lingkungan sehingga perlu dimanfaatkan untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Disamping itu beberapa penelitian menunjukkan bahwa rendahnya absorpsi/penyerapan air dari partikel limbah kaca.

Kerusakan jalan yang terjadi di berbagai daerah di Indonesia saat ini merupakan suatu permasalahan yang sangat kompleks. Dilansir dari fakta-fakta yang ada, penyebab awal dari kerusakan jalan adalah

perencanaan dan mutu awal kualitas produk jalan yang belum memadai sehingga menjadi pemicu utama terjadinya kerusakan-kerusakan pada jalan, disamping itu juga penyebab lainnya adalah umur rencana jalan yang telah dilewati, genangan air pada permukaan jalan yang tidak dapat mengalir akibat drainase yang kurang baik, beban lalu lintas berulang dan berlebihan (*overload*) yang menyebabkan umur pakai jalan lebih pendek dari perencanaan.

Hal ini yang melatarbelakangi penulis untuk melakukan penelitian dengan campuran aspal *Lapis Aspal Beton* (LASTON) dengan bahan tambah (*filler*) limbah kaca dan aspal pertamina penetrasi 60/70. Pada proses penelitian ini menggunakan komponen-komponen tersebut diharapkan dapat menghasilkan perencanaan LASTON untuk perkerasan jalan dengan mutu dan kualitas baik, dapat memberikan manfaat dalam jangka waktu yang panjang dan dapat mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan oleh limbah kaca.

Dari uraian tersebut di atas menjadi latar belakang untuk mengadakan penelitian di laboratorium dan menuliskannya dalam bentuk tugas akhir yang berjudul :

“Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler Terhadap Sifat Dan Karakteristik Campuran Perkerasan Aspal Panas Dengan Perendaman Berulang”

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimanakah pengaruh penggunaan serbuk kaca sebagai filler terhadap karakteristik parameter Marshall pada campuran aspal beton.?
2. berapakah presentase serbuk kaca sebagai filler terhadap karakteristik marshall pada campuran aspal beton dengan perendaman berulang. ?

1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.3.1. tujuan penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan serbuk kaca sebagai filler terhadap karakteristik parameter Marshall pada campuran aspal beton.
2. Untuk menghitung dan menganalisis karakteristik aspal panas dengan substitusi limbah kaca sebagai *filler* pada perendaman berulang

1.3.2. manfaat penelitian

1. Untuk mengetahui pengaruh bahan pengisi serbuk kaca terhadap karakteristik Marshall pada campuran aspal beton
2. untuk menambah wawasan pembaca mengenai pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai pengganti filler terhadap sifat dan karakteristik aspal pada perendaman berulang.

1.4. Pokok Bahasan dan Batasan Masalah Penelitian

1.4.1. Pokok Bahasan Penelitian

1. Membahas pengujian agregat
2. Membahas pengujian aspal beton
3. Membahas pengujian serbuk kaca sebagai penganti *Filler*
4. Membahas pengujian campuran aspal dengan metode uji *Marshall Test*

1.4.2. Batasan Masalah Penelitian

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

1. Tipe campuran yang digunakan adalah *Asphalt Concrete - Wearing Coarse (AC-WC)* dengan menggunakan spesifikasi umum Bina Marga 2018.
2. Bahan pengikat yang digunakan adalah aspal minyak dengan penetrasi 60/70.
3. Permasalahan yang diamati adalah karakteristik *Marshall*.
4. Limbah kaca sebagai bahan substitusi terhadap filler semen
5. dibuat campuran menggunakan *filler* limbah kaca dengan proporsi 40%, 60%, 80%, dan 100% terhadap total berat *filler*.
6. Dilakukan perendaman berulang dengan variasi 7, 14, dan 21 hari.dengan cara 1 hari di rendam 1 hari di angkat.

7. Pengujian dilakukan dengan Metode Marshall

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah 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. Jalan

Menurut UU RI no. 38 Tahun 2004 pasal 1 ayat (4) jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah dan/atau air, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel..

Jalan umum menurut fungsinya dikelompokkan kedalam jalan arteri, jalan kolektor, jalan lokal, dan jalan lingkungan.

- a. Jalan arteri merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan utama dengan ciri perjalanan jarak jauh, kecepatan rata-rata tinggi, dan jumlah jalan masuk dibatasi secara berdaya guna.
- b. Jalan kolektor merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan pengumpul atau pembagi dengan ciri perjalanan jarak sedang, kecepatan rata-rata sedang, dan jumlah jalan masuk dibatasi.
- c. Jalan lokal merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan setempat dengan ciri perjalanan jarak dekat, kecepatan rata-rata rendah, dan jumlah jalan masuk tidak dibatasi.
- d. Jalan lingkungan merupakan jalan umum yang berfungsi melayani angkutan lingkungan dengan ciri perjalanan jarak dekat, dan kecepatan rata-rata rendah.

2.2. Struktur jalan

Pada umumnya, perkerasan jalan terdiri dari beberapa jenis lapisan perkerasan yang tersusun dari bawah ke atas, sebagai berikut (Suprpto, 2004) :

1. Lapisan permukaan (*surface course*)
2. Lapisan pondasi atas (*base course*)
3. Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)
4. Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Karena sifat penyebaran gaya maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin kebawah semakin kecil. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh jenis gaya yang bekerja. Lapis pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertikal saja. Oleh karena itu terdapat perbedaan syarat-syarat yang harus dipenuhi oleh masing-masing lapisan.

2.2.1. Lapis permukaan (*Surface course*)

Berupa lapisan aus dan lapisan antara dari campuran beraspal

- a. Lapis aus permukaan (*wearing course*) berfungsi

Lapis aus (*wearing course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di atas lapis antara (*binder course*). Fungsi dari lapis aus adalah (Nono, 2007) :

- 1) Menyelimuti perkerasan dari pengaruh air
- 2) Menyediakan permukaan yang halus
- 3) Menyediakan permukaan yang keset

b. Lapis permukaan antara (*binder course*) berfungsi :

Lapis antara (*binder course*) merupakan bagian dari lapis permukaan yang terletak di antara lapis pondasi atas (*base course*) dengan lapis aus (*wearing course*). Fungsi dari lapis antara adalah (Nono, 2007):

- 1) Mengurangi tegangan/regangan
- 2) Mempunyai kekuatan yang tinggi pada bagian perkerasan untuk menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas

2.2.2. Lapis pondasi atas (*Base course*)

Dapat berupa granular agregat serta berpengikat baik aspal maupun semen, mempunyai fungsi :

- a) Mendukung beban pada lapis permukaan
- b) Mengurangi tegangan/regangan dan meneruskan/mendistribusikan ke lapisan di bawahnya
- c) Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah

2.2.3. Lapis pondasi bawah (*Subbase course*)

Dapat berupa granular agregat dan berpengikat baik aspal maupun semen, mempunyai fungsi :

- a) Sebagai lantai kerja untuk pelaksanaan lapisan pondasi
- b) Menyebarkan beban di atasnya
- c) Sebagai lapisan perata
- d) Mengalihkan infiltrasi air (*drainase*) dari lapisan pondasi
- e) Sebagai lapisan separator yang mencegah butiran halus dari tanah

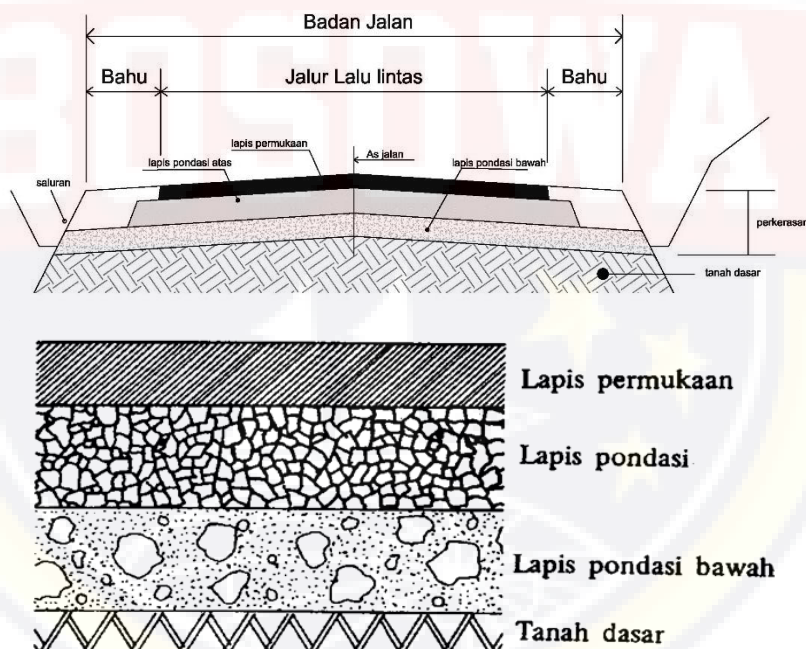
dasar naik ke lapis pondasi

- f) Efisiensi penggunaan material. Material pondasi bawah relatif murah dibandingkan dengan lapisan perkerasan di atasnya.

2.2.4. Tanah dasar (*Subgrade*)

Dapat berupa tanah asli, timbunan, galian atau hasil stabilisasi mempunyai fungsi:

- a) Mempersiapkan lapisan di atasnya
- b) Mendukung beban perkerasan dan beban yang akan melalui perkerasan



Gambar 2.1 Struktur jalan dan potongan lapisan pada perkerasan
(Sumber : <http://google.gambar.perkerasan.jalan.co.id>)

2.3. Perkerasan jalan

Perkerasan jalan adalah segala jenis material konstruksi yang di hampar dan dipadatkan diatas tanah dasar. Perkerasan jalan raya adalah

bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003 dalam skripsi Serli Carlina 2013).

Agar dapat memberikan rasa aman dan nyaman kepada pemakai jalan, dimana hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor yakni:

1. Daya dukung tanah dasar,
2. Beban lalu lintas,
3. Keadaan lingkungan,
4. Masa pelayanan atau umur rencana
5. Karakteristik material pembentuk perkerasan jalan disekitar lokasi,
6. Pengawasan pelaksanaan pekerjaan sesuai prosedur pengawasan yang ada,
7. Pemeliharaan jalan selama masa pelayanan perlu dilakukan secara periodik sehingga umur rencana dapat tercapai.

Maka konstruksi perkerasan jalan haruslah memenuhi syarat-syarat tertentu yang secara umum dapat dikelompokkan menjadi menjadi 2 yaitu:

1. Syarat Berlalu Lintas

Dipandang dari keamanan dan kenyamanan berlalu lintas, maka konstruksi perkerasan lentur harus memenuhi syarat-syarat sebagai berikut :

- a. Permukaan yang rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang.
- b. Permukaan cukup kaku,.
- c. Permukaan cukup kesat, Permukaan tidak mengkilap, tidak silau jika terkena sinar matahari.

2. Syarat-Syarat Kekuatan/Struktural

Dipandang dari segi kemampuan memikul dan menyebarkan beban, maka konstruksi perkerasan jalan lentur harus memenuhi syarat sebagai berikut:

- a. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban atau muatan lalu lintas ke tanah dasar.
- b. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.
- c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.
- d. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

Berikut ini merupakan perbedaan utama antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur yang dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut ini :

Tabel 2.1 Perbedaan anatara perkerasan lentur dan perkerasan kaku

No		Perkerasan Lentur	Perkerasan Kaku
1.	Bahan Pengikat	Aspal	Semen
2.	Repetisi Beban	Timbul <i>rutting</i> (lendutan pada jalur roda)	Timbul retak-retak pada permukaan
3.	Penurunan tanah dasar	Jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar)	Bersifat sebagai balok diatas perletakan
4.	Perubahan temperature	Modulus kekakuan berubah. Timbul tegangan dalam kecil.	Modulus kekakuan tidak berubah timbul tegangan dalam yang besar.

Sumber : Sukirman, S., (1992)

Tabel 2.2 Kelebihan dan kekurangan perkerasan lentur

No	Perkerasan kaku	Perkerasan Lentur
1.	Kebanyakan digunakan hanya pada jalan kelas tinggi, serta pada perkerasan lapangan terbang. (-)	Dapat digunakan untuk semua tingkat volume lalu lintas. (+)
2.	Job mix lebih mudah dikendalikan kualitasnya. Modulus Elastisitas antara lapis permukaan dan pondasi sangat berbeda. (+)	Kendali kualitas untuk job mix lebih rumit. (-)
3.	Dapat lebih bertahan terhadap kondisi drainase yang lebih buruk. (+)	Sulit bertahan terhadap kondisi drainase yang buruk. (-)
4.	Umur rencana dapat mencapai 20 tahun.(+)	Umur rencana relative pendek 5 – 10 tahun. (-)
5.	Jika terjadi kerusakan maka kerusakan tersebut cepat dan dalam waktu singkat. (-)	Kerusakan tidak merambat ke bagian konstruksi yang lain, kecuali jika perkerasan terendam air. (+)

No	Perkerasan kaku	Perkerasan Lentur
6.	Indeks pelayanan tetap baik hampir selama umur rencana, terutama jika transverse joint dikerjakan dan dipelihara dengan baik. (+)	Indeks pelayanan yang terbaik hanya pada saat selesai pelaksanaan konstruksi, setelah itu berkurang seiring dengan waktu dan frekuensi beban lalu lintasnya. (-)
7.	Pada umumnya biaya awal konstruksi tinggi. Tetapi biaya awal hampir sama untuk jenis konstruksi jalan berkualitas tinggi dan tidak tertutup kemungkinan bisa lebih rendah. (-)	Pada umumnya biaya awal konstruksi rendah, terutama untuk jalan lokal dengan volume lalu lintas rendah. (+)
8.	Biaya pemeliharaan relatif tidak ada. (+)	Biaya pemeliharaan yang dikeluarkan, mencapai lebih kurang dua kali lebih besar dari pada perkerasan kaku. (-)
9.	Agak sulit untuk menetapkan saat yang tepat untuk melakukan pelapisan ulang. (-)	Pelapisan ulang dapat dilaksanakan pada semua tingkat ketebalan perkerasan yang diperlukan, dan lebih mudah menentukan perkiraan pelapisan ulang. (+)
10.	Kekuatan konstruksi perkerasan kaku lebih ditentukan oleh kekuatan pelat beton sendiri (tanah dasar tidak begitu menentukan) . (+)	Kekuatan konstruksi perkerasan lentur ditentukan oleh tebal setiap lapisan dan daya dukung tanah dasar. (-)
11.	Tebal konstruksi perkerasan kaku adalah tebal pelat beton tidak termasuk pondasi. (-)	Tebal konstruksi perkerasan lentur adalah tebal seluruh lapisan yang ada diatas tanah dasar. (+)
12.	Bila dibebani praktis tidak melentur (kecil) .(-)	Bila dibebani melentur. Beban hilang, lenturan kembali. (+)

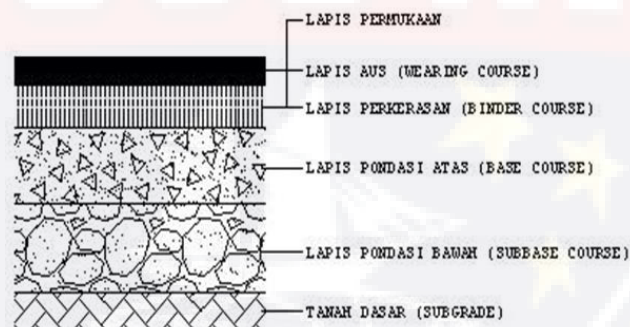
(Sumber, dikutip dari <http://bebas-unik.blogspot.co.id/2014/11/perkerasan-jalan.html>)

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat dipakai antara lain adalah batu pecah, batu belah, batu kali, dan hasil samping

peleburan baja. Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas 3 jenis yaitu (silvia sukirman 1999)

2.3.1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)

Konstruksi perkerasan lentur yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat . lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Perkerasan ini umumnya terdiri atas tiga lapis yaitu lapisan tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*sub-base*), lapis pondasi (*base*) dan lapisan penutup (*surface*). Masing-masing elemen lapisan di atas termasuk tanah dasar secara bersama-sama memikul beban lalu-lintas. Dari atas sampai bawah maka tebal lapisan menjadi semakin besar, hal ini seiring dengan harga materialnya yang semakin kebawah semakin murah.

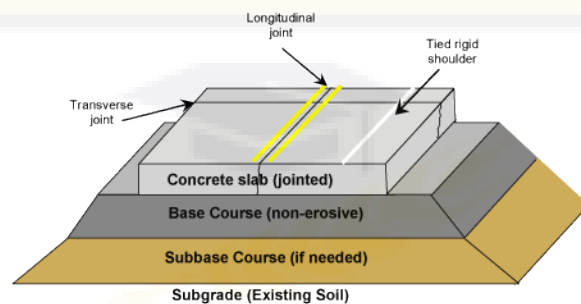


Gambar 2.2 Lapisan perkerasan jalan lentur

2.3.2. Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)

Digunakannya pelat beton diatas lapisan agregat, diatas pelat beton tersebut dapat dilapisi aspal agregat atau aspal pasir yang tipis atau tidak ada lapisan sama sekali. Bagian dari perkerasan kaku terdiri dari : tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*sub-base*), lapisan

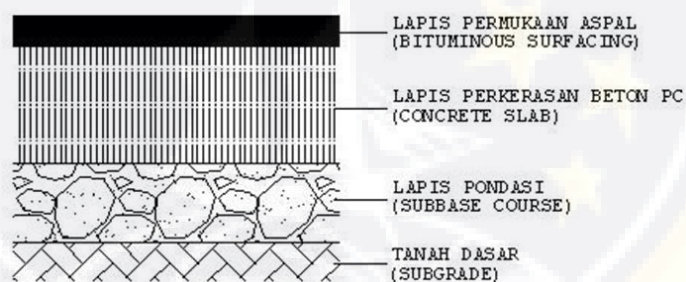
beton B-0 (*blinding concrete/beton lantai kerja*), lapisan pelat beton (*concrete slab*), dan lapisan aspal agregat/aspal pasir yang bisa ada bisa tidak. (Didik Purwadi, 2008).



Gambar 2.3 lapisan perkerasan jalan kaku

2.3.3. Perkerasan komposit (composite pavement)

Konstruksi perkerasan komposit (composite pavement), yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.



Gambar 2.4 Komponen perkerasan komposit
(Sumber : <http://google.gambar.perkerasan.komposit.co.id>)

2.3.4. Fungsi perkerasan

Adapun fungsi dari lapis perkerasan yaitu :

1. Lapis permukaan adalah lapisan yang terletak pada bagian paling atas dari struktur perkerasan konstruksi jalan dan berfungsi sebagai:

- a. Lapisan perkerasan yang ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal maupun beban horizontal (gaya geser).
- b. Lapisan kedap air, mencegah masuknya air ke dalam lapisan perkerasan yang ada di bawahnya.
- c. Lapisan perkerasan menyediakan permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
- d. Lapisan aus (*wearing course*), lapisan yang langsung akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.

2. Lapis Pondasi Atas (LPA) atau *Base Course*

Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau dengan tanah apabila tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Fungsi lapis ini adalah :

- a. Lapis pendukung bagi lapis permukaan.
- b. Pemikul beban horizontal dan vertikal.
- c. Lapis perkerasan bagi pondasi bawah.

3. Lapis Pondasi Bawah (LPB) atau *Subbase Course*

Lapis Pondasi Bawah adalah bagian perkerasan yang terletak antara lapis pondasi dan tanah dasar. Fungsi lapis ini adalah :

- a. Penyebar beban roda.
- b. Lapis peresapan.
- c. Lapis pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi.
- d. Lapis pertama pada pembuatan perkerasan.

4. Lapisan Tanah Dasar (TD) atau *Subgrade*

Tanah dasar (*subgrade*) adalah permukaan tanah semula, permukaan

tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

2.4. Aspal Beton (*Laston*)

Lapis aspal beton (*Laston*) adalah suatu lapis pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu (Silvia Sukirman, 1999). Menurut Bina Marga Departement Pekerjaan Umum, *laston* terdiri atas agregat menerus dengan aspal keras, dicampur, dihamparkan pada suhu tertentu. Yang dimaksud gradasi menerus adalah komposisi yang menunjukkan pembagian butiran yang merata dari ukuran yang terbesar sampai ukuran yang terkecil.

Beton aspal dengan campuran bergradasi menerus memiliki komposisi dari agregat kasar, agregat halus, mineral pengisi (*filler*) dan aspal (*bitumen*) sebagai pengikat. Ciri lainnya memiliki sedikit rongga dalam struktur agregatnya, saling mengunci satu dengan yang lainnya, oleh karena itu beton aspal memiliki sifat stabilitas tinggi dan relatif kaku.

Menurut spesifikasi campuran campuran beraspal Departement Pekerjaan Umum 2018, *Laston* (AC) terdiri dari tiga macam campuran, *Laston* Lapisan Aus (AC-WC), *Laston* Lapis Pengikat (AC-BC), dan *Laston* Lapis Pondasi (AC-Base) dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm, 25,4 mm, 37,5 mm.

Ketentuan sifat-sifat campuran beraspal panas di Indonesia seperti campuran beraspal jenis AC-WC adalah ketentuan yang telah dikeluarkan oleh Departement Permukiman dan Prasarana Wilayah bersama-sama dengan Bina Marga, hal itu dikarenakan menjadi acuan dalam penelitian ini, yaitu seperti tertera dalam Tabel Dibawah ini :

Tabel 2.3 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Beraspal Panas (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah Tumbukan Perbidang		75		112
Rasio Partikel Lolos Ayakan 0,75 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam campuran (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min	2		

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Divisi 6 Perkerasan aspal tabel 6.3.3. (1c)

2.4.1. Karakteristik Campuran Aspal Beton

Pada dasarnya lapisan perkerasan aspal beton sangat dipengaruhi oleh material pembentuknya. Hal ini akan menentukan karakteristik dari lapisan perkerasan tersebut. Adapun karakteristik dari lapisan aspal beton adalah (Sukirman, 1999):

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti bergelombang, alur dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan, dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi, sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai stabilitas yang tinggi. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas aspal beton adalah gesekan interna dan kohesi.

2. Keawetan atau Durabilitas

Durabilitas adalah kemampuan aspal beton menerima repetisi beban lalu lintas seperti beban lalu lintas sebagai berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas aspal beton dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

3. Kelenturan atau Fleksibilitas

Kelenturan adalah kemampuan aspal beton untuk menyesuaikan diri akibat penurunan (konsolidasi/settlement) dan pergerakan dari pondasi atau tanah dasar, tanpa terjadi akibat dari repetisi beban lalu lintas, ataupun penurunan akibat berat sendiri tanah timbunan yang dibuat

diatas tanah asli. Fleksibel dapat ditingkatkan dengan mempergunakan agregat bergradasi terbuka dengan kadar aspal yang tinggi.

4. Ketahanan terhadap kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan adalah kemampuan aspal beton menerima lendutan berulang akibat repitisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat terjadi jika mempergunakan aspal yang tinggi.

5. Kekesatan/tahanan geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan dalah kemampuan permukaan aspal beton terutama pada kondisi basah, memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir, ataupun slip. Faktor-faktor untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi yaitu kekasaran permukaan dari butir-butir agregat, kepadatan campuran, dan tabel film aspal. Ukuran maksimum butir agregat ikut menentukan kekesatan permukaan.

6. Kedap Air (*Impermeability*)

Kedap air adalah kemampuan aspal beton untuk tidak dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan aspal beton. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan proses penuaan aspal dan pengelupasan film/selimut aspal dari permukaan agregat.jumlah pori yang tersisa setelah aspal beton dipadatkan dapat menjadi indikator kekedapan air campuran.

7. Mudah Dilaksanakan (*Workability*)

Workability adalah kemampuan campuran aspal beton untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

2.4.2. Jenis-jenis Aspal Beton

Jenis aspal beton dapat dibedakan berdasarkan suhu pencampuran material pembentukan aspal beton, dan fungsi aspal beton. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, aspal beton dapat dibedakan atas :

1. Aspal beton campuran panas (*Hot Mix*), adalah aspal beton yang material pembentukannya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 140° c.
2. Aspal beton campuran sedang (*Warm Mix*), adalah aspal beton yang material pembentukannya dicampur pada suhu pencampuran sekitar 60° c.
3. Aspal beton campuran dingin (*Cold mix*), adalah aspal beton yang material pembentukannya dicampur pada suhu sekitar 25° c.

Berdasarkan fungsinya aspal beton dapat dibedakan atas :

- a. Aspal beton untuk lapisan aus (*Wearing Course*), adalah lapisan perkerasan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan, merupakan lapisan yang kedap air, tahan terhadap cuaca, dan

mempunyai kekesatan yang disyaratkan.

- b. Aspal beton untuk lapisan pondasi (*Binder Course*), adalah lapisan perkerasan yang terletak dibawah lapisan aus. Tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk memikul beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan.
- c. Aspal beton untuk pembentukan dan perata lapisan lapisan aspal beton yang sudah lama, yang pada umumnya sudah aus dan sering kali tidak lagi berbentuk crown.

Jenis aspal beton campuran panas yang ada di indonesia saat ini adalah (sukirman 2003);

1. Laston (*Lapisan aspal beton*), adalah aspal beton bergradasi menerus dan umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal pula dengan nama AC (*Aspal Concrete*). Karakteristik aspal beton yang terpenting adalah stabilitas. Tebal nominal minimum laston 4-6 cm (spesifikasi 2002). Sesuai fungsinya laston mempunyai 3 macam campuran yaitu:
 - a. Laston sebagai lapis aus, dikenal dengan nama AC - WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*). Tebal nominal - minimum AC – WC adalah 4 cm.
 - b. Laston sebagai lapis pengikat, dikenal dengan nama AC - BC (*Asphalt Concrete Base Course*). Tebal nominal - minimum AC– BC adalah 5 cm.
 - c. Lapisan sebagai lapisan pondasi, dikenal sebagai nama AC-Base (*Asphalt Concrete Base*). Tebal nominal AC-Base adalah 6 cm

2. Lataston (*Lapisan tipis aspal beton*) adalah aspal beton bergradasi senjang. Lataston biasa pula disebut dengan HRS (*Hot Rolled Sheet*).

Karakteristik aspal beton yang terpenting pada campuran ini adalah durabilitas, dan fleksibilitas. Sesuai fungsinya lataston mempunyai 2 macam campuran yaitu:

- a. Lataston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama HRS - WC (*Hot Rolled Sheet Wearing Coarse*). Tebal minimum HRS - WC adalah 3 cm.
 - b. Lataston sebagai lapisan pondasi, dikenal dengan nama HRS-Base (*Hot Rolled Sheet Base*). Tebal minimum HRS - Base adalah 3,5 cm.
3. Latasir (*Lapisan Tipis Aspal Pasir*), adalah aspal beton untuk jalan-jalan dengan lalu lintas ringan, khususnya dimana agregat kasar tidak atau sulit diperoleh. Latasir biasa pula disebut sebagai SS (*Sand Sheet*) atau HRSS (*Hot Rolled Sand Sheet*).
 4. Lapisan perata adalah aspal beton yang digunakan sebagai lapisan perata dan pembentuk penampang melintang pada permukaan jalan lama. Semua jenis campuran aspal beton dapat digunakan, tetapi untuk membedakan dengan campuran untuk lapisan perkerasan jalan baru, maka setiap jenis campuran aspal beton tersebut ditambahkan Huruf L (*Leveling*). Jadi ada jenis campuran AC - WC (L), AC - BC (L), HRS- WC(L), dan seterusnya.

2.5. Bahan Penyusun Perkerasan Jalan

Bahan lapis perkerasan jalan terdiri dari agregat dan bahan ikat aspal yang diikat menjadi suatu campuran aspal yang *solid* dan biasanya digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan raya. Pada pekerjaan diperlukan bahan-bahan penyusun antara lain sebagai berikut :

2.5.1. Agregat

Agregat adalah sekumpulan batu-batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun hasil buatan. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95 % agregat. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya pada konstruksi perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan sebagian besar oleh karakteristik agregat yang digunakan. Dengan pemilihan agregat yang tepat dapat memenuhi syarat, akan sangat menentukan keberhasilan pembangunan jalan.

agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen (Silvia Sukirman 2003),

Sedangkan menurut American Society for Testing and Materials (ASTM) mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat adalah bahan yang berbutir yang mempunyai komposisi

mineral seperti pasir, kerikil, batu pecah, atau komposisi mineral-mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil pengolahannya yang merupakan bahan utama untuk konstruksi jalan.

Salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan dalam memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca adalah sifat agregat. Sifat agregat menentukan kualitasnya sebagai bahan material perkerasan jalan, sehingga diperlukan pemeriksaan terhadap sifat-sifat fisik dari material. Dalam hal ini yang perlu untuk dilakukan pemeriksaan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis, dan daya pelekatan dengan aspal

Secara umum agregat yang digunakan dalam campuran beraspal dibagi atas 2 (dua) fraksi, yaitu :

a. Agregat kasar

Agregat kasar adalah material yang tertahan pada saringan no.8 (2,36 mm). Agregat kasar untuk campuran aspal harus terdiri dari batu pecah yang bersih, kuat, kering, awet, bersudut, bebas dari kotoran lempung dan material asing lainnya serta mempunyai permukaan tekstur yang kasar dan tidak bulat agar dapat memberikan sifat *interlocking* yang baik yang baik dengan material yang lain. Tingginya kandungan agregat kasar membuat lapis perkerasan lebih permeabel. Hal ini menyebabkan rongga udara meningkat dan menurunkan daya lekat bitumen, maka terjadi pengelupasan aspal dari batuan.

Agregat kasar pada umumnya harus memenuhi persyaratannya yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada Tabel Dibawah :

Tabel 2.4 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Metoda Pengujian	Nlai	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %	
	magnesium sulfat		Maks.18 %	
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks.6 %	
		500 putaran	Maks.30 %	
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks.8 %
		500 putaran		Maks.40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Maks.95%	
Butir Pecah pada Agregat K asar	SMA	SNI 7619:2012	100/90*)	
	Lainnya		95/90 **)	
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5	Maks.5 %	
	Lainnya		Maks.10 %	
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks.1 %	

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

b. Agregat Halus

Agregat halus pasir alam merupakan hasil desintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Agregat halus adalah material yang lolos saringan no.8 (2,36 mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian antara butiran.

Selain itu agregat halus juga mengisi ruang antara butir Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya. Agregat halus pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada tabel 2.5 di bawah :

Tabel 2.5 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

d. Ukuran Agregat

Ukuran agregat dalam suatu campuran beraspal terdistribusi dari yang berukuran besar sampai ke yang kecil. Semakin besar ukuran maksimum agregat yang dipakai semakin banyak variasi ukurannya dalam campuran tersebut.

e. Berat jenis agregat

Berat Jenis Agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan volume air. Agregat dengan berat jenis kecil mempunyai volume yang besar atau berat jenis ringan.



Gambar 2.5 Skema Volume Butir Agregat (Sumber: Sukirman, 2003).

Berdasarkan gambar diatas terlihat skema volume butir agregat, yang terdiri dari volume agregat *massif* (V_s), volume pori yang tidak dapat diresapi oleh air (V_i), volume pori yang diresapi air (V_p+V_c), dan volume pori yang dapat diresapi aspal (V_c).

$$V_s+V_p+V_i+V_c = \text{volume total butir agregat}$$

$$V_p+V_i+V_c = \text{volume pori agregat}$$

f. Gradasi Agregat

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pengujian analisis ayakan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil pengujian dan analisis dengan menggunakan 1 set ayakan.

Analisis ayakan dapat dilakukan secara basah atau kering (ayakan basah dan ayakan kering). Analisis basah dilakukan untuk menentukan jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No.200, sedangkan presentase lolos masing masing ayakan ditentukan melalui pengujian analisis ayakan agregat halus dan kasar (ayakan kering) (sukirman, s., 2007)

Tabel 2.6 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

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

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

Jenis gradasi agregat

Distribusi butir-butir agregat dengan ukuran tertentu yang dimiliki oleh suatu campuran menentukan jenis gradasi agregat. Gradasi agregat dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk.

1. Agregat bergradasi baik adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam satu rentang ukuran butir. Agregat bergradasi baik di sebut pula agregat bergradasi rapat. Campuran agregat bergradasi baik mempunyai rongga sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Tingkat stabilitas ditentukan dari ukuran butir agregat terbesar yang ada.

Berdasarkan ukuran butir agregat yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas:

- Agregat bergradasi kasar adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar.
- Agregat bergradasi halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus.

2. Agregat bergradasi buruk tidak memenuhi persyaratan gradasi baik.

Terdapat berbagai macam nama gradasi agregat yang dapat dikelompokkan ke dalam agregat bergradasi buruk, seperti:

- Agregat bergradasi seragam, adalah agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama. Campuran agregat ini mempunyai rongga antar butir yang cukup besar, sehingga sering dinamakan juga agregat bergradasi terbuka. Rentang distribusi ukuran butir yang ada pada agregat bergradasi seragam tersebar pada rentang yang sempit.
- Agregat bergradasi terbuka, adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga rongga-rongganya tidak terisi dengan baik.

- Agregat bergradasi senjang adalah agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.

Secara umum terdapat perbedaan yang mendasar dari sifat campuran agregat bergradasi baik dan buruk seperti yang terlihat pada Tabel

Tabel 2.7. sifat campuran agregat bergradasi baik dan buruk

Sifat	Agregat bergradasi buruk	Agregat bergradasi baik
Stabilitas	Buruk	Baik
Permeabilitas	Baik	Buruk
Tingkat kepadatan	Buruk	Baik
Rongga pori	Besar	Sedikit

Sumber : Sukirman, S., (2007)

2.5.2. Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler adalah sekumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan no.200. filler atau bahan pengisi ini akan mengisi rongga antara partikel agregat kasar dalam rangka mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. Rongga udara pada agregat kasar diisi dengan partikel yang lolos saringan 200, sehingga membuat rongga udara lebih kecil dan kerapatan massanya lebih besar (Sukirman,1992).

Bahan pengisi (filler) yaitu material yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) campuran, namun demikian jumlah filler harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Bahan pengisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk kaca . Bahan pengisi gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastis. Fungsi filler dalam campuran adalah :

1. Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
2. Mengisi ruang antara agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

Menurut Sukirman (2003), bahan pengisi (*filler*) juga harus memenuhi persyaratan- persyaratan sebagai berikut:

- a. Gradasi agregat AASHTO T27 – 82
- b. Berat jenis curah (Bulk) AASHTO T84 – 88 minimum 2,5
- c. Penyerapan air maksimum 3%.

2.5.3. Aspal

Bitumen adalah zat perekat material (*viscous cementitious material*), berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi. Bitumen dapat berupa aspal, tar, atau *pitch*. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi, tar adalah hasil kondensat dalam destilasi destruktif dari batubara, minyak bumi, kayu, atau material organik lainnya, sedangkan *pitch* diperoleh sebagai residu dari destilasi fraksional tar. Tar dan *pitch* tidak diperoleh di alam, namun merupakan produk kimiawi. Dari ketiga jenis bitumen tersebut di atas, hanya aspal yang umum digunakan untuk sebagai bahan pembentuk perkerasan jalan, sehingga seringkali bitumen disebut sebagai aspal. (silvia sukirman, beton aspal campuran panas,2007)

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat pemanasan dan sebaliknya. Sifat viskoelastis inilah yang membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tetap pada tempatnya selama proses produksi dan masa pelayanannya. Pada dasarnya aspal terbuat dari suatu rantai hidrokarbon yang disebut bitumen. Oleh sebab itu, aspal sering disebut material berbituminous. Umumnya aspal dihasilkan dari penyulingan minyak bumi, sehingga disebut aspal keras.

Menurut Sukirman (1992), aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai:

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

Untuk menentukan penggunaan kadar aspal sesuai persyaratan yang ditetapkan Bina Marga digunakan rumus:

$$PB = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% Filler)$$

+ konstanta

PB = Perkiraan kadar aspla optimum

CA = Agregat kasar

FA = Agregat halus

1. Sifat fisik aspal

Sifat fisik aspal sangat mempengaruhi perencanaan, produksi dan kinerja campuran beraspal antara lain adalah durabilitas, adhesi dan kohesi, kepekaan terhadap suhu, pengerasan dan penuaan.

a. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan (*durability*) adalah kemampuan aspal menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan roda kendaraan.

b. Adesi dan kohesi

Adesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

c. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah.

d. Kekerasan aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan (pada proses pelaburan). Pada proses pemanasan inilah akan terjadi pengerasan. Peristiwa pengerasan akan mengakibatkan terjadinya proses

perapuhan yang terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai.

Sumber : Akem, 2012

2. Sifat kimiawi aspal

Aspal terdiri dari senyawa hidrokarbon, nitrogen, dan logam lain, sesuai jenis minyak bumi dan proses pengolahannya. Mutu kimiawi aspal ditentukan dari komponen pembentuk aspal. Saat ini telah banyak metode yang digunakan untuk meneliti komponen-komponen pembentuk aspal. Komponen fraksional pembentuk aspal dikelompokkan berdasarkan karakteristik reaksi yang sama.

Metode Rostler menentukan komponen fraksional aspal melalui daya larut aspal didalam aspal belerang (sulfuric acid) terdapat 2 komponen fraksional aspal berdasarkan daya reaksi kimiawinya didalam asam sulfuric acid, yaitu:

a. Aspalten

Aspalten adalah unsur kimia aspal yang padat yang tidak larut dalam n-penten. Aspalten berwarna coklat sampai hitam yang terdiri dari senyawa karbon dan hydrogen dengan perbandingan 1 : 1, dan kadang-kadang mengandung nitrogen, sulfur, dan oksigen. Molekul aspalten ini memiliki ukuran antara 5 – 30 nano meter.

b. Malten

Malten adalah unsur kimia lainnya yang terdapat di dalam aspal selain aspalten. Unsur malten ini terbagi lagi menjadi tiga unsur yaitu:

a) Resin

Terdiri dari hidrogen dan karbon, dan sedikit mengandung oksigen, sulfur dan nitrogen. Resin memiliki ukuran antara 1 – 5 nano meter, berwarna coklat, berbentuk semi padat sampai padat, bersifat sangat polar dan memberikan sifat adesif pada aspal.

b) Aromatik

Aromatik adalah unsur pelarut asphalten yang paling dominan didalam aspal. Aromatik berbentuk cairan kental yang berwarna coklat tua dan kandungannya dalam aspal berkisar 40% - 60% terhadap berat aspal.

Aromatik terdiri dari rantai karbon bersifat non-polar yang didominasi oleh unsur tak jenuh (unsaturated) dan memiliki daya larut yang tinggi terhadap molekul hidrokarbon.

c) Saturated

Saturated adalah bagian dari molekul malten yang berupa minyak kental yang berwarna putih atau kekuning-kuningan dan bersifat non-polar. Saturated terdiri dari paraffin dan non-paraffin, kandungannya dalam aspal berkisar antara 5% - 20% terhadap berat aspal.

3. Tes standar bahan aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus selalu diperiksa di laboratorium dan aspal yang memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan dapat digunakan sebagai bahan pengikat perkerasan lentur.

a. Penetrasi

Penetrasi adalah masuknya jarum penetrasi ukuran tertentu, beban tertentu dan waktu tertentu kedalam aspal pada suhu tertentu. Pengujian penetrasi dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal. Berdasarkan nilai penetrasinya, aspal dibagi menjadi lima kelompok jenis aspal, yaitu aspal 40-50, aspal 60-70, aspal 80-100, aspal 120-150, dan aspal 200-300. Di Indonesia, aspal yang umum digunakan untuk perkerasan jalan adalah aspal pen 60/70 dan aspal pen 80/100.

b. Titik Lembek

Titik lemek adalah suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakkan horisontal didalam larutan air atau gliserin yang dipanaskan secara teratur menjadi lemek karena beban bola baja. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan suhu/angka titik lemek aspal yang berkisar antara 30°C sampai 200°C dengan cara ring dan ball. Hasil pengujian ini selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan kepekaan aspal terhadap suhu. Adapun hasil yang dilaporkan adalah temperatur setiap bola menyentuh pelat dasar.

c. Titik Nyala

Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat kurang dari 5 detik pada suatu titik diatas permukaan aspal. Tujuan dari pengujian titik nyala aspal adalah untuk menentukan batas temperatur tertinggi dimana aspal mulai menyala sehingga menjaga keselamatan agar pada waktu pemanasan aspal tidak mudah terjadi kebakaran.

d. Daktilitas

Daktilitas aspal adalah nilai keelastisitasan aspal, yang diukur dari jarak terpanjang, apabila diantara dua cetakan berisi bitumen keras yang ditarik sebelum putus pada suhu 25°C dan dengan kecepatan 50 mm/menit (SNI 06-2432-1991). Jarak minimal benang aspal hasil tarikan adalah minimal 100 cm.

Maksud pengujian ini adalah untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara 2 cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada temperatur dan kecepatan tarik tertentu. Pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui bahan aspal mengandung bahan lain yang tidak menyatu dengan aspal, karena bila ada bahan asing yang lain maka benang aspal hasil tarikan mesin tidak akan mencapai panjang 100 cm. Pendapat lain mengatakan bahwa tes daktilitas dimaksudkan untuk melihat kekuatan kohesi aspal, bila tarikan tidak mencapai 100 cm maka dikhawatirkan bahan tidak punya kelenturan cukup dan akan cenderung putus dan retak.

e. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat jenis aspal padat dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu 25°C atau 15,6°C. Pengujian ini ditujukan untuk memperoleh nilai berat jenis aspal keras dengan menggunakan rumus berat jenis hasil pengujian. Batasan minimal yang dicantumkan dalam spesifikasi ini mensyaratkan berat jenis diatas 1,0 gram/cc, kalau terlalu ringan berarti bahan aspal tersebut

kekurangan asphaltene dan terlalu banyak minyak ringan yang mudah menguap dan kehilangan daya lengketnya.

f. Kehilangan Berat

Kehilangan berat adalah selisih sebelum dan sesudah pemanasan pada tebal tertentu pada suhu tertentu. Maksud dari pemeriksaan ini untuk mencegah pasokan bahan aspal yang terlalu banyak mengandung minyak-minyak ringan yang kalau dipanaskan lama (pada tes ini sampel dipanaskan 163°C selama 5 jam sebagai simulasi) terlalu banyak yang menguap sehingga aspal akan kering dan sulit dikerjakan (kental dan getas).

Aspal yang dipakai dalam konstruksi jalan mempunyai sifat yang penting, yaitu : kepekatan (consistency), ketahanan lama atau ketahanan terhadap pelapukan dapat dilihat pada tabel 2.8 berikut

Tabel 2.8 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 Geser 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

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Type 1 Aspal pen. 60/70
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	-
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
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

Tingkat pengontrolan yang dilakukan pada tahapan proses penyulingan akan menghasilkan aspal dengan sifat-sifat yang khusus yang cocok untuk pemakaian yang khusus pula, seperti untuk pembuatan campuran beraspal.

2.6. KACA

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia, kaca adalah benda yang keras, biasanya bening dan mudah pecah (untuk jendela, botol, dan sebagainya). Sementara itu, secara teknis, kaca dapat diartikan sebagai produk anorganik yang dilebur dan didinginkan secara cepat tanpa terjadi pengkristalan.

Kaca adalah bahan dibuat oleh silika kering dengan oksida dasar. Kekasaran dari kaca memberikan ketahanan terhadap abrasi yang hanya dapat dicapai oleh sedikit batu agregat alami

2.6.1. Limbah Kaca

Salah satu jenis sampah anorganik yang susah terurai adalah sampah kaca yang berasal dari pecahan kaca botol bekas minuman, parfum, pecahan kaca mobil maupun pecahan kaca pintu dan jendela rumah. Sampah jenis ini memerlukan waktu hingga 1.000.000 tahun untuk terurai sepenuhnya jika tidak segera didaur ulang. Cara yang paling mudah untuk memanfaatkan sampah pecahan kaca agar tidak mengganggu lingkungan adalah dengan mendaur ulang pecahan kaca tersebut menjadi kaca yang baru, produk lain atau menjadi bahan tambahan untuk suatu produk. Semakin banyaknya penggunaan kaca dalam kehidupan sehari-hari, maka akan semakin banyak pula sampah kaca yang dihasilkan seperti botol kaca bekas minuman, pecahan kaca jendela, dan sampah kaca dari peralatan rumah tangga lainnya. Oleh karena sampah kaca adalah sampah anorganik seperti yang sudah disebutkan sebelumnya, maka cara terbaik untuk mengurangi sampah kaca adalah dengan sistem *reuse* (memakai kembali) dan *recycling* (mendaur ulang).

Di samping itu, sesuai dengan konsensus internasional untuk menerapkan pembangunan berwawasan lingkungan, beberapa program yang dapat dikembangkan adalah mengurangi penggunaan sumber daya

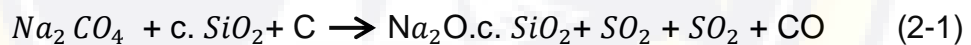
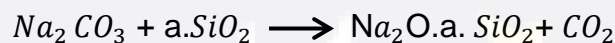
alam dan memaksimalkan pemanfaatan bahan buangan atau limbah (Johnson, 1993). Pemanfaatan bahan buangan memberikan keuntungan berupa penghematan lahan tempat pembuangan, mengurangi ongkos angkut dari sumber limbah ke lokasi pembuangan serta menghemat anggaran pemerintah daerah untuk menangani limbah tersebut.

Salah satu jenis limbah yang dapat dimanfaatkan sebagai *filler* pada konstruksi perkerasan jalan adalah limbah kaca. menurut (Liu. dkk 2015).

2.6.2. Sifat kimia kaca

Kaca memiliki sifat-sifat khas dibanding dengan golongan keramik lainnya.

Reaksi yang terjadi dalam pembuatan kaca secara ringkas pada persamaan (2-1) (dian, 2011):



Ada beberapa kandungan kimia dalam serbuk kaca yaitu seperti SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , dan CaO seperti tabel 2.8 dan 2.9 dibawah ini,

Tabel 2.9 Kandungan Kaca

Jenis Kaca	Clear Glass	Amber Glass	Green Glass	Pyrex Glass	Fused Silica
SiO_2	73,2 – 73,5	71,0 – 72,4	71,27	81	99,87
Al_2O_3	1,7 – 1,9	1,7 – 1,8	2,22	2	-
$Na_2O + K_2O$	13,6 – 14,1	13,8 – 14,4	13,06	4	-
$CaO + MgO$	10,7 – 10,8	11,6	12,17	-	-

Jenis Kaca	Clear Glass	Amber Glass	Green Glass	Pyrex Glass	Fused Silica
SO ₃	0,2 – 0,24	0,12 – 0,14	0,052	-	-
Fe ² O ₃	0,04 – 0,05	0,3	0,599	3.72	-

(Sumber : Setiawan 2006)

Tabel 2.10. Kandungan Serbuk Kaca

Unsur	Serbuk kaca
SiO ₂	61,72%
Al ₂ O ₃	3,45%
Fe ² O ₃	0,18%
CaO	2,59%

(Sumber : Hanafiah, 2011)

Bubuk kaca mempunyai kelebihan dibandingkan dengan bahan pengisi pori yang lainnya (Dian, 2011), yaitu:

1. mempunyai sifat tidak menyerap air (*zero water absorption*),
2. kekerasan dari gelas menjadikan aspal tahan terhadap abrasi yang hanya dapat dicapai oleh sedikit agregat alami,
3. bubuk kaca/serbuk kaca memperbaiki kandungan dari beton segar sehingga kekuatan yang tinggi dapat dicapai tanpa penggunaan *superplasticizer*,
4. bubuk kaca/serbuk kaca yang baik mempunyai sifat *pozzoland* sehingga dapat berfungsi sebagai pengganti semen dan *filler*.

2.7. Perendaman Sampel

Menurut (CRAUS, J. et al, 1981) Potensi keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan kombinasi akibat air dan suhu. Rendahnya keawetan lapisan permukaan dan lapisan aspal

adalah merupakan salah satu penyebab utama rusak dan gagalnya pelayanan jalan perkerasan fleksibel. Tingginya keawetan biasanya memenuhi sifat – sifat mekanik dari campuran dan akan memberikan umur pelayanan yang lebih lama.

Ada beberapa metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran aspal, seperti dijelaskan dibawah ini:

a. Metode Pengujian Perendaman Standar

Salah satu metode yang digunakan dalam mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal adalah pengujian perendaman *Marshall* yang mana stabilitas dari benda uji ditentukan setelah satu hari perendaman di dalam air pada suhu 60° C.

AASHTO (1993) menggambarkan sebuah prosedur yang berdasarkan kepada pengukuran kehilangan dari hasil sebuah kekuatan tekan dari aksi air pada pemadatan campuran aspal. Suatu indeks numerik dari berkurangnya kekuatan tekan diperoleh dengan membandingkan kekuatan tekan benda uji yang telah direndam di dalam air selama 24 jam pada suhu 60 ± 1 °C dan 30 menit di dalam air pada suhu 25 ± 1 °C di bawah kondisi yang ditentukan.

b. Metode Pengujian Perendaman Modifikasi.

Kriteria Perendaman 24 jam tidak selalu menggambarkan sifat keawetan campuran setelah masa perendaman yang lebih lama (*CRAUS, J. et al, 1981*). Peneliti – peneliti ini memeriksa keawetan benda uji dari material aspal yang direndam di dalam air untuk waktu

yang lebih lama dan dicari suatu parameter kuantitatif tunggal yang akan memberikan ciri kepada seluruh kurva keawetan.

2.8. Marshall Test

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

2.8.1. 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 (1) di bawah ini :

$$S = p \times q \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = angka koreksi benda uji

2.8.2. 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*).

2.8.3. 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) dan (3) di bawah ini :

$$g = c / f \dots\dots\dots(2)$$

$$f = d - e \dots\dots\dots(3)$$

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)

2.8.4. 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 (10) di bawah ini :

$$MQ = S / F \dots\dots\dots(10)$$

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

2.8.5. VMA (Void In Mineral Agregate)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis bulk (*Gsb*) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut :

a. Terhadap Berat Campuran Total

$$VMA = 100 \times \left(\frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right) \dots\dots\dots(2)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, presentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis bulk agregat, (gr/cc)

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

b. Terhadap Berat Agregat Total

$$VMA = 100 - \left(\frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100 + Pb} \times 100 \right) \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, presentase dari volume total, (%)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

Gsb : Berat jenis bulk agregat, (gr/cc)

Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)

2.8.6. VFB (Void Filled With Bitument)

Rongga terisi aspal (VFA) adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus adalah sebagai berikut:

$$VFA = 100 \times \left(\frac{VMA - VIM}{VMA} \right) \dots \dots \dots (4)$$

Keterangan:

VFA : Rongga udara yang terisi aspal, presentase dari VMA, (%)

VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total (%)

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, prosentase dari volume total, (%)

2.8.7. VIM (Void In The Mix)

Rongga udara dalam campuran (V_a) atau VIM dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut:

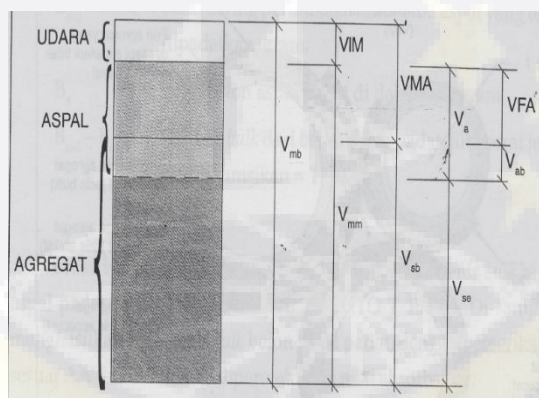
$$VIM = 100 \times \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan:

VIM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan, presentase dari volume total, (%)

G_{mb} : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

G_{mm} : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc).



Gambar 2.6. Skematis Berbagai Jenis Volume Beton Aspal (Sumber : Buku Beton Aspal Campuran Panas)

V_{mb} = volume bulk dari campuran beton aspal padat.

V_{sb} = volume agregat, adalah volume bulk dari agregat (volume bagian masif + pori yang ada didalam masing-masing butir agregat).

V_{se} = volume agregat, adalah volume efektif dari agregat (volume bagian masif + pori yang tidak terisi aspal di dalam masing–masing butir agregat).

VMA = volume pori di antara butir agregat di dalam beton aspal padat.

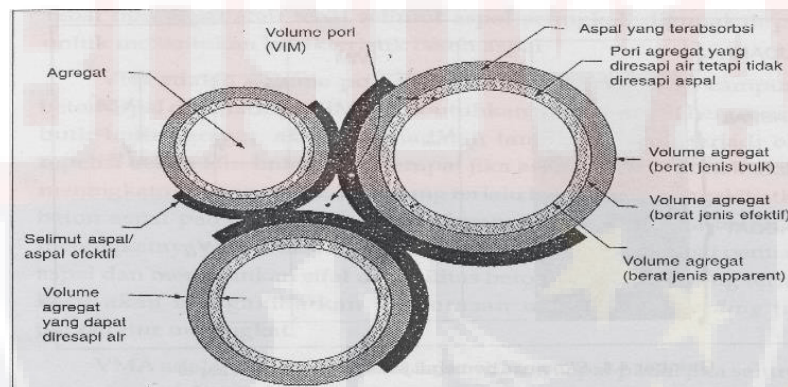
V_{mm} = volume tanpa pori dari beton aspal padat.

VIM = volume pori dalam beton aspal padat.

V_a = volume aspal dalam beton aspal padat.

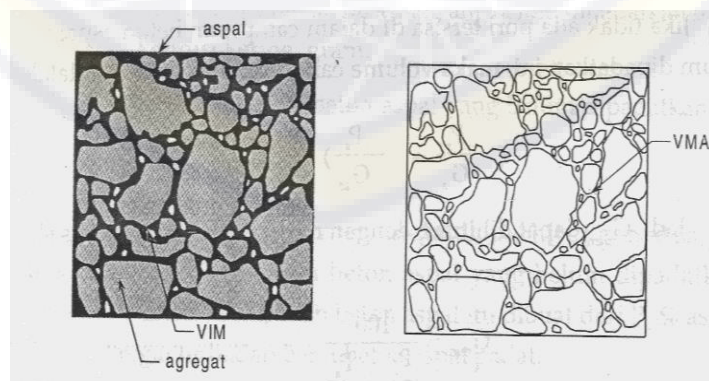
VFA = volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal.

V_{ab} = volume aspal yang terabsorbsi ke dalam agregat dari beton aspal padat.



Gambar 2.7. Pengertian Tentang VIM, Selimut Aspal, Aspal yang Terabsorbsi

(Sumber : Buku Beton Aspal Campuran Panas)



Gambar 2.8. Ilustrasi Pengertian VMA dan VIM.

2.9. Penelitian Terdahulu

Penelitian terkait pernah dilakukan oleh Patria Ratna Yuniarti, Hasyim, Hariyadi, dan Teti Handayani dengan judul “penggunaan limbah kaca sebagai filler pada campuran perkerasan aspal panas“. Hasil yang diperoleh yaitu pada uji Marshall dengan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% menggunakan filler abu batu. Parameter pengujian yang digunakan adalah stabilitas Marshall, flow, Marshall Quotient, voids in mix (VIM), voids in the mineral aggregate (VMA), voids filled with bitumen (VFB). Berdasarkan kadar aspal optimum yang diperoleh dari hasil pengujian tersebut, dibuat campuran menggunakan filler limbah kaca dengan proporsi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap total berat filler.

Kadar aspal %	Hasil pengujian					
	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)
4,5	2465,00	2,65	930,20	7,18	15,75	54,40
5	2614,86	2,70	969,26	5,88	15,68	62,48
5,5	2546,00	2,90	882,44	4,99	15,98	68,78
6	2522,08	3,35	757,52	4,16	16,33	74,56
6,5	2337,43	3,60	649,29	3,78	17,08	77,89
Persyaratan	Min. 800	2 - 4	Min. 250	3 - 5	Min. 14	Min. 65

Table 2.11 Hasil pengujian marshall dilakukan oleh Patria Ratna Yuniarti

Dari tabel tersebut terlihat Nilai VIM yang memenuhi spesifikasi berkisar pada kadar aspal 5,5%-6,5%, di mana syarat yang ditentukan untuk nilai VIM adalah 3%-5%. Nilai VMA memenuhi spesifikasi minimal sebesar 14% pada semua kadar aspal yang diujikan. Nilai VFB yang memenuhi spesifikasi terdapat pada kadar aspal 5,5%-6,5% dari nilai standar yang ditetapkan yaitu minimal 65%.

Berdasarkan hasil uji Marshall *immersion* bahwa campuran yang menggunakan 75% *filler* limbah kaca lebih tahan terhadap rendaman air, disarankan untuk menggunakan *filler* limbah kaca dengan proporsi tersebut dalam campuran perkerasan.

Adapun penelitian yang terkait dilakukan oleh Miftahul Fauziah, Fitri Sari Wijayati. dengan judul “Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus” Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi level gelas substitusi pada fine agregat No.8 dalam campuran yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%. Hasilnya menunjukkan bahwa limbah kaca pada agregat halus No.8 dapat digunakan pada campuran aspal porous hanya sampai 30% dari proporsi

Hasil Pengujian untuk Kadar Aspal Optimum Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum dari hasil pengujian Marshall, Cantabro dan Asphalt Flow Down. Hasil pengujian Marshall dapat dilihat pada Tabel Hasil Pengujian Marshall untuk KAO

Table 2.12 hasil pengujian KAO yang dilakukan oleh Miftahul Fauziah dkk

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA(%)	Density (gr/cc)
4,5	535,6	4,00	139,83	18,54	31,48	27,11	2,06
5	606,2	3,78	160,87	18,06	34,31	27,54	2,06
5,5	598,2	3,74	165,94	17,61	37,16	27,99	2,06
6	507,1	4,35	116,89	17,24	39,60	28,54	2,05
spesifikasi	>500	>2	<400	18-25			

Hasil Pengujian pada KAO Berikut adalah rekapitulasi hasil pengujian *Marshall*, *Cantabro* dan *Asphalt Flow Down* pada kadar aspal optimum yang dapat dilihat pada Tabel

Table 2.13 hasil pengujian variasi yang dilakukan oleh Miftahul Fauziah dkk

Kadar Kaca (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	519,59	2,54	205,55	19,87	32,10	29,01	2,05
10	612,38	2,78	220,72	20,75	30,26	30,26	2,02
20	653,31	2,67	248,05	21,52	30,20	30,54	2,01
30	565,84	2,51	230,37	20,32	31,33	29,67	2,03
40	431,74	2,35	182,95	19,48	32,67	28,92	2,06
Spesifikasi	> 500	>2	< 400	18-25			

perhitungan dari karakteristik campuran porus aspal dengan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus No.8 dapat disimpulkan bahwa campuran dengan menggunakan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus baik digunakan hingga kurang dari 30% dari total campuran agregat halus No.8 dan mengalami perubahan karakteristik *Marshall* yaitu pada kemampuan campuran menahan beban yang semakin meningkat hingga batas optimum dan menurun setelahnya yaitu pada nilai stabilitas, kemudian nilai *flow*, *MQ*, *VITM*, *VMA* yang mengalami kenaikan hingga batas nilai optimumnya kemudian mengalami penurunan setelahnya, dan nilai *VFWA* dan *density* yang mengalami penurunan namun hingga nilai tertentu mengalami kenaikan setelahnya.

Adapun pada penelitian yang dilakukan oleh hartina dengan judul “Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai filler Terhadap karakteristik Campuran Aspal Panas (Ac – Wc)” dengan penambahan kadar limbah kaca 0%, 15%, 50%, 75% dan 100%. Adapun hasil uji marshall dapat di lihat pada table

Table 2.14 hasil pengujian yang dilakukan oleh hartina

Karakteristik marshall	satuan	spesifikasi		Kadar Limbah Kaca (%)				
		min	max	0%	15%	50%	75%	100%
Density	Gr/mm	-	-	2,31	2,31	2,31	2,33	2,32
VIM	%	3	5	4,32	4,45	4,51	5,04	5,14
VMA	%	15	-	16,20	16,32	16,37	16,83	16,92
VFB	%	65	-	73,36	72,74	72,64	70,08	69,65
Stabilitas	Kg	800	-	1127,48	1200,57	1468,10	950,38	856,69
Flow	Mm	2	4	2,53	2,27	3,08	3,75	4,33
MQ	Kg/mm	250	-	446,81	436,64	476,86	255,69	198,66

BAB III

METODE PENELITIAN

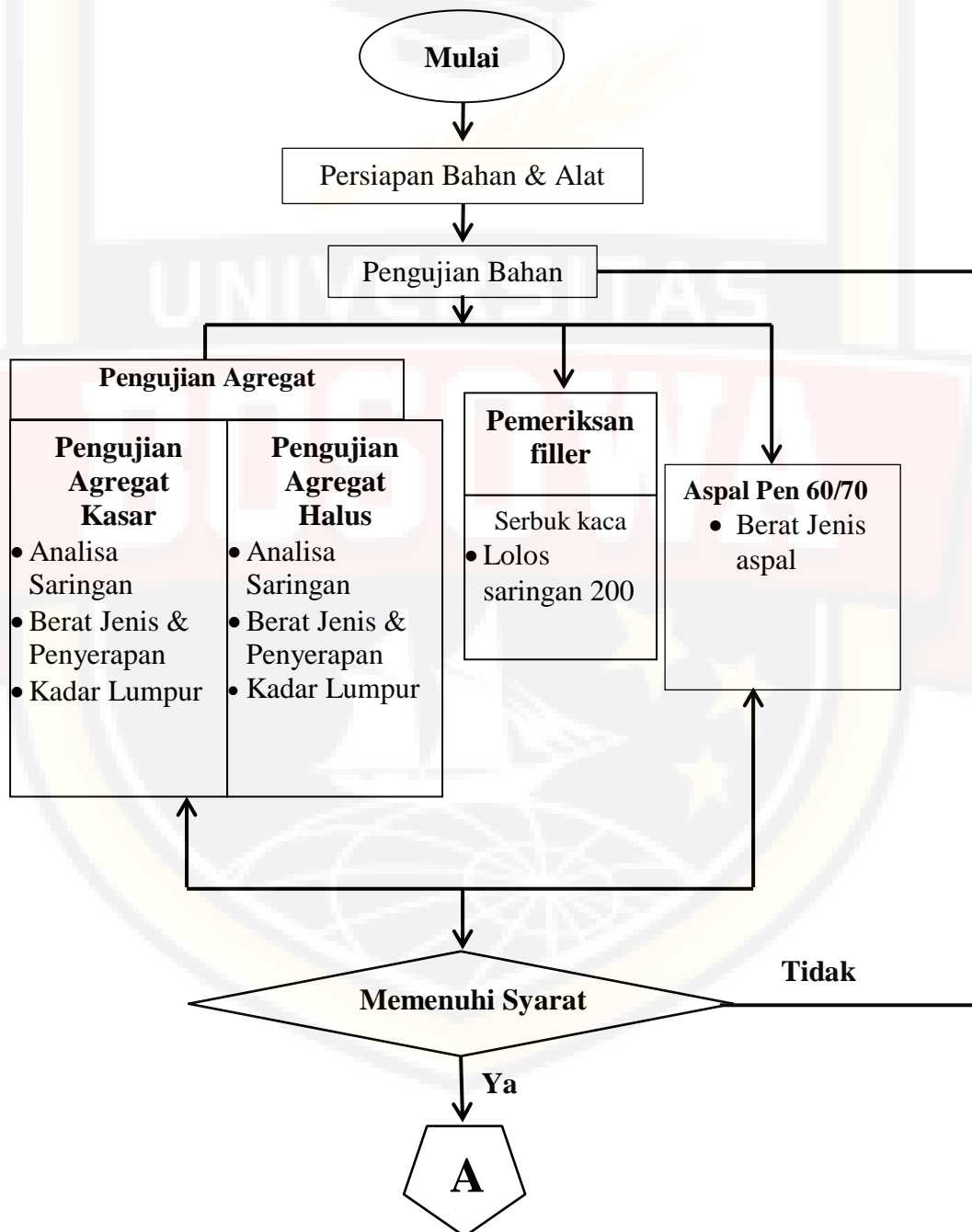
3.1 Metode Penelitian

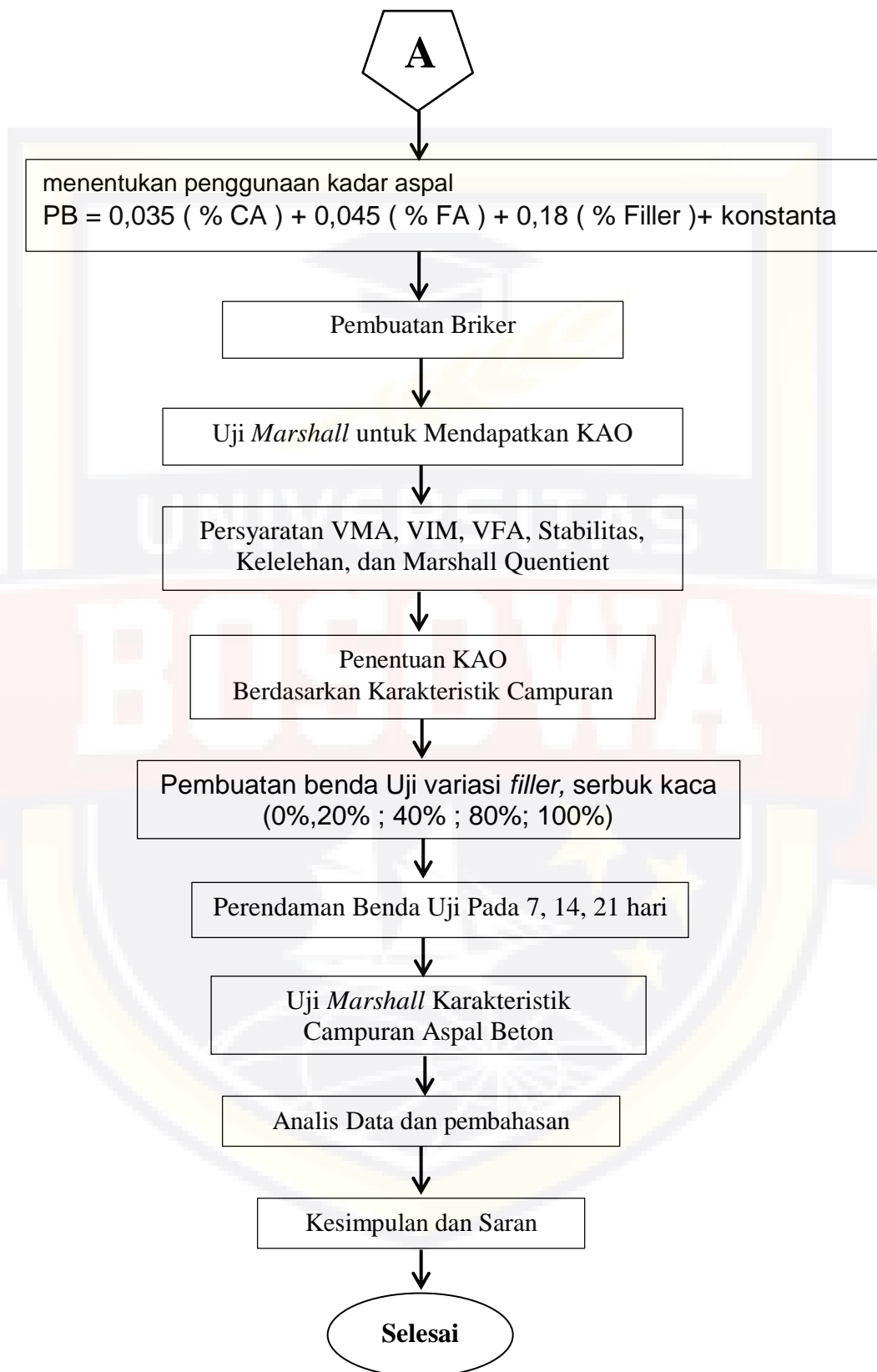
Penelitian tugas akhir ini dilaksanakan di Laboratorium Universitas Bosowa Makassar, Jurusan Sipil, Fakultas Teknik dengan menggunakan sistem pencampuran aspal panas, aspal yang digunakan sebagai pengikat adalah aspal beton dengan penetrasi 60/70 serta pencampuran agregat, aspal dan serbuk menggunakan metode kering yaitu agregat dan serbuk dicampur terlebih dahulu sebelum dicampur dengan aspal. Sedangkan metode pengujiannya mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).

Penelitian ini dilakukan secara bertahap, yaitu terdiri atas pengujian agregat (kasar, halus dan *filler*), aspal dan pengujian terhadap campuran (Uji Marshall). Pengujian terhadap agregat termasuk analisa saringan, pemeriksaan berat jenis, pengujian abrasi dengan mesin *Los Angeles*, dan penyerapan air. Untuk pengujian aspal beton termasuk juga penetrasi, titik nyala-titik bakar, titik lembek, dan berat jenis. Serta menambahkan variasi serbuk kaca sebagai bahan campur antara aspal dengan agregat. Sedangkan metode yang digunakan sebagai pengujian campuran adalah Metode Marshall, dimana dari pengujian Marshall tersebut didapatkan hasil-hasil yang berupa komponen-komponen Marshall, yaitu stabilitas (*density*), kepadatan (*flow*), (*Void in the Mineral*

Aggregat/VMA), Rongga di dalam campuran (*Void In The Compacted Mixture/VIM*), Rongga udara yang terisi aspal (*Voids Filled with Asphalt/VFA*), Hasil bagi Marshall/*Marshall Quotient (MQ)*.

3.2 Bagan Alir Penelitian





Gambar 3.1. Bagan alir penelitian

3.3 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Agregat

Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan yaitu:

- a) Batu Pecah 1- 2
- b) Batu Pecah 0,5 – 1
- c) Abu Batu



Gambar 3.2. Agregat

2. Bahan pengisi (*filler*)

Bahan pengisi atau *filler* menggunakan kaca yang didapat dari hasil pengayakan dari kaca.



Gambar 3.3. *Filler* kaca

3. Aspal

Aspal digunakan sebagai bahan pengikat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal. Aspal juga sebagai bahan

pengisi rongga antar butir agregat. Aspal yang digunakan yaitu aspal AC 60/70.



Gambar 3.4. Aspal AC 60/70

3.4 Peralatan Penelitian

3.4.1 Peralatan Pengujian Agregat

Pemeriksaan agregat meliputi pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Air. Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat antara lain:

a. *Los Angeles* (tes abrasi)

Digunakan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan dan untuk mengetahui abrasi suatu agregat (SNI 03-2417-1991).



Gambar 3.5. Mesin *Los Angeles*.

- b. Saringan Standar satu set yang terdiri dari ukuran 3/4", 1/2", 3/8", #4, #8, #30, #100, #200 dan pan. Ayakan yang digunakan mengikuti manual (SNI 03-1968-1990).



Gambar 3.6. Satu Set Saringan

- c. Timbangan

Digunakan untuk menimbang agregat, aspal dan serat yang akan diuji. Kapasitas timbangan 2 kg dengan ketelitian 0,01 gram dan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,01 gram (RSNI M-06-2004).



Gambar 3.7. Timbangan.

- d. Oven atau alat pengering

Digunakan untuk menghilangkan kadar air dan untuk mengeringkan agregat. Oven ini dilengkapi pengatur temperatur yang mampu memanaskan campuran sampai $200\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ (RSNI M-06-2004).



Gambar 3.8. Oven atau alat pengering.

e. Kain lap dan Kuas

Sebagai mengolesi minyak tanah pada cincin kuningan dan membersihkan benda uji yang tumpah dan alat bantu untuk mengangkat benda uji.



Gambar 3.9. Kain lap dan Kuas

f. Bak perendam dan tabung *sand equivalent*

Digunakan untuk merendam agregat agar jenuh air dan sebagai tempat perendaman benda uji (SNI 06-2489-1991).



Gambar 3.10. Bak perendam.

3.4.2 Peralatan Pengujian Aspal

Pemeriksaan aspal meliputi pemeriksaan:

a) Uji Penetrasi

Pengujian penetrasi ini sangat dipengaruhi oleh faktor berat beban total, ukuran sudut dan kehalusan permukaan jarum, temperatur dan waktu. Oleh karena itu perlu disusun dengan rinci ukuran, persyaratan dan batasan peralatan, waktu dan beban yang digunakan dalam penetrasi aspal (SNI 2432-2011).



Gambar 3.11. Alat Uji Penetrasi Aspal.

b) Uji Titik Lembek

Titik lembek adalah suhu pada saat bila baja dengan berat tertentu mendesak turun suatu lapisan aspal atau ter yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu sehingga aspal tersebut menyentuh palat dasar yang terletak dibawah cincin pada 24.4 mm (SIN 06-2434-1991)



Gambar 3.12. Alat Uji Titik Lembek.

c) Uji Titik Nyala dan Uji Titik Bakar

Titik nyala dapat digunakan untuk mengukur kecenderungan aspal panas dan api pada kondisi terkontrol di laboratorium. Hasil tersebut dapat digunakan sebagai informasi bahaya kebakaran yang sesungguhnya di lapangan (SNI 06-2433-2011).



Gambar 3.13. Alat Uji Titik Nyala dan Titik Bakar.

d) Uji Berat Jenis (Piknometer dan Timbangan)

Pengujian berat jenis aspal dimaksudkan untuk mengetahui berat jenis dari suatu jenis aspal (SNI 06-2441-1991).



Gambar 3.14. Alat Uji Berat Jenis Aspal

3.4.3 Alat Uji Karakteristik Campuran Agregat Aspal

Alat-alat yang digunakan untuk praktikum pengujian Marshall meliputi:

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



Gambar 3.15. Cetakan Benda Uji Marshall.

- b. Alat pengeluar benda uji.

Untuk benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan benda uji dipakai sebuah alat *Ejector*.



Gambar 3.16. *Ejector*.

- c. Penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder,



Gambar 3.17 batang Penumbuk.

- d. 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 3.18. Landasan Pematik.

- e. Mesin tekan lengkap dengan:
- 1) Kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*).
 - 2) 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").

- 3) Arloji kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01") dengan perlengkapannya.



Gambar 3.19. Alat Uji Marshall.

- f. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi maksimal sampai suhu 200°C ($\pm 3^{\circ}\text{C}$).
- g. 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 3.20. Bak perendam.

3.4.4 Perlengkapan lain

1. Panci-panci untuk memanaskan agregat, aspal dan pencampur aspal.

2. Pengukur suhu dari logam (*metal thermometer*) berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 0,5 atau 1% dari kapasitas sesuai dengan standar SNI 19-6421-2000.
3. Timbangan yang dilengkapi penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram.
4. Kompor gas.
5. sarung tangan dari karet.
6. Masker pelindung pernafasan.
7. Kantong plastik kapasitas 2 kg.
8. Tipe X/spidol.
9. Kaliper.

3.5 Pengujian Bahan

3.5.1. Pengujian Agregat Kasar

Agregat kasar untuk perencanaan ini adalah agregat yang lolos saringan 3/4" dan tertahan di atas saringan 2,36 mm atau saringan no.8. Agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran nominal. Sedangkan menurut SNI (1990, 1991) dan Sukirman (2003) ketentuan pengujian bahan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.1 di bawah ini:

Tabel 3.1. Ketentuan Agregat kasar

Pengujian	Standar Pengujian
A. Agregat Kasar	
Berat Jenis	SNI 1969:2016
SSD	SNI 1969:2016
Berat Jenis Semu	SNI 1969:2016
Penyerapan	SNI 1969:2016
<i>Los Angles</i> /Abrasi	SNI 03-2417-2008

3.5.2. Pengujian Agregat Halus

Agregat halus dari masing-masing sumber harus terdiri atas pasir alam atau hasil pemecah batu yang lolos saringan no. 8 dan tertahan di atas saringan no. 200. Agregat halus hasil pemecahan dan pasir alam harus ditimbun dalam cadangan terpisah dari agregat kasar di atas serta dilindungi terhadap hujan dan pengaruh air. Material tersebut harus merupakan bahan bersih, keras bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Menurut Sukirman (2003) ketentuan tentang agregat halus terdapat pada Tabel 3.2 di bawah ini:

Tabel 3.2. Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar Pengujian
B. Agregat Halus	
Berat Jenis	SNI 1970:2016
SSD	SNI 1970:2016
Berat Jenis Semu	SNI 1970:2016
Penyerapan <i>Hot Bin</i>	SNI 1970:2016

3.5.3. Pengujian Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi atau *filler* harus lolos saringan no. 200. Sebaiknya *filler* juga harus bebas dari semua bahan yang tidak dikehendaki. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari

gumpalan- gumpalan. Bahan pengisi yang diuji pada penelitian ini adalah pengayakan serbuk kaca yang lolos saringan no.200. Menurut SNI (1994) dan Sukirman (2003) ketentuan tentang *filler* dapat dilihat pada Tabel 7 di bawah ini:

Tabel 3.3. Ketentuan Agregat *Filler*

no	karakteristik Filler	Standar Pengujian	Satuan	Spesifikasi	
				Min.	Maks.
1	Material yang lolos saringan No.200	SNI M-06-6723-2002	%	70	-
3	Berat jenis	AASHTO T-85 – 81		-	-

3.5.4. Pengujian aspal

Metode penelitian/pengujian aspal sesuai spesifikasi yang mengacu pada SNI (1991) dan Sukirman (2003) dengan ketentuan pada Tabel 8 dibawah ini:

Tabel 3.4. Ketentuan Aspal

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Tipe 1 Aspal pen. 60/70
1	Penetrasi pada 25° C (0,1mm)	SNI 2456:2011	60-70
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
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	–

3.6 Penentuan Jumlah Dan Pembuatan benda uji

Setelah bahan yang akan digunakan telah lulus uji, tahap selanjutnya adalah penentuan jumlah benda uji dan rancangan agregat gabungan serta pembuatan benda uji untuk penentuan kadar aspal optimum.

3.6.1 Penentuan Jumlah Benda Uji

Banyaknya benda uji yang dibuat untuk kebutuhan penelitian ini, dapat dilihat pada tabel 3.5

Tabel 3.5 Perhitungan benda Uji

Uraian kegiatan pengujian				Jumlah
1. Penentuan Kadar Aspal Optimum			Jumlah Benda Uji	
Variasi Kadar Aspal (%)		AC-WC		
4	3	3	3	3
4.5	3	3	3	3
5	3	3	3	3
5.5	3	3	3	3
6	3	3	3	3
Total				15
2. Pengujian stabilitas sisa (60 ^u)				Jumlah
Kadar Aspal Optimum (%)	Waktu (Menit/jam)	AC-WC	AC-WC	
KAO	30 Menit	3	3	3
KAO	24 Jam	3	3	3

3. Variasi substitusi filler semen dengan limbah kaca						
Kadar Aspal (%)	Kadar limbah kaca (%)	Siklus (hari)			AC-WC	Jumlah
Optimum	0	-	-	-	3	3
Optimum	40	7	14	21	3	9
Optimum	60	7	14	21	3	9
Optimum	80	7	14	21	3	9
Optimum	100	7	14	21	3	9
Total Benda Uji						39

3.6.2 Pembuatan Benda Uji untuk menentukan kadar aspal optimum

a. Peralatan :

1. Timbangan
2. Wajan
3. Cetakan benda uji yang diameter 10 cm (4") dan tinggi 7.5 cm (3") lengkap dengan plat alas dan leher sambung
4. Alat penumbuk lengkap dengan pedestal yang mempunyai permukaan tumbuk rata terbentuk selinder dengan berat 4.536 kg, dan tinggi jatuh bebas 45.7 cm (18")
5. Spatula
6. Termometer

b. Prosedur kerja :

1. Pisahkan agregat dengan cara penyaringan sesuai dengan presentase agregat yang didapat.
2. Menentukan kadar aspal optimum rencana (Pb)
3. Rumus umum untuk menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) pada campuran adalah :

$$Pb = . PB = 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% Filler) + k$$

Dimana :

Pb = Perkiraan kadar aspla optimum

CA = Agregat kasar

FA = Agregat halus

K = Nilai konstanta 0,5-1,0

4. Timbang masing-masing agregat dan aspal sesuai dengan presentase gabungan yang didapat.
5. Panaskan agregat dengan cara disangrai sampai suhu 165°C
6. Tuangkan aspal penetrasi 60/70 yang sudah dipanaskan kedalam campuran agregat yang berada dalam wajan sesuai dengan jumlahnya dan kemudian aduk sampai menyatu secara baik.
7. Ukur temperatur pemadatan yaitu 155°C lalu masukkan campuran kedalam cetakan.
8. Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 2 x 75 kali tumbukan, lalu dinginkan untuk kemudian dikeluarkan dari cetakan

3.7 Pengetesan Benda Uji Dengan Alat Marshall untuk menentukan (KAO)

Bertujuan untuk menentukan *Stabilitas, Flow, Air Void, Void Filled* dan *Marshall Quotient* campuran aspal beton.

Prosedur pengetesan adalah benda uji yang telah dipadatkan dan didinginkan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji diudara, kemudian rendam dalam air selama 24 jam pada suhu ruang, kemudian timbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air, lalu benda uji diangkat dan dilap kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat kering permukaan jenuh (SSD).

Sebelum diadakan pengetesan dengan alat marshall benda uji terlebih dahulu direndam dalam air dengan suhu 60°C selama 30 menit. Setelah 30 menit dikeluarkan benda uji lalu kemudian tes dengan alat marshall.

Dari pengetesan benda uji akan diperoleh data stabilitas dan Flow sebagai dasar untuk menentukan sifat-sifat campuran. Rancangan campuran yang digunakan dalam penelitian ini yaitu AC-WC.

Kadar aspal optimum ditentukan dari hasil parameter Marshall, nilai-nilai karakteristik Marshall yang memenuhi spesifikasi diplot ke grafik dalam bentuk chart yang menunjukkan hubungan karakteristik Marshall terhadap kadar aspal campuran dimana semua karakteristik campuran memenuhi spesifikasi/persyaratan ditetapkan sebagai kadar aspal optimum.

3.8. Pembuatan Benda Uji dengan variasi filler limbah kaca

Setelah mendapatkan kadar aspal optimum (KAO), selanjutnya kita melakukan pembuatan benda uji dengan variasi filler limbah kaca 0%, 40%, 60%, 80% dan 100%.

a. Peralatan :

1. Timbangan
2. Wajan
3. Cetakan benda uji yang diameter 10 cm (4") dan tinggi 7.5 cm (3") lengkap dengan plat alas dan leher sambung
4. Alat penumbuk lengkap dengan pedestal yang mempunyai permukaan tumbuk rata terbentuk selinder dengan berat 4.536 kg, dan tinggi jatuh bebas 45.7 cm (18")
5. Spatula
6. Termometer

b. Prosedur kerja :

1. Pisahkan agregat dengan cara penyaringan sesuai dengan presentase agregat yang didapat.
2. Menggunakan kadar aspal optimum yang ditentukan
3. Timbang masing-masing agregat dan aspal sesuai dengan presentase gabungan yang didapat.
4. Panaskan agregat dengan cara disangrai sampai suhu 165°C
5. Tuangkan aspal penetrasi 60/70 yang sudah dipanaskan kedalam campuran agregat yang berada dalam wajan sesuai dengan jumlahnya dan kemudian aduk sampai menyatu secara baik.
6. Ukur temperatur pemadatan yaitu 155°C lalu masukkan campuran kedalam cetakan.
7. Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 2 x 75 tumbukan, lalu dinginkan dan kemudian dikeluarkan dari cetakan

3.9 Pengetesan Benda Uji Dengan Variasi Filler Limbah Kaca Dengan Alat Marshall

Bertujuan untuk menentukan *Stabilitas, Flow, Air Void, Void Filled* dan *Marshall Quotient* campuran aspal beton.

Prosedur pengetesan adalah benda uji yang telah dipadatkan dan didinginkan kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat benda uji diudara, kemudian melakukang perendaman berulang dengan 7 hari, 14 hari, dan 21 hari, dilakukan perendaman dengan cara pada hari pertama

direndam selama 24 jam dan hari kedua diangkat dan dilap, pada hari ketiga direndam kembali selama 24 jam, dan diulangi prosedur tersebut sampai 14 hari. Begitu pula dengan perendaman 14 hari dilakukan sama seperti prosedur sebelumnya sampai 28 hari dan perendaman 21 hari dilakukan proses perendaman berulang sampai hari ke 42 hari. Kemudian dikeluarkan benda uji yang telah melalui proses perendaman berulang lalu kemudian tes dengan alat marshall.

Dari pengetesan benda uji akan diperoleh data stabilitas dan Flow. Setelah itu menganalisis dan mengolah data yang sudah di peroleh, kemudian buat kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1. Penyajian Data

Bahan agregat yang digunakan pada penelitian ini, terdiri dari agregat kasar dan agregat halus diperoleh dari bili-bili dan *filler* yang digunakan diperoleh dari PT.Semen Bosowa. Jenis Aspal yang digunakan Studi ini adalah Aspal Minyak Produksi Pertamina 60/70.

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 (AASHTO T.11/27)

Ukuran Saringan		% Lolos Saringan			
Inchi	mm	Gradasi Batu Pecah 1-2	Gradasi Batu Pecah 0,5-1	Abu Batu	Semen
3/4"	19	100,00	100,00	100,00	100
1/2"	12,5	43,08	99,37	100,00	100
3/8"	9,5	7,91	95,51	100,00	100
No.4	4,75	1,82	47,88	95,43	100
No. 8	2,36	1,56	13,85	74,23	100
No. 16	1,18	1,48	8,25	53,80	100
No. 30	0,6	1,63	5,62	32,28	100
No. 50	0,3	1,49	4,40	21,00	100
No.100	0,14	1,12	3,00	9,34	100
No.200	0,075	0,75	1,97	4,37	95,16

Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium

b. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar (Batu Pecah1-2 dan Batu Pecah 0,5-1)

Rumus:

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

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 (Batu Pecah 1-2, dan Batu Pecah 0,5 - 1)

Jenis Pemeriksaan	Metode pengujian	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Gradasi	AASHTO T27-82			%
Berat jenis dan penyerapan (batu pecah 1-2)				
1. Bulk	SNI 1969:2016	2.40	-	-
2. SSD		2.46	-	-
3. Semu		2.54	Min 2,5	-
4. Penyerapan		2.39	Max 3	-
Berat jenis dan penyerapan (batu pecah 0,5-1)				
1. Bulk	SNI 1969:2016	2.47	-	-
2. SSD		2.54	-	-
3. Semu		2.64	Min 2,5	-
4. Penyerapan		2.75	Max 3	-

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

c. Pemeriksaan Berat Jenis Abu Batu :

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

BK = Berat benda kering oven

B = Berat piknometer + air

BT = Berat piknometer + air + benda uji

Tabel 4. 3. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Abu Batu

Jenis Pemeriksaan	Metode	Hasil	Spesifikasi	Satuan
Gradasi	AASHTO T27-82		-	%
Berat jenis dan penyerapan				
1. Bulk	SNI 03-6819-2002	2.47	-	Gram
2. SSD		2.54	-	Gram
3. Semu		2.64	Min 2,5	Gram
4. Penyerapan		2.68	Max 3	Gram

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Minyak

Jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal minyak penetrasi 60/70. Hasil pengujian sifat-sifat fisik aspal sesuai hasil pengujian dan penelitian, diperlihatkan pada Tabel 4.6. sebagai berikut :

Tabel 4. 4. Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

No.	Pemeriksaan	Prosedur Pemeriksaan	Spesifikasi		Hasil	Satuan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi (25° C, 5 dtk)	SNI-06-2456-1991	60	79	64,9	0.1 mm
2	Titik Lembek (ring dan Ball)	SNI-06-2434-1991	48	58	51	°C
3	Berat jenis (25° C)	SNI-06-2441-1991	1,0	-	1,005	Gr/ml
4	Daktalitas (25° C, 5 cm/menit)	SNI-06-2432-1991	100	-	120	mm
5	Titik Nyala dan Titik Bakar	SNI -06-2433-1991	200	-	272,5	%
6	Viskositas Pencampuran	AASHTO-72-97	130	165	162	°C
7	Viskositas Pematatan	AASHTO-72-97	120	140	131	°C

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

4.1.3. Analisa Rancangan Campuran

- Penentuan Komposisi Agregat Gabungan

Dengan metode coba-coba (*Trial And Error*) tersebut diperoleh komposisi agregat gabungan untuk campuran aspal panas AC-WC yaitu menentukan masing-masing persentase dari masing-masing agregat kemudian hasil penggabungan agregat diperoleh melalui perkalian presentase dengan persen lolos dari agregat, selanjutnya hasil perkalian tersebut masing-masing dijumlahkan dan menghasilkan komposisi campuran.

Nilai presentase agregat gabungan untuk campuran aspal panas (AC-WC Standar) berdasarkan hasil perhitungan pada lampiran adalah:

- Batu Pecah 1 – 2 = 17%
- Batu Pecah 0,5-1 = 26%
- Abu Batu = 56%
- Filler = 1%

Contoh Perhitungan untuk nilai persentase agregat gabungan untuk campuran aspal panas (AC – WC) sebagai berikut :

$$\text{Gradasi Penggabungan Agregat} = \frac{\text{Komposisi Camp.}}{100} \times a +$$

$$\frac{\text{Komposisi Camp.}}{100} \times b + \frac{\text{Komposisi Camp.}}{100} \times c + \frac{\text{Komposisi Camp.}}{100} \times d$$

$$= \frac{17}{100} \times 100 + \frac{26}{100} \times 100 + \frac{56}{100} \times 100 + \frac{1}{100} \times 100$$

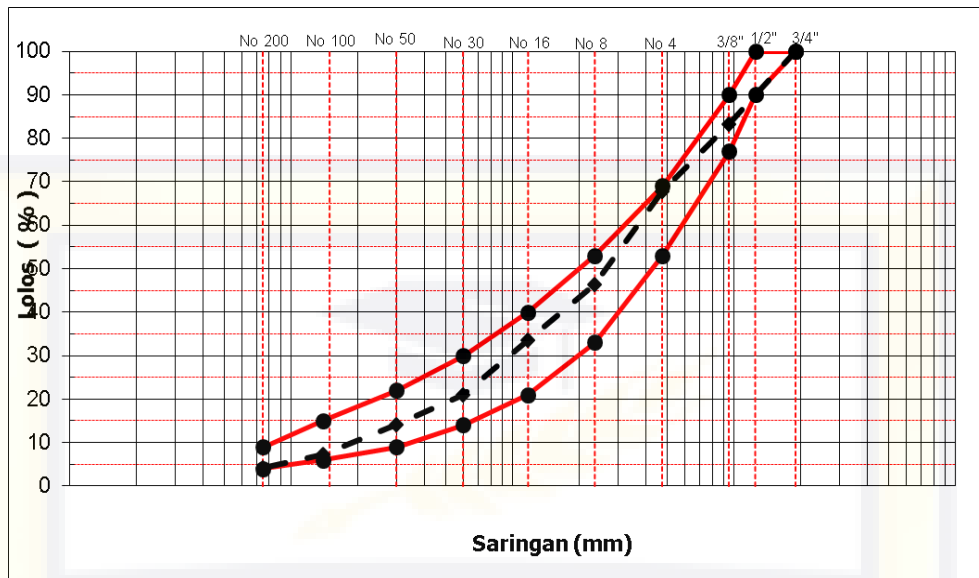
$$= 100\%$$

Selanjutnya untuk nilai persentase agregat gabungan untuk campuran aspal panas (AC-WC) berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 4.5. Rancangan Campuran Aspal Panas AC-WC

No. Sari	Gradasi Agregat (Rata - Rata)				Gradasi Penggabungan Agregat (Combined) AC-WC		Spesifikasi 2018
	Batu Pecah 1 - 2	Batu Pecah 0,5 - 1	Abu Batu	Filler	I	II	
					ngan		
3/4"	100.0	100.0	100.0	100	100.00	100	
1/2"	43.08	99.37	100.0	100	90.16	90-100	
3/8"	7.91	95.51	100.0	100	83.18	77-90	
#4	1.82	47.88	96.43	100	67.76	53-69	
#8	1.56	13.85	74.23	100	46.44	33-53	
#16	1.48	8.25	53.80	100	33.52	21-40	
#30	1.63	5.62	32.38	100	20.87	14-30	
#50	1.49	4.40	21.00	100	14.16	9-22	
#100	1.12	3.00	9.34	100	7.20	6-15	
#200	0.73	1.97	4.37	95.16	4.0	4-9	
Komposisi Penggabungan Agregat (%)							
a. Batu pecah 1 - 2					17		
b. Batu pecah 0,5 - 1					26		
c. Abu batu					56		
d. Filler					1		
Total Luas Permukaan Agregat							
(M2/Kg)					4.89		

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR



Gambar 4.1 Grafik Gradasi Penggabungan Agregat AC-WC

4.2. Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

4.2.1. Perkiraan Kadar Aspal Optimum Rencana (Pb)

Penentuan kadar aspal untuk campuran aspal panas AC-WC

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0.035 (\text{Ag. Kasar}) + 0.045 (\text{Ag. Halus}) + 0.18 (\text{Filler}) + K \\
 &= 0.035 (53,57) + 0.045 (42,37) + 0.18 (4,07) + 0,75 \\
 &= 5,26 \% \longrightarrow 5.0 \%
 \end{aligned}$$

Keterangan :

Agregat Kasar = #3/4" - #8	Agregat Halus = #8 - #200
= 100 - 46,44	= 46,44 - 4,07
= 53,57	= 42,37
Filler = #200	
= 4,07	

Kadar aspal yang didapatkan adalah 5,0%, dengan mengambil dua kadar aspal dibawah dan dua kadar aspal diatas menggunakan interval 0,5 % maka nilai tersebut adalah 4,0 % ; 4,5 % ; 5.0 % ; 5,5 % ; 6,0%.

4.2.2. Penentuan Berat Agregat dan Aspal dalam Campuran

Setelah mendapatkan persentase masing-masing fraksi agregat dan aspal, maka ditentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas *mold* yang ada.

Perhitungan untuk campuran aspal panas AC-WC dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 dapat dilihat pada lampiran.

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada masing-masing kadar aspal dapat dilihat sebagai berikut :

Tabel 4.6. Komposisi campuran AC-WC

Kadar Aspal = 4 %		100 % - 4 %		= 96	
Hasil Combine					
BP 1- 2	17 %	x	96 %	=	0.163 x 1200 = 195.8
BP 0,5 - 1	26 %	x	96 %	=	0.250 x 1200 = 299.5
Abu Batu	56 %	x	96 %	=	0.538 x 1200 = 645.1
Filler	1 %	x	96 %	=	0.010 x 1200 = 11.52
Aspal	4 %	X			1200 = 48
					1200

Ket: Dalam satuan gram

Tabel 4.7. Berat Aspal dan agregat pada campuran aspal Panas AC-WC Standar

Kadar aspal	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
Batu Pecah 1 - 2	195,84	194,82	193,80	192,78	191,76
Batu Pecah 0,5 - 1	299,52	297,96	296,40	294,84	293,28
Abu Batu	645,12	641,76	638,40	635,04	631,68
Semen	11,52	11,46	11,40	11,34	11,28
Berat Aspal Terhadap Campuran	48	54	60	66	72
Jumlah	1200	1200	1200	1200	1200

Ket: Dalam satuan gram

4.2.3. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Campuran

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

Tabel 4.8 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Material	Berat jenis bulk	Berat jenis semu	Berat jenis efektif
	a	b	$c = \frac{(a+b)}{2}$
Batu Pecah 1 - 2	2,40	2,54	2,47
Batu Pecah 0,5 - 1	2,47	2,64	2,56
Abu batu	2,47	2,64	2,56
Filler		3,14	
Aspal		1,005	

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

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

- a. Untuk campuran aspal panas AC-WC

$$\begin{aligned} \text{Bj. Bulk Agregat (G}_{sb}) &= \frac{100}{\left(\frac{17\%}{2,40}\right) + \left(\frac{26\%}{2,47}\right) + \left(\frac{56\%}{2,47}\right)} \\ &= 2,49 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bj. Semu Agregat (G}_{sa}) &= \frac{100}{\left(\frac{17\%}{2,54}\right) + \left(\frac{26\%}{2,64}\right) + \left(\frac{56\%}{2,64}\right)} \\ &= 2,64 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Bj. Efektif Agregat (G}_{se}) = \frac{2,49 + 2,64}{2} = 2,56 \text{ gram}$$

4.3. Data Uji Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Pada pengujian benda uji dengan alat *marshall*, diperoleh dua data hasil pengujian yaitu pembacaan *stabilitas* dan *flow* benda uji.

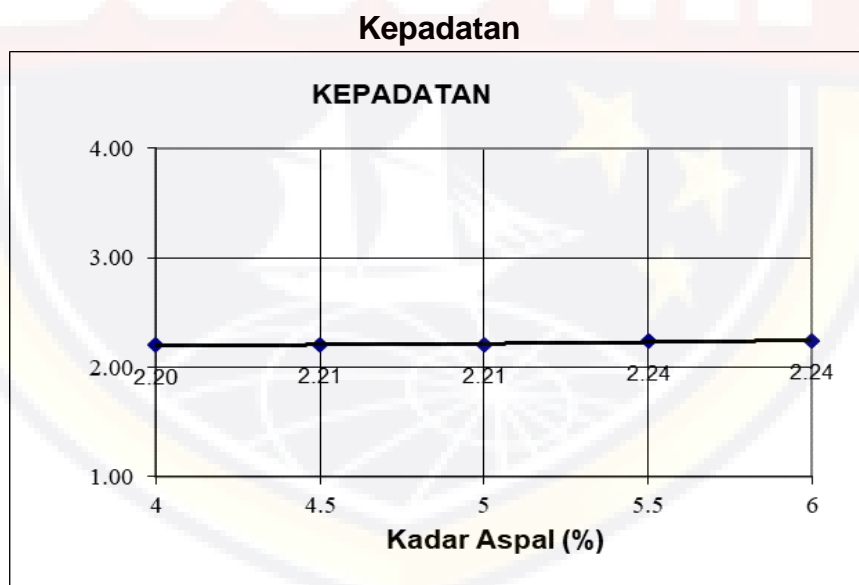
Dari hasil pengujian dan perhitungan *marshall* yang telah dilakukan terhadap benda uji untuk campuran AC – WC disajikan pada tabel

di bawah ini :

Tabel 4.9 Hasil Marshall tes KAO

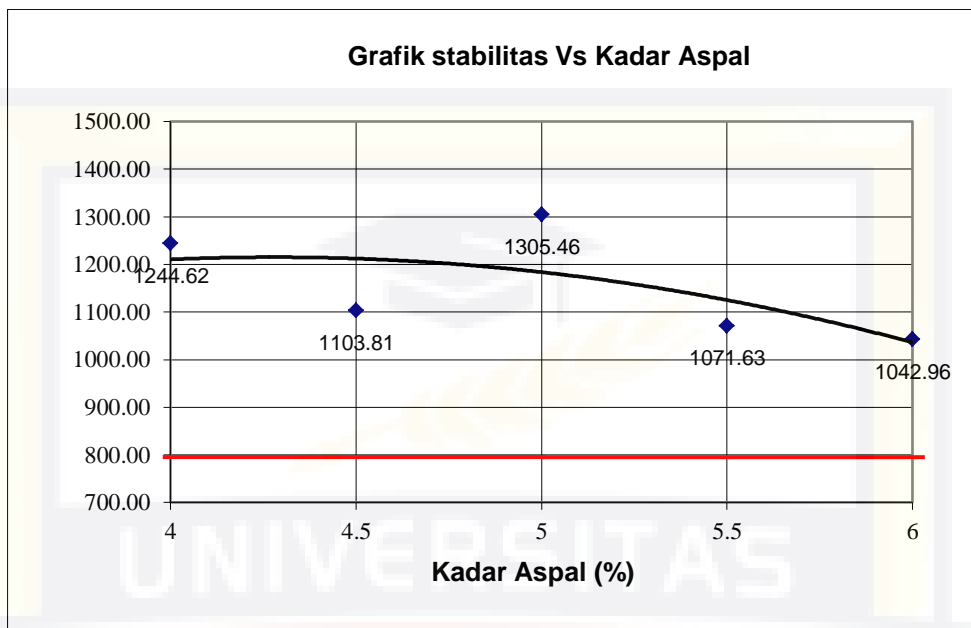
Kadar Aspal %	Hasil Pengujian						
	Kepadatan	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA(%)	VFB (%)
4	2.20	1244.62	4.33	288.86	8.73	15.17	42.56
4,5	2.21	1103.81	4.27	258.74	7.79	15.35	49.49
5	2.21	1305.46	4.20	315.42	7.13	15.81	55.14
5,5	2.24	1071.63	3.73	287.30	4.82	15.07	68.05
6	2.24	1042.96	3.50	294.58	4.25	15.33	72.29

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran, lalu diplot kedalam grafik untuk kemudian ditentukan kadar aspal optimum (KAO) seperti pada Gambar 4.2. dan 4.3.



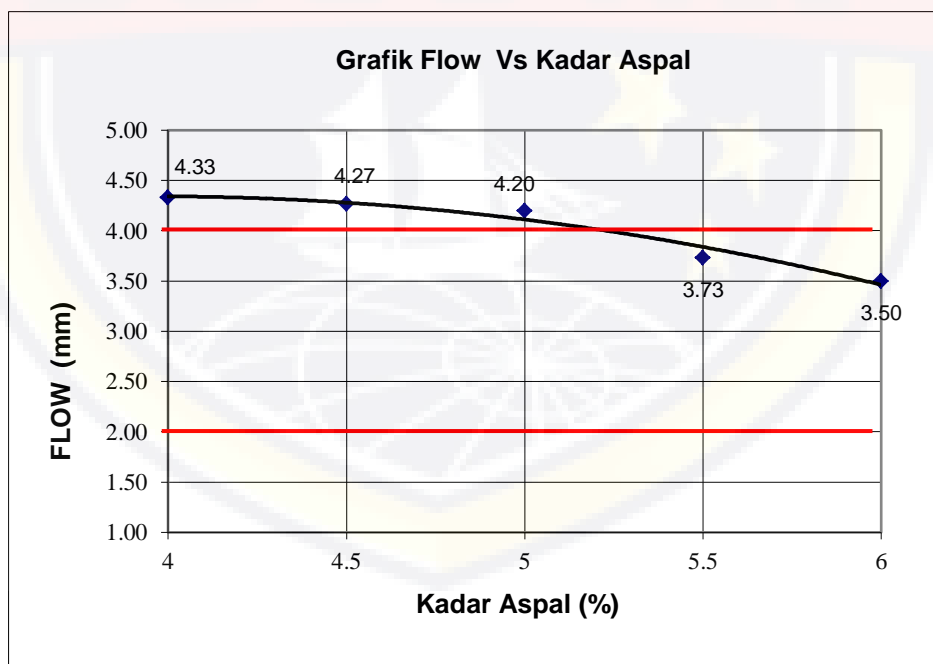
Gambar 4.2.a. Grafik Kepadatan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Stabilitas Minimum 800 (KG)



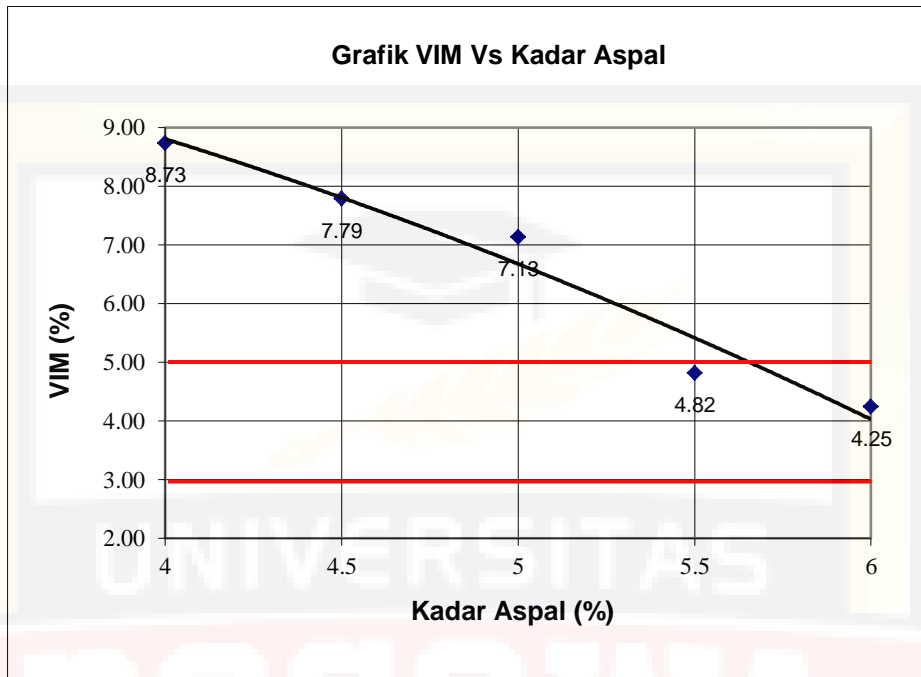
Gambar 4.2.b. Grafik Stabilitas Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Pelehan (Flow) 2-4



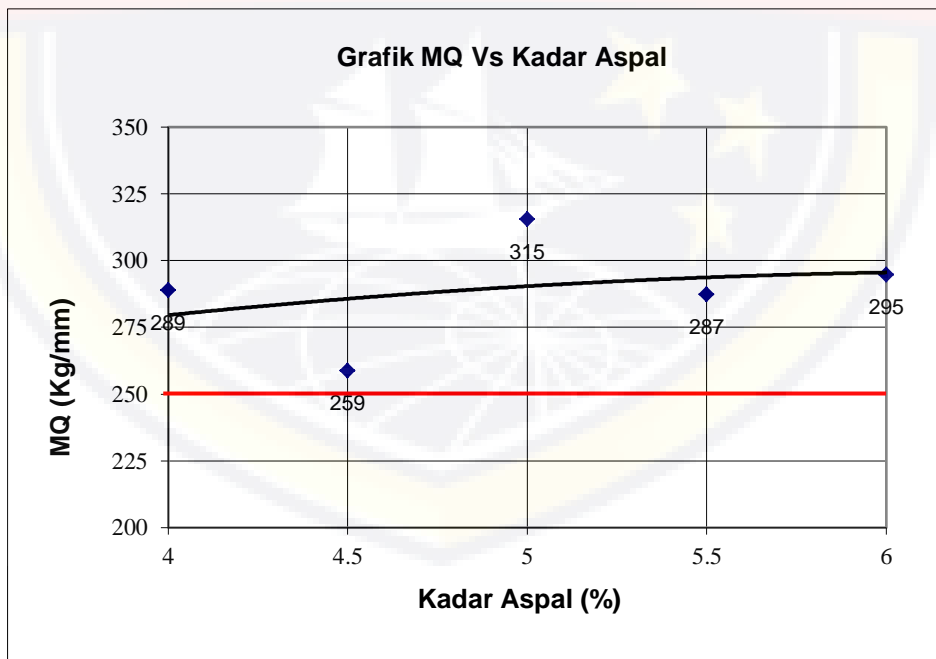
Gambar 4.2.c. Grafik Pelehan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Rongga Dalam Campuran (VIM) Antara 3,0 – 5,0 (%)



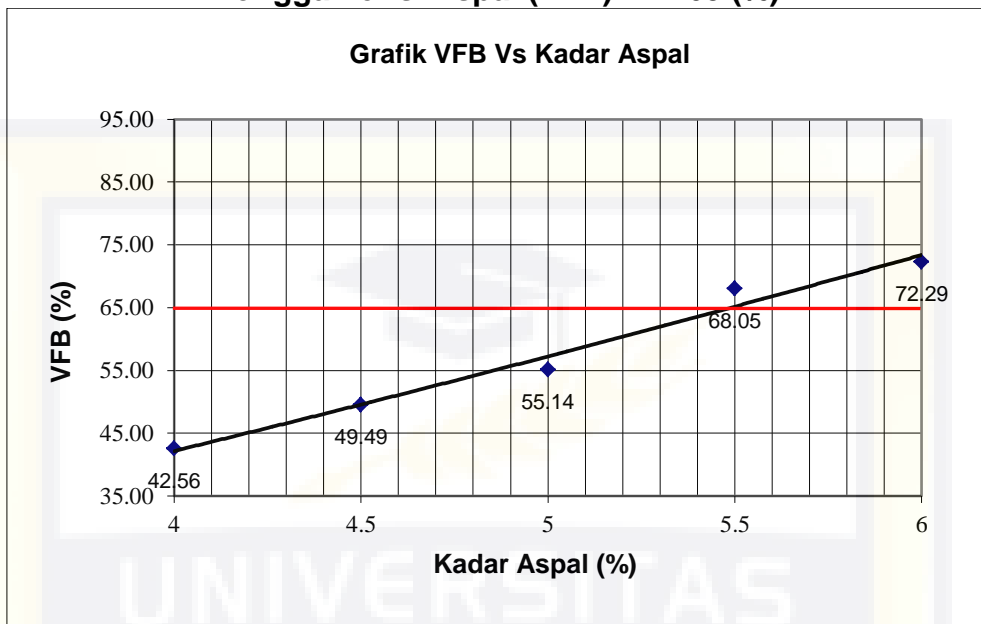
Gambar 4. 2.d. Grafik VIM Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Marshall Quotient 250 (Kg/mm)



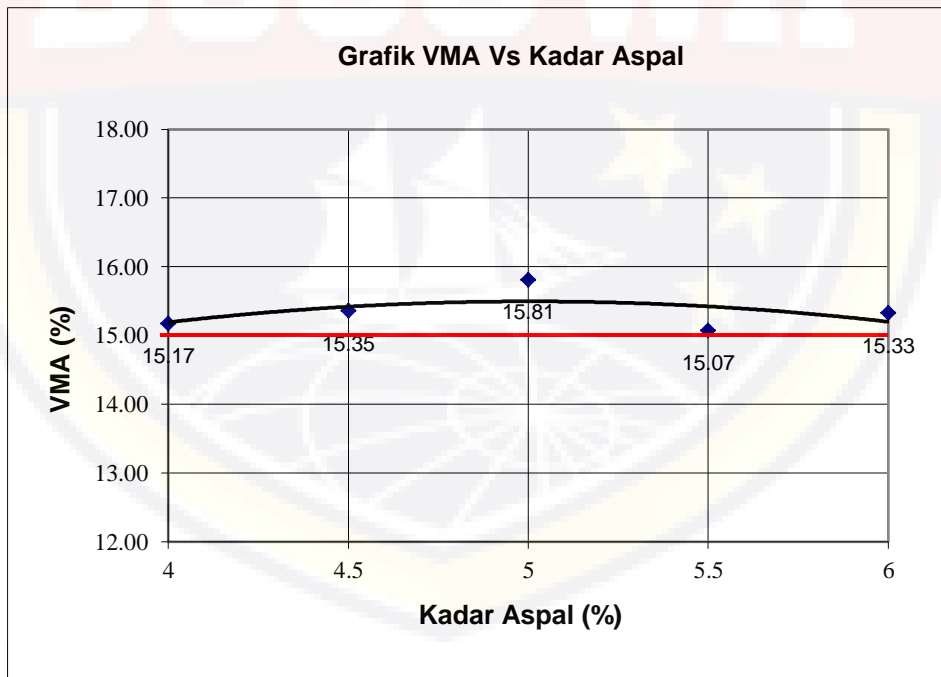
Gambar 4.2.e. Grafik Marshall Quotient Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Rongga Terisi Aspal (VFB) Min 65 (%)

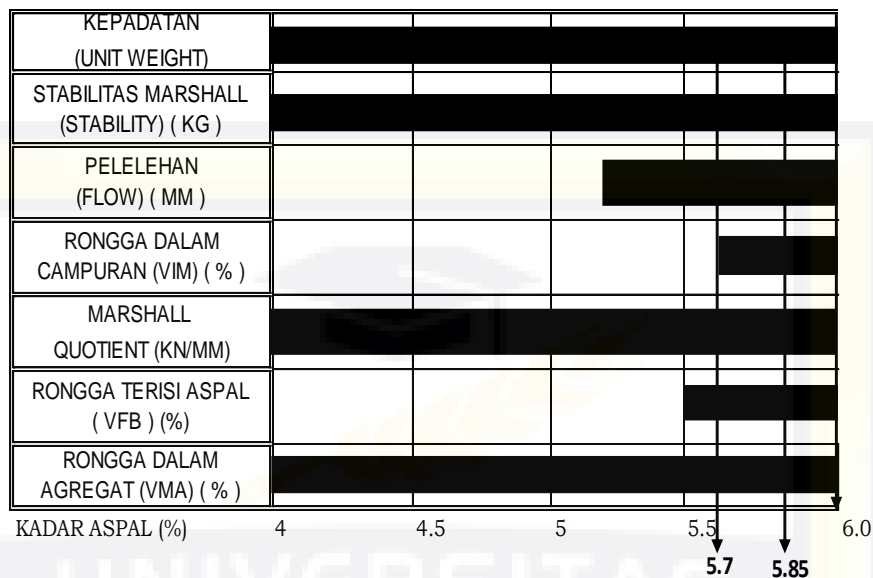


Gambar 4.2.f. Grafik VFB Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Rongga Dalam Agregat (VMA) minimum 15 (%)



Gambar 4. 2.g. Grafik VMA Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO



Gambar 4.3 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum

$$\text{KADAR ASPAL OPTIMUM} = \frac{5.7\% + 6.0\%}{2} = 5.8\%$$

Dari gambar kurva hubungan parameter Marshall dengan kadar Aspal untuk penentuan campuran AC-WC Standar dapat diuraikan sebagai berikut:

- Grafik hubungan antara *Stabilitas* terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa dengan kadar aspal rendah nilai Stabilitas semakin rendah dan seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai stabilitas akan semakin bertambah sampai pada titik tertinggi dan kemudian mengalami penurunan dengan penambahan kadar aspal.
- Grafik hubungan antara *Flow* terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa secara konsisten *Flow* akan naik dengan bertambahnya kadar aspal.
- Grafik hubungan antara *VIM* terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa dengan kadar aspal rendah, maka nilai *VIM* menjadi tinggi. Namun dengan bertambahnya kadar aspal nilai *VIM* semakin rendah.

d) Grafik hubungan antara *Marshall Quotient* menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai MQ akan semakin bertambah sampai pada titik tertinggi dan kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal.

e) Grafik hubungan antara *Vfb* terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai *Vfb* juga makin tinggi karena rongga terisi aspal.

Grafik hubungan antara *VMA* terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase kadar aspal maka nilai *VMA* akan semakin berkurang.

4.4. Pembuatan Benda Uji dengan Limbah Kaca sebagai filler Pada Perendaman Berulang

untuk campuran AC-WC didapat berat aspal dan agregat terhadap

kadar aspal optimum sebagai berikut :

4.4.1. Perhitungan Berat Agregat Dan Berat Aspal Menggunakan Kadar Aspal Optimum Dengan Menggunakan Bahan Limbah Kaca Sebagai filler

Setelah diperoleh Karakteristik Marshall dengan Kadar Aspal Optimum yang telah ditentukan maka dilanjutkan untuk komposisi campuran.

Untuk campuran AC - WC dengan variasi Limbah serbuk kaca 40%, 60%, 80%, dan 100% pada perendaman berulang, 7 hari, 14 hari dan 21 hari. didapat kadar Aspal dan Agregat terhadap kadar Aspal optimum sebagai berikut :

Tabel 4.10. Komposisi campuran dengan bahan limbah serbuk kaca 40%

Kadar Aspal	=	5.8	%		100	%	-	5.8	%	=	94.2
Hasil Combine											
BP 1-2	17	%	x	94.2	%	=	0.1601	x	1200	=	192.17
BP 0.5-1	26	%	x	94.2	%	=	0.2449	x	1200	=	293.90
Abu Batu	56	%	x	94.2	%	=	0.5275	x	1200	=	633.02
Filler semen	1	%	x	94.2	%	=	0.0094	x	1200	=	11.304
				60	%	=	11.304	-	4.522		
						=	6.7824				
	Limbah Kaca			40	%	=	11.304	x	<u>40</u>		
									100		
						=	4.5216				
Aspal	5.8	%				X			1200	=	<u>69.6</u>
											1200

Ket: Satuan dalam gram

Tabel 4.11. Komposisi campuran dengan bahan limbah serbuk kaca 60%

Kadar Aspal	=	5.8	%		100	%	-	5.8	%	=	94.2
Hasil Combine											
BP 1-2	17	%	x	94.2	%	=	0.1601	x	1200	=	192.17
BP 0.5-1	26	%	x	94.2	%	=	0.2449	x	1200	=	293.90
Abu Batu	56	%	x	94.2	%	=	0.5275	x	1200	=	633.02
Filler semen	1	%	x	94.2	%	=	0.0094	x	1200	=	11.304
				40	%	=	11.304	-	6.782		
						=	4.5216				
	Limbah Kaca			60	%	=	11.304	x	<u>60</u>		
									100		
						=	6.7824				
Aspal	5.8	%				X			1200	=	<u>69.6</u>
											1200

Ket: Satuan dalam gram

Tabel 4. 12. Komposisi campuran dengan bahan limbah serbuk kaca 80%

Kadar Aspal	=	5.8	%		100	%	-	5.8	%	=	94.2
Hasil Combine											
BP 1-2	17	%	x	94.2	%	=	0.1601	x	1200	=	192.17
BP 0.5-1	26	%	x	94.2	%	=	0.2449	x	1200	=	293.90
Abu Batu	56	%	x	94.2	%	=	0.5275	x	1200	=	633.02
Filler semen	1	%	x	94.2	%	=	0.0094	x	1200	=	11.304
				20	%	=	11.304	-	9.043		
						=	2.2608				
	Limbah Kaca			80	%	=	11.304	x	<u>80</u>		
									100		
						=	9.0432				
Aspal	5.8	%				X			1200	=	<u>69.6</u>
											1200

Ket: Satuan dalam gram

Tabel 4.13. Komposisi campuran dengan bahan limbah serbuk kaca 100%

Kadar Aspal	=	5.8	%		100	%	-	5.8	%	=	94.2
Hasil Combine											
BP 1-2	17	%	x	94.2	%	=	0.1601	x	1200	=	192.17
BP 0.5-1	26	%	x	94.2	%	=	0.2449	x	1200	=	293.90
Abu Batu	56	%	x	94.2	%	=	0.5275	x	1200	=	633.02
Filler	1	%	x	94.2	%	=	0.0094	x	1200	=	11.304
				0	%	=	11.304	-	11.3		
						=	0				
	Limbah Kaca			100	%	=	11.304	x	$\frac{100}{100}$		
						=	11.304				
Aspal	5.8	%				X			1200	=	$\frac{69.6}{1200}$

Ket: Satuan dalam gram

4.4.2. Data Hasil Uji Dengan Alat Marshall Yang Diperoleh Dengan Menggunakan Kadar Aspal Optimum

Tujuan dari uji Marshall ini ialah untuk mengetahui karakteristik campuran aspal panas dengan kadar aspal optimum 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 4.14. Hasil Uji Marshall Sisa KAO dengan perendaman selama 30 menit dan 24 jam pada suhu 60°C.

No	Pemeriksaan	KAO 5.8%		Spesifikasi 2018
		Perendaman		
		30 menit	24 jam	
1	Kepadatan	2.23	2.23	-
2	Stabilitas (Kg)	1275,8	1246,3	Min 800
3	VMA (%)	15.48	15.45	Min 15
4	MQ (Kg/mm)	439,3	454,1	Min 250
5	Flow (mm)	2.97	2,80	2-4
6	VIM (%)	4.97	4.94	3-5
7	VFB (%)	67,92	68,05	Min 65

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementrian PUPR

Dari hasil uji marshall dapat diketahui campuran aspal panas AC-WC dengan variasi menggunakan penambahan limbah serbuk kaca 40%, 60%, 80%, dan 100% kedalam campuran aspal panas AC-WC dengan perendaman selama 7, 14, dan 21 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 :

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

Dimana :

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

$$\text{Max Sg Combined Mix} = \frac{100}{\frac{100 - 5.8}{2.56} + \frac{5.8}{1.005}} = 2.349$$

B Volume Benda Uji

Rumus :

$$\text{Volume Benda uji} = G - F$$

Dimana :

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

Kadar Aspal 5,8 %

40% **Sampel I (Satu)**

$$\text{Volume Benda uji} : 1180.4 - 662 = 518.4 \text{ m}^3$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Volume Benda uji} : 1192.2 - 665 = 527.2 \text{ m}^3$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Volume Benda uji} : 1182.4 - 663 = 519.4 \text{ m}^3$$

Kadar Aspal 5.8 %

60% **Sampel I (Satu)**

$$\text{Volume Benda uji} : 1204.1 - 682 = 522.1 \text{ m}^3$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Volume Benda uji} : 1122.9 - 619 = 503.9 \text{ m}^3$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Volume Benda uji} : 1135.8 - 638 = 497.8 \text{ m}^3$$

Kadar Aspal 5.8%

80% **Sampel I (Satu)**

$$\text{Volume Benda uji} : 1206.9 - 676 = 530.9 \text{ m}^3$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Volume Benda uji} : 1202.9 - 672 = 530.9 \text{ m}^3$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Volume Benda uji} : 1203.6 - 673 = 530.6 \text{ m}^3$$

Kadar Aspal 5.8 %

100% **Sampel I (Satu)**

$$\text{Volume Benda uji} : 1190.7 - 665.8 = 524.9 \text{ m}^3$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Volume Benda uji} : 1195.2 - 673.7 = 521.5 \text{ m}^3$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Volume Benda uji} : 1194.2 - 669.5 = 524.7 \text{ m}^3$$

C BJ Bulk Campuran Pemadatan

Rumus :

$$\text{BJ Bulk Campuran Pemadatan} : \frac{E}{H}$$

Dimana :

E : Berat Benda Uji di Udara di Udara
H : Volume Benda Uji

Kadar Aspal 5.8 %

40% **Sampel I (Satu)**

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1167.7}{518.4} = 2.25$$

Sampel II (Dua)

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1173.6}{527.2} = 2.23$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1170.8}{519.4} = 2.25$$

Kadar Aspal 5.8 %

60% **Sampel I (Satu)**

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1190.1}{522.1} = 2.28$$

Sampel II (Dua)

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1102.3}{503.9} = 2.19$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1120.8}{497.8} = 2.25$$

Kadar Aspal 5.8 %

80% **Sampel I (Satu)**

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1189.3}{530.9} = 2.24$$

Sampel II (Dua)

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1193.2}{530.9} = 2.25$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1190.6}{530.6} = 2.24$$

Kadar Aspal 5.8 %

100% **Sampel I (Satu)**

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1177.4}{524.9} = 2.24$$

Sampel II (Dua)

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1178.5}{521.5} = 2.26$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1176.4}{524.7} = 2.24$$

D % VIM

Rumus :

$$\% \text{ VIM} : \frac{100 (D - I)}{D}$$

Dimana :

D : BJ Max Campuran (GMM)

I : BJ Bulk Campuran Pemdatan

Kadar Aspal 5.8 %

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} \frac{100 (2.35 - 2.25)}{2.35} = 4.12 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.35 - 2.23)}{2.35} = 5.24 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.35 - 2.25)}{2.35} = 4.05 \%$$

Kadar Aspal 5.8 %

60% **Sampel I (Satu)**

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.35 - 2.28)}{2.35} = 2.97 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.34918 - 2.19)}{2.35} = 6.88 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.34918 - 2.25)}{2.35} = 4.16 \%$$

Kadar Aspal 5.8 %

80% **Sampel I (Satu)**

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.34918 - 2.24)}{2.35} = 4.64 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.34918 - 2.25)}{2.35} = 4.33 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.34918 - 2.24)}{2.35} = 4.48 \%$$

Kadar Aspal 5.8 %

100% Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.34918 - 2.24)}{2.35} = 4.52 \%$$

Sampel II (dua)

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.34918 - 2.26)}{2.35} = 3.80 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.34918 - 2.24)}{2.35} = 4.56 \%$$

E Stabilitas

Rumus :

Stabilitas $k \times$ Angka koreksi \times Angka kalibrasi

Dimana :

k : Pembacaan Stabilitas

Kadar Aspal 5.8 %

40% Sampel I (Satu)

$$79 \times 1.0125 \times 14.9 = 1191.81 \text{ Kg}$$

Sampel II (Dua)

$$85 \times 1.0125 \times 14.9 = 1282.33 \text{ Kg}$$

Sampel III (Tiga)

$$80 \times 1.0125 \times 14.9 = 1206,90 \text{ Kg}$$

Kadar Aspal 5.8 %

60% Sampel I (Satu)

$$95 \times 1.0125 \times 14.9 = 1433.19 \text{ Kg}$$

Sampel II (Dua)

$$70 \times 1.0125 \times 14.9 = 1056.04 \text{ Kg}$$

Sampel III (Tiga)

$$80 \times 1.0125 \times 14.9 = 1206.90 \text{ Kg}$$

Kadar Aspal 5.8 %

80% **Sampel I (Satu)**

$$88 \times 1.0125 \times 14.9 = 1327.59 \text{ Kg}$$

Sampel II (Dua)

$$76 \times 1.0125 \times 14.9 = 1146.56 \text{ Kg}$$

Sampel III (Tiga)

$$84 \times 1.0125 \times 14.9 = 1267.25 \text{ Kg}$$

Kadar Aspal 5.8 %

100% **Sampel I (Satu)**

$$92 \times 1.0125 \times 14.9 = 1387.94 \text{ Kg}$$

Sampel II (Dua)

$$70 \times 1.0125 \times 14.9 = 1056.04 \text{ Kg}$$

Sampel III (Tiga)

$$85 \times 1.0125 \times 14.9 = 1282.33 \text{ Kg}$$

F Marshall Quotien (Kg/mm)

Rumus :

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

Dimana :

$$\begin{aligned} L &: \text{Stability (Kg) Adjust} \\ M &: \text{Flow (mm)} \end{aligned}$$

Kadar Aspal 5.8 %

40% **Sampel I (Satu)**

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm)} : \frac{1191.81}{3.20} = 372.44 \text{ Kg/mm}$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm)} : \frac{1282.33}{4.00} = 320.58 \text{ Kg/mm}$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1206.90}{3.60} = 335.25 \text{ Kg/mm}$$

Kadar Aspal 5.8 %

60% **Sampel I (Satu)**

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1433.19}{4.30} = 333.30 \text{ Kg/mm}$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1056.04}{3.20} = 330.01 \text{ Kg/mm}$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1206.9}{3.40} = 354.97 \text{ Kg/mm}$$

Kadar Aspal 5.8 %

80% **Sampel I (Satu)**

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1327.59}{4.3} = 309 \text{ Kg/mm}$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1146.56}{3.2} = 358.30 \text{ Kg/mm}$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1267.25}{4.2} = 301.73 \text{ Kg/mm}$$

Kadar Aspal 5.8 %

100% **Sampel I (Satu)**

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1387.94}{4.30} = 322.78 \text{ Kg/mm}$$

Sampel II (Dua)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) : } \frac{1056.04}{3.20} = 330.01 \text{ Kg/mm}$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{Marshall Quotien (Kg/mm) } : \frac{1282.33}{4.20} = 305.32 \text{ Kg/mm}$$

G VMA

Rumus :

$$\text{VMA } 100 - \frac{I}{B} \times 100 - A$$

Dimana :

- I** : **BJ Bulk Campuran Pemasatan**
- B** : **BJ Bulk Gab**
- A** : **Kadar Aspal**

Kadar Aspal 5.8 %

40% **Sampel I (Satu)**

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.25}{2.49} \times 100 - 5.8 = 14.78 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.23}{2.49} \times 100 - 5.8 = 15.78 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.25}{2.49} \times 100 - 5.8 = 14.72 \%$$

Kadar Aspal 5.8 %

60% **Sampel I (Satu)**

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.28}{2.49} \times 100 - 5.8 = 13.77 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.19}{2.49} \times 100 - 5.8 = 17.24 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.25}{2.49} \times 100 - 5.8 = 14.82 \%$$

Kadar Aspal 5.8 %

80% Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.24}{2.49} \times 100 - 5.8 = 15.25 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.25}{2.49} \times 100 - 5.8 = 14.97 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.24}{2.49} \times 100 - 5.8 = 15.11 \%$$

Kadar Aspal 5.8 %

100% Sampel I (Satu)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.24}{2.49} \times 100 - 5.8 = 15.14 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.26}{2.49} \times 100 - 5.8 = 14.51 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VMA} : 100 - \frac{2.24}{2.49} \times 100 - 5.8 = 15.18 \%$$

H VFB %

Rumus :

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

Dimana :

- I** : BJ Bulk Campuran Pematatan
- B** : BJ Bulk Gab
- A** : Kadar Aspal

Kadar Aspal 5.8 %

40% Sampel I (Satu)

$$\text{VFB} = \frac{14.78 - 4.12}{14.78} \times 100 = 72.2 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \frac{15.78}{15.78} - \frac{5.24}{15.78} \times 100 = 66.8 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \frac{14.72}{14.72} - \frac{4.05}{14.72} \times 100 = 72.5 \%$$

Kadar Aspal 5.8 %

60% **Sampel I (Satu)**

$$\text{VFB} \frac{13.77}{13.77} - \frac{2.97}{13.77} \times 100 = 78.4 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \frac{17.24}{17.24} - \frac{6.88}{17.24} \times 100 = 60.1 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \frac{14.82}{14.82} - \frac{4.16}{14.82} \times 100 = 71,9 \%$$

Kadar Aspal 5.8 %

80% **Sampel I (Satu)**

$$\text{VFB} \frac{15.25}{15.25} - \frac{4.64}{15.25} \times 100 = 69.6 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} \frac{14.97}{14.97} - \frac{4.33}{14.97} \times 100 = 71.1 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} \frac{15.11}{15.11} - \frac{4.48}{15.11} \times 100 = 70.3 \%$$

Kadar Aspal 5.8 %

100% **Sampel I (Satu)**

$$\text{VFB} \frac{15.14}{15.14} - \frac{4.52}{15.14} \times 100 = 70.2 \%$$

Sampel II (Dua)

$$\text{VFB} = \frac{14.51 - 3.80}{14.51} \times 100 = 73.8 \%$$

Sampel III (Tiga)

$$\text{VFB} = \frac{15.18 - 4.56}{15.18} \times 100 = 70.0 \%$$

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

Kadar Aspal 5.8 %

$$= 5.8 + \frac{1.005}{2.49} \frac{100 - 5.8}{2.35} - \frac{100 \times 1.005}{2.35} = 1,04$$

J tebal film

Rumus :

$$\text{Tebal Film} = \frac{1000 (A - P)}{T \cdot O (100 - A)}$$

Dimana :

- A : Kadar aspa
- P : Absorsi Aspal
- T : Specific Gravity of Bitument
- O : Luas permukaan agregat

Kadar Aspal 5.8 %

Sampel I (Satu)

$$\frac{1000}{1.005} \frac{5.8 - 4.89}{100 - 5.8} - \frac{1.04}{5.8} = 10.292$$

Untuk perhitungan lainya dapat dilihat pada lampiran

Tabel 4.15. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah kaca 40% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.

No	Pemeriksaan	Penambahan Serbuk Limbah Kaca				Spesifikasi
		KAO 5.8 %				
		KAO	Kadar Serbuk Kaca 40 %			2018
7 Hari	14 Hari		21 Hari			
1	Kepadatan	2.24	2.24	2.24	2.24	-
2	VIM (%)	4.63	4.47	4.55	4.64	3-5
3	Stabilitas (Kg)	1262.22	1227.02	1096.27	1045.98	Min 800
4	Flow (mm)	2.93	3.60	3.80	3.93	2-4
5	MQ (Kg/mm)	437.77	342.76	291.83	264.97	Min 250
6	VMA (%)	15.36	15.10	15.17	15.26	Min 15
	VFB (%)	69.85	70.50	70.06	69,68	Min 65

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

Tabel 4. 16. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah kaca 60% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.

No	Pemeriksaan	Penambahan Serbuk Limbah Kaca				Spesifikasi
		KAO 5.8 %				
		KAO	Kadar Serbuk Kaca 60 %			2018
7 Hari	14 Hari		21 Hari			
1	Kepadatan	2.24	2.24	2.24	2.24	-
2	VIM (%)	4.63	4.63	4.55	4.66	3-5
3	Stabilitas (Kg)	1262.22	1232.04	1221.99	1101.30	Min 800
4	Flow (mm)	2.93	3.63	3.87	3.97	2-4
5	MQ (Kg/mm)	437.77	339.43	317.81	278.00	Min 250
6	VMA (%)	15.36	15.24	15.17	15,27	Min 15
7	VFB (%)	69.85	70.33	70.04	69,78	Min 65

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

Tabel 4. 17. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah kaca 80% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.

No	Pemeriksaan	Penambahan Serbuk Limbah Kaca				Spesifikasi 2018
		KAO 5.8 %				
		KAO	Kadar Serbuk Kaca 80 %			
			7 Hari	14 Hari	21 Hari	
1	Kepadatan	2.24	2.24	2.27	2.19	-
2	VIM (%)	4.63	4.48	3.46	6.60	3-5
3	Stabilitas (Kg)	1262.22	1247.13	1181.76	1123.09	Min 800
4	Flow (mm)	2.93	3.90	4.03	4.17	2-4
5	MQ (Kg/mm)	437.77	322.92	291.74	269.47	Min 250
6	VMA (%)	15.36	15.11	14.20	16.99	Min 15
7	VFB (%)	69.85	70.33	75.69	61.76	Min 65

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

Tabel 4. 18. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah kaca 100% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.

No	Pemeriksaan	Penambahan Serbuk Limbah Kaca				Spesifikasi 2018
		KAO 5.8 %				
		KAO	Kadar Serbuk Kaca 100 %			
			3 Hari	7 Hari	21 Hari	
1	Kepadatan	2.24	2.25	2.28	2.21	-
2	VIM (%)	4.63	4.29	3.02	6.06	3-5
3	Stabilitas (Kg)	1262.22	1242.10	1227.02	1071.12	Min 800
4	Flow (mm)	2.93	3.90	4.17	4.27	2 - 4
5	MQ (Kg/mm)	437.77	319.37	294.48	251.68	Min 250
6	VMA (%)	15.36	14.94	13.81	16.51	Min 15
7	VFB (%)	69.85	71.30	78.63	63.90	Min 65

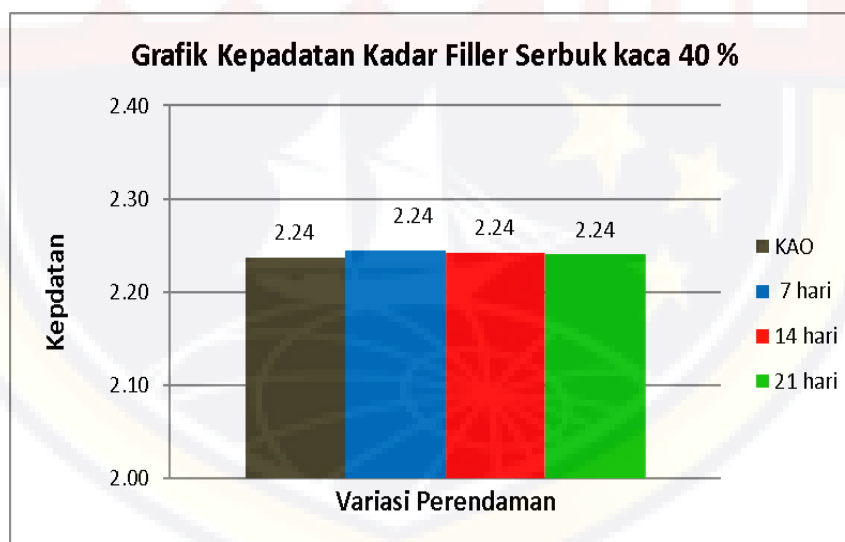
Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

4.4.3. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah Kaca 40% Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC.

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 beton aspal lapis aus AC-WC dengan penambahan serbuk Kaca 40 %, dapat dilihat pada gambar 4.4 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum.



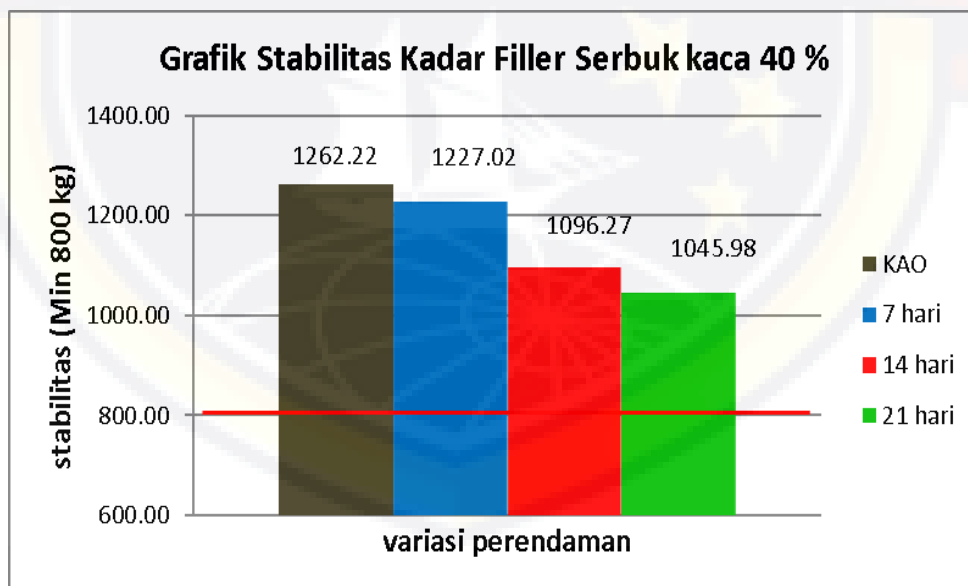
Gambar 4. 4 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin lama Perendaman yang dilakukan secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai

Kepadatan (density), pada KAO adalah 2,24, pada hari ke 7 adalah 2,24, pada hari ke 14 adalah 2,24 dan pada hari ke 21 adalah 2,24 bisa dikatakan nilainya hampir sama. Hal ini disebabkan karena belum dilakukan pembebanan.

b. *Stabilitas* Minimum 800 (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 limbah serbuk kaca pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.5.



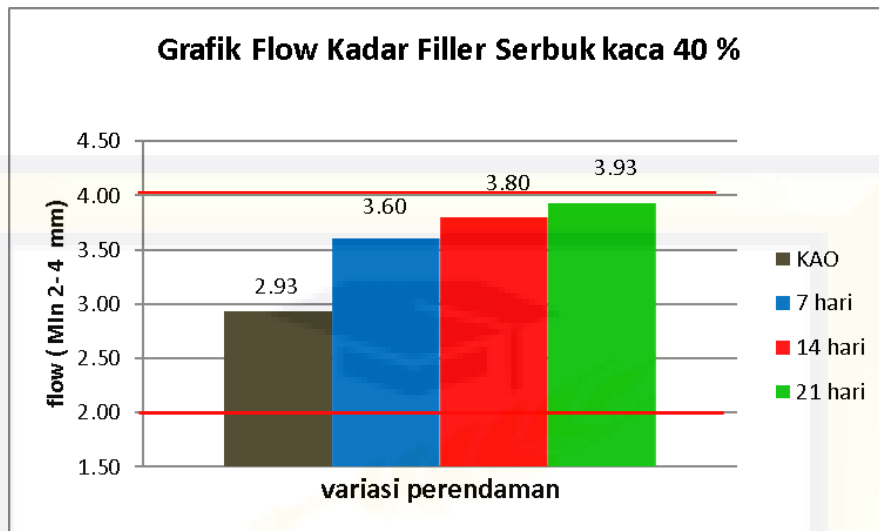
Gambar 4.5 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.5. diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang Nilai stabilitas mengalami mengalami peurunan pada nilai KAO adalah 1262,22 Kg, pada perendaman ke 7 hari adalah 1227,02 Kg, pada perendaman ke 14 hari adalah 1096,27 Kg dan niali pada perendaman ke 21 hari adalah 1045,98 Kg. 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 2 - 4 (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 AC-WC untuk berbagai variasi limbah serbuk kaca pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.6



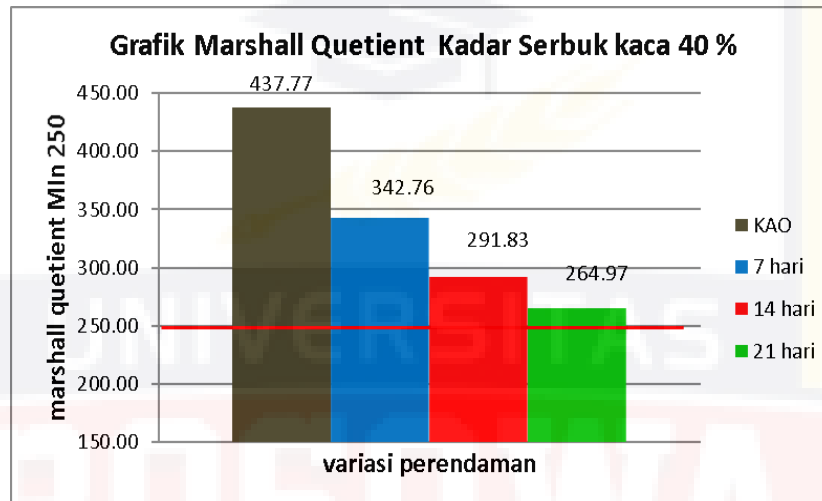
Gambar 4.6 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.6. menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah kaca yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* pada KAO adalah 2,93 mm, pada perendaman ke 7 hari adalah 3,60 mm, pada perendaman ke 14 hari adalah 3,80 mm dan pada perendaman ke 21 hari adalah 3,93 mm. 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. 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 pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C

Gambar diatas menunjukkan bahwa nilai Marshall Quetient pada KAO adalah 437.77 Kg/mm , pada perendaman 7 hari adalah 342,76 Kg/mm, pada peredaman yang ke 14 hari adalah 291,83 kg/mm, dan pada perendaman yang ke 21 hari adalah 264.97 Kg/mm. Dilihat dari table diatas bahwa penambahan limbah kaca 40 % dari kadar aspal yang direndam secara berulang mengalami penurunan namun tetap memenuhi batas spesifikasi MQ. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam dalam air.

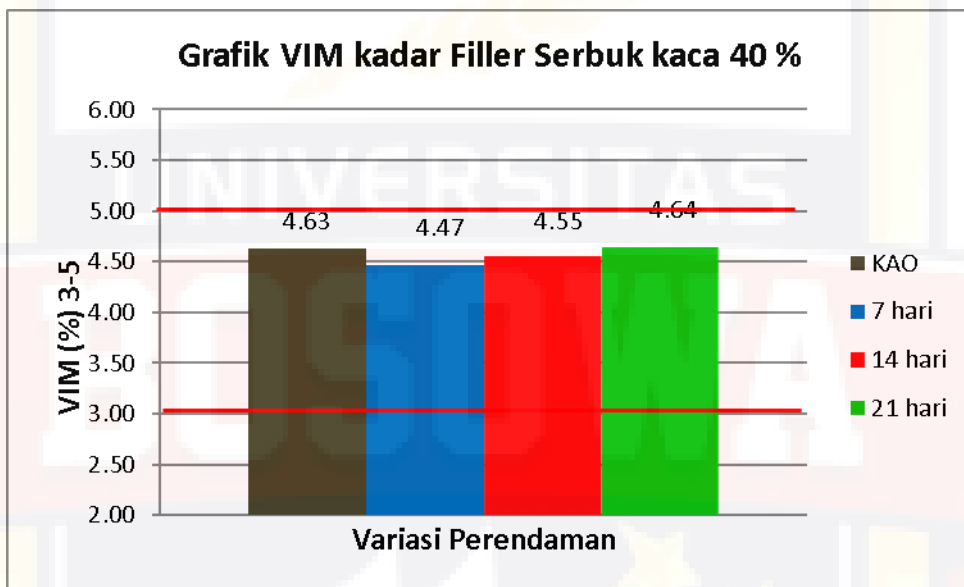
e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 3,0 % – 5,0 %

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 AC-WC untuk berbagai variasi serbuk limbah kaca pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.8.



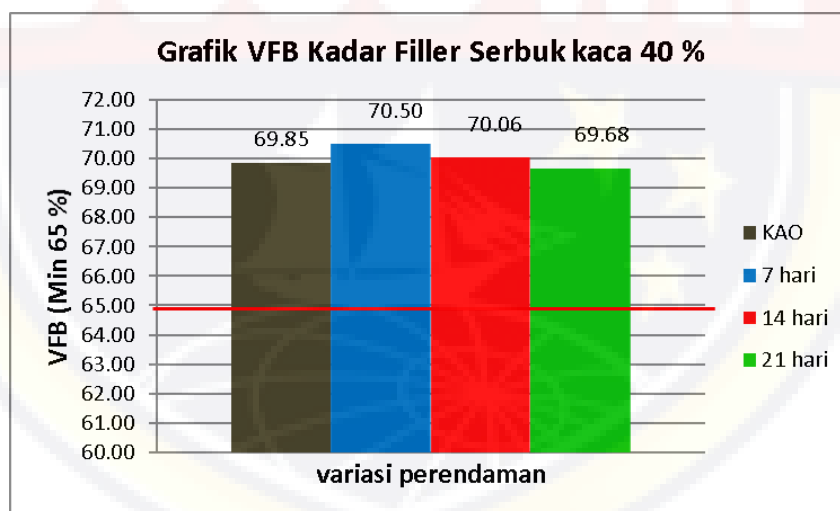
Gambar 4.8 Diagram hubungan variasi kadar Serbuk kaca 40 % terhadap *VIM* pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.8 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah kaca dalam campuran yang direndam secara berulang dapat berpengaruh nilai *VIM*. pada nilai KAO adalah 4,63 % , pada perendaman 7 hari adalah 4,47 % , pada peredaman yang ke 14 hari adalah 4,55 % dan pada perendaman yang ke 21 hari adalah 4,64 %. 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, kemudian mendesak aspal baik

yang menyelimuti agregat maupun mengisi rongga akibat gaya tekan air (*water pressur*) ke segala arah sehingga menyebabkan rongga dalam campuran meningkat. Rongga yang meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

f. Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 65 (%)

Nilai *VFB* memperlihatkan presentase rongga terisi aspal. Apabila *VFB* besar maka banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedapannya terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan aspal yang berjumlah besar apabila menerima beban dan panas akan mencari rongga yang kosong. Jika rongga yang tersedia sedikit dan semua telah terisi, aspal akan naik ke permukaan yang kemudian terjadi *bleeding*.



Gambar 4.9 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap *VFB* pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.9. menunjukkan bahwa penambahan limbah serbuk kaca ke dalam campuran yang direndam secara berulang akan mengalami penurunan nilai *VFB* berubah. Hal ini disebabkan karena

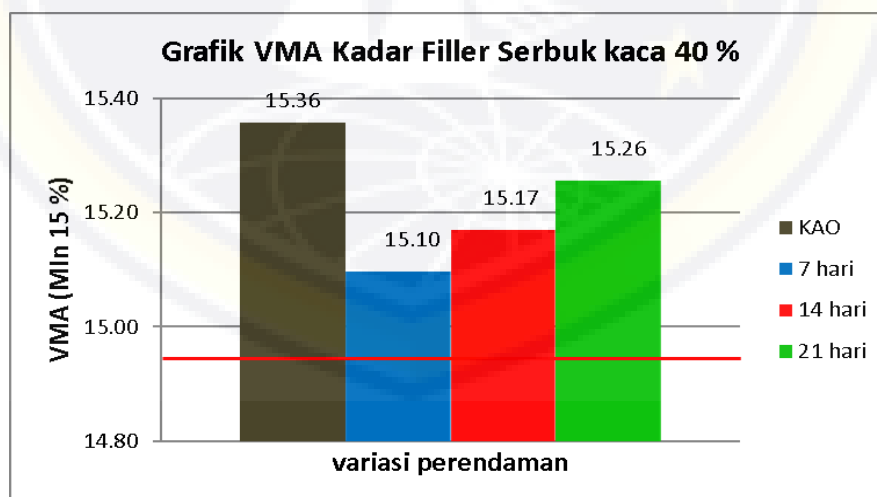
volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal yang semakin menurun akibat lamanya perendaman.

g. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 15%

VMA adalah presentase rongga antar butir agregat, termasuk didalamnya adalah rongga yang terisi udara dan rongga terisi aspal efektif. Nilai VMA yang terlalu kecil dapat menyebabkan lapisan aspal yang dapat menyelimuti agregat menjadi tipis dan mudah teroksidasi, akan tetapi bila kadar aspalnya terlalu banyak akan menyebabkan bleeding.

Nilai minimum rongga dalam mineral agregat adalah untuk menghindari banyaknya rongga udara yang menyebabkan material menjadi berpori. Rongga pori dalam agregat tergantung pada ukuran butir, susunan, bentuk, dan metode pemadatan.

Grafik nilai VMA campuran AC-WC untuk berbagai variasi limbah serbuk kaca pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4.10 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 40 % terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

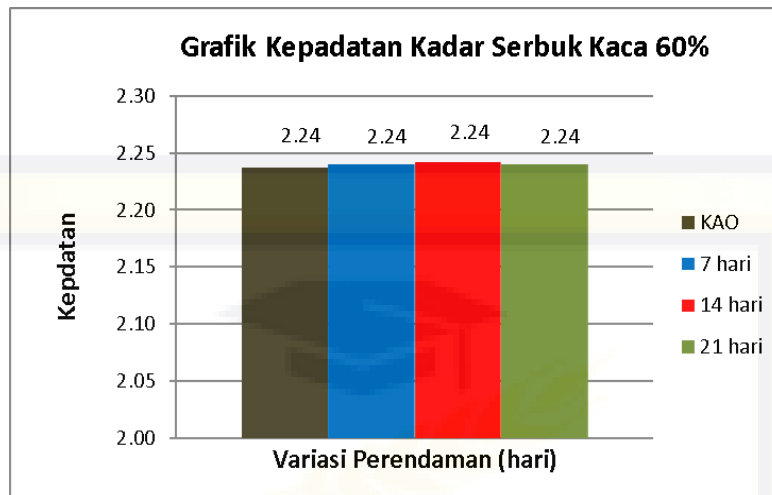
Dari gambar 4.10 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah kaca ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *VMA* berubah. Hal ini disebabkan karena semakin lama campuran terendam maka kondisinya akan semakin jenuh. Peningkatan *VMA* pada campuran disebabkan karena daya tekan air ke segala arah yang mendesak aspal sehingga memungkinkan terjadinya perubahan susunan agregat yang menyebabkan rongga dalam mineral agregat meningkat.

4.4.4. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah Serbuk Kaca 60% Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC.

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 beton aspal lapis aus AC-WC dengan penambahan serbuk Kaca 60%, dapat dilihat pada gambar 4.11 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum

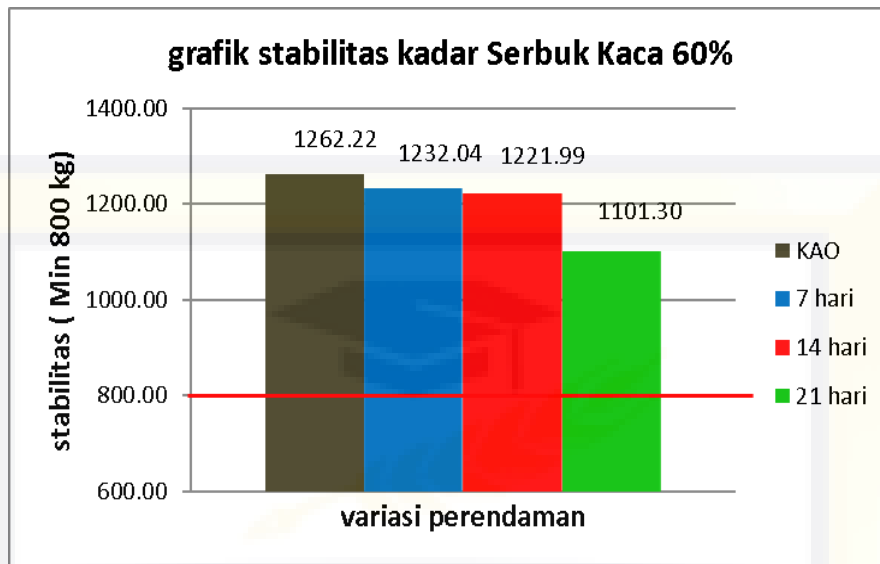


Gambar 4.11 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.11 dapat dilihat bahwa penambahan limbah serbuk kaca 60 % yang dikukan perendaman tidak terlalu menyebabkan nilai kepadatan (*density*) berubah. Hal ini disebabkan karena belum dilakukan pembebanan.

b. Stabilitas Minimum 800 (Kg)

Nilai stabilitas menunjukkan besarnya kemampuan perkerasan menahan beban tanpa mengalami perubahan bentuk (*deformasi*) tetap, dinyatakan dalam satuan beban lalulintas, 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 lalulintas. Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi limbah serbuk kaca pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.12

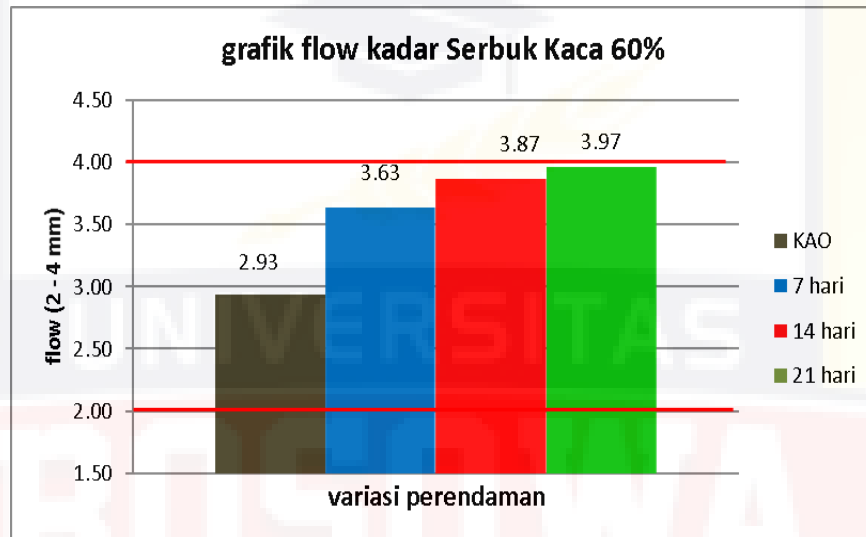


Gambar 4.12 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.12 diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi penambahan Serbuk kaca 60 % yang dilakukan perendaman berulang cenderung mengalami penurunan. Nilai stabilitas mengalami Penurunan pada KAO nilainya adalah 1262,22 Kg pada perendaman 7 adalah 1232,04 Kg, pada perendama 14 hari adalah 1221,99 Kg.dan pada perendaman 21 hari adalah 1101,30 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 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 2 - 4 (mm).

Grafik nilai *Flow* campuran AC-WC untuk berbagai variasi limbah serbuk kaca yang ditambahkan pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.13

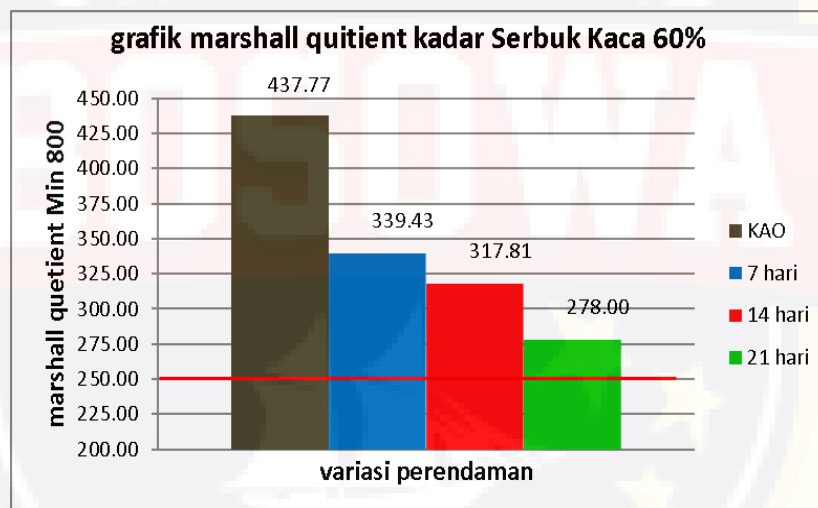


Gambar 4.13 Diagram hubungan Variasi kadar serbuk kaca 60% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.13 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah Serbuk kaca 60 % kedalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* meningkat. 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.

d. Marshall Quisient

Marshall Quisient 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 campuran tersebut terhadap keretakan. Namun nilai *MQ* juga tidak boleh terlalu rendah karena hal tersebut akan menyebabkan campuran rentan terhadap deformasi plastis. Nilai *MQ* pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.14

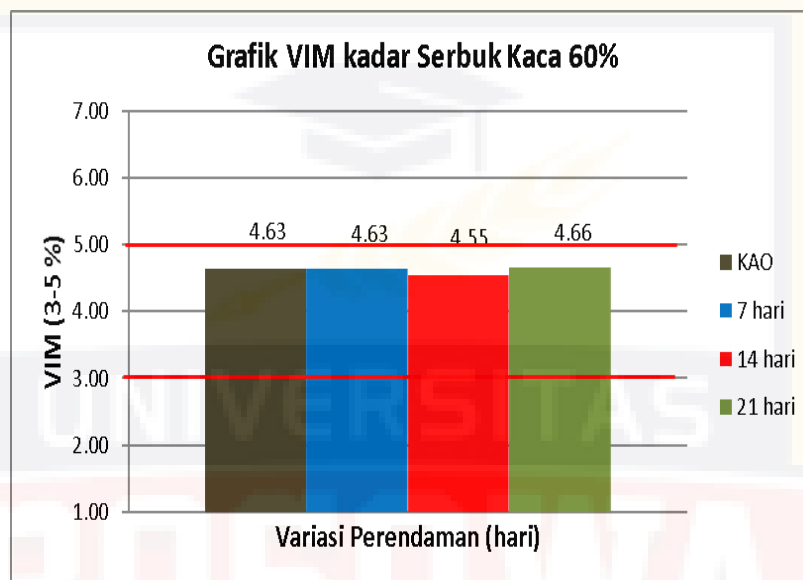


Gambar 4.14 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % pada terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dilihat dari table diatas bahwa penambahan serbuk kaca 60 % dari kadar aspal yang direndam secara berulang mengalami penurunan namun tetap memenuhi batas spesifikasi *MQ*. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam dalam air.

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 3,0%– 5,0%

Grafik nilai *VIM* campuran AC-WC untuk berbagai variasi serbuk kaca pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.15



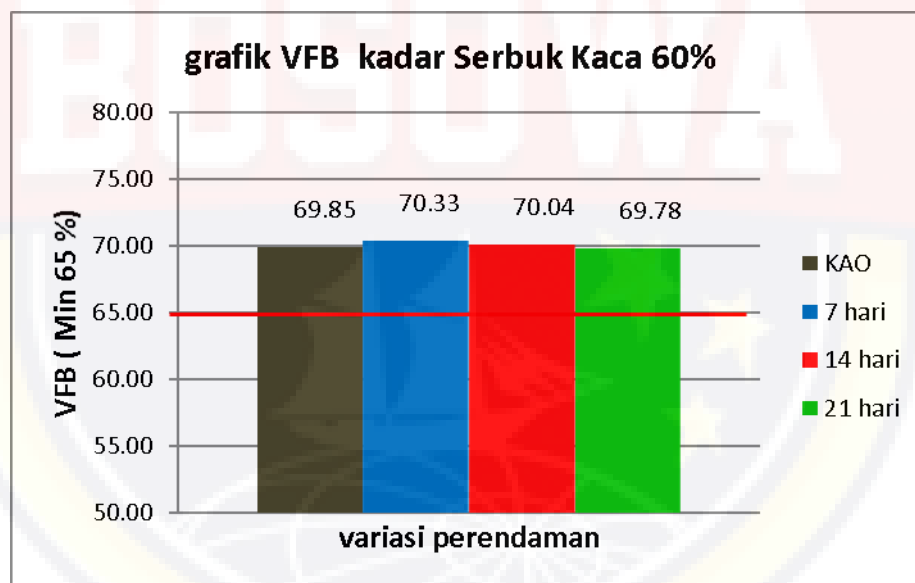
Gambar 4.15 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % terhadap *VIM* pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.15 menunjukkan bahwa penambahan variasi serbuk kaca 60% ke dalam campuran yang direndam menghasilkan nilai KAO adalah 4,63 %, pada perendaman 7 hari adalah 4,63 %, pada hari ke 14 adalah 2,55 % dan pada perendaman ke 21 hari adalah 4,66 %. 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, kemudian mendesak aspal baik yang menyelimuti agregat maupun mengisi rongga akibat gaya tekan air (*water pressur*) ke segala arah sehingga menyebabkan rongga dalam campuran meningkat. Rongga yang

meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

f. Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 65 (%)

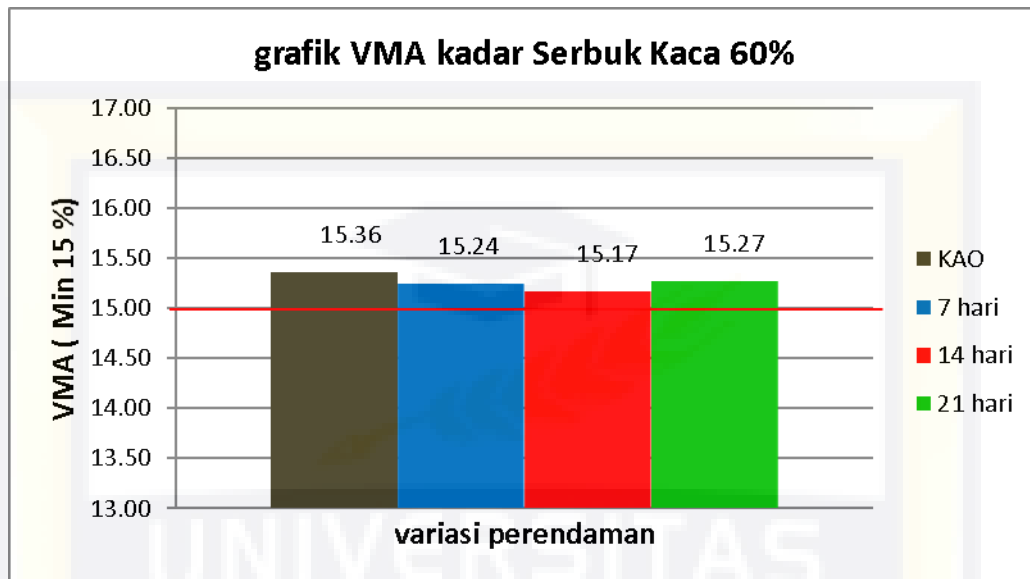
Nilai *VFB* memperlihatkan presentase rongga terisi aspal. Apabila *VFB* besar maka banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan aspal yang berjumlah besar apabila menerima beban dan panas akan mencari rongga yang kosong. Jika rongga yang tersedia sedikit dan semua telah terisi, aspal akan naik kepermukaan yang kemudian terjadi bleeding.



Gambar 4.16 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.16 menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca 60% ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *VFB* berubah mengalami penurunan..

g. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 15 %



Gambar 4.17 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 60 % padi terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C.

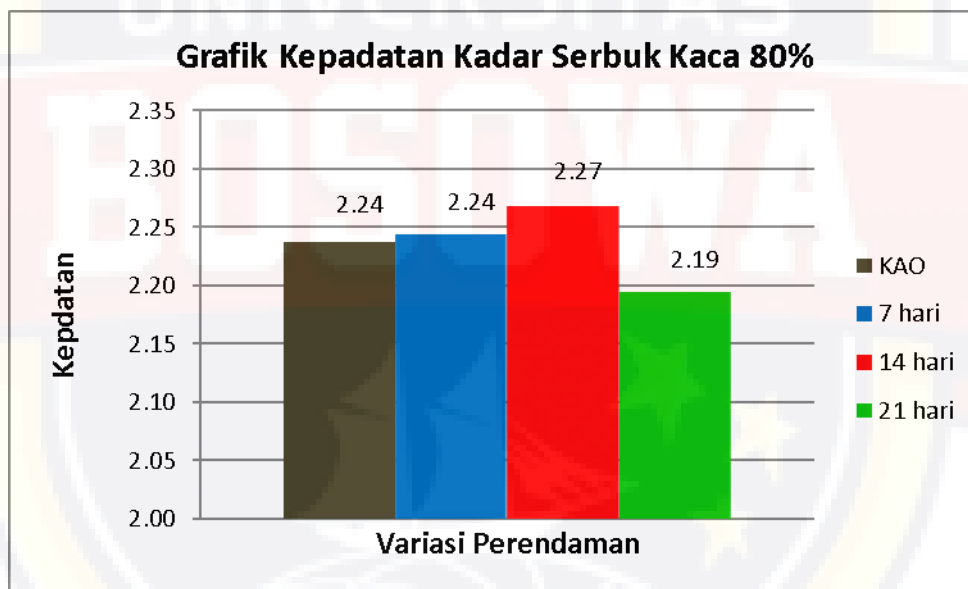
Dari gambar 4.17 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah kaca 60 % ke dalam campuran yang direndam secara berulang mempengaruhi nilai VMA pada perendaman KAO adalah 15,36 %, pada perendaman 7 hari adalah 15,24 %, pada perendaman ke 14 hari adalah 15,17 % dan pada perendaman ke 21 hari adalah 15,27 %. Hal ini disebabkan karena semakin lama campuran terendam maka kondisinya akan semakin jenuh. Peningkatan VMA pada campuran disebabkan karena daya tekan air ke segala arah yang mendesak aspal sehingga memungkinkan terjadinya perubahan susunan agregat yang menyebabkan rongga dalam mineral agregat meningkat.

4.4.5. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah Serbuk Kaca 80% Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC.

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

a. Kepadatan

Nilai kepadatan campuran beton aspal lapis aus AC-WC dengan penambahan serbuk kaca 80 %, dapat dilihat pada gambar 4.18 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum.

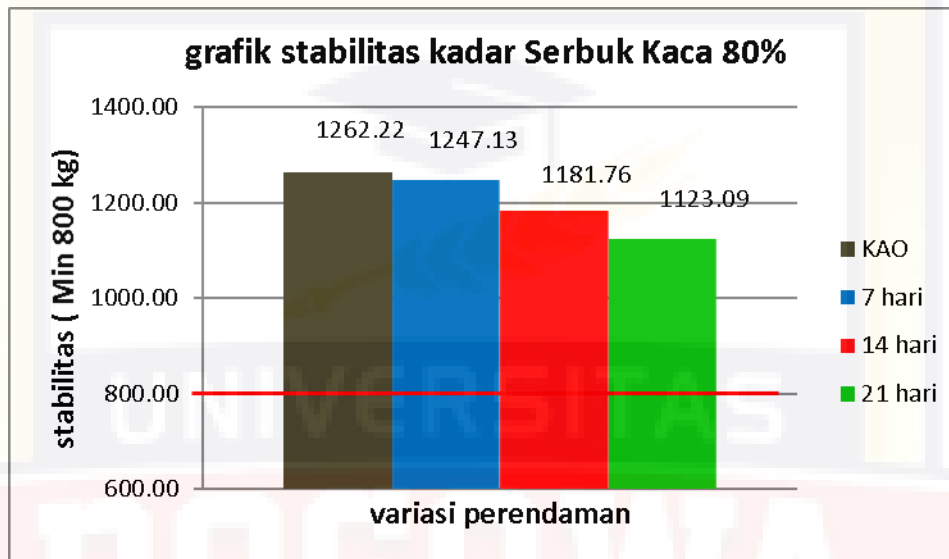


Gambar 4.18 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.18 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan kadar variasi serbuk kaca 80% dengan perendaman berulang menyebabkan nilai kepadatan (*density*) berubah yakni pada perendaman 14 hari adalah 2,24 dan pada perendaman 21 hari adalah 2,19.

b. Stabilitas Minimum 800 (Kg)

Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi limbah kaca pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.19.



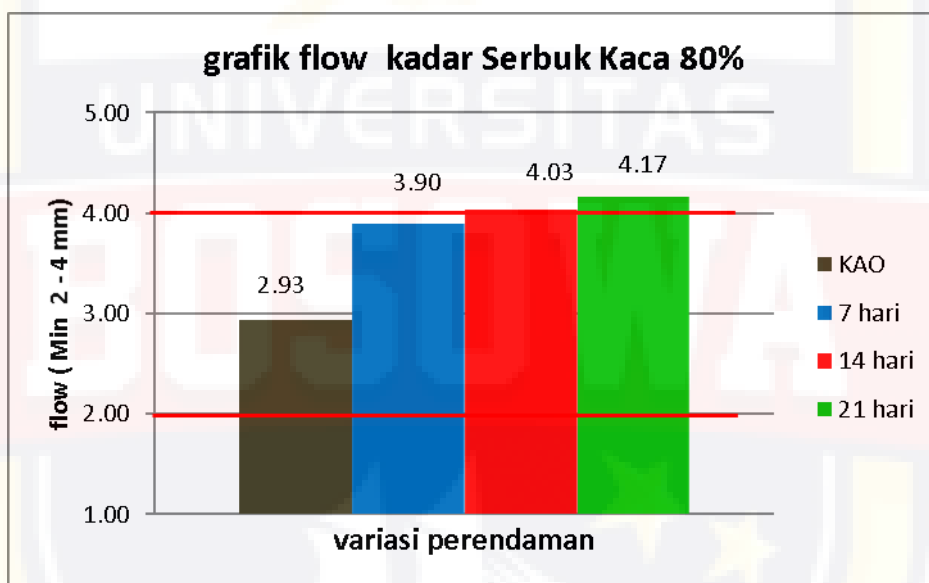
Gambar 4.19 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80% terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.19 diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi serbuk kaca 80 % dengan perendaman berulang mengakibatkan nilai stabilitas mengalami penurunan, yakni pada perendaman KAO nilainya adalah 1262,22 Kg, pada perendaman 7 hari adalah 1247,13 Kg, pada perendaman yang ke 14 hari nilainya adalah 1181,76 kg dan pada pernedaman yang ke 21 hari 1123,55 kg. 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 2 - 4 (mm).

Grafik nilai *Flow* campuran AC-WC untuk berbagai variasi limbah kaca pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.20.



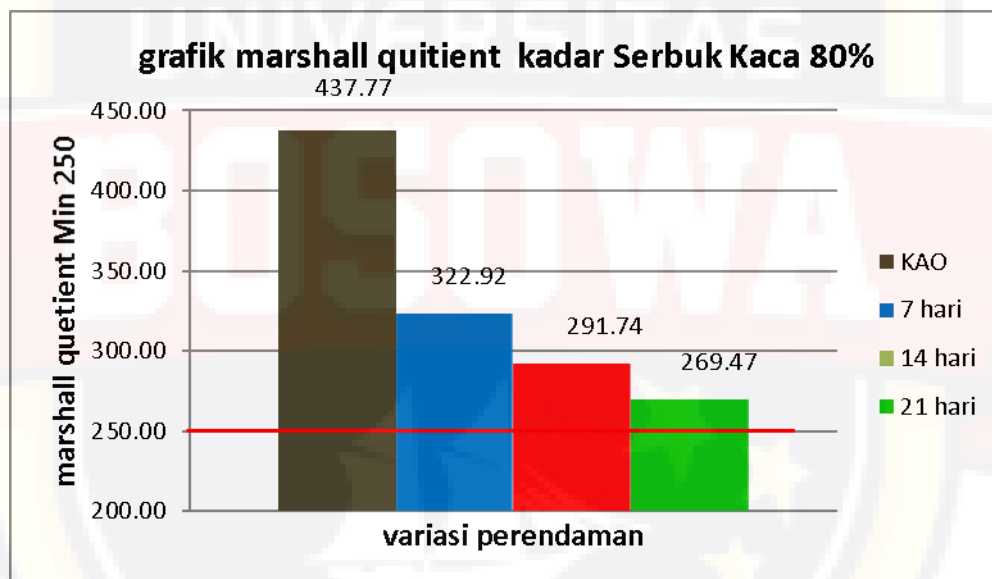
Gambar 4.20. Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.20 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah kaca 80% kedalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* meningkat, pada perendaman KAO adalah 2.93 mm, pada perendaman 7 hari nilainya adalah 3,90 mm, pada perendaman yang ke 14 hari meningkat menjadi 4.03 mm dan pada perendaman ke 21 hari menuju ke 4.17 mm. 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 data rekat aspal.

d. *Marshall Quotient*

Nilai MQ pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.21 sebagai berikut.



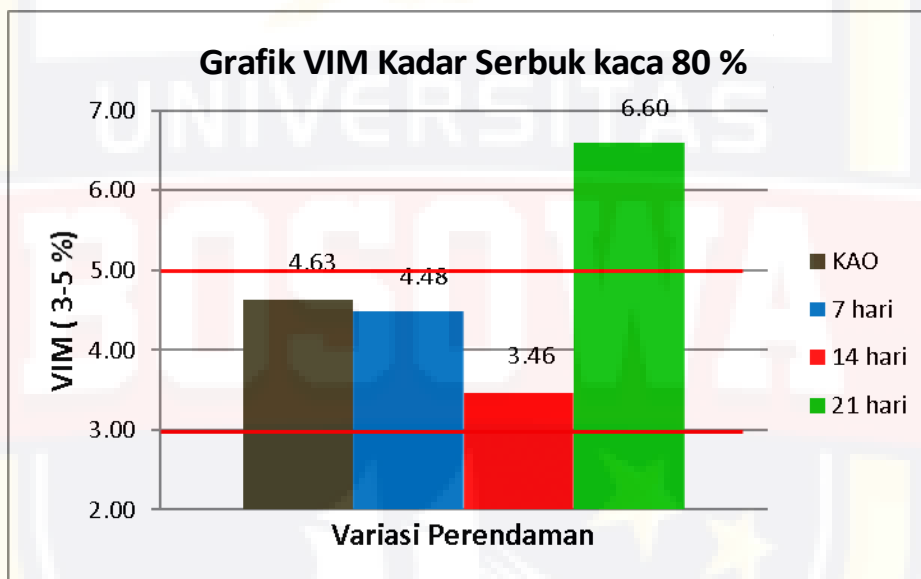
Gambar 4.21 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80 % terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Gambar diatas terlihat bahwa nilai Marshall Quotient menurun pada perendaman KAO adalah 437,77 Kg/mm pada perendaman 7 hari adalah 322,92 Kg/mm, pada perendaman yang ke 14 hari adalah 291,74 Kg/mm dan pada perendaman yang ke 21 hari adalah 269.47, namun tetap berada dalam batas spesifikasi.

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 3,0%– 5,0%

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.

Grafik nilai *VIM* campuran AC-WC untuk variasi kadar serbuk kaca pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.22

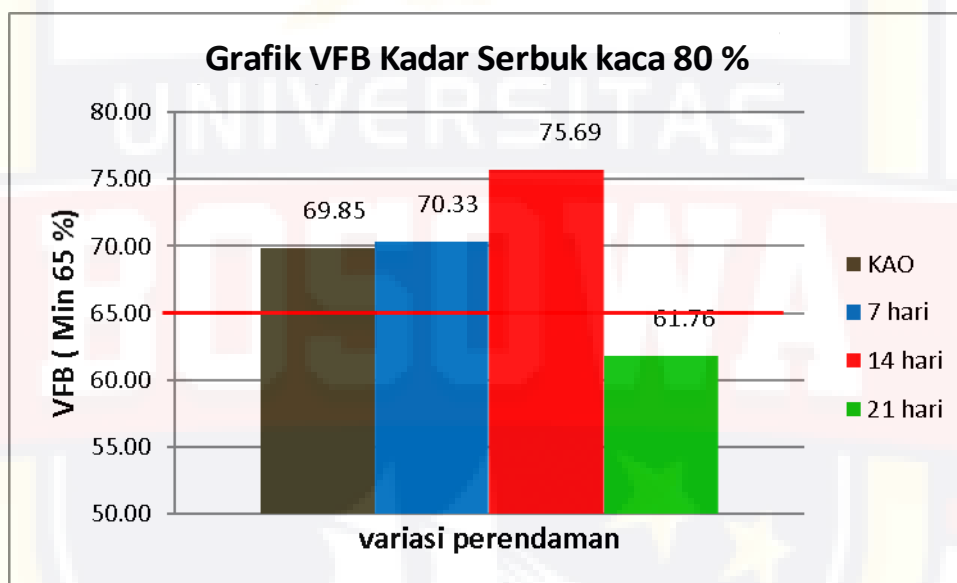


Gambar 4.22 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80% terhadap *VIM* pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.22 menunjukkan bahwa penambahan variasi serbuk kaca 80% ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *VIM* berubah. Yaitu pada perendaman KAO adalah 4,63% pada perendaman 7 hari adalah 4,48%, pada perendaman yang ke 14 hari adalah 3,46 %, dan pada perendaman 21 hari adalah 6,60%. Pada perendaman ke 21 hari melewati batas spesifikasi. 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, kemudian mendesak aspal baik yang menyelimuti agregat maupun mengisi rongga akibat gaya tekan air (*water pressur*) ke segala arah sehingga menyebabkan rongga dalam campuran meningkat. Rongga yang meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

f. Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 65 (%)

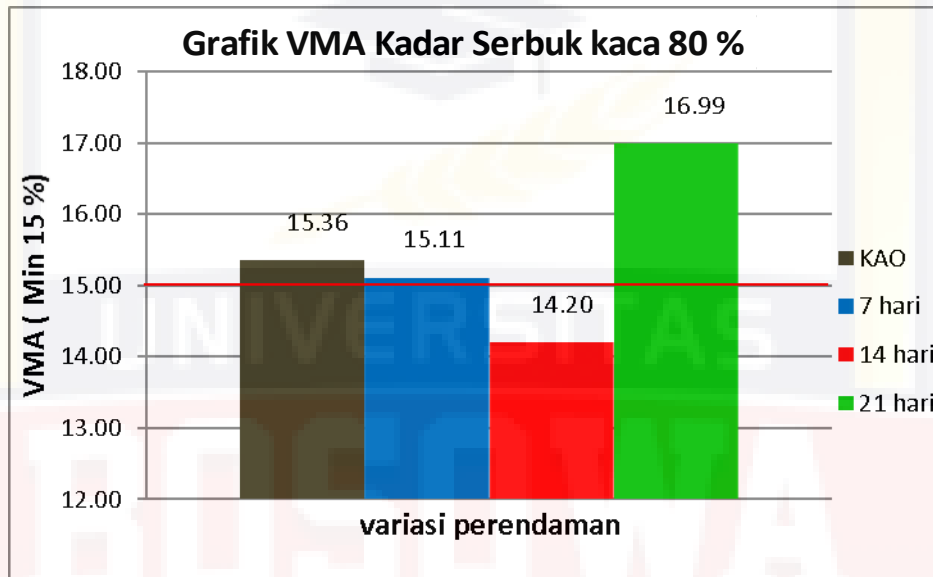


Gambar 4.23 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.23 menunjukkan bahwa penambahan serbuk kaca 80% ke dalam campuran yang direndam secara berulang cenderung menyebabkan nilai *VFB* mengalami penurunan pada perendaman ke 21 hari adalah 61,76% dan tidak memenuhi spesifikasi. Hal ini disebabkan karena penambahan serbuk kaca yang memiliki sifat yang keras.

g. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 15%

Grafik nilai VMA campuran AC-W/C untuk berbagai variasi serbuk kaca di tambahkan pada campuran kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.24



Gambar 4.24 Diagram hubungan variasi kadar serbuk kaca 80% terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C.

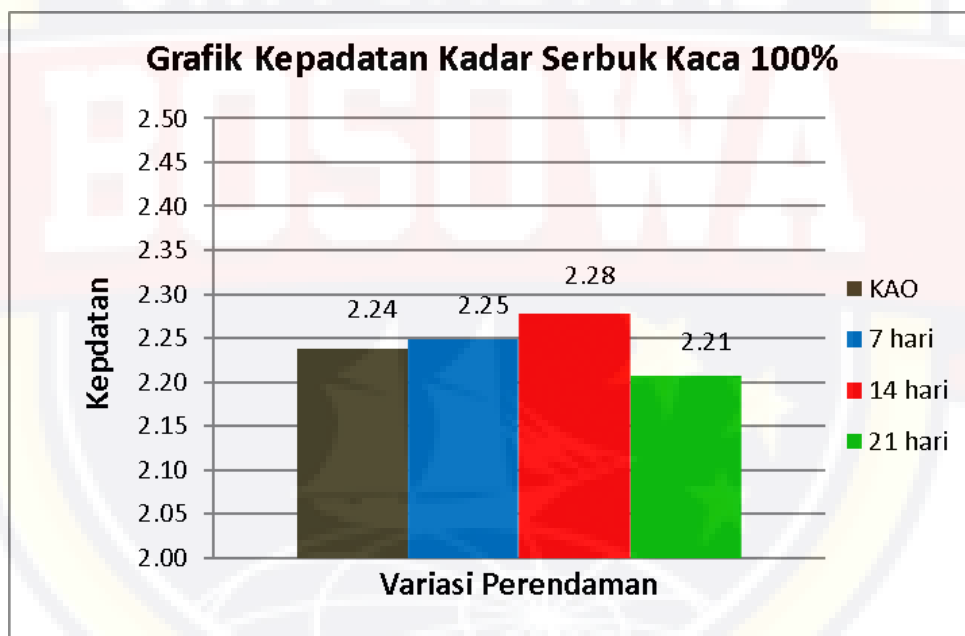
Dari gambar 4.24 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan limbah kaca ke dalam campuran berada pada yakni nilai KAO adalah 15,36%, pada hari ke 7 adalah 15,11 %, pada hari 14 adalah 14,20% dan pada hari ke 21 adalah 16,99%. Pada perendaman ke 14 hari mengalami penurunan sehingga tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan. penurunan VMA pada campuran disebabkan karena daya tekan air ke segala arah yang mendesak aspal sehingga memungkinkan terjadinya perubahan susunan agregat yang menyebabkan rongga dalam mineral agregat meningkat.

4.4.6. Analisis Hasil Pengujian Dengan Limbah kaca 100% Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC.

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

a. Kepadatan

Nilai kepadatan campuran beton aspal lapis aus AC-WC dengan penambahan Limbah kaca 100 %, dapat dilihat pada gambar 4.25 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum.

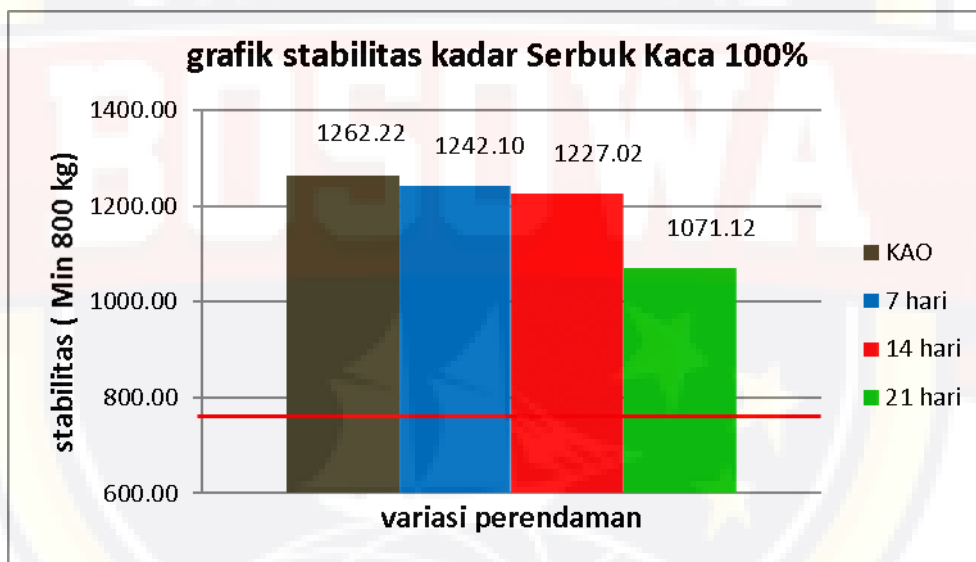


Gambar 4.25 Diagram hubungan variasi serbuk kaca 100% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.25 dapat dilihat bahwa variasi serbuk kaca 100 % kedalam campuran yang direndam secara berulang tidak terlalu memengaruhi nilai kepadatan (*density*) yakni berada di sekitar 2,28 hal ini disebabkan karena campuran belum dilakukan pembebanan.

b. Stabilitas Minimum 800 (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 abu sekam padi pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.26



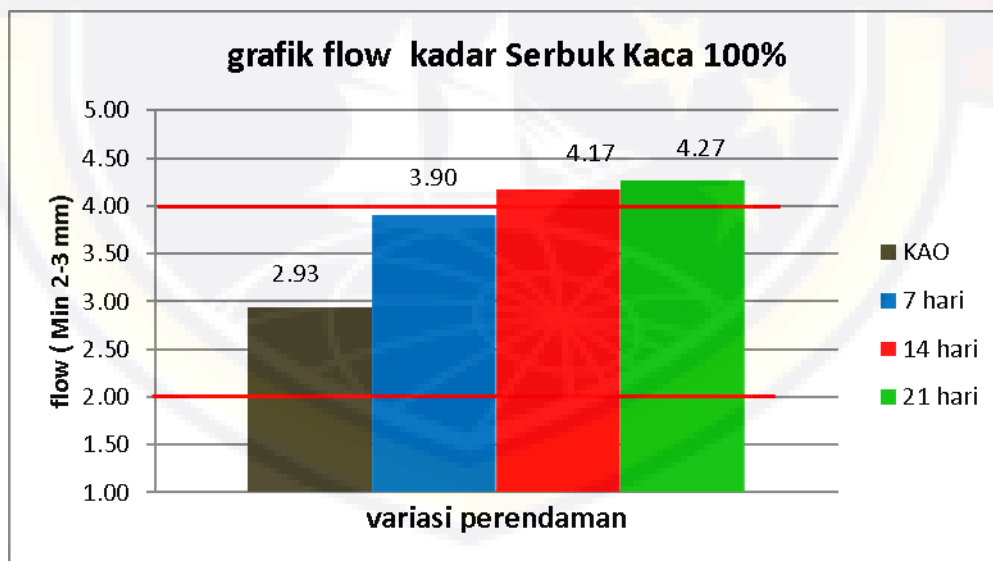
Gambar 4.26 Diagram hubungan variasi serbuk kaca 100 % terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.26 diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi serbuk kaca 100% kedalam campuran yang direndam secara berulang mengalami penurunan dimana nilai pada perendaman KAO adalah 1262,22 Kg pada perendaman 7 hari adalh 1242,10 Kg, pada perendaman 14 hari adalah 1227,02 Kg, dan pada

perendaman 21 hari adalah 1071,12 kg. 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 ke dalamnya 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 2 - 4 (mm).

Grafik nilai *Flow* campuran AC-WC untuk berbagai variasi limbah kaca yang ditambahkan pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.27

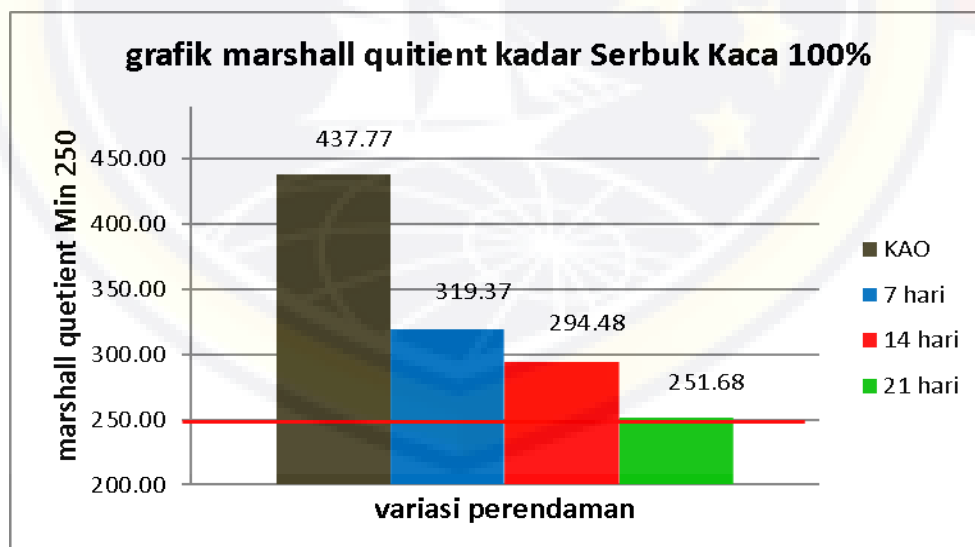


Gambar 4.27 Diagram hubungan Variasi serbuk kaca 100% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.27 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah kaca kedalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* meningkat, pada perendaman KAO nilainya adalah 2,93 mm pada perendaman 7 hari adalah 3,90 mm, pada perendaman yang ke 14 hari adalah 4,17 mm, dan pada perendaman yang ke 21 hari nilai flownya adalah 4,27 mm. 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 data rekat aspal.

d. Marshall Quotient

Nilai MQ pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.28

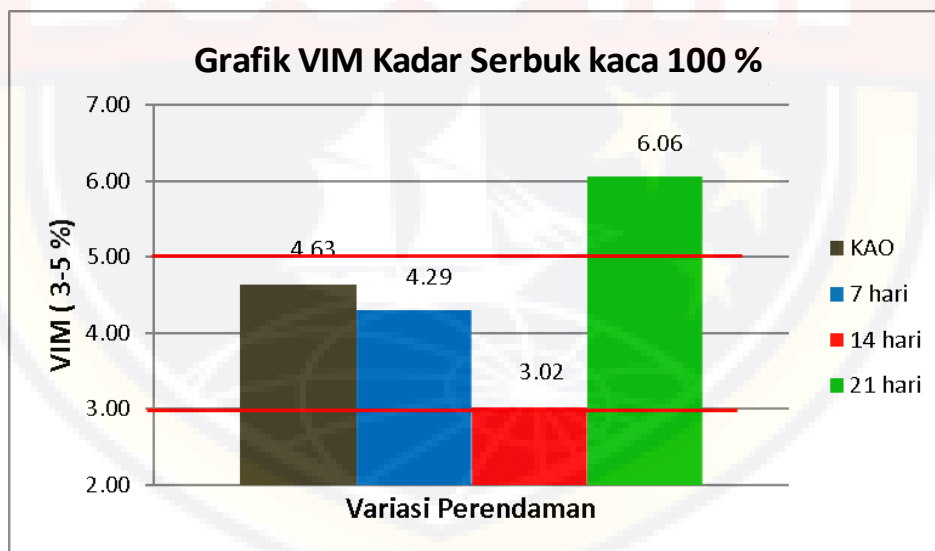


4.28 Diagram hubungan variasi serbuk kaca 100 % padi terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60

Gambar diatas menunjukkan bahwa lamanya durasi perendaman mengakibatkan nilai *Marshall Quotient* KAO adalah 437,77 Kg/mm, pada perendaman 7 hari nilai yang diperoleh 319,37 Kg/mm, pada perendaman yang ke 14 hari nilai yang di peroleh yaitu 294,48 kg/mm, dan pada perendaman ke 21 hari adalah 251,68 Kg/mm. Hal ini kemungkinan disebabkan karena kohesi atau gaya tarik menarik dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam dalam air. Selain itu juga kemungkinan adhesi atau ikatan antara aspal dan agregat menurun.

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 3,0%– 5,0%

Grafik nilai *VIM* campuran AC-WC untuk berbagai variasi kadar serbuk kaca 100% pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.29



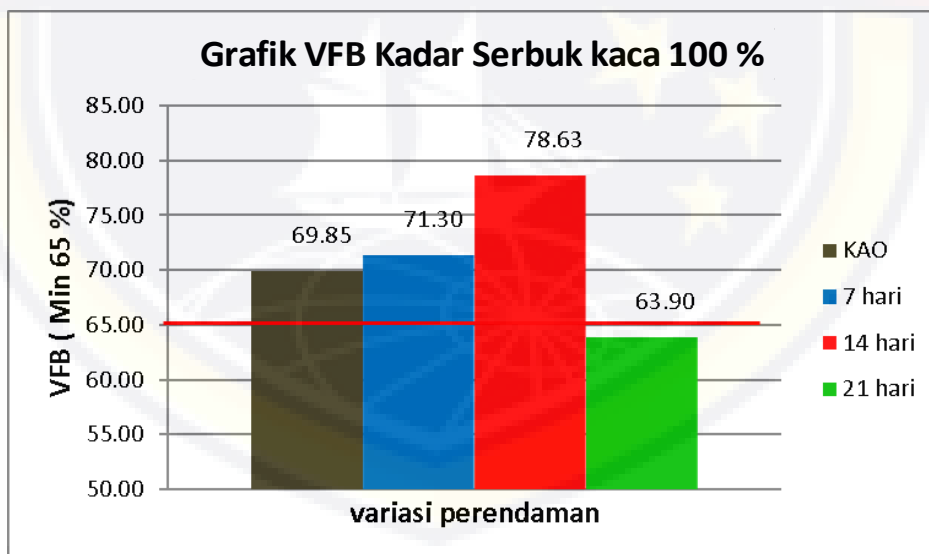
Gambar 4.29 Diagram hubungan variasi serbuk kaca 100 % terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.29 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah kaca 100% ke dalam campuran yang direndam secara berulang

menyebabkan nilai *VIM* cenderung berbeda. Dimana untuk nilai KAO adalah 4,63 %, untuk perendaman 7 hari adalah 4,29%, untuk perendaman 14 hari adalah 3,02 % dan untuk perendaman ke 21 hari adalah 6,06 % . dimana pada perendaman ke 21 hari mengalami kenaikan nilai *vim* sehingga melewati batas maximum spesifikasi.

f. Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 65 (%)

Nilai *VFB* memperlihatkan presentase rongga terisi aspal. Apabila *VFB* besar maka banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedekatan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Hal ini disebabkan aspal yang berjumlah besar apabila menerima beban dan panas akan mencari rongga yang kosong. Jika rongga yang tersedia sedikit dan semua telah terisi, aspal akan naik kepermukaan yang kemudian terjadi bleeding.

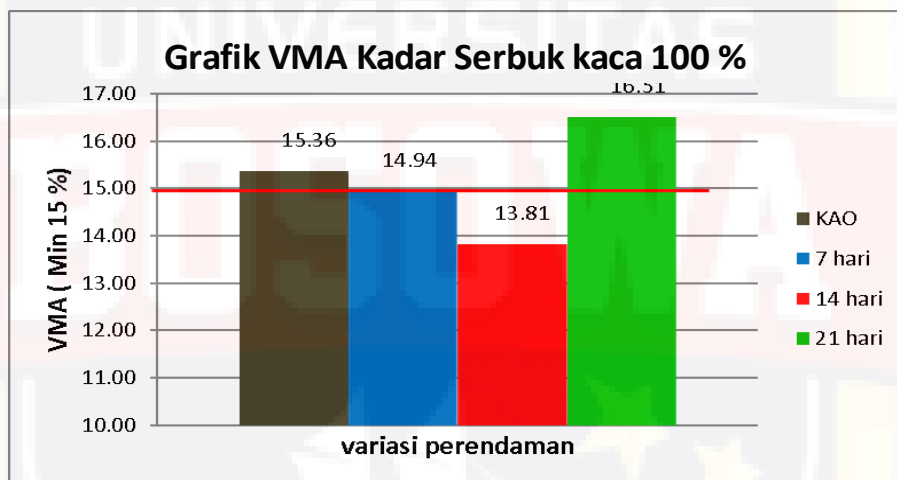


Gambar 4.30 Diagram hubungan variasi limbah kaca 100 % terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.30 menunjukkan bahwa penambahan limbah kaca 100% ke dalam campuran dimana nilai pada KAO adalah 69,85% , pada perendaman 7 hari adalah 71,30% , pada perendaman 14 hari adalah 78,63 dan pada perendaman ke 21 hari adalah 63,90% terjadi penurunan dan tidak memenuhi spesifikasi yg di tentukan

g. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 15%

Grafik nilai VMA campuran AC-WC untuk berbagai variasi limbah serbuk kaca kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.31



Gambar 4.31 Diagram hubungan variasi serbuk kaca 100% pada terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C.

Dari gambar 4.31 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah kaca ke dalam campuran yang direndam secara berulang mengalami perubahan nilai VMA. Dimana nilai KAO adalah 15,36% pada perendaman 7 Hari adalah 14,94% , pada perendaman 14 hari adalah 13,81% sedangkan untuk perendaman 21 hari adalah 16,51%. Dapat dilihat bahwa pada perendaman 7 hari dan 14 hari tidak memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

4.5. Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS

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

Hubungan antara kadar aspal optimum dengan persentase nilai indeks kekuatan sisa tabel 4.19.

Tabel 4.19 Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS Aspal Beton AC– WC

KAO	Waktu Perendaman Suhu 60°C		IKS	Spek. %
	30 Menit	24 Jam		
	1275,8	1246,6	102,34	90

Sumber : Hasil penelitian Laboratorium

Dari tabel 4.19 menunjukkan bahwa nilai stabilitas untuk campuran AC-WC pada kadar aspal optimum terhadap perendaman.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik campuran aspal LASTON AC-WC melalui pengujian Marshall, dengan penggunaan serbuk kaca sebagai filler dapat mempengaruhi Nilai stabilitas dimana semakin bertambahnya kadar variasi limbah kaca, nilai stabilitas 40% = 1227,03 kg, 60%= 1232,04, 80%= 147,13 kg meningkat. namun pada variasi limbah kaca mencapai 100% nilai stabilitas = 1242,10 kg menurun. Sedangkan pada nilai marshall quontinet 40%= 342,76 kg/mm, 60%= 339,43 kg/mm, 80%= 322,92 kg/mm, 100%= 319,37 kg/mm mengalami penurunan seiring bertambahnya variasi serbuk kaca. sedangkan nilai flow 40%= 3,60 mm, 60%= 3,63 mm, 80%= 3,90 mm, 100%= 3,90 mm, mengalami peningkatan, Nilai VIM, 40%= 4,47 % ke 60%= 4,63 mengalami peningkatan dan mengalami penurunan pada 80% = 4,48 dan 100%= 4,29, Nilai VMA, 40%= 15,10 ke 60%= 15,24 mengalami peningkatan dan mengalami penurunan pada 80% = 15,11 dan 100%= 14,94,
2. Hasil pengujian marshall test menggunakan variasi bahan tambah limbah kaca, nilai yang terbaik untuk stabilitas = 1232,04 kg, flow =3,63 mm , VIM = 4,63%, VMA= 15,24 % , VFB= 70,33 % Dan MQ = 339,43 kg/mm yaitu pada kadar limbah kaca 60% dengan

perendaman 7 hari, namun pada perendaman yang lain juga masih dalam batas spesifikasi. Sedangkan pada variasi kadar limbah kaca 80 % terdapat beberapa nilai yang tidak memenuhi spesifikasi yang di tentukan. Seperti pada nilai VIM, VMA, VFB.

5.2. Saran

Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan untuk :

- a. Penelitian yang sedang berlangsung peneliti harus memerlukan ketelitian yang cermat dan fokus pada saat penimbangan agregat, mengontrol suhu aspal dan agregat yang sedang masa pemanasan, serta pencampuran dan pemadatan benda uji tersebut, sehingga memperoleh hasil yang lebih optimal dan akurat pada saat pengolahan data tanpa mengalami masalah.
- b. Penggunaan bahan limbah kaca sebagai filler pada suatu campuran aspal mempunyai pengaruh pada suatu perkerasan jalan, saran peneliti dalam suatu perkerasan jalan di lapangan agar dapat menggunakan limbah kaca sebagai bahan pengganti semen serta menjadi bahan perbandingan dari sisi ekonomis.
- c. Saran peneliti adanya penelitian kembali uji Durabilitas pada kondisi standar (2 x 75) tumbukan.
- d. saran pada penelitian selanjutnya melakukan perendaman terhadap KAO normal seperti pada perendaman variasi.

Daftar Pustaka

Anonim, 2010. *Bahan Kuliah Rekayasa Tanah dan Perkerasan Jalan*.
Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas "45" Makassar.

Anonim, 2014. *Penuntun Praktikum Laboratorium Jalan dan Aspal*. Jurusan
Sipil Fakultas Teknik Universitas "45" Makassar.

Direktorat Jendral Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 Untuk
Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Kementerian Pekerjaan
Umum dan Perumahan Rakyat : Jakarta.

Fauziah, M., & Wijayati, F. S. (2016). *Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai
Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus*.
xxi(2), 261–273. ISSN0853-8557

Hartini. (2020). *Pemanfaatan Limbah Kaca Sebagai filler
Terhadap karakteristik Campuran Aspal Panas (Ac - Wc)*. *Media Inovasi
Teknik Sipil*, 9(1), 9–16. <https://doi.org/ISSN2580-023X>

Liu,S.; Wang, S.; Tang, W.; Hu, N.; Wei, J., 2015, *Inhibitory Effect of Waste
Glass Powder on ASR Expansion Induced by Waste Glass Aggregate*,
Materials 2015, 8, 6849-6862; doi:10.3390/ma8105344
www.mdpi.com/ journal/materials

Nukke Sylvia, S.Sn, M.Ds, Lailiyah, Mahmudah Nur, 2018 *tinjauan Proses dan Teknik Flameworking Pada limbah kaca*

SNI 03-1737-1989, *Tata cara pelaksanaan lapis tipis beton aspal untuk jalan raya*

SNI 06-2489-199, *Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall*

Sukirman, Silvia, 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung, Nova.

Sukirman, Silvia. 1994. *Dasar-Dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung, Nova.

Sukirman, S. 2007. *Beton Aspal Campuran Panas*.:Yayasan obor indonesia, jakarta.

Yuniarti, R, Hasyim, Hariyadi, Handayani, T, 2019, *Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler Pada Campuran Perkerasan Aspal Panas*, ISSN 0853-2982, DOI:[10.5614/jts.2019.26.3.10](https://doi.org/10.5614/jts.2019.26.3.10), <http://journals.itb.ac.id/>

----- Undang-Undang No.38 tahun 2004 tentang Jalan.

L

A

M

P

BOSOWA

I

R

A

N





LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

SNI 03-1969-1990

Material : Batu pecah 1-2

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 08 Februari 2021

	A	B	Rata - rata
Berat benda uji kering oven B_k	2440.8	2442.7	2441.75
Berat benda uji kering - permukaan jenuh B	2500	2500.1	2500.05
Berat benda uji didalam air B_a	1468.1	1497.8	1482.95

	A	B	Rata - rata
Berat jenis (Bulk) $\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2.37	2.44	2.40
Berat jenis kering - permukaan jenuh $\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2.42	2.49	2.46
Berat jenis semu (Apparent) $\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2.50	2.58	2.54
Penyerapan (Absorption) $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2.43	2.35	2.39

Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium

IR. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT

MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

SNI 03-1969-1990

Material : Batu pecah 0.5-1

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 08 Februari 2021

	A	B	Rata - rata
Berat benda uji kering oven B_k	2436.3	2430.6	2433.45
Berat benda uji kering - permukaan jenuh B_j	2500.2	2500.3	2500.25
Berat benda uji didalam air B_a	1607	1404.6	1505.8

	A	B	Rata - rata
Berat jenis (Bulk) $\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2.72	2.21	2.47
Berat jenis kering - permukaan jenuh $\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2.80	2.28	2.54
Berat jenis semu (Apparent) $\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2.93	2.36	2.64
Penyerapan (Absorption) $\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2.62	2.87	2.75

Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium

IR. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT

MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

SNI 03-1969-1990

Material : Abu Batu

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 08 Februari 2021

	A	B	Rata - rata
Berat benda uji kering - permukaan jenuh (SSD) _____ 500	500.1	500.1	500.1
Berat benda uji kering oven _____ B_k	486.9	487.0	486.95
Berat Piknometer diisi air (25°C) _____ B	698.5	691.5	695
Berat piknometer + benda uji (SSD) + air(25°C) _____ B_t	1002.2	994.2	998.2

	A	B	Rata - rata
Berat jenis (Bulk) $\frac{B_k}{(B + 500 - B_t)}$	2.48	2.47	2.47
Berat jenis kering - permukaan jenuh $\frac{500}{(B + 500 - B_t)}$	2.55	2.53	2.54
Berat jenis semu (Apparent) $\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2.65	2.64	2.64
Penyerapan (Absorption) $\frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\%$	2.69	2.67	2.68

Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium

IR. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT

MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

SNI-06-2442-1991

Material : Aspal

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Pabrik

Tanggal : 08 Februari 2021

URAIAN		I	II
Berat Pikhnometer (gram)	A	53.50	51.90
Berat Pikhnometer + Air (gram)	B	116.30	111.80
BERAT AIR / ISI PIKNOMETER (gram)	$(B - A)$	62.80	59.90
Berat Pikhnometer + Aspal (gram)	C	86.60	84.30
BERAT ASPAL (gram)	$(C - A)$	33.10	32.40
Berat Pikhnometer + Air + Aspal (gram)	D	116.50	111.90
BERAT AIR (gram)	$(D - C)$	29.90	27.60
Berat Jenis Aspal	$\frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$	1.006	1.003
Rata-rata		1.005	

Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium

IR. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT

MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR

SNI ASTM C117:2012

Material : Batu Pecah 1-2

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 09 Februari 2021


		I	II
Berat Kering contoh semula (A)	gram	2500.2	2500
Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200 (B)	gram	2474.9	2475.5
Persentase material lolos No. 200 $(A-B/A) \times 100\%$	%	1.01	0.98
Kadar Lumpur Rata-rata	%	1.00	

BOSOWA

Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium


IR. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT


MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR

SNI ASTM C117:2012

Material : Batu Pecah 0.5-1

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 09 Februari 2021

		I	II
Berat Kering contoh semula (A)	gram	2500.9	2500.6
Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200 (B)	gram	2475.9	2474.2
Persentase material lolos No. 200 $(A-B/A) \times 100\%$	%	1.00	1.06
Kadar Lumpur Rata-rata	%	1.03	

Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium


IR. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT


MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR

SNI ASTM C117:2012

Material : Abu Batu

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 09 Februari 2021

		I	II
Berat Kering contoh semula (A)	gram	1500	1500
Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200 (B)	gram	1285.7	1256.4
Persentase material lolos No. 200 (A-B/A) x 100%	%	14.29	16.24
Kadar Lumpur Rata- rata	%	15.26	

Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium


IR. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT


MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

AASHTO T. 11 / 27 - 29 - SNI 03 - 1968 - 1990

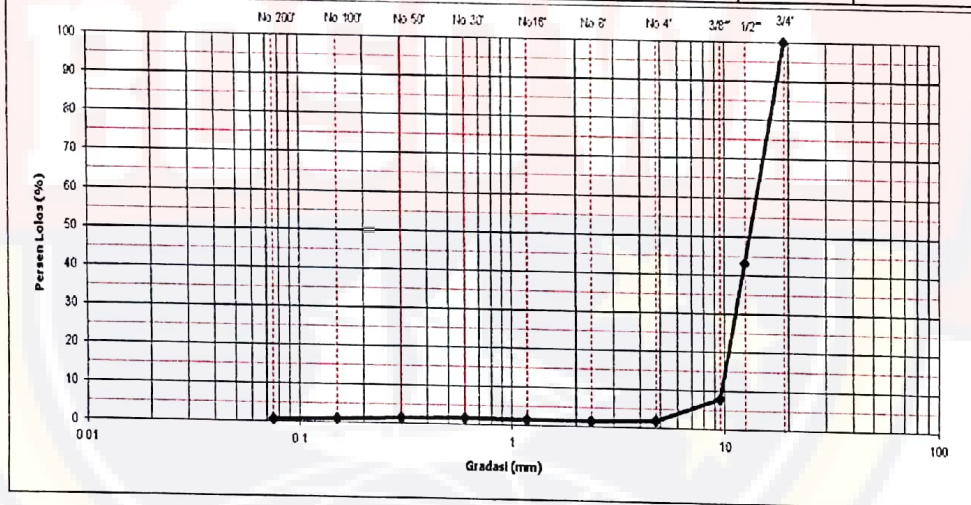
Material : Batu Pecah 1-2

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 10 Februari 2021

Saringan No	Total :	2500.0		Total :	2500.1		Rata - rata
	Sampel	1		Sampel	2		%
	Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Lolos
3/4"	0.0	0.00	100.00	0.0	0.00	100.00	100.00
1/2"	1447.7	57.91	42.09	1398.5	55.94	44.06	43.08
3/8"	2301.4	92.06	7.94	2303.3	92.13	7.87	7.91
No. 4	2451.7	98.07	2.10	2452.9	98.11	1.54	1.82
No. 8	2455.6	98.22	1.78	2460.00	98.40	1.35	1.56
No. 16	2456.9	98.28	1.40	2461.0	98.44	1.56	1.48
No. 30	2457.3	98.29	1.71	2461.4	98.45	1.55	1.63
No. 50	2460.9	98.44	1.56	2464.8	98.59	1.41	1.49
NO. 100	2472.6	98.90	1.10	2471.4	98.85	1.15	1.12
No. 200	2478.2	99.13	0.87	2485.2	99.40	0.60	0.73
Pan	2497.9	99.92	0.08	2499.00	99.96	0.04	0.06




Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium


R. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT


MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

AASHTO T. 11 / 27 - 29 - SNI 03 - 1968 - 1990

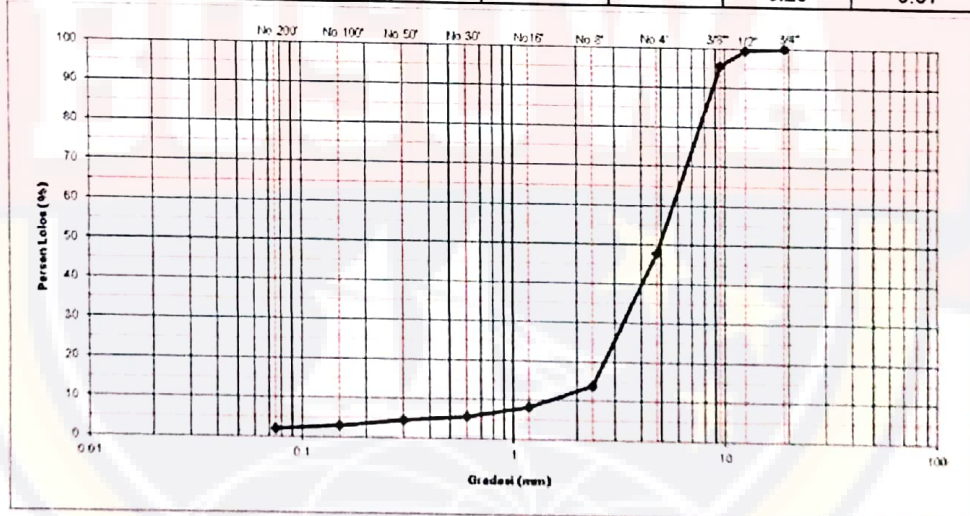
Material : Batu Pecah 0.5-1

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 10 Februari 2021

Saringan No	Total : 2500.0			Total : 2500			Rata - rata %
	Sampel Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Sampel Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	
3/4"	0.0	0.00	100.00	0.0	0.00	100.00	100.00
1/2"	13.3	0.53	99.47	18.1	0.72	99.28	99.37
3/8"	111.5	4.46	95.54	113.1	4.52	95.48	95.51
No. 4	1320.8	52.83	47.17	1285.0	51.40	48.60	47.88
No. 8	2154.2	86.17	13.83	2153.3	86.13	13.87	13.85
No. 16	2299.7	91.99	8.01	2288.0	91.52	8.48	8.25
No. 30	2380.2	95.21	4.79	2338.8	93.55	6.45	5.62
No. 50	2419.1	96.76	3.24	2360.7	94.43	5.57	4.40
NO. 100	2454.5	98.18	1.82	2395.3	95.81	4.19	3.00
No. 200	2478.4	99.14	0.86	2423.2	96.93	3.07	1.97
Pan	2490.8	99.63	0.37	2493.7	99.75	0.25	0.31




Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium


IR. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT


MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

AASHTO T. 11 / 27 - 29 - SNI 03 - 1968 - 1990

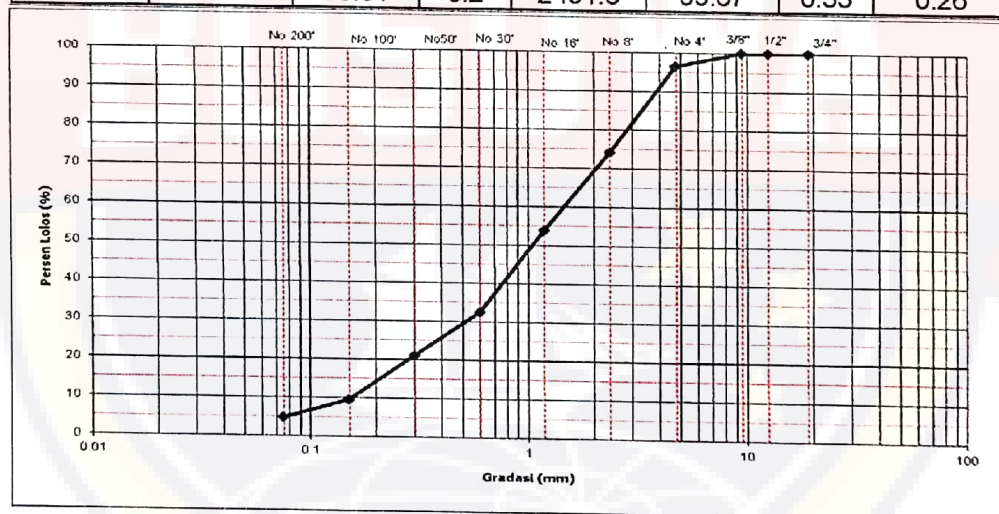
Material : Abu Batu

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 10 Februari 2021

Saringan No	Total :	2500.1		Total :	2500		Rata - rata
	Sampel	1		Sampel	2		%
	Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Lolos
3/4"	0.0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
1/2"	0.0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
3/8"	0.0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
No. 4	76.6	3.06	96.94	101.8	4.07	95.93	96.43
No. 8	642.7	25.71	74.29	645.9	25.84	74.16	74.23
No. 16	1120.9	44.83	55.17	1189.1	47.56	52.44	53.80
No. 30	1626.4	65.05	34.95	1754.5	70.18	29.82	32.38
No. 50	1891.2	75.64	24.36	2058.8	82.35	17.65	21.00
No. 100	2145.8	85.83	14.17	2387.4	95.50	4.50	9.34
No. 200	2365.4	94.61	5.39	2402.2	96.09	3.91	4.65
Pan	2495.3	99.81	0.2	2491.8	99.67	0.33	0.26



Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium

IR. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT

MARLINA ALWI, ST



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

ANALISA SARINGAN FILLER

AASHTO T. 11 / 27 - 29 - SNI 03 - 1968 - 1990

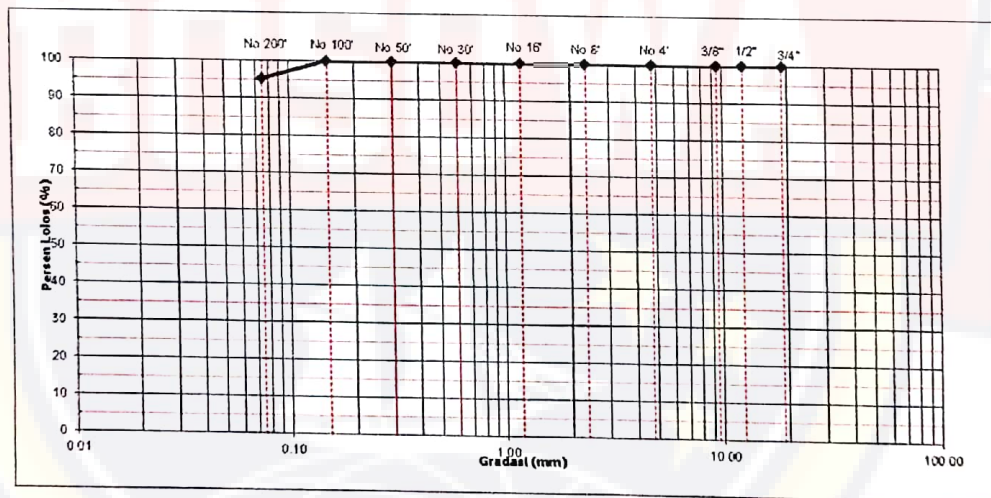
Material : Semen

Nama : Dasrin Udin

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 10 Februari 2021

Saringan No	Total :	2000.0		Total :	2000		Rata - rata % Lolos
	Sampel	1		Sampel	2		
	Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	
3/4"	0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
1/2"	0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
3/8"	0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
No. 4	0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
No. 8	0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
No. 16	0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
No. 30	0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
No. 50	0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
No. 100	0	0.00	100.00	0	0.00	100.00	100.00
No. 200	96.5	4.83	95.18	97.2	4.86	95.14	95.16



Makassar, Februari 2021

Mengetahui
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh
Asisten Laboratorium

R. H. ABD. RAHIM NURDIN, MT

MARLINA ALWI, ST

PERHITUNGAN KOMPOSISI CAMPURAN

Kadar Aspal		=	4	%		100 %	-	4	%	=	96
Hasil Combine											
BP 1-2	17	%	x	96	%	=	0.1632	x	1200	=	195.84
BP 0,5 -	26	%	x	96	%	=	0.2496	x	1200	=	299.52
Abu Bat	56	%	x	96	%	=	0.5376	x	1200	=	645.12
Filler	1	%	x	96	%	=	0.0096	x	1200	=	11.52
Aspal	4	%			X				1200	=	48
											1200

Kadar Aspal		=	4.5	%		100 %	-	4.5	%	=	95.5
Hasil Combine											
BP 1-2	17	%	x	95.5	%	=	0.1624	x	1200	=	194.82
BP 0,5 -	26	%	x	95.5	%	=	0.2483	x	1200	=	297.96
Abu Bat	56	%	x	95.5	%	=	0.5348	x	1200	=	641.76
Filler	1	%	x	95.5	%	=	0.0096	x	1200	=	11.46
Aspal	4.5	%			X				1200	=	54
											1200

Kadar Aspal		=	5	%		100 %	-	5	%	=	95
Hasil Combine											
BP 1-2	17	%	x	95	%	=	0.1615	x	1200	=	193.8
BP 0,5 -	26	%	x	95	%	=	0.247	x	1200	=	296.4
Abu Bat	56	%	x	95	%	=	0.532	x	1200	=	638.4
Filler	1	%	x	95	%	=	0.0095	x	1200	=	11.4
Aspal	5	%			X				1200	=	60
											1200

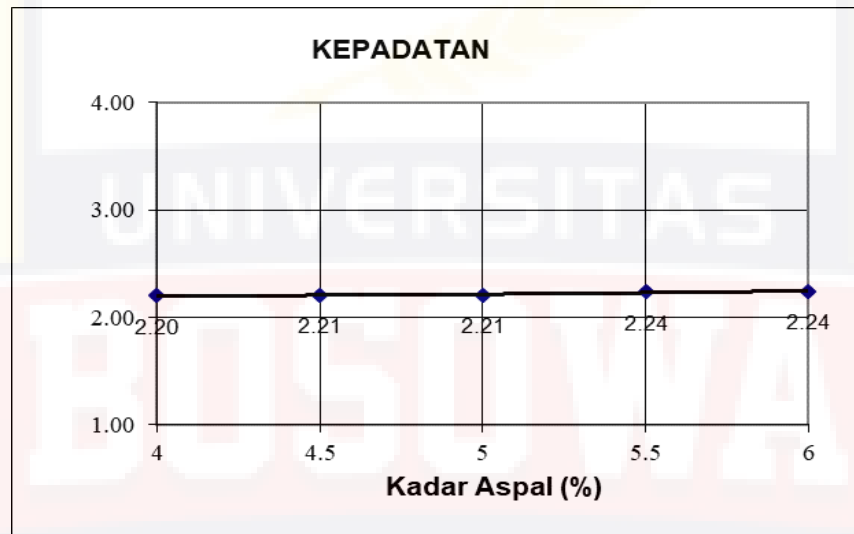
Kadar Aspal		=	5.5	%		100 %	-	5.5	%	=	94.5
Hasil Combine											
BP 1-2	17	%	x	94.5	%	=	0.1607	x	1200	=	192.78
BP 0,5 -	26	%	x	94.5	%	=	0.2457	x	1200	=	294.84
Abu Bat	56	%	x	94.5	%	=	0.5292	x	1200	=	635.04
Filler	1	%	x	94.5	%	=	0.0095	x	1200	=	11.34
Aspal	5.5	%			X				1200	=	66
											1200

Kadar Aspal		=	6	%		100 %	-	6	%	=	94
Hasil Combine											
BP 1-2	17	%	x	94	%	=	0.1598	x	1200	=	191.76
BP 0,5 -	26	%	x	94	%	=	0.2444	x	1200	=	293.28
Abu Bat	56	%	x	94	%	=	0.5264	x	1200	=	631.68
Filler	1	%	x	94	%	=	0.0094	x	1200	=	11.28
Aspal	6	%			X				1200	=	72
											1200

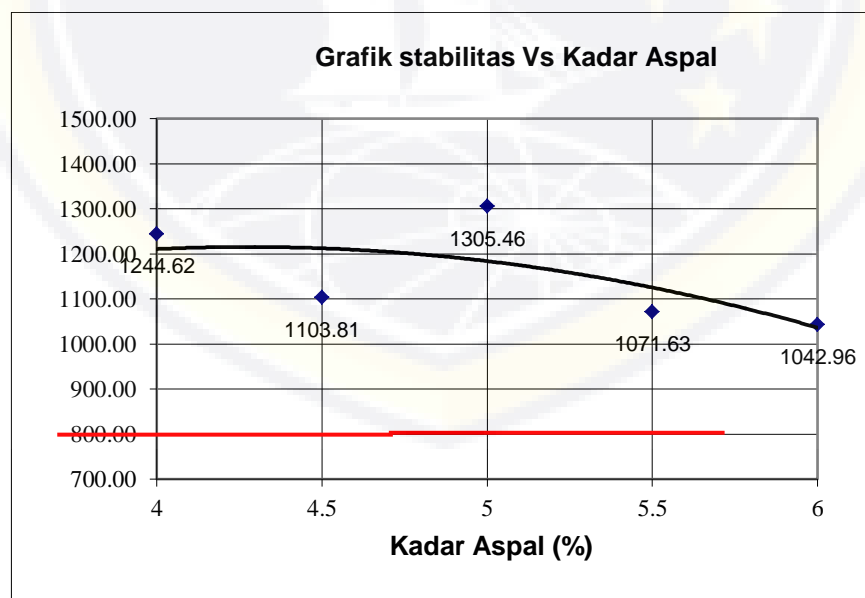
GRAFIK PENENTUAN KADAR ASPAL OPTIMUM (KAO)

Kadar Aspal %	Hasil Pengujian						
	Kepadatan	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA(%)	VFB (%)
4	2.20	1244.62	4.33	288.86	8.73	15.17	42.56
4,5	2.21	1103.81	4.27	258.74	7.79	15.35	49.49
5	2.21	1305.46	4.20	315.42	7.13	15.81	55.14
5,5	2.24	1071.63	3.73	287.30	4.82	15.07	68.05
6	2.24	1042.96	3.50	294.58	4.25	15.33	72.29

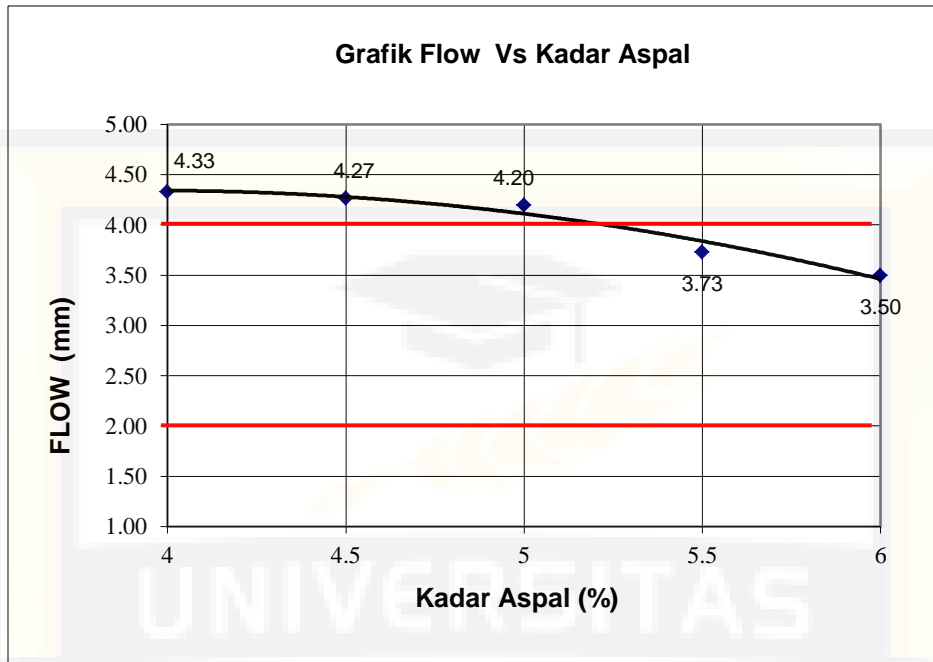
➤ Kepadatan



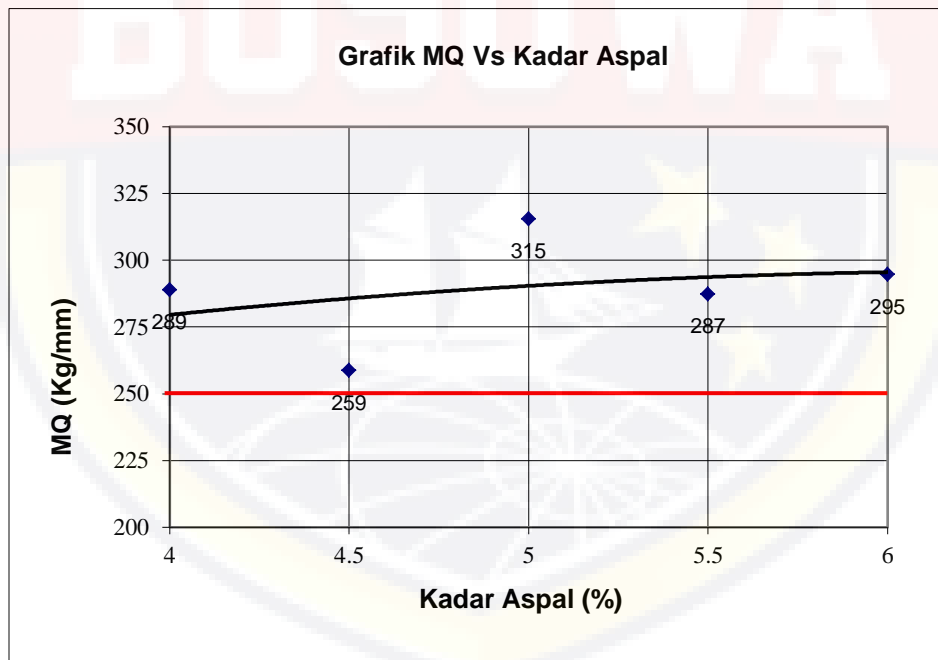
➤ Stabilitas Minimum 800 (KG)



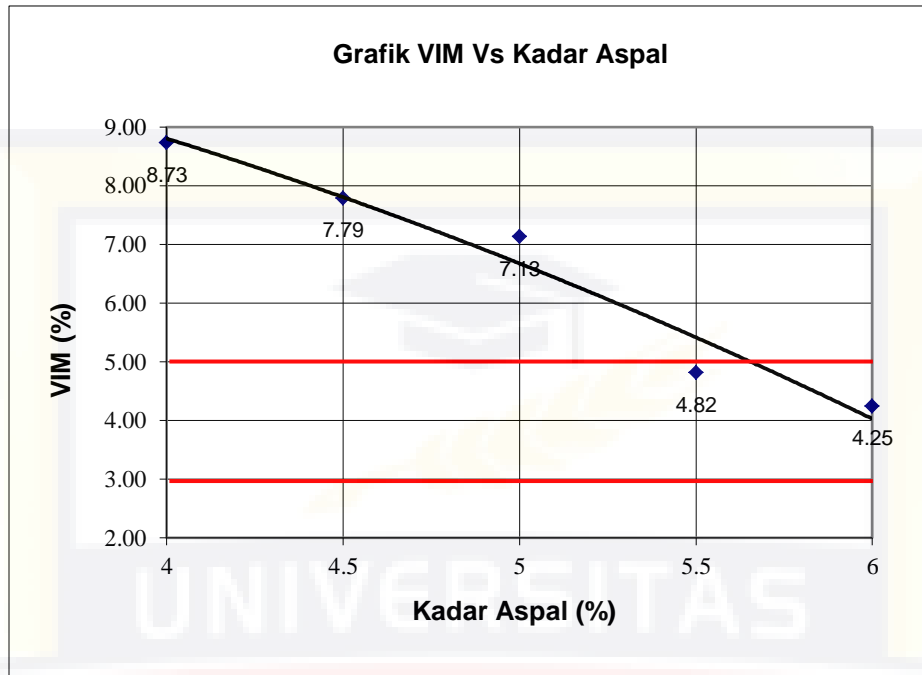
➤ Pelelehan (Flow) 2-4



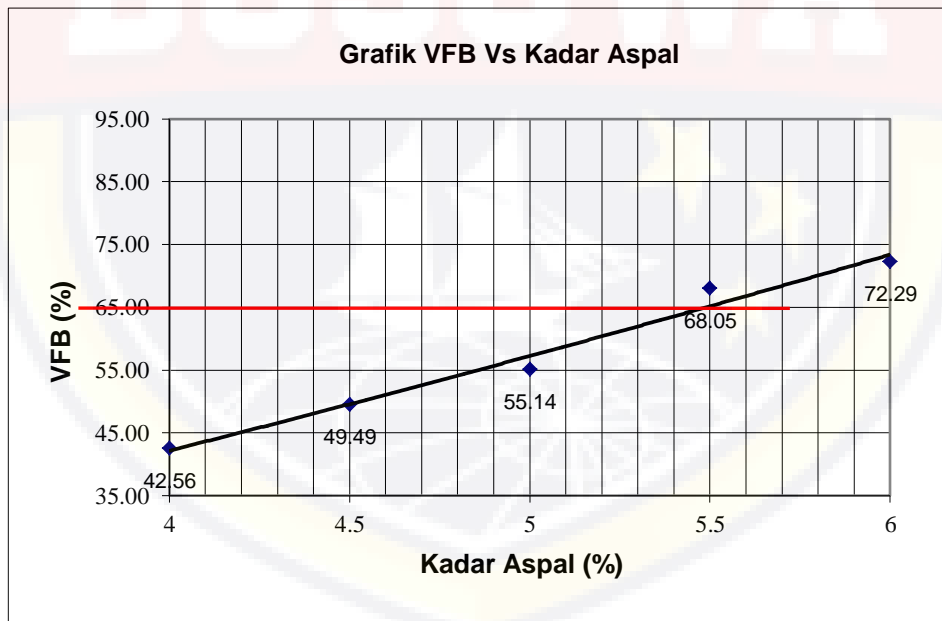
➤ Marshall Quotient 250 (Kg/mm)



➤ Rongga Dalam Campuran (VIM) Antara 3,0 – 5,0 (%)



➤ Rongga Terisi Aspal (VFB) Min 65 (%)





LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN

JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

MARSHALL SISA TEST

Nama : Dasrin Udin

Penetrasi : 60/70

campuran : AC - WC

Berat Jenis Aspal (T) : 1.005 Gr/Cc

Tanggal Test :

No	Agregat	Bj Bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2.40	2.54
b	Batu Pecah 0,5 - 1	2.47	2.64
c	Abu Batu	2.47	2.64
d	Filler	3.14	3.14

No.	Proporsi Campuran (% Berat Total Agregat)				Kadar Aspal Efektif (%)		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)	Luas Permukaan Agregat	Absorsi Aspal Terhadap Berat Total Campuran	Tebal Film	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFB)				
					A	B				Di Udara (In Air)	Dalam Air (In Water)	Kering Permukaan (SSD)				Pembacaan	Disesuaikan (Kalibrasi Alat & Angka Korelasi)								Marshall Quetient			
a	b	c	d	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S						
				$A - \left(\frac{P}{100}\right) \times (100 - A)$	% terhadap total Campuran				$\frac{100}{100 - A} \times C$				$G - F$	$\frac{100(D - I)}{D}$	(Pembacaan x Kalibrasi Alat x Angka Korelasi)	$\frac{M}{N}$	Combined	$\frac{T(100 - A) - B}{100 \cdot T - D}$	$\frac{1000(A - P)}{100 - A}$	$\frac{100 - (R - J)}{100 - A}$	$\frac{(R - J)}{R}$							
I	17	26	56	1	4.79	5.8	2.49	2.56	2.349	1186.70	660.30	1192.10	531.80	2.23	5.01	87	1296.3	2.50	518.5	4.89	1.07	10.22	15.52	67.71				
II	17	26	56	1	4.79	5.8	2.49	2.56	2.349	1175.00	658.70	1184.70	526.00	2.23	4.91	79	1177.1	3.30	356.7	4.89	1.07	10.22	15.43	68.18				
III	17	26	56	1	4.79	5.8	2.49	2.56	2.349	1177.50	658.00	1185.00	527.00	2.23	4.89	85	1266.5	2.60	487.1	4.89	1.07	10.22	15.41	68.28				
Perendaman 24 jam dengan Suhu 60°									2.349				2.23	4.94	83.67	1246.6	2.80	454.1	4.89	1.07	10.22	15.45	68.05					
I	17	26	56	1	4.79	5.8	2.49	2.56	2.349	1183.90	661.70	1192.00	530.3	2.23	4.97	86	1332.7	2.50	533.1	4.89	1.07	10.22	15.48	67.91				
II	17	26	56	1	4.79	5.8	2.49	2.56	2.349	1181.40	660.40	1189.60	529.2	2.23	4.97	77	1193.2	3.40	350.9	4.89	1.07	10.22	15.48	67.90				
III	17	26	56	1	4.79	5.8	2.49	2.56	2.349	1179.50	659.80	1188.10	528.3	2.23	4.96	84	1301.7	3.00	433.9	4.89	1.07	10.22	15.47	67.94				
Perendaman 30 menit dengan Suhu 60°									2.349	1181.6	660.6	1189.9	529.3	2.23	4.97	82.3	1275.8	2.97	439.3	4.89	1.07	10.22	15.48	67.92				
SPEKIFIKASI																	Min 3-5		Min 800	Min 2-4	Min 250						Min 15	Min 65

$$\text{Stabilitas Sisa} = \frac{\text{Perendaman 30 menit}}{\text{Perendaman 24 Jam}} = \frac{1275.8}{1246.6} \times 100\% = 102.34 > 90$$



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

MARSHALL NORMAL

Nama : Dasrin Udin

Penetrasi : 60/70

campuran : AC - WC

Berat Jenis Aspal (T) : 1.005 Gr/Cc

Tanggal Test : 25 APRIL 2021

No	Agregat	Bj Bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2.40	2.54
b	Batu Pecah 0,5 - 1	2.47	2.64
c	Abu Batu	2.47	2.64
d	Filler	3.14	3.14

No	Mix Proportion (% by wt of total aggregate)				Kadar Aspal Efektif	kadar Aspal	Bj Bulk gab	Bj Efektif gab	Bj Max Campuran (GMM)	Berat (gr)		SSD	Volume benda uji	BJ Bulk CAMPURAN pemadatan	% Vim	Stability Kg		Flow (mm)	Marshall Quotien (kg/mm)	Luas Permukaan Agregat	Absorpsi Aspal Thdp Berat Total Campuran	Tebal Film	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFB)
	a	b	c	d						Di Udara In Air	Di Dalam Air (In Water)					Meas	Adjust							
					A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
					$A - \frac{P(100)}{100 - A}$	% Bit by Wt Of Mix	Refer Note 1	Refer Note 2	$\frac{100}{C} - \frac{A}{T}$	From Lab	From Lab	From Lab	G - F	$\frac{E}{H}$	$\frac{100(D-1)}{D}$	From Lab	Table	From Lab	$\frac{L}{M}$	Combined	$\frac{T(100-A)}{A} + \frac{B}{100 - \frac{100T}{D}}$	$\frac{100(A-P)}{100 - A}$	$\frac{100 - (I/B) \times (100 - A)}{(100 - A)}$	$\frac{(R-J)}{R} \times 100$
0%																								
I	17	26	56	1	4.88	5.8	2.49	2.56	2.346	1188.70	660.30	1192.10	531.8	2.24	4.72	88.0875	1312.50	2.6	504.81	4.89	0.98	10.086	15.44	69.42
II	17	26	56	1	4.88	5.8	2.49	2.56	2.346	1176.60	658.70	1184.70	526.0	2.24	4.65	79.9875	1191.81	3.4	350.53	4.89	0.98	10.086	15.38	69.75
III	17	26	56	1	4.88	5.8	2.49	2.56	2.346	1180.50	658.00	1185.00	527.0	2.24	4.52	86.0625	1282.33	2.8	457.98	4.89	0.98	10.086	15.26	70.39
					4.88	5.80	2.49	2.56	2.35	1181.93	659.00	1187.27	528.27	2.24	4.63	84.71	1262.22	2.93	437.77	4.89	0.98	10.09	15.36	69.85
SPESIFIKASI														Min 3,0 - 5,0		Min 800	Min 2 - 4	Min 250		Max 1,2		Min 15	Min 65	



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

MARSHALL TEST 7 hari

Nama : Dasrin Udin

Penetrasi : 60/70

campuran : AC - WC

Berat Jenis Aspal (T) : 1.005 Gr/Cc

Tanggal Test : 25 April 2021

No	Agregat	Bj Bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2.40	2.54
b	Batu Pecah 0,5 - 1	2.47	2.64
c	Abu Batu	2.47	2.64
d	Filler	3.14	3.14

No	Proporsi Campuran (% Berat Total Agregat)				Kadar (%)			Bj Bulk Gabungan	Bj Efektif Gabungan	Bj Maksimum Campuran (GMM)	Berat (Gram)			Volume Benda Uji	Bj Bulk Campuran (Kepadatan)	%	Stabilitas (Kg)		(mm)	kg/mm	Luas Permukaan Agregat	Absorsi Aspal Terhadap Berat Total Campuran	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi (VF)	
					Kadar Aspal Efektif	Kadar Aspal	Kadar Abu Cangkang				Di Udara (In Air)	Dalam Air (In Water)	Kering Permukaan (SSD)				Rongga Dalam Campuran (VIM)	Pembacaan							Disesuaikan (Kalibrasi Alat & Angka Korelasi)
a	b	c	d	A	% terhadap total Campuran	% Terhadap Kadar Aspal	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
				$A - \frac{(P/100) \times (100-A)}{100}$					$\frac{100}{100-A} \times \frac{A}{C}$				$G - F$	$\frac{E}{H}$	$\frac{100(D-I)}{D}$		$(\text{Pembacaan} \times \text{Kalibrasi Alat}) \times \text{Angka Korelasi}$	$\frac{L}{M}$	Combine	$A + \frac{T(100-A)}{B}$	$\frac{1000(A-P)}{100(T(100-A))}$	$\frac{100 - (I/B) \times (100 - A)}{100 - A}$	$\frac{(R-J)}{R}$		
IA	17	26	56	1	4.82	5.8	40	2.49	2.56	2.349	1167.7	662	1180.4	518.40	2.25	4.1	79	1191.81375	3.20	372.44	4.89	1.04	10.28	14.78	72.3
IIA	17	26	56	1	4.82	5.8	40	2.49	2.56	2.349	1173.6	665	1192.2	527.20	2.23	5.2	85	1282.33125	4.00	320.58	4.89	1.04	10.28	15.78	66.3
IIIA	17	26	56	1	4.82	5.8	40	2.49	2.56	2.349	1170.8	663	1182.4	519.40	2.25	4.0	82	1237.0725	3.60	343.63	4.89	1.04	10.28	14.72	72.3
Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60°C										2.35			521.67	2.24	4.47	82.00	1237.07	3.60	345.55	4.89	1.04	10.28	15.10	70.3	
IA	17	26	56	1	4.82	5.8	60	2.49	2.56	2.349	1190.1	682	1204.1	522.10	2.28	3.0	96	1448.28	4.30	336.81	4.89	1.04	10.28	13.77	78.3
IIA	17	26	56	1	4.82	5.8	60	2.49	2.56	2.349	1102.3	619	1122.6	503.60	2.19	6.8	72	1086.21	3.20	339.44	4.89	1.04	10.28	17.19	60.3
IIIA	17	26	56	1	4.82	5.8	60	2.49	2.56	2.349	1120.8	638	1135.5	497.50	2.25	4.1	80	1206.9	3.40	354.97	4.89	1.04	10.28	14.77	72.3
Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60°C										2.35			507.73	2.24	4.63	82.67	1247.13	3.63	343.74	4.89	1.04	10.28	15.24	70.3	
IA	17	26	56	1	4.82	5.8	80	2.49	2.56	2.349	1189.3	676	1206.9	530.90	2.24	4.6	88	1327.59	4.30	308.74	4.89	1.04	10.28	15.25	69.3
IIA	17	26	56	1	4.82	5.8	80	2.49	2.56	2.349	1193.2	672	1202.9	530.90	2.25	4.3	76	1146.555	3.20	358.30	4.89	1.04	10.28	14.97	71.3
IIIA	17	26	56	1	4.82	5.8	80	2.49	2.56	2.349	1190.6	673	1203.6	530.60	2.24	4.5	84	1267.245	4.20	301.73	4.89	1.04	10.28	15.11	70.3
Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60°C										2.35			530.80	2.24	4.48	82.67	1247.13	3.90	322.92	4.89	1.04	10.28	15.11	70.3	
IA	17	26	56	1	4.82	5.8	100	2.49	2.56	2.349	1177.4	665.8	1190.7	524.90	2.24	4.5	92	1387.935	4.30	322.78	4.89	1.04	10.28	15.14	70.3
IIA	17	26	56	1	4.82	5.8	100	2.49	2.56	2.349	1178.5	673.7	1195.2	521.50	2.26	3.8	70	1056.0375	3.20	330.01	4.89	1.04	10.28	14.51	73.3
IIIA	17	26	56	1	4.82	5.8	100	2.49	2.56	2.349	1176.4	669.5	1194.2	524.70	2.24	4.6	85	1282.33125	4.20	305.32	4.89	1.04	10.28	15.18	69.3
Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60°C										2.35			523.70	2.25	4.29	82.33	1242.10	3.90	319.37	4.89	1.04	10.28	14.94	71.3	
SPESIFIKASI															Min 3,0 - 5,0		Min 800	2-4	Min 250					Min 15	Min



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

MARSHALL TEST 14 hari

Nama : Dasrin Udin

Penetrasi : 60/70

campuran : AC - WC

Berat Jenis Aspal (T) : 1.005 Gr/Cc

Tanggal Test : 2 mei 2021

No	Agregat	Bj Bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2.40	2.54
b	Batu Pecah 0,5 - 1	2.47	2.64
c	Abu Batu	2.47	2.64
d	Filler	3.14	3.14

No	Proporsi Campuran (% Berat Total Agregat)				Kadar (%)			Bj Bulk Gabungan	Bj Efektif Gabungan	Bj Maksimum Campuran (GMM)	Berat (Gram)			Volume Benda Uji	Bj Bulk Campuran (Kepadatan)	%	Stabilitas (Kg)		(mm)	(kg/mm)	Luas Permukaan Agregat	Absorsi Aspal Terhadap Berat Total Campuran	Tebal Film	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFB)
					Kadar Aspal Efektif	Kadar Aspal	Kadar Abu Cangkang				Di Udara (In Air)	Dalam Air (In Water)	Kering Permukaan (SSD)				Rongga Dalam Campuran (VIM)	Pembacaan							
a	b	c	d	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S			
				$A = \frac{P}{100} \times (100 - A)$	% terhadap total Campuran	% Terhadap Kadar Aspal	$\frac{100}{100 - A}$					$\frac{E}{H}$	$100 \cdot \frac{D - 1}{D}$		$\frac{L}{M}$		Combine	$A + \frac{T(100 - A)}{100}$	$\frac{1000(A - P)}{100}$	$\frac{100 - (R - J)}{100}$	$\frac{R}{100}$				
IB	17	26	56	1	4.82	5.8	40	2.49	2.56	2.349	1190.3	685	1213.6	528.60	2.25	4.1	78	1176.73	3.50	336.21	4.89	1.04	10.28	14.81	72.01
IIB	17	26	56	1	4.82	5.8	40	2.49	2.56	2.349	1195.4	683	1218.8	535.80	2.23	5.0	65	980.61	4.20	233.48	4.89	1.04	10.28	15.60	67.76
IIIB	17	26	56	1	4.82	5.8	40	2.49	2.56	2.349	1192.8	685	1216.5	531.50	2.24	4.5	75	1131.47	3.70	305.80	4.89	1.04	10.28	15.10	70.41
				Perendaman 14 Hari 30 Menit Suhu 60°C							2.35			531.97	2.24	4.55	72.67	1096.27	3.80	291.83	4.89	1.04	10.28	15.17	70.06
IB	17	26	56	1	4.82	5.8	60	2.49	2.56	2.349	1172.9	675	1196.9	521.90	2.25	4.3	95	1433.19375	4.30	333.30	4.89	1.04	10.28	14.98	71.07
IIB	17	26	56	1	4.82	5.8	60	2.49	2.56	2.349	1174.7	676	1198.7	522.70	2.25	4.3	73	1101.29625	3.20	344.16	4.89	1.04	10.28	14.98	71.07
IIIB	17	26	56	1	4.82	5.8	60	2.49	2.56	2.349	1170.8	674	1198.5	524.50	2.23	5.0	75	1131.46875	4.10	275.97	4.89	1.04	10.28	15.55	67.99
				Perendaman 14 Hari 30 Menit Suhu 60°C							2.35			523.03	2.24	4.55	81.00	1221.99	3.87	317.81	4.89	1.04	10.28	15.17	70.04
IB	17	26	56	1	4.82	5.8	80	2.49	2.56	2.349	1191.5	687	1211.7	524.70	2.27	3.3	64	965.52	3.50	275.86	4.89	1.04	10.28	14.09	76.33
IIB	17	26	56	1	4.82	5.8	80	2.49	2.56	2.349	1177.9	686	1207.9	521.90	2.26	3.9	91	1372.84875	4.40	312.01	4.89	1.04	10.28	14.62	73.14
IIIB	17	26	56	1	4.82	5.8	80	2.49	2.56	2.349	1180.8	687	1205.8	518.80	2.28	3.1	80	1206.9	4.20	287.36	4.89	1.04	10.28	13.90	77.59
				Perendaman 14 Hari 30 Menit Suhu 60°C							2.35			521.80	2.27	3.46	78.33	1181.76	4.03	291.74	4.89	1.04	10.28	14.20	75.69
IB	17	26	56	1	4.82	5.8	100	2.49	2.56	2.349	1212.4	695	1234	539.00	2.25	4.2	99	1493.53875	4.20	355.60	4.89	1.04	10.28	14.90	71.49
IIB	17	26	56	1	4.82	5.8	100	2.49	2.56	2.349	1185.3	688	1200.3	512.30	2.31	1.5	80	1206.9	4.10	294.37	4.89	1.04	10.28	12.47	87.88
IIIB	17	26	56	1	4.82	5.8	100	2.49	2.56	2.349	1192.6	690	1215	525.00	2.27	3.3	65	980.60625	4.20	233.48	4.89	1.04	10.28	14.06	76.52
				Perendaman 14 Hari 30 Menit Suhu 60°C							2.35			525.43	2.28	3.02	81.33	1227.02	4.17	294.48	4.89	1.04	10.28	13.81	78.63
SPEKIFIKASI														Min 3,0 - 5,0		Min 800		2-4		Min 250		Min 15		Min 65	



LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
JURUSAN SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR

MARSHALL TEST 21 hari

Nama : Dasrin Udin

Penetrasi : 60/70

campuran : AC - WC

Berat Jenis Aspal (T) : 1.005 Gr/Cc

Tanggal Test : 5 mei 2021

No	Agregat	Bj Bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2.40	2.54
b	Batu Pecah 0,5 - 1	2.47	2.64
c	Abu Batu	2.47	2.64
d	Filler	3.14	3.14

No	Proporsi Campuran (% Berat Total Agregat)				Kadar (%)			Bj Bulk Gabungan	Bj Efektif Gabungan	Bj Maksimum Campuran (GMM)	Berat (Gram)			Volume Benda Uji	Bj Bulk Campuran (Kepadatan)	%	Stabilitas (Kg)		(mm)	kg/mm	Luas Permukaan Agregat	Absorsi Aspal Terhadap Berat Total Campuran	Tebal Film	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFB)
					Kadar Aspal Efektif	Kadar Aspal	Kadar Abu Cangkang				Di Udara (In Air)	Dalam Air (In Water)	Kering Permukaan (SSD)				Rongga Dalam Campuran (VIM)	Pembacaan							
a	b	c	d	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S			
				$A - \frac{(P/100) \times (100-A)}{100}$	$\frac{\% \text{ terhadap total Campuran}}{100-A}$	$\frac{\% \text{ Terhadap Kadar Aspal}}{100-A}$	$\frac{100}{C}$		$\frac{100}{T}$		$G - F$	$\frac{E}{H}$	$\frac{100(D-1)}{D}$		$\frac{L}{M}$	Combine	$A + \frac{T(100-A)B}{100.T}$	$\frac{1000(A-P)}{100(A-A)}$	$100 - \frac{100(A-P)}{100(A-A)}$	$\frac{(R-J)}{R} \times 100$					
IC	17	26	56	1	4.82	5.8	40	2.49	2.56	2.349	1191.8	684.5	1216.4	531.90	2.24	4.6	82	1237.07	4.20	294.54	4.89	1.04	10.28	15.23	69.67
IIC	17	26	56	1	4.82	5.8	40	2.49	2.56	2.349	1182.7	672.8	1205.4	532.60	2.22	5.5	64	965.52	3.90	247.57	4.89	1.04	10.28	15.99	65.78
IIIC	17	26	56	1	4.82	5.8	40	2.49	2.56	2.349	1149.8	663.6	1172.6	509.00	2.26	3.8	62	935.35	3.70	252.80	4.89	1.04	10.28	14.54	73.58
Perendaman 21 Hari 30 Menit Suhu 60°C										2.35				524.50	2.24	4.64	69.33	1045.98	3.93	264.97	4.89	1.04	10.28	15.26	69.68
IC	17	26	56	1	4.82	5.8	60	2.49	2.56	2.349	1188.9	678.5	1212.4	533.90	2.23	5.2	65	980.60625	3.40	288.41	4.89	1.04	10.28	15.76	66.94
IIC	17	26	56	1	4.82	5.8	60	2.49	2.56	2.349	1194.8	689.2	1214.8	525.60	2.27	3.2	84	1267.245	4.40	288.01	4.89	1.04	10.28	14.00	76.90
IIIC	17	26	56	1	4.82	5.8	60	2.49	2.56	2.349	1185.9	668.2	1202.6	534.40	2.22	5.5	70	1056.0375	4.10	257.57	4.89	1.04	10.28	16.05	65.50
Perendaman 21 Hari 30 Menit Suhu 60°C										2.35				531.30	2.24	4.66	73.00	1101.30	3.97	278.00	4.89	1.04	10.28	15.27	69.78
IC	17	26	56	1	4.82	5.8	80	2.49	2.56	2.349	1177.3	674.6	1207.9	533.30	2.21	6.0	70	1056.0375	4.20	251.44	4.89	1.04	10.28	16.48	63.43
IIC	17	26	56	1	4.82	5.8	80	2.49	2.56	2.349	1192.3	673.5	1231	557.50	2.14	9.0	65	1089.5625	4.00	272.39	4.89	1.04	10.28	19.09	53.06
IIIC	17	26	56	1	4.82	5.8	80	2.49	2.56	2.349	1174.5	676.6	1201.8	525.20	2.24	4.8	73	1223.6625	4.30	284.57	4.89	1.04	10.28	15.40	68.79
Perendaman 21 Hari 30 Menit Suhu 60°C										2.35				538.67	2.19	6.60	69.33	1123.09	4.17	269.47	4.89	1.04	10.28	16.99	61.76
IC	17	26	56	1	4.82	5.8	100	2.49	2.56	2.349	1188.6	676.3	1228.6	552.30	2.15	8.4	63	950.43	4.10	231.81	4.89	1.04	10.28	18.58	54.85
IIC	17	26	56	1	4.82	5.8	100	2.49	2.56	2.349	1192.5	682.2	1218	535.80	2.23	5.3	85	1282.33	4.20	305.32	4.89	1.04	10.28	15.80	66.72
IIIC	17	26	56	1	4.82	5.8	100	2.49	2.56	2.349	1169.2	663.4	1184.7	521.30	2.24	4.5	65	980.61	4.50	217.91	4.89	1.04	10.28	15.15	70.12
Perendaman 21 Hari 30 Menit Suhu 60°C										2.35				536.47	2.21	6.06	71.00	1071.12	4.27	251.68	4.89	1.04	10.28	16.51	63.90
SPESIFIKASI															Min 3,0 - 5,0		Min 800	2-4	Min 250		Min 15	Min 65			

TABEL PENAMBAHAN VARIASI LIMBAH KACA

No	Pemeriksaan	Penambahan Limbah kaca			Spesifikasi 2018
		KAO 5.8 %			
		Kadar Serbuk Kaca 40%			
		7 Hari	14 Hari	21 Hari	
1	Kepadatan	2.24	2.24	2.24	-
2	Stabilitas (Kg)	1227.02	1096.27	1045.98	Min 800
3	Flow (mm)	3.60	3.80	3.93	2-4
4	MQ (Kg/mm)	342.76	291.83	264.97	Min 250
5	VIM (%)	4.47	4.55	4.64	3-5
6	VMA (%)	15.10	15.17	15.26	Min 15
7	VFB (%)	70.50	70.06	69.68	Min 65

No	Pemeriksaan	Penambahan Limbah kaca			Spesifikasi 2018
		KAO 5.8 %			
		Kadar Serbuk Kaca 60%			
		7 Hari	14 Hari	21 Hari	
1	Kepadatan	2.24	2.24	2.24	-
2	Stabilitas (Kg)	1232.04	1221.99	1101.30	Min 800
3	Flow (mm)	3.63	3.87	3.97	2-4
4	MQ (Kg/mm)	339.43	317.81	278.00	Min 250
5	VIM (%)	4.63	4.55	4.66	3-5
6	VMA (%)	15.24	15.17	15.27	Min 15
7	VFB (%)	70.33	70.04	69.78	Min 65

No	Pemeriksaan	Penambahan Limbah kaca			Spesifikasi 2018
		KAO 5.8 %			
		Kadar Serbuk Kaca 80%			
		7 Hari	14 Hari	21 Hari	
1	Kepadatan	2.24	2.27	2.19	-
2	Stabilitas (Kg)	1247.13	1181.76	1123.09	Min 800
3	Flow (mm)	3.90	4.03	4.17	2-4
4	MQ (Kg/mm)	322.92	291.74	269.47	Min 250
5	VIM (%)	4.48	3.46	6.60	3-5
6	VMA (%)	15.11	14.20	16.99	Min 15
7	VFB (%)	70.33	61.76	61.76	Min 65

No	Pemeriksaan	Penambahan Limbah kaca			Spesifikasi 2018
		KAO 5.8 %			
		Kadar Serbuk Kaca 100%			
		7 Hari	14 Hari	21 Hari	
1	Kepadatan	2.25	2.28	2.21	-
2	Stabilitas (Kg)	1242.10	1227.02	1071.12	Min 800
3	Flow (mm)	3.90	4.17	4.27	2-4
4	MQ (Kg/mm)	319.37	294.48	251.68	Min 250
5	VIM (%)	4.29	3.02	6.06	3-5
6	VMA (%)	14.94	13.81	16.51	Min 15
7	VFB (%)	71.30	78.63	63.90	Min 65

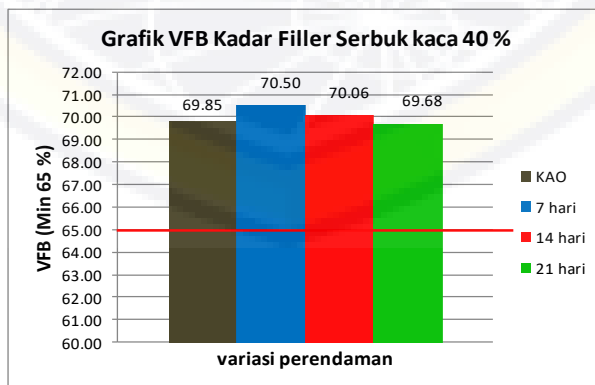
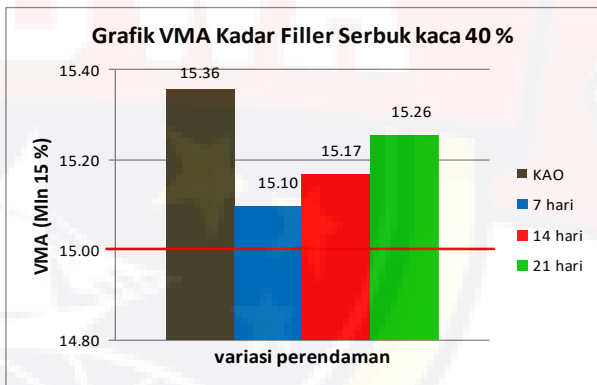
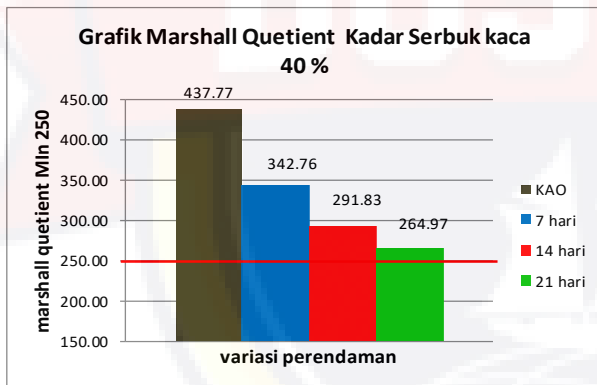
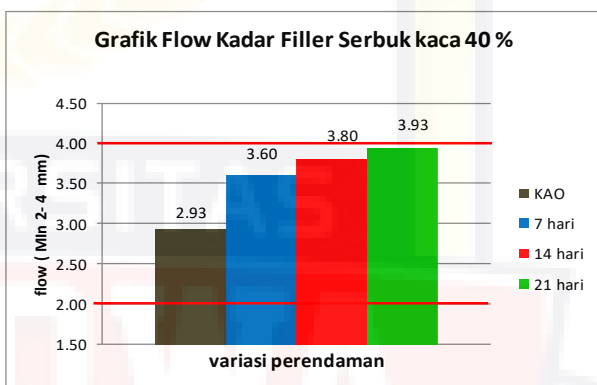
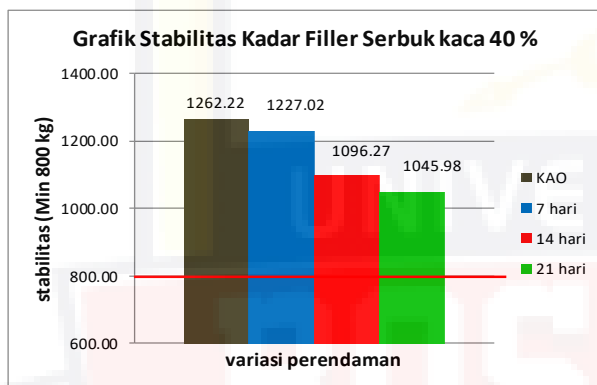
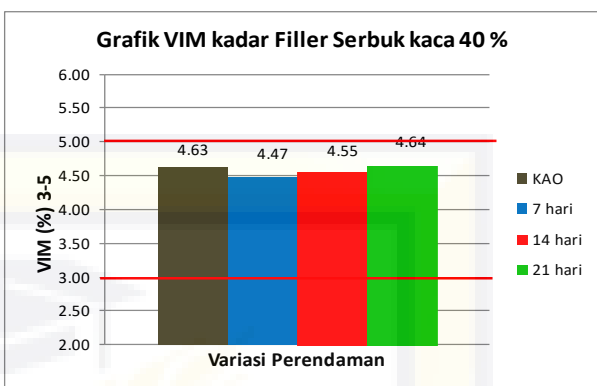
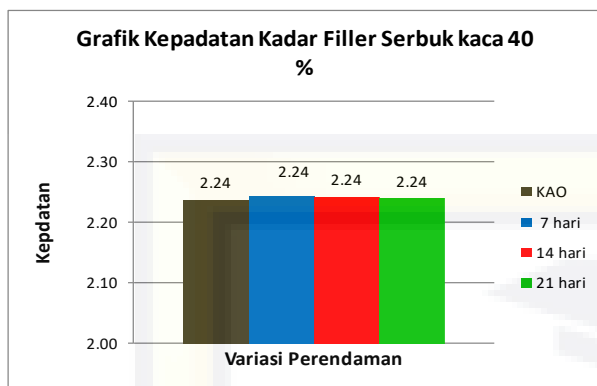
TABEL PERENDAMAN VARIASI LIMBAH KACA

No	Pemeriksaan	KAO 5,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 7 Hari				
		Serbuk Kaca				
		40%	60%	80%	100%	
1	Kepadatan	2.24	2.24	2.24	2.25	-
2	Stabilitas (Kg)	1227.02	1232.04	1247.13	1242.10	Min 800
3	Flow (mm)	3.60	3.63	3.90	3.90	2-4
4	MQ (Kg/mm)	342.76	339.43	322.92	319.37	Min 250
5	VIM (%)	4.47	4.63	4.48	4.29	3-5
6	VMA (%)	15.10	15.24	15.11	14.94	Min 15
7	VFB (%)	70.50	70.33	70.33	71.30	Min 65

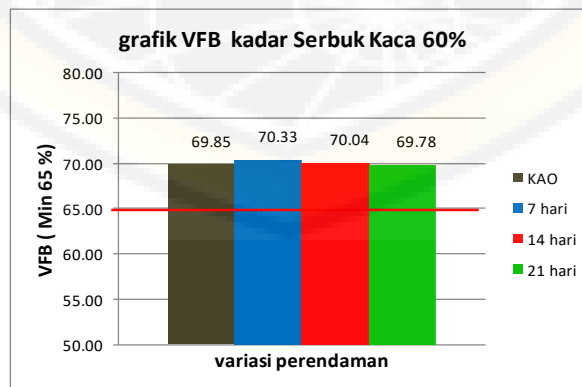
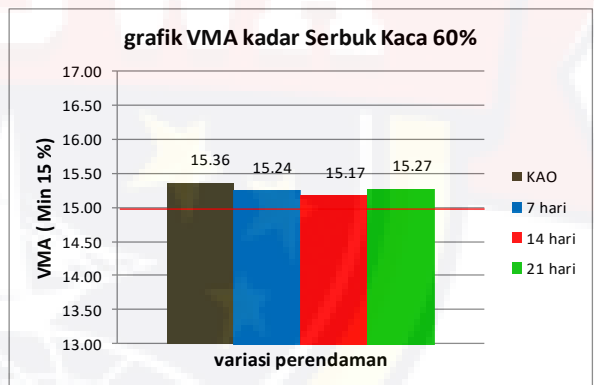
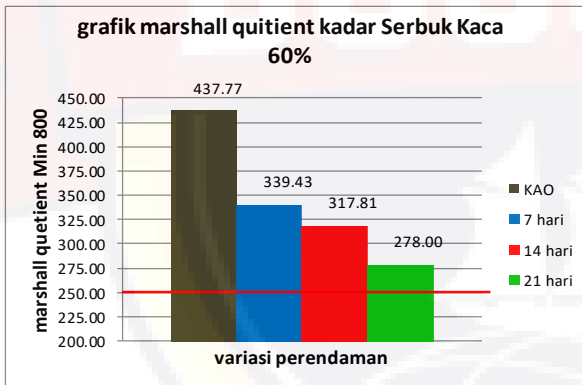
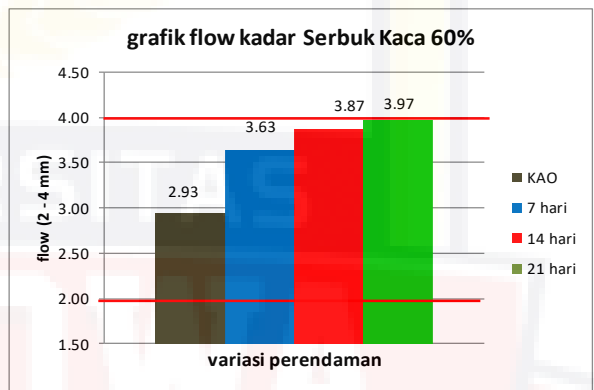
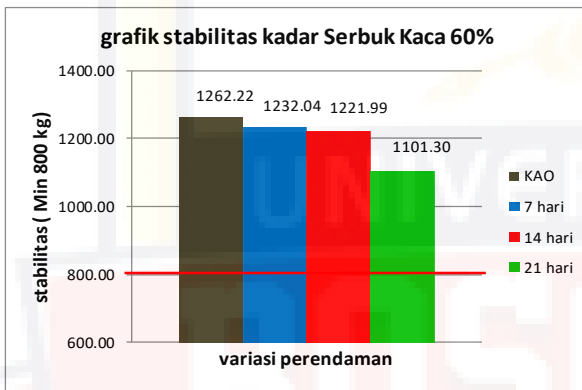
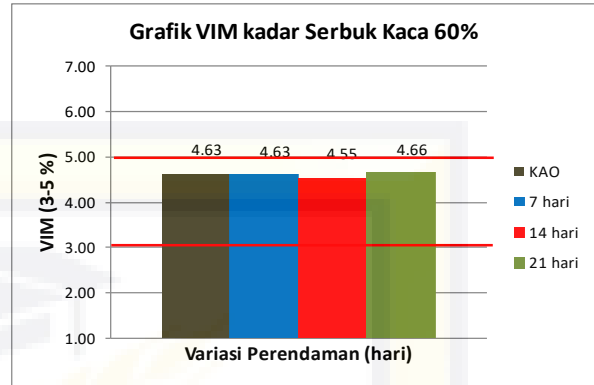
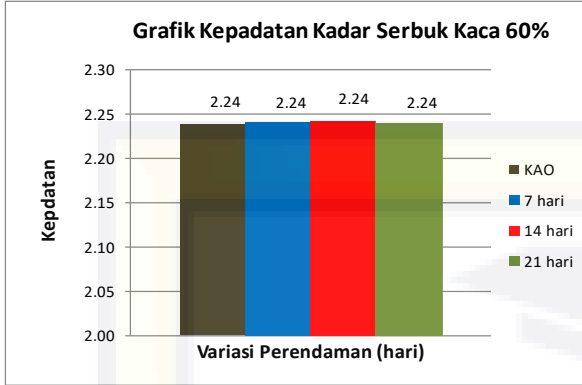
No	Pemeriksaan	KAO 5,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 14 Hari				
		Serbuk Kaca				
		40%	60%	80%	100%	
1	Kepadatan	2.24	2.24	2.27	2.28	-
2	Stabilitas (Kg)	1096.27	1221.99	1181.76	1227.02	Min 800
3	Flow (mm)	3.80	3.87	4.03	4.17	2-4
4	MQ (Kg/mm)	291.83	317.81	291.74	294.48	Min 250
5	VIM (%)	4.55	4.55	3.46	3.02	3-5
6	VMA (%)	15.17	15.17	14.20	13.81	Min 15
7	VFB (%)	70.06	70.04	61.76	78.63	Min 65

No	Pemeriksaan	KAO 5,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 21 Hari				
		Serbuk Kaca				
		40%	60%	80%	100%	
1	Kepadatan	2.24	2.24	2.19	2.21	-
2	Stabilitas (Kg)	1045.98	1101.30	1123.09	1071.12	Min 800
3	Flow (mm)	3.93	3.97	4.17	4.27	2-4
4	MQ (Kg/mm)	264.97	278.00	269.47	251.68	Min 250
5	VIM (%)	4.64	4.66	6.60	6.06	3-5
6	VMA (%)	15.26	15.27	16.99	16.51	Min 15
7	VFB (%)	69.68	69.78	61.76	63.90	Min 65

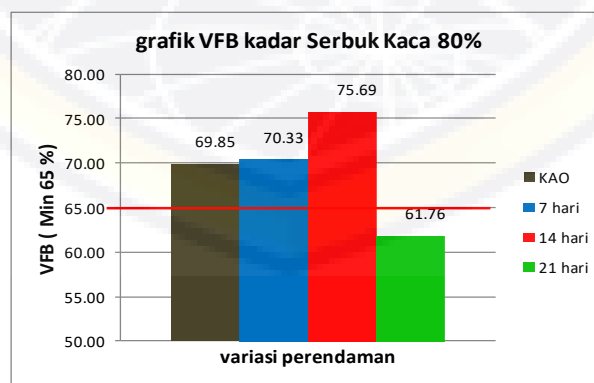
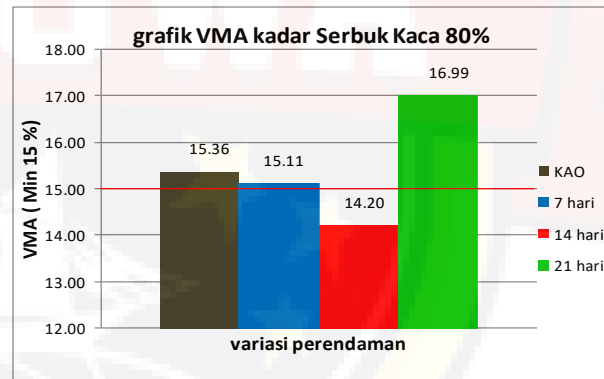
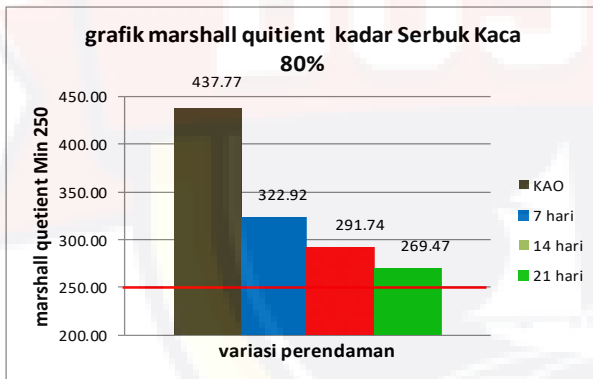
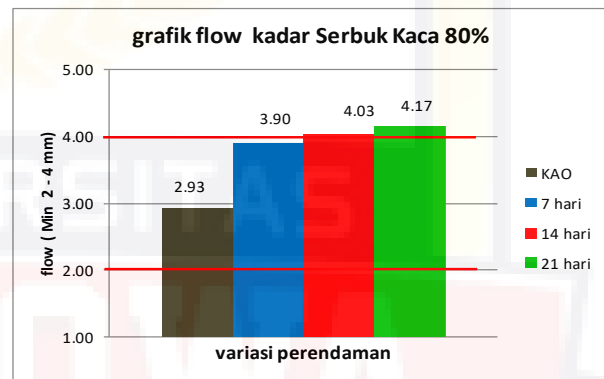
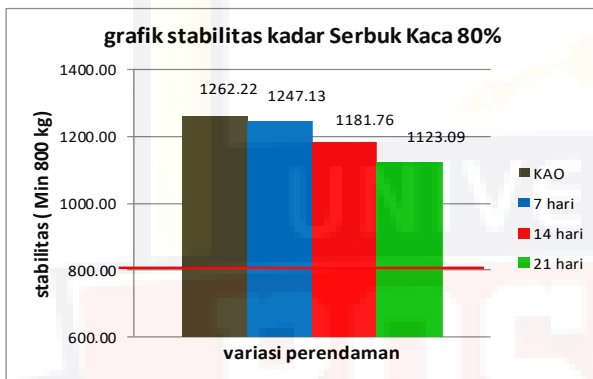
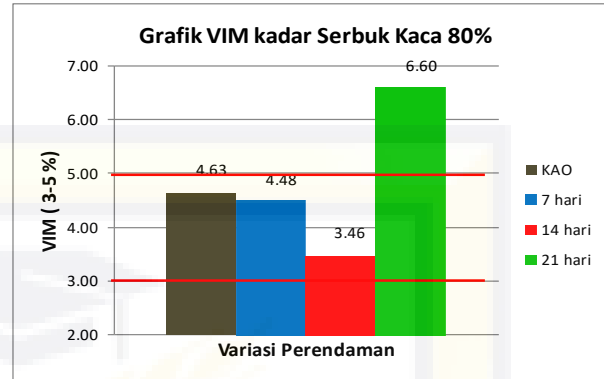
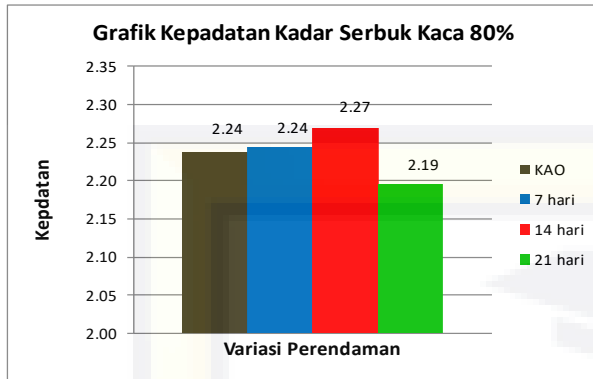
RAFIK PENAMBAHAN VARIASI KADAR LIMBAH KACA 40%



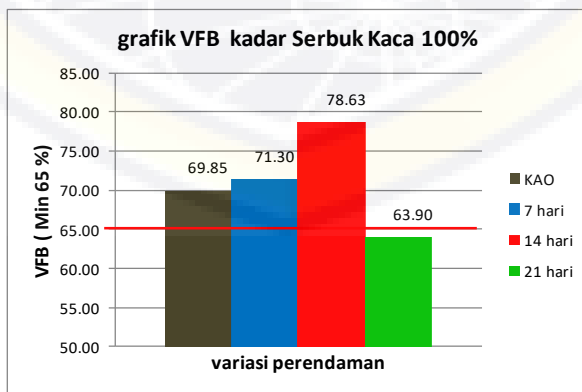
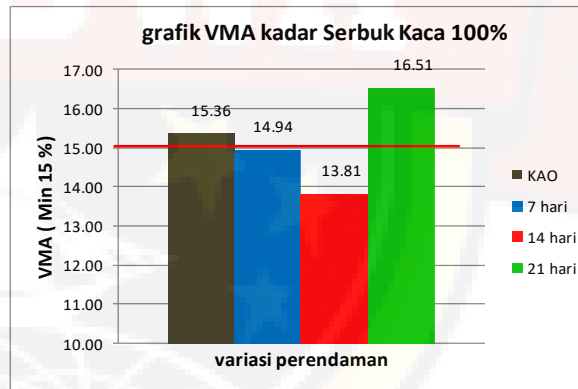
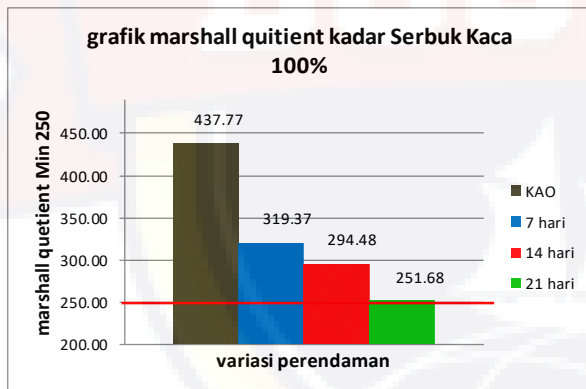
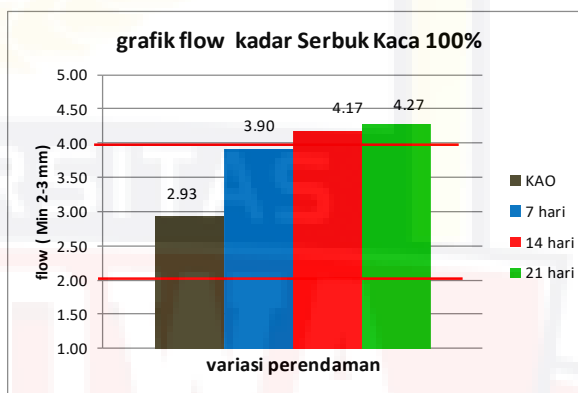
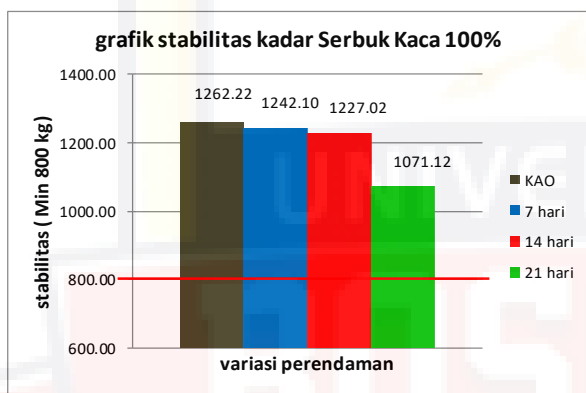
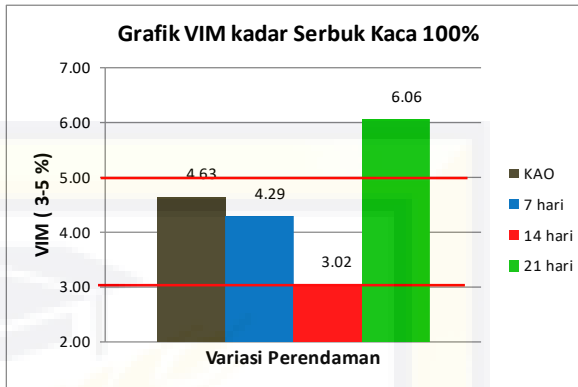
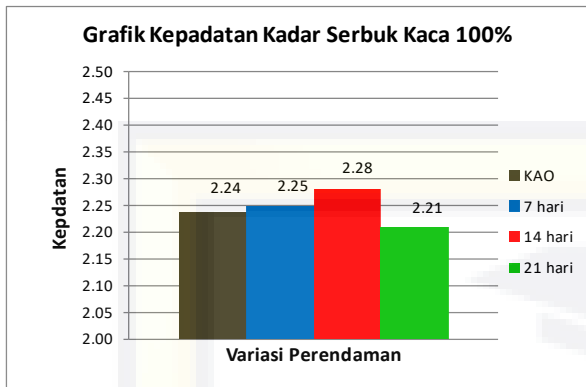
GRAFIK PENAMBAHAN VARIASI KADAR LIMBAH KACA 60%



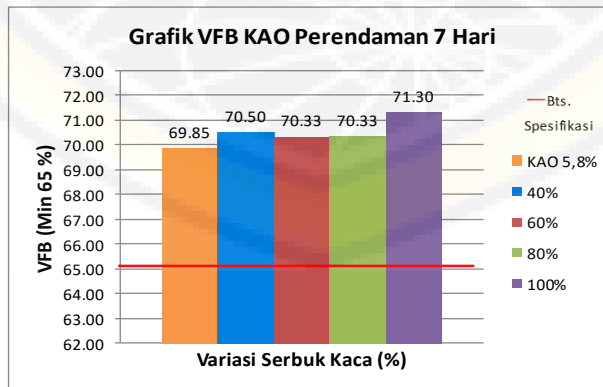
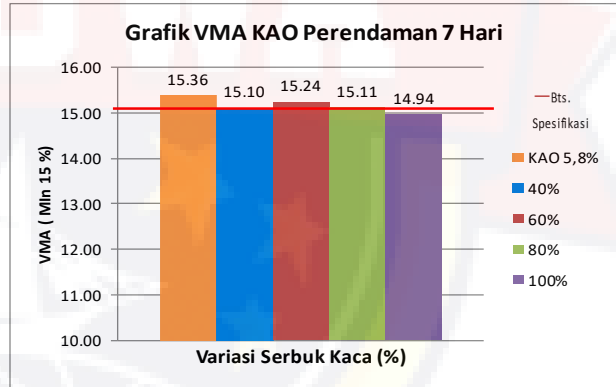
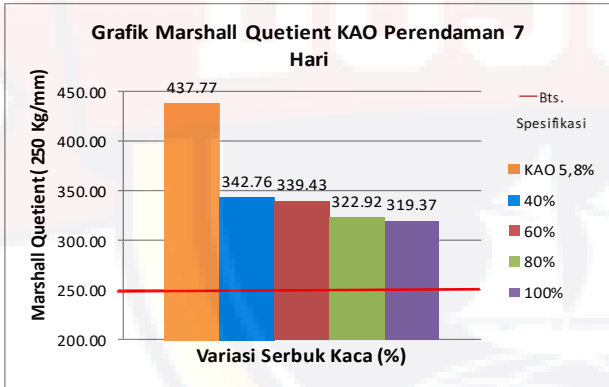
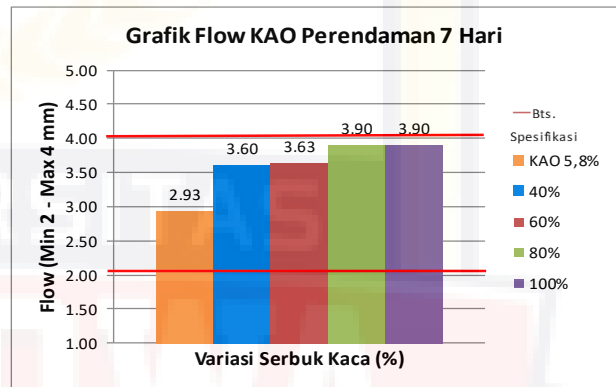
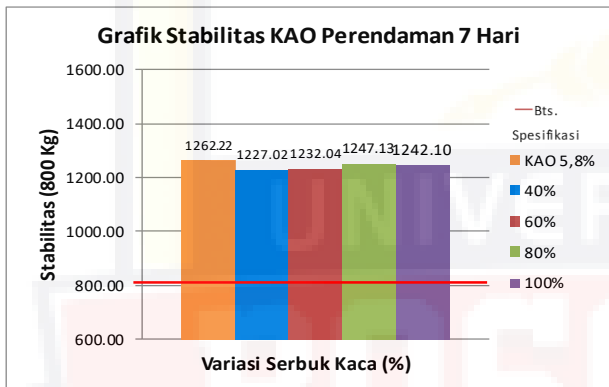
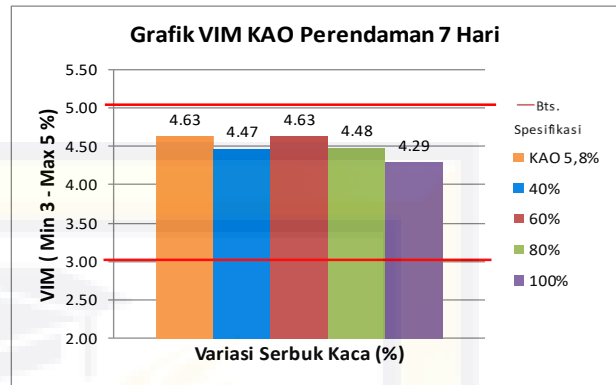
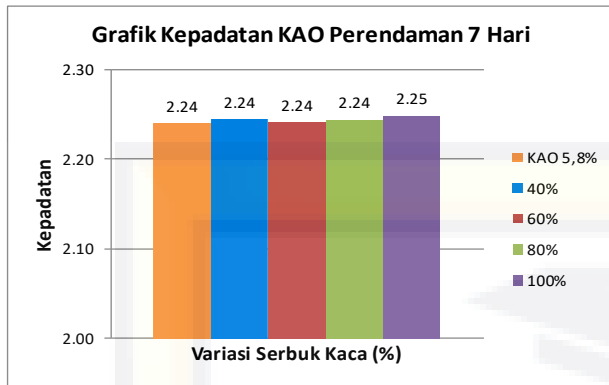
GRAFIK PENAMBAHAN VARIASI KADAR LIMBAH KACA 80%



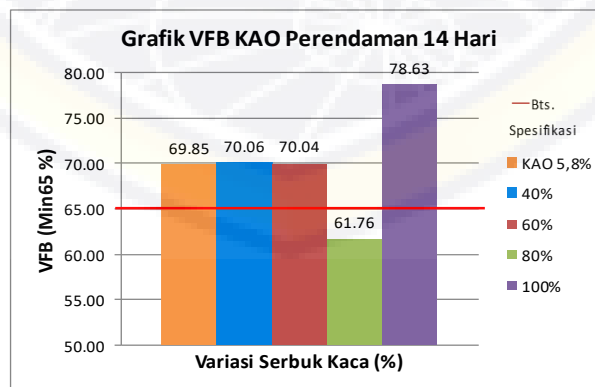
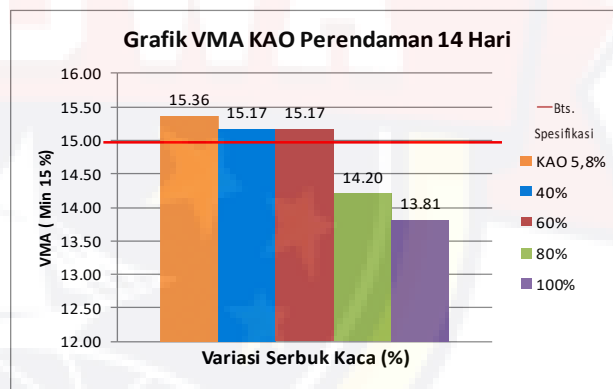
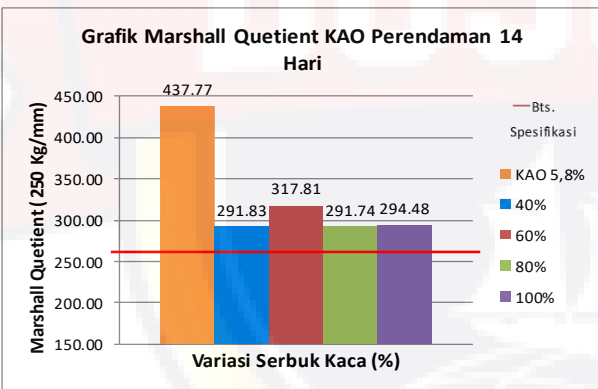
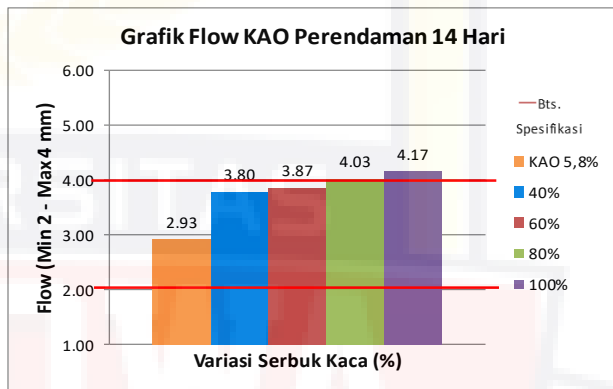
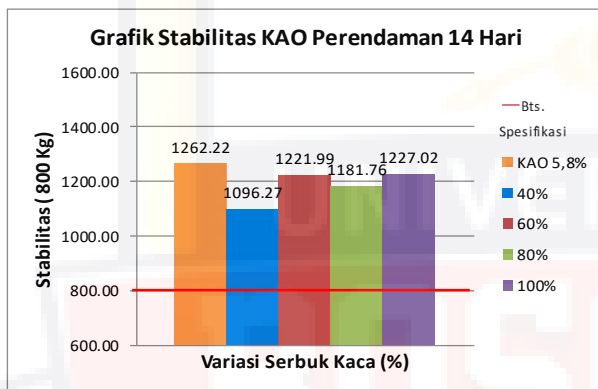
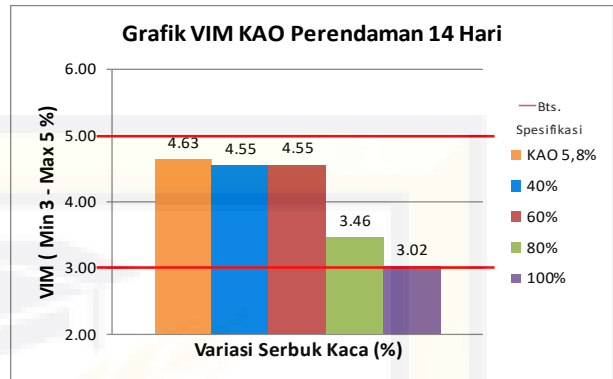
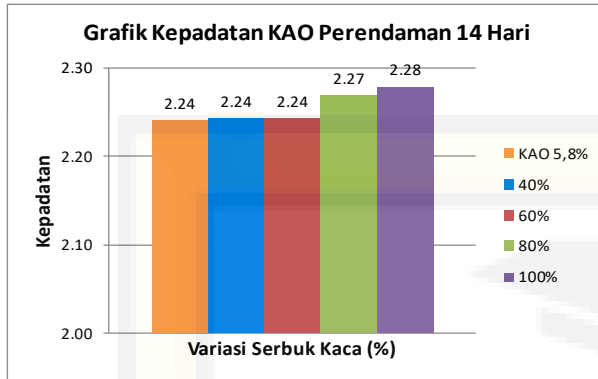
GRAFIK PENAMBAHAN VARIASI KADAR LIMBAH KACA 100%



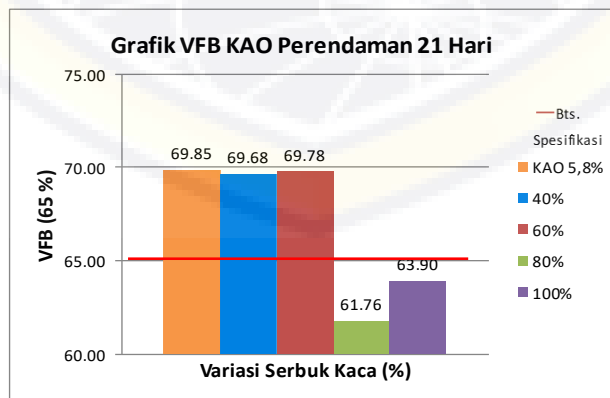
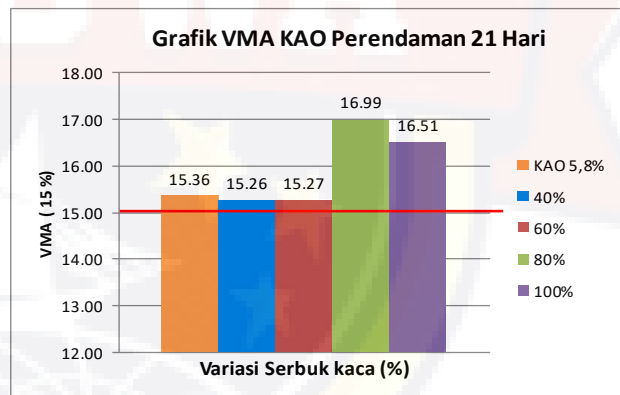
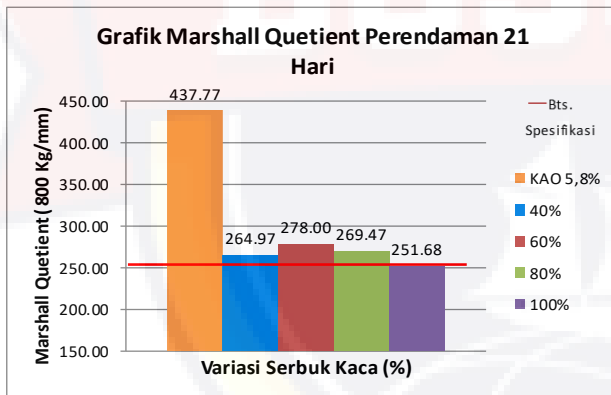
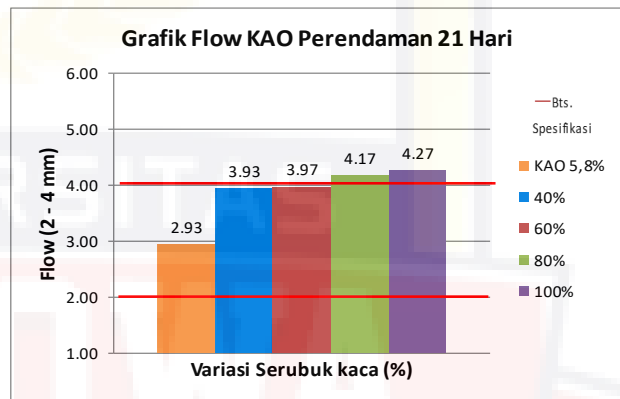
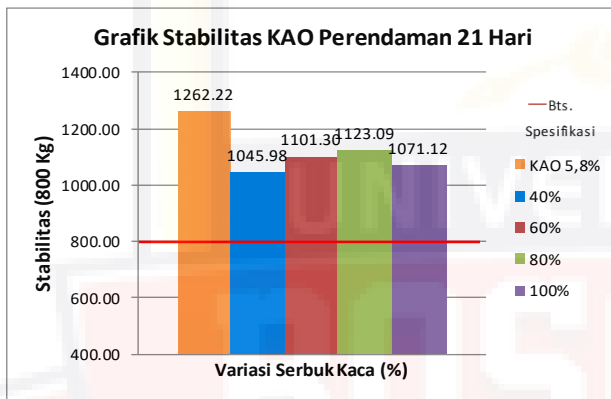
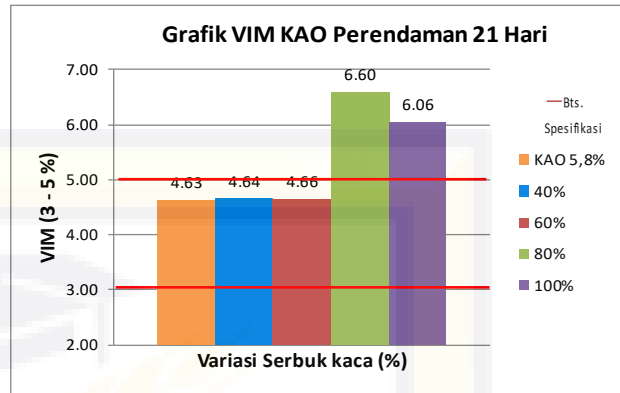
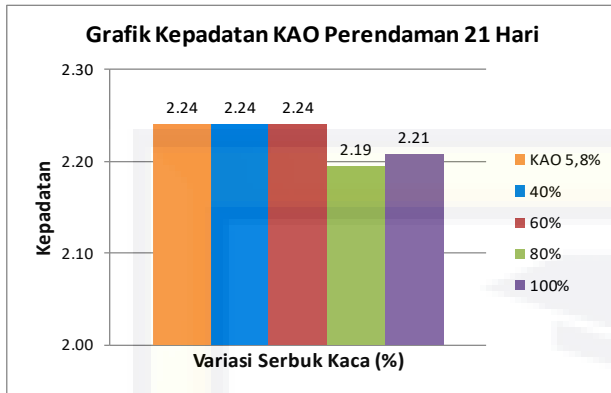
GRAFIK PERENDAMAN VARIASI LIMBAH KACA 7 HARI



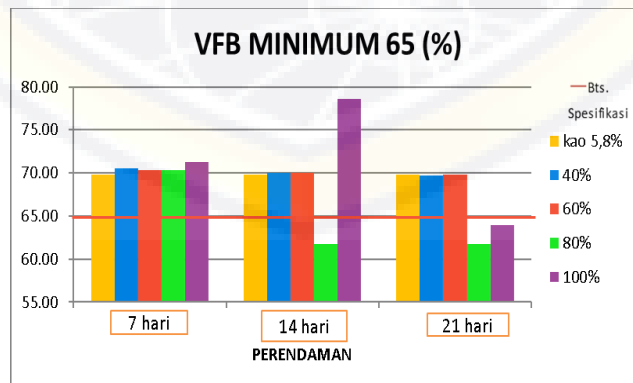
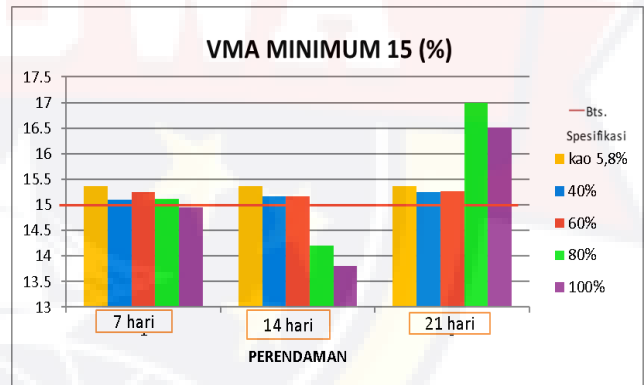
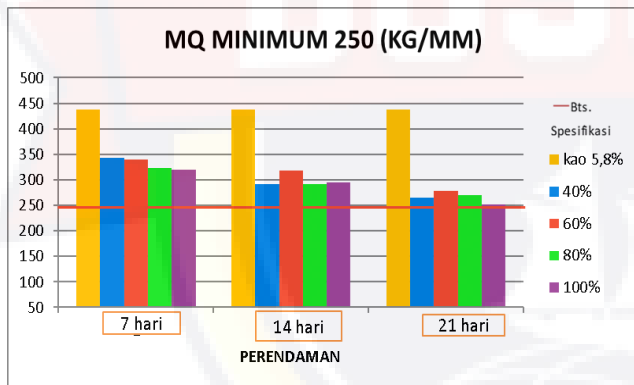
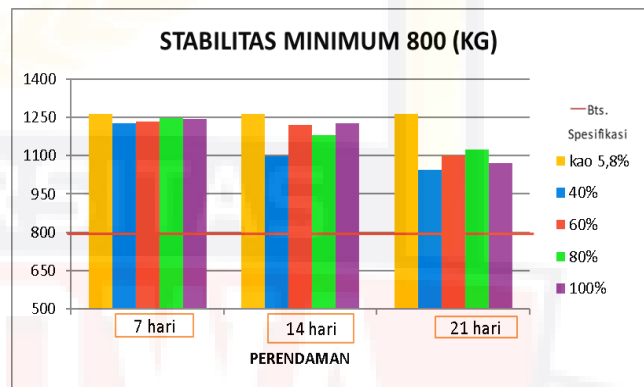
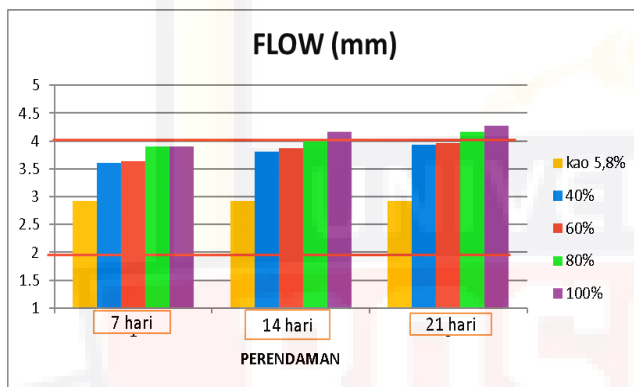
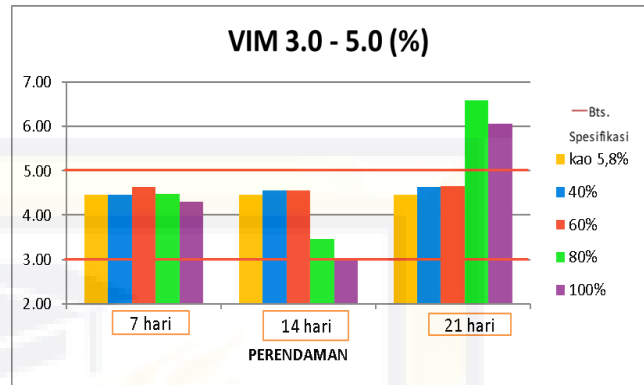
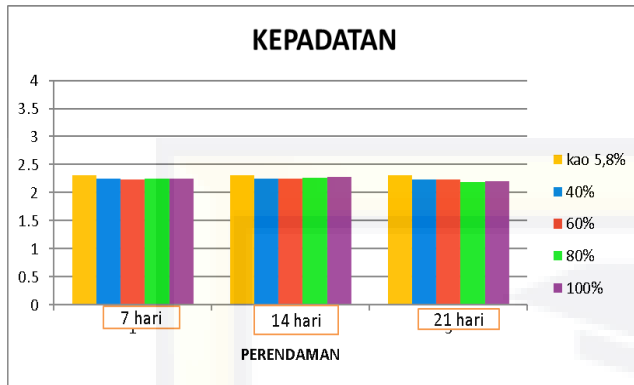
GRAFIK PERENDAMAN VARIASI LIMBAH KACA14 HARI



GRAFIK PERENDAMAN VARIASI LIMBAH KACA 21 HARI



GRAFIK GABUNGAN KAO VARIASI LIMBAH KACA



**D
O
K
U
M
E
N
T
A
S
I**





Proses penimbangan material pembuatan sampel



Proses Sangrai Material



Penambahn aspal Pada material



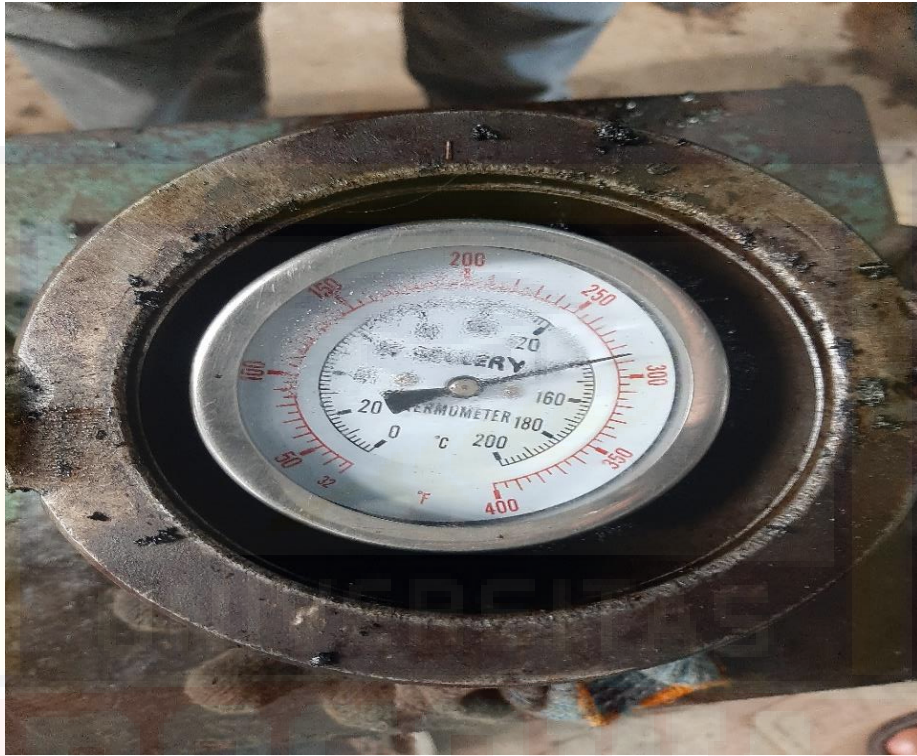
Sangrai Material Dan Aspal



Proses memasukkan material ke dalam mol briket



Proses meratakan material dan aspal menggunakan spatula



Pengukuran suhu pematatan



Proses Pematatan Briket



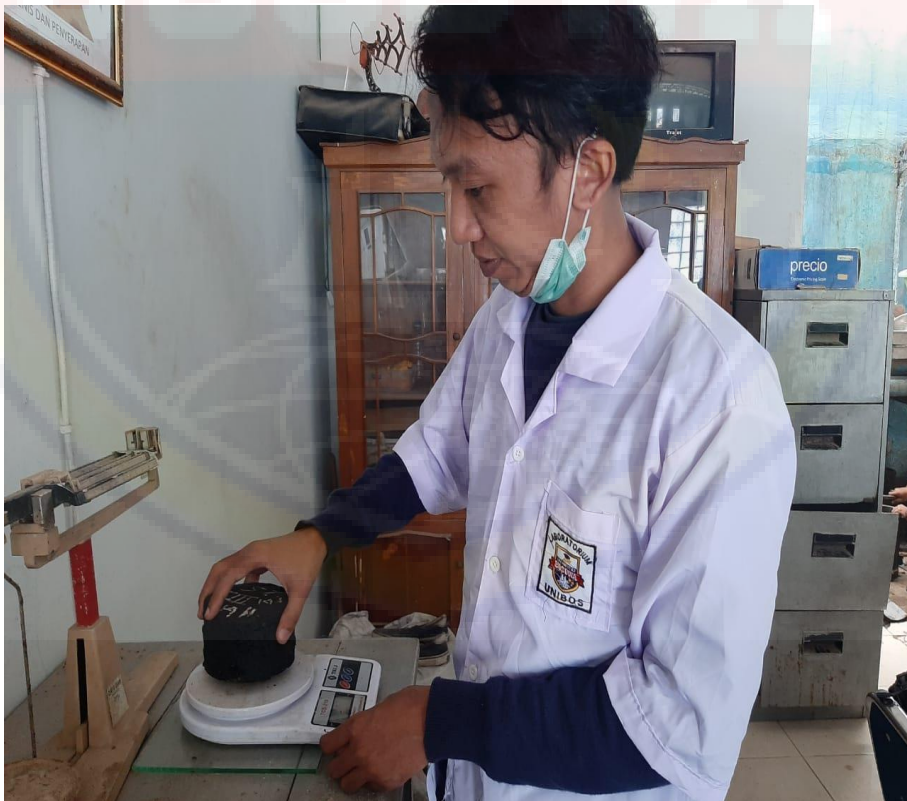
Proses Mengeluarkan mol briket



Proses Mengeluarkan briket



Briket Aspal



Timbang Kering Benda uji



Proses Perendaman



Proses SSD Pada Briket



Timbang SSD



Proses Timbang Dalam Air



Timbang Dalam Air



Proses Perendaman Dalam Waterbath



Proses Uji Marshall



Proses Uji Marshall