

## **“TUGAS AKHIR”**

### **“PEMANFAATAN LIMBAH GYPSUM SEBAGAI SUBTITUSI FILLER DALAM CAMPURAN ASPAL PANAS (LASTON) DENGAN METODE PERENDAMAN BERULANG”**

Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan

Mencapai Gelar S- 1



*Oleh*

**MUHAMMAD ILHAM SALAM**

**45 16 041 054**

**JURUSAN SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS BOSOWA**

**MAKASSAR**

**2022**



UNIVERSITAS  
BOSOWA

FAKULTAS TEKNIK

Jalan Urip Sumoharjo Km. 4 Gd. 2 Lt 6  
Makassar – Sulawesi Selatan 90231  
Telp. 0411 452 901 – 452 789 ext. 116  
Faks. 0411 424 568  
<http://www.universitاسbosowa.ac.id>

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
PROGRAM STUDI TEKNIK

### LEMBAR PENGESAHAN

Berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar No.A.1219A/FT/UNIBOS/II/2022 Tanggal 23 Agustus 2022, Perihal Pengangkatan panitia dan tim penguji Tugas Akhir, maka pada :

Hari / Tanggal : Rabu / 24 Agustus 2022  
N a m a : **MUHAMMAD ILHAM SALAM**  
No.Stambuk : **45 16 041 054**  
Judul Tugas Akhir : **“PEMANFAATAN LIMBAH GIPSUM SEBAGAI  
SUBSTITUSI FILLER DALAM CAMPURAN ASPAL  
PANAS (LASTON) DENGAN METODE  
PERENDAMAN BERULANG”**

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

### TIM PENGUJI TUGAS AKHIR

Ketua (Ex. Officio) : Ir. H. Abd. Rahim Nurdin, MT (.....)  
Sekretaris (Ex. Officio) : Ir. Tamrin Mallawangeng, MT (.....)  
Anggota : Ir. Arman Setiawan, ST. MT (.....)  
Nurhadijah Yuniarti, ST. MT (.....)

Makassar, Agustus 2022

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik  
Univ. Bosowa Makassar

  
**Dr. H. Nasrullah, ST. MT**  
NIDN.09-08077301

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil  
Univ. Bosowa Makassar

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



UNIVERSITAS  
BOSOWA

FAKULTAS TEKNIK

Jalan Urip Sumoharjo Km. 4 Gd. 2 Lt 6  
Makassar – Sulawesi Selatan 90231  
Telp. 0411 452 901 – 452 789 ext. 116  
Faks. 0411 424 568  
<http://www.universitasbosowa.ac.id>

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
PROGRAM STUDI TEKNIK

**LEMBAR PENGAJUAN SEMINAR TUTUP  
TUGAS AKHIR**

Judul : **“Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Filler Daalam  
Campuran Aspal Panas (Laston) Dengan Metode  
Perendaman Berulang ”**

Disusun dan diajukan oleh :

N a m a : **Muhammad Ilham Salam**

No.Stambuk : **45 16 041 054**

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** (.....)

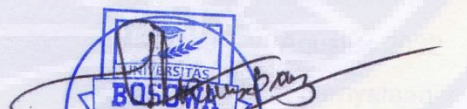
Pembimbing II : **Ir. Tamrin Mallawangeng, MT** (.....)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

  
**Dr. H. Nasrullah, S.T.MT**  
NIDN.09-080773-01

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil

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

**SURAT PERNYATAAN  
KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR**

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : **MUHAMMAD ILHAM SALAM**  
Nomor Stambuk : **45 16 041 054**  
Program Studi : **Teknik Sipil**  
Judul Tugas Akhir : **PEMANFAATAN LIMBAH GYPSUM SEBAGAI SUBSTITUSI  
FILLER DALAM CAMPURAN ASPAL PANAS (LASTON)  
DENGAN METODE PERENDAMAN BERULANG**

mengatakan 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, megalihmediakan / mengalihformatkan, mengelola dalam bentuk data base, mendistribusikan dan menampilkannya untuk kepentingan akademik.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Jurusa 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, Agustus 2022

Yang membuat pernyataan



**( MUHAMMAD ILHAM SALAM )**

**45 16 041 054**

## KATA PENGANTAR

**Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatu**

Salam sejahtera

Dengan penuh kerendahan hati penulis panjatkan puji dan syukur kehadirat Tuhan yang Maha Kuasa atas limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini yang merupakan salah satu persyaratan akademik guna menyelesaikan studi pada jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

Dalam tulisan ini penulis menyajikan pokok bahasan menyangkut masalah dibidang transportasi, dengan judul :

**“PEMANFAATAN LIMBAH GIPSUM SEBAGAI SUBSTITUSI  
FILLER DALAM CAMPURAN ASPAL PANAS (LASTON)  
DENGAN METODE PERENDAMAN BERULANG”**

Terwujudnya tugas ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak dan pada kesempatan ini penulis menghanturkan ucapan rasa terima kasih atas segala petunjuk dan bimbingan dari :

1. Bapak Dr. H. Nasrullah, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.
2. Bapak Dr. Ir. A. Rumpang Yusuf, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Bosowa Makassar.
3. Bapak Ir. H. Abd. Rahim Nurdin, MT selaku dosen pembimbing I, atas bimbingan dan arahnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Ir. Tamrin Mallawangeng, MT selaku dosen pembimbing II atas bimbingan dan arahnya dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

5. Ibu Marlina Alwi, ST selaku Asisten Laboratorium yang selalu meluangkan waktunya untuk membimbing dan memberikan masukan sehubungan penelitian ini.
6. Seluruh Staf Dosen Jurusan sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.
7. Kepada Ibunda tercinta dan terkasih, saudara serta segenap keluarga secara khusus penulis ucapkan terima kasih atas do'a dan dukungannya baik materi maupun moril, sehingga dapat menyelesaikan studi pada Universitas Bosowa Makassar.
8. Saudara-suadari seperjuangan khususnya **Laras Linda K., ST., Gloria Stefhani Guntu, ST., Abdi Rifki Imran, ST., Kakanda Arkham Setiawan dan Mahasiswa Teknik Sipil angk. 2016** yang telah banyak memberikan bantuan dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini ( *penulis bangga berada di antara kalian*).

Akhir Kata, sebagai manusia biasa, menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari sempurna, olehnya itu mengharapkan kritik dan saran yang sifatnya membangun dari semua pihak, demi kesempurnaan tugas akhir ini. Semoga tugas akhir ini dapat memberikan sumbangan pikiran yang positif bagi pembaca.  
Amin

Makassar,        Juli 2022

Penulis

## ABSTRAK

### **“Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Substitusi Filler Dalam Campuran Aspal Panas (Laston) Dengan Metode Perendaman Berulang”**

**Muhammad Ilham Salam<sup>1</sup> H. Abd. Rahim Nurdin<sup>2</sup> Tamrin Mallawangeng<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Mahasiswa <sup>2,3</sup>Dosen Pembimbing

<sup>1</sup>muh.ilhamsalam@gmail.com

---

Penelitian ini dibuat dengan menggunakan limbah gypsum yang diharapkan dapat meningkatkan kualitas aspal beton terhadap karakteristik dan memenuhi syarat teknis untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik campuran aspal panas (AC-WC) dengan menggunakan aspal minyak dengan variasi limbah gypsum pada perendaman berulang. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan suatu percobaan untuk mendapatkan hasil, dengan demikian akan terlihat pemanfaatan limbah gypsum pada konstruksi aspal beton dengan variasi kadar limbah gypsum 10%, 15%, dan 20%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah gypsum akan mempengaruhi karakteristik campuran aspal.

---

Kata Kunci: Limbah Gypsum, Aspal Minyak, AC-WC

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN Sampul</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGANTAR</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>v</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR NOTASI</b> .....	<b>xxi</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	I-1
1.2 Rumusan Masalah .....	I-3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian	
1.3.1 Tujuan Penelitian .....	I-3
1.3.2 Manfaat Penelitian .....	I-4
1.4 Pokok Bahasan dan Batasan Masalah	
1.4.1 Pokok Bahasan .....	I-4
1.4.2 Batasan Masalah .....	I-4
1.5 Sistematika Penulisan .....	I-5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Perkerasan jalan .....	II-1
2.1.1 Perkerasan lentur, kaku, dan komposit .....	II-6
2.1.2 Struktur Perkerasan jalan .....	II-10
2.1.2.1 Lapisan Permukaan ( <i>Surface course</i> ) .....	II-11
2.1.2.2 Lapisan Pondasi Atas ( <i>Base course</i> ) .....	II-11
2.1.2.3 Lapisan Pondasi Bawah ( <i>Subbase course</i> ) ...	II-12
2.1.2.4 Tanah Dasar ( <i>Subgrade</i> ) .....	II-12
2.1.3 Fungsi Perkerasan .....	II-13
2.2 Aspal .....	II-14
2.2.1 Suhu dan Viskositas Aspal .....	II-15



2.2.2 Sifat Sifat Aspal .....	II-17
2.2.3 Sifat Kimiawi Aspal .....	II-18
2.2.3.1 Aspalten .....	II-18
2.2.3.2 Malten .....	II-19
2.2.4 Tes Standar Bahan Aspal .....	II-19
2.2.5 Fungsi Aspal .....	II-24
2.3 Campuran Aspal Panas .....	II-25
2.4 Aspal Minyak .....	II-27
2.4.1 Aspal Dingin/Cair (Cut Back Asphalt) .....	II-28
2.5 Aspal Beton (Laston) .....	II-28
2.5.1 Karakteristik Campur Aspal Beton .....	II-30
2.6 Agregat .....	II-33
2.6.1 Klasifikasi Agregat Berdasarkan Asalnya .....	II-37
2.6.2 Sifat-sifat Fisik Agregat .....	II-38
2.6.3 Gradasi .....	II-42
2.7 Bahan Pengisi (filler) .....	II-46
2.8 Marshall Test .....	II-47
2.9 Gypsum .....	II-51
2.9.1 Jenis-jenis Gypsum .....	II-52
2.9.2 Limbah Gypsum .....	II-53
2.9.3 Gypsum dan Perkerasan .....	II-53
2.10 Penelitian Terdahulu .....	II-54

## **BAB III METODE PENELITIAN**

3.1 Bagan Alur Penelitian .....	III-1
3.2 Lokasi Material .....	III-3
3.3 Lokasi Penelitian .....	III-3
3.4 Waktu Pelaksanaan .....	III-3
3.5 Persiapan Peralatan dan Persiapan Sampel .....	III-3
3.5.1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus.....	III-4
3.5.2 Pemeriksaan Analisis Saringan Agregat Kasar .....	III-5

3.5.3	Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat ...	III-7
3.5.4	Pemeriksaan Abrasi .....	III-9
3.5.5	Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar .....	III-11
3.5.6	Pemeriksaan Kadar Lumpuur Agregat Halus .....	III-12
3.6	Pemeriksaan Aspal	
3.6.1	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal .....	III-13
3.6.2	Pemeriksaan Daktilitas .....	III-15
3.6.3	Pemeriksaan Penetrasi Aspal .....	III-16
3.6.4	Pemeriksaan Viskositas .....	III-18
3.6.5	Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar .....	III-19
3.6.6	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal .....	III-21
3.7	Pemeriksaan Limbah Gypsum .....	III-22
3.8	Penentuan Jumlah dan Persiapan Benda Uji .....	III-22
3.8.1	Penentuan Jumlah Benda Uji .....	III-23
3.8.2	Perancangan Agregat Gabungan .....	III-23
3.8.3	Pembuatan Benda Uji .....	III-25
3.9	Pengetesan Benda Uji dengan Alat Marshall .....	III-26

## **BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

4.1	Penyajian Data	
4.1.1	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat .....	IV-1
4.1.2	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal .....	IV-4
4.1.3	Analisa Rancangan Campuran .....	IV-4
4.2	Pembuatan Benda Uji Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum...	IV-7
4.1.2	Perkiraan Kadar Aspal Optimum Rencana (Pb) .....	V-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
4.1.3	Data Uji Marshall Untuk Penentuan KAO Aspal Minyak ....	IV-10
4.4	Pembuatan Benda Uji Dengan Menggunakan Limbah Gypsum ...	IV-15
4.4.1	Perhitungan Berat Agregat Dan Berat Aspal	

	Menggunakan Kadar Aspal Optimum.....	V-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 Aspal Minyak Dengan Variasi Gypsum Pada Perendaman Berulang Selama 3 Hari .....	IV-22
4.4.4	Analisis Hasil Pengujian Aspal Minyak Dengan Variasi Gypsum Pada Perendaman Berulang Selama 7 Hari .....	IV-34
4.4.5	Analisis Hasil Pengujian Aspal Minyak Dengan Variasi Gypsum Pada Perendaman Berulang Selama 14 Hari .....	IV-44
4.4.6	Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Limbah Gypsum 10% Pada Campuran Aspal MiSnyak AC-WC .....	IV-56
4.4.7	Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Limbah Gypsum 15% Pada campuran Aspal Minyak AC-WC .....	IV-63
4.4.8	Analisis Hasil Pengujian Dengan Panambahan Limbah Gypsum 20% Pada Campuran Aspal Minyak AC-WC ...	IV-71
4.5	Hubungan KAO Dengan Presentase Nilai IKS .....	IV-78

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

5.1	Kesimpulan .....	V-1
5.2	Saran .....	V-3

## **LAMPIRAN**

## **DOKUMENTASI**

## **DAFTAR PUSTAKA**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen perkerasan Kaku .....	II-2
Gambar 2.2 Komponen perkerasan Lentur .....	II-2
Gambar 2.3 Komponen perkerasan komposit .....	II-3
Gambar 2.4 Potongan lapisan pada perkerasan lentur .....	II-3
Gambar 2.5 Sistematika Bentuk Perkerasan Jalan .....	II-4
Gambar 2.6 Lapis Perkerasan Lentur .....	II-6
Gambar 2.7 Lapis Perkerasan Kaku .....	II-7
Gambar 2.8 Lapis Perkerasan Komposit .....	II-7
Gambar 2.9 Ilustrasi penyerapan agregat aspaloleh agregat .....	II-50
Gambar 2.10 Limbah Gipum .....	II-51
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	III-1
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Penggabungan Agregat AC-WC ...	VI-7
Gambar 4.2.a Grafik Kepadatan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO .....	VI-10
Gambar 4.2.b Grafik VIM Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO .....	VI-11
Gambar 4.2.c Grafik Stabilitas Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO .....	VI-11
Gambar 4.2.d Grafik Pelelehan (flow) Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO .....	VI-12
Gambar 4.2.e Grafik Marshall Quotient Hasil Uji Marshall Untuk Penentuan KAO .....	VI-12

Gambar 4.2.f Grafik VFB Hasil Uji Marshall untuk Penentuan

KAO ..... VI-13

Gambar 4.2.g Grafik VMA Hasil Uji Marshall untuk Penentuan

KAO ..... VI-13

Gambar 4.3 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum ..... VI-14

Gambar 4.4 Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman

berulang selama 3 hari terhadap kepadatan pada kondisi

kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam

dengan suhu 60°C ..... VI-24

Gambar 4.5 Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman

berulang selama 3 hari terhadap stabilitas pada kondisi kadar

aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan

suhu 60°C ..... VI-25

Gambar 4.6 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman

berulang selama 3 hari terhadap flow pada kondisi kadar

aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan

suhu 60°C ..... VI-26

Gambar 4.7 Diagram hubungan variasi gipsum dangan perendaman

berulang selama 3 hari terhadap vma pada kondisi kadar

aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan

suhu 60°C ..... VI-28

Gambar 4.8 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-29

Gambar 4.9 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C..... VI-30

Gambar 4.10 Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-32

Gambar 4.11 Diagram hubungan variasi gipsum terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-33

Gambar 4.12 Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap Kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 24 jam Dengan Suhu 60°C..... VI-35

Gambar 4.13 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-30

Gambar 4.14 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-37

Gambar 4.15 Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-38

Gambar 4.16 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-40

Gambar 4.17 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-41

Gambar 4.18 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-43

Gambar 4.19 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap Kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 24 jam Dengan Suhu 60°C ..... VI-45

Gambar 4.20 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-46

Gambar 4.21 Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-47

Gambar 4.22 Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-48

Gambar 4.23 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C..... VI-50



Gambar 4.24 Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°c ..... VI-51

Gambar 4.25 Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-53

Gambar 4.26 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60° ..... VI-57

Gambar 4.27 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-58

Gambar 4.28 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C . VI-59

Gambar 4.29 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% pada terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-60

- Gambar 4.30 Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsum terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-61
- Gambar 4.31 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C .. VI-62
- Gambar 4.32 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% pada terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C . VI-63
- Gambar 4.33 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 15% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-64
- Gambar 4.34 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 15% terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-65
- Gambar 4.35 Diagram hubungan Variasi kadar limbah gypsum 15% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C . VI-66

Gambar 4.36 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 15% terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-67

Gambar 4.37 Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsium 15 % terhadap nilai VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-68

Gambar 4.38 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 15% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.. VI-69

Gambar 4.39 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 15% padi terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 24 jam Dengan Suhu 60°C ..... VI-70

Gambar 4.40 Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsium 20% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-71

Gambar 4.41 Diagram hubungan variasi limbah gypsum kadar 20 % terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C ..... VI-72

Gambar 4.42 Diagram hubungan variasi limbah gypsum kadar 20 %  
terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum  
dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C  
..... VI-73

Gambar 4.43 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 20 % padi  
terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum  
dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C  
..... VI-74

Gambar 4.44 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 20 %  
terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan  
waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.. VI-75

Gambar 4.45 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap  
nilai VMA pada kondisi aspal optimum dengan waktu  
perendaman 30 menit dengan suhu 60°C ..... VI-75

Gambar 4.46 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 20 %  
terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan  
waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C . VI-76

Gambar 4.47 Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 20 %  
terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan  
Waktu Perendaman 24 jam Dengan Suhu 60°C VI-77

## DAFTAR NOTASI

AASTHO	= <i>American Association Of State Highway and Transportation Officials</i>
AC	= <i>Asphalt Concrete</i>
AC - BC	= <i>Asphalt Concrete Bearing Course</i>
AC - Base	= <i>Asphalt Concrete Base</i>
AC - WC	= <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i>
ASBUTON	= <i>Aspal Batu Buton</i>
ASTM	= <i>American Society For Testing and Materials</i>
Ba	= <i>Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh di dalam Air</i>
BFT	= <i>Bitumen Film Thickness</i>
Bj	= <i>Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh</i>
Bk	= <i>Berat Benda Uji Kering Oven</i>
cP	= <i>Centipoise</i>
DMF	= <i>Design Mix Formula</i>
EVA	= <i>Ethylene Vinyle Acetate</i>
Filler	= <i>Berupa Abu batu Bahan Perkerasan Yang Lolos Saringan 200</i>
Flow	= <i>Pelelehan</i>
Ga	= <i>Berat Jenis Aspal</i>
Gsa	= <i>Berat Jenis Semu</i>
Gsb	= <i>Berat Jenis curah dari total Agregat</i>
Gse	= <i>Berat Jenis Efektif</i>

H	= Hidrokarbon
HRS	= <i>Hot Rolled Sheet</i>
HRS - WC	= <i>Hot Rolled Sheet Wearing Course</i>
HSMA	= <i>High Stiffnes Modulus Asphalt</i>
JMF	= <i>Job Mix Formula</i>
KAO	= Kadar Aspal Optimum
LATASTON	= Lapisan Tipis AspalBeton
LATASIR	= Lapisan Tipis Aspal Pasir
LASTON	= Lapisan Aspal Beton
LPA	= Lapis Pondasi Atas
LPB	= Lapis Pondasi Bawah
LTD	= Lapis Tanah Dasar
MC	= <i>Medium Curing Cut Back</i>
MPBJ	= Manual Pemeriksaan Bahan Jalan
MQ	= Marshall Quetiont( kg / mm )
P	= Pembacaan Arloji Stabilitas x Kalibrasi Alat
Pa.s	= Pascal sekon
Pb	= Kadar Aspal Dalam Persentase dari Total Berat Campuran
Pba	= Penyerapan Aspal
Pen 60/70	= Penetrasi 60/70
RC	= <i>Rapid Curing</i>
SC	= <i>Slow Curing Cut Back</i>

SI	= Standar Internasional
SMA	= Split Mastic Asphalt
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SS	= <i>Sand Sheer</i>
SSD	= <i>Surface Saturated Dry</i>
VFB	= <i>Void Filled With Bitumen</i>
VIM	= <i>Void In Mixed (%)</i>
VMA	= <i>Void In Mineral Agregates (%)</i>

UNIVERSITAS

**BOSOWA**



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku .	II-8
Tabel 2.2 Kelebihan dan kekurangan Perkerasan Lentur dan Kaku ....	II-9
Tabel 2.3 Ketentuan Viskositas dan Temperatur Aspal .....	II-16
Tabel 2.4 Pengujian Aspal Keras.....	II-23
Tabel 2.5 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Beraspal Panas (AC).....	II-30
Tabel 2.6 Ketentuan Agregat Kasar.....	II-37
Tabel 2.7 Ketentuan Agregat Halus .....	II-36
Tabel 2.8 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal .....	II-45
Tabel 3.1 Perhitungan Benda Uji .....	III-23
Tabel 4.1 Pemeriksaan Analisa Saringan .....	IV-1
Tabel 4.2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar .....	VI-2
Tabel 4.3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Abu Batu.....	VI-3
Tabel 4.4 Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70 .....	VI-4
Tabel 4.5 Rancangan Campuran AC-WC.....	VI-5
Tabel 4.6 Komposisi Campuran AC-WC.....	VI-7
Tabel 4.7 Berat Aspal dan Agregat Pada Campuran Aspal AC-WC....	VI-8
Tabel 4.8 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat ...	VI-9
Tabel 4.9 Hasil Marshall Test KAO Aspal Minyak .....	VI-10
Tabel 4.10 Komposisi campuran dengan Limbah Gypsum 10%,15% dan 20% .....	VI-16
Tabel 4.11 Hasil Uji Marshall KAO dengan perendaman selama 30 menit pada suhu 60°C .....	VI-17



Tabel 4.12 Hasil Uji Marshall kao menggunakan bahan limbah Gypsum dengan perendaman berulang selama 3 Hari kemudian di rendam selama 24 jam pada suhu 60°C.....	VI-22
Tabel 4.13 Hasil Uji Marshall kao menggunakan bahan limbah Gypsum dengan perendaman berulang selama 7 Hari kemudian di rendam selama 24 jam pada suhu 60°C .....	VI-22
Tabel 4.14 Hasil Uji Marshall kao menggunakan bahan limbah Gypsum dengan perendaman berulang selama 14 Hari kemudian di rendam selama 24 jam pada suhu 60°C .....	VI-22
Tabel 4.15 Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah gipsum 10% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C .....	VI-55
Tabel 4.16 Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah gipsum 15% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C .....	VI-55
Tabel 4.17 Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah gipsum 20% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C .....	VI-55
Table 4.18 Hubungan KAO dengan Persentase Nilai IKS Beton Aspal AC-WC .....	VI-78

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1. Latar Belakang**

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang memiliki peranan yang sangat penting. Di Indonesia sendiri, transportasi merupakan sarana penunjang berbagai aspek kehidupan terutama dari segi perekonomian. Peningkatan jumlah penduduk tiap tahunnya menyebabkan bidang usaha seperti pertanian, industri, dan perdagangan mengalami peningkatan. Tuntutan masyarakat akan adanya layanan jalan yang baik, nyaman, dan tahan lama sudah tidak dapat dipungkiri. Oleh sebab itu, dibutuhkan konstruksi perkerasan jalan yang baik, sehingga dapat menunjang kegiatan perekonomian di suatu wilayah tersebut..

Pemamfaatan limbah gypsum dapat dilakukan dengan menggunakannya sebagai substitusi pada campuran aspal beton lapis aus (AC-WC). Gypsum telah digunakan sebagai alternatif material bangunan. Bahan yang satu ini sebenarnya telah dikenal luas sejak lama. Dalam industri konstruksi, gypsum rumah seringkali dimanfaatkan sebagai material konstruksi pembentuk dinding, penyekat, partisi, dan plafon. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas aspal beton terhadap karakteristik dan memenuhi syarat teknis untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan. Selain itu pemanfaatan limbah gypsum sebagai

bahan tambah campuran aspal bisa mengurangi limbah gypsum dan mengurangi jumlah pemakaian filler. Pada penelitian ini yang ditinjau adalah Pengaruh Penggunaan Aspal Minyak Ditambahkan limbah gypsum Terhadap Karakteristik Laston (AC-WC) Pada Perendaman Berulang. Penelitian ini menggunakan campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) spesifikasi Bina Marga 2018 yang di uji dengan metode *Marshall* dengan beberapa variasi perbandingan benda uji.

Di indonesia di kenal dengan dua musim yaitu musim hujan dan musim kemarau, pada saat musim hujan mengakibatkan jalan terendam khususnya jalan beraspal apalagi keadaan cuaca yang sulit diprediksi kadang hujan yang berkali dengan durasi waktu yang tidak bisa di prediksi menyebabkan jalanan aspal terendam air pada batas waktu yang tidak bisa ditentukan. Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana ketahanan aspal saat terendam air.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan limbah gypsum sebagai substitusi filler terhadap sifat dan karakteristik campuran aspal panas dengan perendaman berulang
2. Berapakah persentase terbaik pada limbah gypsum sebagai filler terhadap karakteristik marshall pada campuran aspal beton dengan perendaman berulang?

## **1.3. Tujuan dan Manfaat Penelitian**

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

### **1.3.1 Tujuan Penelitian**

1. untuk menghitung dan menganalisis sifat dan karakteristik aspal panas dengan penambahan limbah gypsum pada perendaman berulang
2. untuk mengetahui persentasi terbaik pada limbah gypsum sebagai filler terhadap karakteristik marshall pada campuran aspal dengan perendaman berulang.

### **1.3.2 Manfaat Penelitian**

untuk mengetahui sifat dan karakteristik campuran aspal panas dengan penggunaan limbah gypsum sebagai bahan tambah pada filler

Manfaat dari penulisan ini adalah untuk wawasan pembaca mengenai pengaruh penggunaan aspal minyak ditambahkan limbah gypsum terhadap karakteristik Laston AC-WC pada perendaman berulang

#### **1.4. Pokok Bahasan & Batasan Masalah**

Pokok Bahasan & batasan masalah pada penelitian ini adalah :

##### **1.4.1. Pokok Bahasan**

Pokok bahasan pada penelitian ini adalah:

1. Permasalahan yang di amati adalah karakteristik campuran *aspal concrete - wearing course (AC-WC)*
2. Perendaman menggunakan metode perendaman berulang
3. Pengujian karakteristik agregat dan bahan pengisi (filler) yang di tambahkan Limbah Gypsum.
4. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan metode marshall

##### **1.4.2. Batasan masalah**

Untuk mengarahkan penulis agar penelitian dan permasalahan yang dikaji lebih mendetail dan sesuai dengan Judul dan Tujuan penulisan Tugas Akhir ini, maka penulis membatasi masalah yang akan dibahas. Berikut ini :

1. Pengujian dilakukan di Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan Universitas Bosowa Makassar
2. Tipe campuran yang digunakan adalah Laston (AC-WC) *Asphalt Concrete-Waering Course* gradasi halus Spesifikasi Bina Marga 2018.
3. Jenis Aspal/Bitumen yang digunakan adalah Aspal Minyak Penetrasi 60/70

4. Limbah yang digunakan adalah limbah gypsum.
5. Dilakukan perendaman dengan variasi 3, 7, dan 14 hari
6. Pengujian dilakukan menggunakan Metode Marshall.
7. Material kasar dan halus yang digunakan di ambil dari Bili-bili kab Gowa.
8. Pengujian material yang di lakukan mengacu pada standar SNI.

### **1.5. Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan akhir ini terdiri dari beberapa bab dan sub bab, masing-masing bab dijelaskan dengan perincian sebagai berikut:

#### **1.5.1 Bab I Pendahuluan**

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

#### **1.5.2 Bab II Tinjauan Pustaka**

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

#### **1.5.3 Bab III Metode Penelitian**

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

#### **1.5.4 Bab IV Hasil dan Pembahasan**

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

#### **1.5.5 Bab V Kesimpulan dan Saran**

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

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Perkerasan jalan**

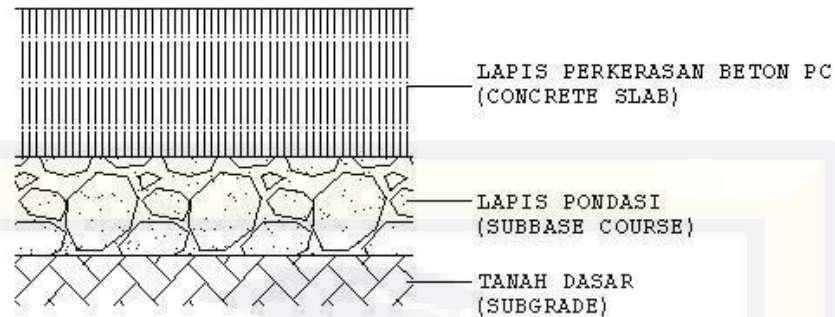
Perkerasan jalan raya adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman.

Perkerasan jalan merupakan 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).

Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan raya dibedakan atas 3 (tiga) jenis yaitu :

- a. Konstruksi perkerasan kaku (rigid pavement), yaitu perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh pelat beton.

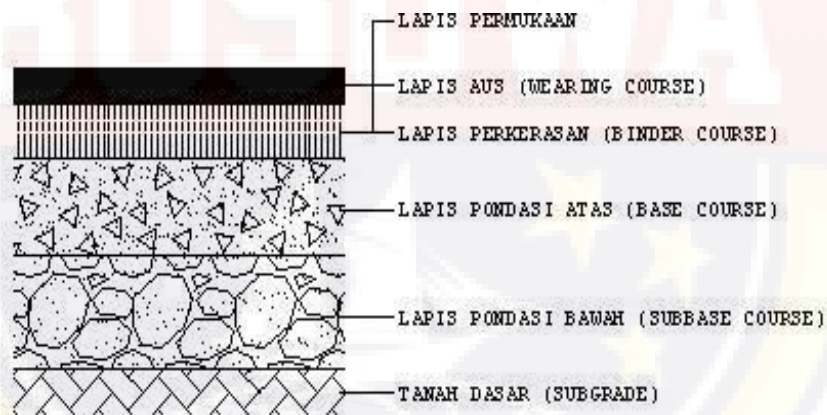




**Gambar 2.1 Komponen perkerasan kaku**

(Sumber, dikutip dari bahan kuliah Rekayasa Tanah Dan Perkerasan Jalan Raya.)

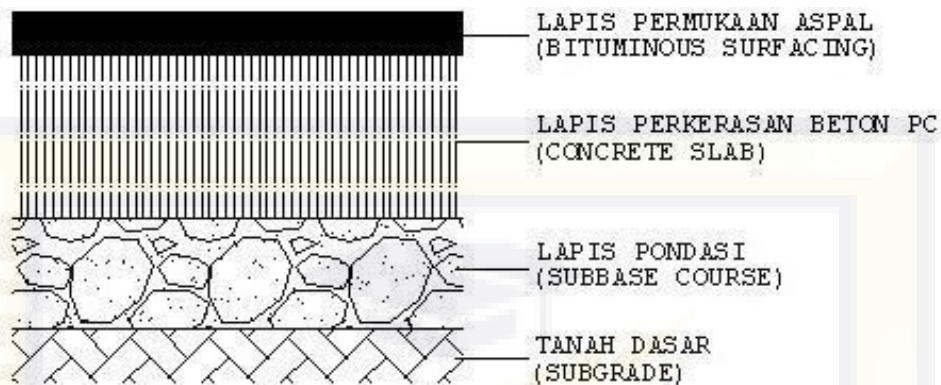
- b. Konstruksi perkerasan lentur (flexible pavement), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Sifat dari perkerasan ini adalah memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Pengaruhnya terhadap repetisi beban adalah timbulnya *rutting* (lendutan pada jalur roda).



**Gambar 2.2 Komponen perkerasan lentur**

(Sumber, dikutip dari bahan kuliah Rekayasa Tanah Dan Perkerasan Jalan Raya)

- c. Konstruksi perkerasan komposit (composite pavement), yaitu perkerasan yang dikombinasikan antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur. Dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku ataupun sebaliknya.

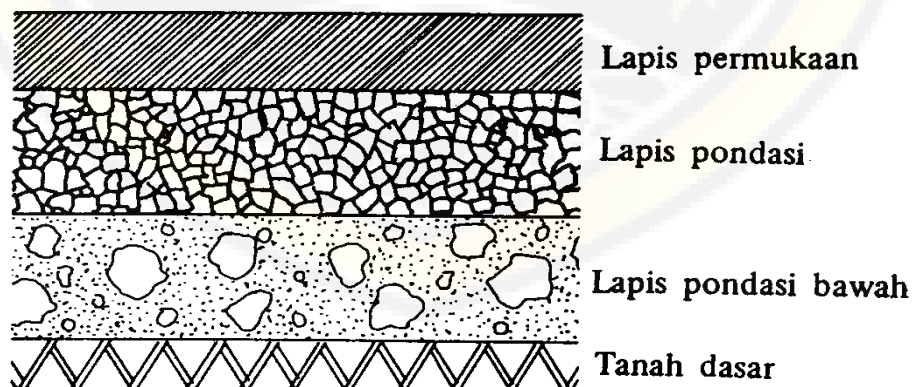


**Gambar 2.3 Komponen perkerasan komposit**

*(Sumber, dikutip dari bahan kuliah Rekayasa Tanah Dan Perkerasan Jalan Raya)*

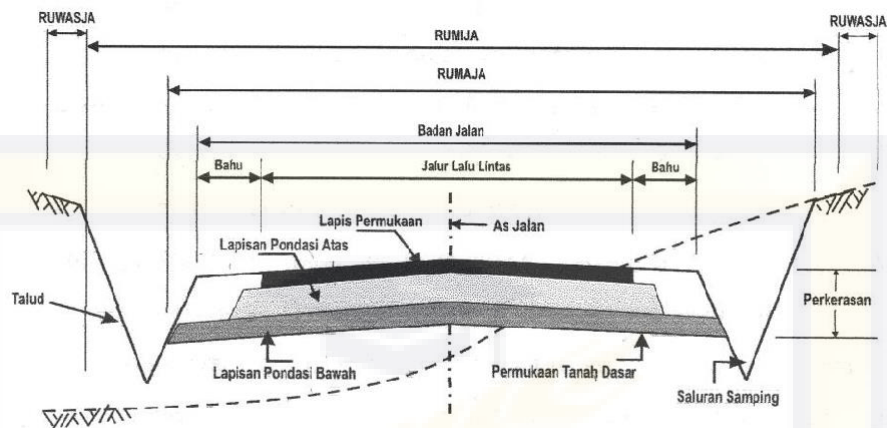
Konstruksi perkerasan jalan yang banyak digunakan di Indonesia adalah konstruksi perkerasan lentur yang terdiri dari lapisan-lapisan yang berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya kelapisan bagian bawah, karena tekanan makin menyebar maka tekanan yang ditimbulkan pada perkerasan bagian atas lebih berat dari pada perkerasan bagian bawah.

Adapun susunan lapisan konstruksi perkerasan dapat dilihat pada gambar di bawah ini :



**Gambar 2.4 Potongan lapisan pada perkerasan lentur**

*(Sumber, dikutip dari bahan kuliah Rekayasa Tanah Dan Perkerasan Jalan Raya)*



**Gambar 2. Sistematika Bentuk Perkerasan Jalan**  
(Sumber : UU No. 38 Tahun 2004)

**Gambar 2.5 Sistematika bentuk perkerasan jalan**  
(Sumber : UU No. 38 Tahun 2004)

Adapun fungsi dari lapis perkerasan yaitu :

- ✓ Lapis permukaan adalah lapisan yang terletak pada bagian paling atas dari struktur perkerasan konstruksi jalan dan berfungsi sebagai:
  - ❖ Lapisan perkerasan yang ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal maupun beban horizontal (gaya geser).
  - ❖ Lapisan kedap air, mencegah masuknya air ke dalam lapisan perkerasan yang ada di bawahnya.
  - ❖ Lapisan perkerasan menyediakan permukaan yang tetap rata, agar kendaraan dapat berjalan dan memperoleh kenyamanan yang cukup.
  - ❖ Lapisan aus (wearing course), lapisan yang langsung akibat rem kendaraan sehingga mudah menjadi aus.
- ✓ 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.
- ✓ 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 :

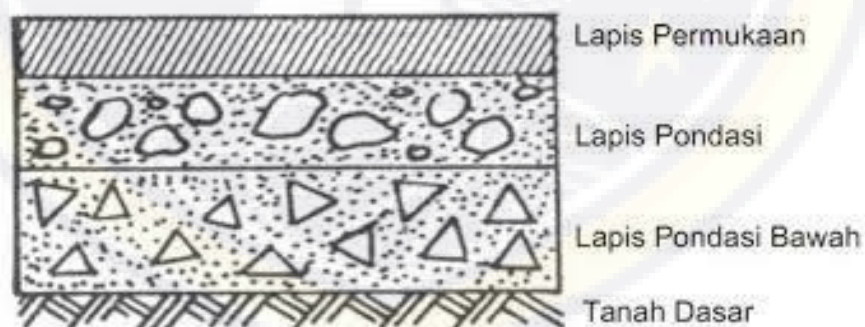
- a. Penyebar beban roda.
  - b. Lapis peresapan.
  - c. Lapis pencegah masuknya tanah dasar ke lapis pondasi.
  - d. Lapis pertama pada pembuatan perkerasan.
- ✓ Lapisan Tanah Dasar (TD) atau *Subgrade*

1. 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.

### 2.1.1. Perkerasan lentur, kaku dan komposit

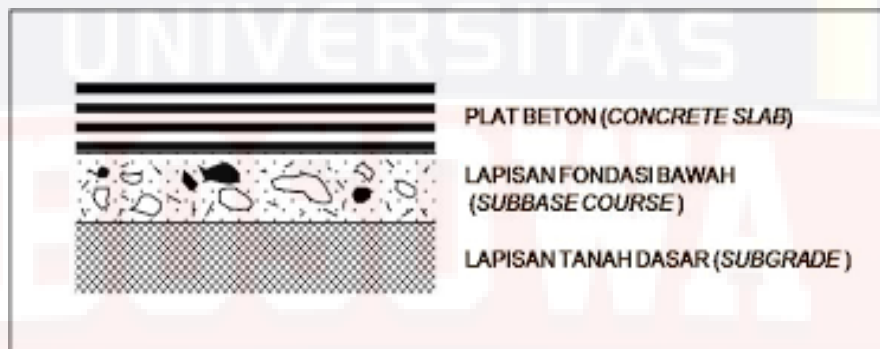
1. Mengadopsi model makadam dengan bahan penutup (*surfacing*) dari campuran aspal agregat. Bahan konstruksi perkerasan lentur terdiri atas : bahan ikat (aspal, tanah liat) dan batu. Perkerasan ini umumnya terdiri atas tiga lapis yaitu lapisan tanah dasar (*subgrade*), lapisan pondasi bawah (*sub-base*), 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.

Konstruksi perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya.



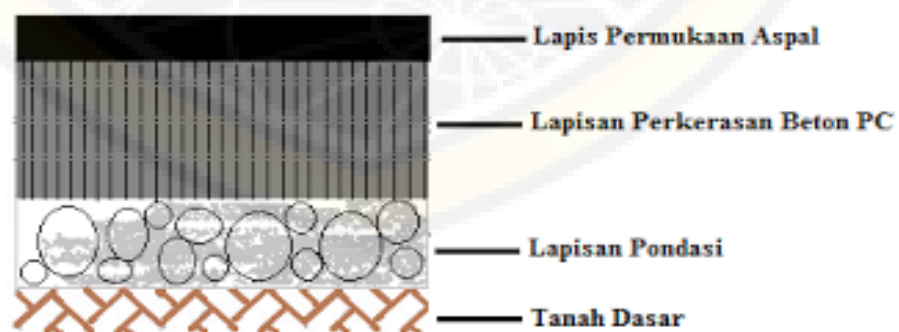
**Gambar 2.6** :Perkerasan Lentur

2. 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 2.7** Perkerasan Kaku

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



**Gambar 2.8** Perkerasan Komposit

**Tabel 2.1 Perbedaan antara 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 dan kaku**

No	Perkerasan kaku	Perkerasan Lentur
1.	Kebanyakan digunakan hanya pada jalan kelas tinggi, serta	Dapat digunakan untuk semua tingkat
2.	Job mix lebih mudah dikendalikan kualitasnya. Modulus Elastisitas antara lapis	Kendali kualitas untuk job mix lebih rumit. ( - )
3.	Dapat lebih bertahan terhadap kondisi	Sulit bertahan terhadap kondisi drainase
4.	Umur rencana dapat mencapai 20 tahun.	Umur rencana relative pendek 5 – 10

No	Perkerasan kaku	Perkerasan Lentur
5.	Jika terjadi kerusakan maka kerusakan tersebut cepat dan dalam waktu singkat. (-)	Kerusakan tidak merambat ke bagian konstruksi yang lain, kecuali jika perkerasan
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. (-)	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
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. (-)



No	Perkerasan kaku	Perkerasan Lentur
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 tdk melentur .(-)	Bila dibebani melentur. Beban hilang, lenturan kembali. (+)

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

### 2.1.2. Struktur Perkerasan jalan

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

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.

### **2.1.2.1. Lapis permukaan (*Surface course*)**

Berupa lapisan aus dan lapisan antara dari campuran beraspal

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

- 1) Menyelimuti perkerasan dari pengaruh air
- 2) Menyediakan permukaan yang halus
- 3) Menyediakan permukaan yang mempunyai karakteristik yang kesat, rata sehingga aman dan nyaman untuk dilalui pengguna.
- 4) Menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya

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

- 1) Mengurangi tegangan/regangan akibat beban lalu lintas dan meneruskannya ke lapis di bawahnya, harus mempunyai ketebalan dan kekakuan cukup.
- 2) Mempunyai kekuatan yang tinggi pada bagian perkerasan untuk menahan beban paling tinggi akibat beban lalu lintas

### **2.1.2.2. 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/ mendistribusikannya ke lapisan di bawahnya
- c) Lapisan peresapan untuk lapisan pondasi bawah

### **2.1.2.3. 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.

### **2.1.2.4. 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.

### 2.1.3. 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 *SubbaseCourse*

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.

### 2.2. Aspal

Aspal adalah suatu bahan bentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai coklat gelap, bersifat perekat (*cementious*) yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Aspal tersusun terutama dari sebagian besar bitumen yang kesemuanya terdapat dalam bentuk padat atau setengah padat dari alam atau hasil pemurnian minyak bumi, atau merupakan campuran dari bahan bitumen dengan minyak bumi atau derivatnya (ASTM, 1994).

Aspal sebagai bahan pengikat yang digunakan pada perkerasan lentur. Salah satu cara untuk mencegah terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan akibat limpasan atau air pasang air laut adalah dengan meningkatkan kualitas dan stabilitas perkerasan tersebut.

Aspal memiliki sifat *Thermoplastis*, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperatur aspal, maka viskositasnya akan

semakin rendah. Aspal mempunyai sifat Thixotropy, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu. Semakin besar angka penetrasi aspal (semakin kecil tingkat konsistensi aspal) akan memberikan nilai modulus elastis aspal yang semakin kecil dalam tinjauan temperatur dan pembebanan yang sama. Terdapat bermacam – macam tingkat penetrasi aspal yang dapat digunakan dalam campuran agregat aspal, antara lain 40/50, 60/70, 80/100. Umumnya aspal yang digunakan di Indonesia adalah aspal dengan penetrasi 80/100 dan penetrasi 60/70.

#### **2.2.1. Suhu dan Viskositas Aspal**

Suhu merupakan ukuran atau derajat panas atau dinginnya suatu benda atau sistem. Suhu didefinisikan sebagai suatu besaran fisika yang dimiliki bersama antara dua benda atau lebih yang berada dalam kesetimbangan termal. Suatu benda yang dalam keadaan panas dikatakan memiliki suhu yang tinggi, dan sebaliknya, suatu benda yang dalam keadaan dingin dikatakan memiliki suhu yang rendah. Perubahan suhu benda, baik menjadi lebih panas atau menjadi lebih dingin biasanya diikuti dengan perubahan bentuk atau wujudnya.

Aspal mempunyai kepekaan terhadap perubahan suhu / temperatur, karena aspal adalah material yang termoplastis. Aspal akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau cair bila temperatur bertambah. Setiap jenis aspal mempunyai kepekaan terhadap temperatur berbeda-beda, karena kepekaan tersebut

dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspalnya, walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu.

Aspal memiliki struktur molekul yang sangat kompleks dan memiliki ukuran yang bervariasi serta jenis ikatan kimia yang berbeda-beda. Semua jenis molekul berinteraksi satu dan yang lainnya dengan cara yang berbeda-beda, cara berinteraksi antar molekul ini mempengaruhi tidak saja sifat kimia aspal tetapi juga fisik dari aspal tersebut. Perubahan molekul-molekul yang terdapat dalam aspal juga akan mempengaruhi sifat fisik aspal.

**Tabel 2.3 ketentuan Viskositas dan Temperatur aspal**

NO	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas aspal (Pa.s)	Perkiraan temperature aspal
			Tipe 1
1	Pencampuran benda uji Marshall	0,17±0,02	155±1
2	Pemadatan benda uji Marshall	0,28±0,03	145±1
3	Pencampuran, rentang temperature sasaran	0,2-0,5	145-155
4	Menuangkan campuran beraspal dari alat pencampur ke daalam truk	±0,5	135-150
5	Pemasokan ke alat penghampar	0,5-10	130-150
6	Pemadatan awal (roda baja)	1-2	125-145
7	Pemadatan antara (roda karet)	2-20	100-125
8	Pemadatan akhir (roda baja)	<20	>95

*Spesifikasi umum 2018*

### 2.2.2. Sifat Sifat Aspal

Sifat-sifat aspal adalah sebagai berikut:

a. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan (*durability*) adalah kemampuan aspal menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan 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.



### **2.2.3. 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 dikelompokan berdasarkan karakteristik reaksi yang sama.

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

#### **2.2.3.1. 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. Besar kecilnya kandungan aspalten dalam aspal sangat mempengaruhi sifat rheologi aspal tersebut.

### 2.2.3.2. Malten

Malten adalah unsur kimia lainnya yang terdapat di dalam aspal selain asphalten. 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.

#### **2.2.4. 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, semen 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 lembek adalah suhu dimana suatu lapisan aspal dalam cincin yang diletakkan horisontal didalam larutan air atau gliserin yang dipanaskan secara teratur menjadi lembek karena beban bola baja. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan suhu/angka titik lembek 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 pada 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 di atas 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). Berikut dibawah ini merupakan sifat-sifat standar untuk aspal.

Tabel 2.4 Pengujian Aspal Keras

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Tipe 1 Aspal pen. 60/70
1	Penetrasi pada 25° C (0,1mm)	SNI 06-2456- 2011	60-70
2	Viskositas kinematis 135° C (Cst)	ASTM D2170-10	≥300
3	Titik Lembek (C)	SNI 2434:2011	≥48C
4	Penetrasi pada (% semula)	SNI 2456-2011	≥54
5	Daktilitas pada 25° C, (cm)	SNI 06-2432-2011	≥50
6	Titik nyala ( C)	SNI 06-2433-2011	≥232
7	Kelarutan dalam trichloroethylene (%)	AASTHO T44-14	≥99
8	Berat jenis	SNI 2441-2011	≥1,0
9	Stabilitas penyimpanan ( C)	ASTM D5976 part 6.1	–
10	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	<0.80
12	Indeks Penetrasi 4	-	>-1.0
13	Kadar parafin lilin %	SNI 03-3639-2002	≥2

Sumber : Spesifikasi Umum 2018

### 2.2.5. Fungsi Aspal

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai:

- Sebagai bahan pengikat antara agregat maupun antara aspal itu sendiri.
- Sebagai bahan pengisi, mengisi rongga antar butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Untuk dapat memenuhi kedua fungsi aspal itu dengan baik, maka aspal haruslah memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik, serta pada saat dilaksanakan mempunyai tingkat kekentalan tertentu.

Penggunaan aspal pada perkerasan jalan dapat dicampurkan pada agregat sebelum dihamparkan (prahampar), seperti lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat-agregat yang lebih halus (pascahampar), seperti perkerasan penetrasi makadam atau pelaburan.

Pada proses pascahampar, aspal disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan, lalu di atasnya ditaburi butiran agregat halus. Pada keadaan ini aspal akan meresap ke dalam pori-pori antar butir agregat dibawahnya.

Dengan adanya aspal dalam campuran diharapkan diperoleh lapisan perkerasan yang kedap air sehingga mampu melayani arus lalu lintas selama masa pelayanan jalan. Oleh karena itu aspal harus mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca.

Adhesi adalah kemampuan agregat untuk mengikat aspal sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk mempertahankan agregat tetap ditempatnya setelah terjadi pengikatan. Sifat ini dapat diperiksa dengan melakukan pengujian tentang kelekatan aspal (stripping test). Agregat bersilika tinggi bersifat hydrophilic, sehingga mempunyai ikatan dengan aspal yang kurang baik. Agregat bersilika rendah mengikat aspal dan bersifat hidrophobic. Agregat yang dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan adalah agregat dengan kelekatan agregat terhadap aspal minimum 95%.

### **2.3. Campuran aspal panas**

Aspal Beton (*Hotmix*) adalah campuran agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (Filler) dengan bahan pengikat aspal dalam kondisi suhu tinggi (panas) dengan komposisi yang diteliti dan diatur oleh spesifikasi teknis.

Beton aspal adalah jenis jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material - material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampuran pada suhu tertentu, kemudian diangkut kelokasi, dihampar, dan dipadatkan. Suhu pencampuran berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan. Jika digunakan semen aspal, maka suhu pencampuran umumnya antara 145<sup>0</sup>C-155<sup>0</sup>C, sehingga disebut beton aspal campuran panas. Untuk mengeringkan agregat dan mendapatkan tingkat kecairan yang cukup dari



aspal sehingga diperoleh kemudahan untuk mencampurnya, maka kedua material harus dipanaskan dulu sebelum dicampur. Karena dicampur dalam keadaan panas maka seringkali disebut sebagai *Hotmix*.

Berdasarkan gradasinya campuran beraspal panas dapat dibedakan dalam tiga jenis campuran yaitu campuran beraspal bergradasi rapat, senjang dan terbuka. Tebal minimum penghamparan masing-masing campuran sangat tergantung pada ukuran maksimum agregat yang digunakan. Tebal padat campuran beraspal harus lebih dari dua kali ukuran butir agregat maksimum yang digunakan.

Ada beberapa jenis beton aspal campuran panas, namun dalam penelitian ini jenis beton aspal yang ditinjau adalah AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*). Salah satu produk campuran aspal panas yang kini banyak digunakan oleh Departemen Pekerjaan Umum adalah AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*)/Lapis Aus Aspal Beton. AC-WC adalah salah satu dari tiga macam campuran lapis aspal beton yaitu AC-WC, AC-BC, dan AC-Base. Ketiga jenis Laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan oleh Bina Marga bersama dengan Pusat Litbang Jalan. Dalam perencanaan spesifikasi baru tersebut menggunakan pendekatan kepadatan mutlak. Lapis aspal beton (laston) sebagai bahan pengikat, dikenal dengan nama AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*). Lapisan ini merupakan bagian dari lapis permukaan diantara lapis pondasi atas (*Base-Course*) dengan lapis aus (*Wearing-Course*) yang bergradasi agregat gabungan

rapat / menerus, umumnya digunakan untuk jalan- jalan dengan beban lalu lintas yang cukup berat

Penggunaan AC-WC yaitu digunakan sebagai lapisan antara dalam perkerasan dan mencegah rembesan air dari atas masuk ke lapis pondasi. Pada campuran aspal panas AC-WC memiliki ukuran maksimum agregat sebesar 25,4 mm, tebal lapisan padat minimum 6,0 cm dengan toleransi tebal tiap lapisan campuran beraspal tidak lebih dari 4,0 mm. Hal tersebut menyebabkan campuran AC-WC peka terhadap variasi dalam proporsi campuran.

#### **2.4. Aspal Minyak**

Aspal minyak dengan berbahan dasar aspal dapat dibedakan atas Aspal Keras/Panas (Asphalt Cement,AC) dan Aspal Emulsi (Emulsion Asphalt) Aspal keras/panas (*Asphalt Cement,AC*) yaitu, aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal semen pada temperatur ruang (25°-30°C) berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasinya ataupun berdasarkan nilai viskositasnya.

##### **a. Aspal Dingin/Cair (Cut Back Asphalt)**

Aspal cair adalah campuran antara aspal semen dengan bahan-bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Dengan demikian cut back asphalt berbentuk cair dalam temperatur ruang. Berdasarkan bahan

pencairnya dan kemudahan bahan pelarutnya aspal cair dapat di bedakan atas :

a) RC (*Rapid Curing cat back*)

Merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bensin atau premium, RC merupakan cut back aspal yang paling mudah menguap.

b) MC (*Medium Curingcut back*)

Merupakan aspal yang di larutkan dengan bahan pencair minyak tanah.

c) SC (*slow Curing cat back*)

Merupakan aspal semen yan dilarutkan dengan bahan yang kental seperti solar. Aspal jenis ini merupakan aspal yang paling lama menguap.

## **2.5. Aspal beton (Laston)**

Lapis aspal beton (Laston) adalah suatu lapis pada kontruksi 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 Depertement 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 samapai ukuran yang terkecil.

Beton aspal dengan campuran bergradasi menerus memiliki kopoulosi 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.

Tabel 2.5 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Beraspal Panas (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Lapis aspal beton (Laston)		
		Lapis Aus	Lapis Pengikat	Pondasi
Kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Max	1,2		
Penyerapan aspal (%)	Max	1,2		
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rongga dalam campuran (VIM) (%)	Min	3,0		
	Max	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga terisi Aspal (VFA) (%)	Max	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min	800		1800
	Max	-		-
Pelelehan (mm)	Min	2		3
	Max	4		6
Marshall Quotien (kg/mm)	Max	250		300
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah Perendaman selama 24 jam, 60° C	Min	90		

Sifat-Sifat Campuran		Lapis aspal beton (Laston)		
		Lapis Aus	Lapis Pengikat	Pondasi
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan (refusal)	Min	2		

Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2018 Divisi 6 Perkerasan aspal tabel 6.3.3. (lc)]

#### a. 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 :

##### 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 repitisi 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 repitisi 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 tebal 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, kepekatan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

### 2.6. 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.

Menurut Silvia Sukirman (2003), 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.

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-minerallainnya, 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 agregat dengan ukuran terkecil tertahan diatas saringan no 4 (4,75) menurut ASTM, lebih besar dari 2 mm menurut AASTHO. agregat kasar untuk keperluan pengujian harus terdiri atas batu pecah atau kerikil pecah dan harus disediakan dalam ukuran-ukuran normal. Agregat kasar ini menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai *skid resistance* (tahanan terhadap selip) yang tinggi sehingga lebih menjamin keamanan berkendara. Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran (*particle shape*) yang bulat memudahkan proses pemadatan, tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut (*angular*) sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas yang tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran *wearing course*, untuk itu nilai *Los Angeles Abrasion Test* harus dipenuhi.

Tabel 2.6 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 33407:2008	Maks. 12%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC bergradasi	SNI 2417:2008	Maks. 30%

Pengujian		Standar	Nilai
	Semua jenis campuran bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439-2011	Min. 95%
Partikel pipih dan Lonjong		ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks. 10%
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90%
Material lolos Ayakan No.200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%

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

#### b. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran terkecil yang mempunyai sifat lolos saringan No.8 (2,36 mm) tertahan diatas saringan No.200 ( 0,74 mm ). Fungsi utama agregat halus adalah untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Untuk hal ini maka sifat eksternal yang diperlukan adalah *angularity* (bentuk menyudut) dan *particle surface roughness* (kekasaran permukaan butiran).

Tabel 2.7 Ketentuan agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Pengujian	Standar	Nilai
Kadar Lempung	SNI 3423 : 2008	Maks 1%
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min 45
Gumpalan lempung dan butir butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Kadar lempung	SNI 3423:2008	Maks 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal  
Tabel 6.3.2.(2a)

#### c. 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.

#### d. Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi dari ukuran partikelnya dan dinyatakan dalam persentase terhadap total beratnya. Gradasi ditentukan dengan melewatkan sejumlah material melalui serangkaian saringan dari ukuran besar ke ukuran kecil dan menimbang berat material yang tertahan pada masing-masing saringan. Kombinasi gradasi agregat campuran dinyatakan dalam persen berat agregat. Untuk keperluan penelitian ini, maka dipilih kombinasi agregat yang sesuai dengan dibawah. Gradasi

agregat dalam diambil dari spesifikasi agregat campuran dari 3 fraksi agregat.

#### **a. Klasifikasi Agregat Berdasarkan Asalnya**

Berdasarkan proses pengolahannya agregat untuk campuran beraspal umumnya di klasifikasikan, seperti agregat alam (Natural aggregates), agregat hasil pemrosesan dan agregat buatan atau agregat artificial.

##### **a. Agregat Alam**

Agregat alam merupakan agregat yang digunakan dalam bentuk alamiahnya dengan sedikit atau tanpa pemrosesan sama sekali, agregat ini terbentuk dari proses erosi alamiah atau proses pemisahan akibat angin, air, pergeseran es dan reaksi kimia. Aliran gletser dapat menghasilkan agregat dalam bentuk bongkahan bulat dan batu kerikil, sedangkan aliran air menghasilkan batuan yang bulat licin. Dua jenis utama dari agregat alam yang di gunakan untuk konstruksi jalan adalah pasir dan kerikil.

##### **b. Agregat yang Diproses**

Agregat yang diproses adalah batuan yang telah di pecah atau disaring sebelum digunakan. Pemecahan agregat dilakukan dengan tiga alasan yakni : untuk merubah tekstur permukaan partikel dari licin kekasar. Untuk merubah bentuk partikel dari bulat ke angular, dan untuk megurangi serta meningkatkan distribusi dan rentang ukuran partikel.

Penyaringan yang dilakukan pada agregat yang telah di pecahkan akan menghasilkan partikel agregat dengan rentang gradasi tertentu.

### **c. Agregat Buatan**

Agregat ini didapatkan dari proses kimia atau fisika dari beberapa material sehingga menghasilkan suatu material baru yang sifatnya menyerupai agregat, salah satu contohnya adalah Slag, Batuan ini adalah substansi nonmetalik yang didapat dari hasil sampingan produksi yang timbul ke permukaan dari pencairan/peleburan biji besi selama proses peleburan. Beberapa jenis dari agregat ini merupakan hasil sampingan dari proses industri dan dari proses material yang sengaja diproses agar dapat digunakan sebagai agregat atau sebagai material pengisi (*Filler*).

### **b. Sifat-sifat Fisik Agregat**

Dalam hubungannya dengan kinerja campuran beraspal diperlukan pemeriksaan terhadap sifat-sifat fisik agregat. Untuk tujuan ini sifat pada agregat yang harus di periksa antara lain : ukuran butir, kebersihan, kekerasan bentuk partikel, tekstur permukaan, penyerapan dan kelekatan terhadap aspal.

#### **a. Ukuran Butir**

Ukuran agregat dalam suatu campuran beraspal terdistribusi dari berukuran besar sampai yang terkecil. Semakin besar ukuran maksimum agregat yang di pakai semakin banyak variasi ukurannya dalam campuran tersebut.

Mineral pengisi dan mineral abu dapat terjadi secara alamiah atau dapat juga di hasilkan dari proses pemecahan batuan atau proses buatan. Mineral ini penting artinya untuk mendapatkan campuran yang padat, berdaya tahan dan kedap air. Perubahan sifat dari campuran ini bisa terjadi hanya karena sedikit perubahan dalam jumlah atau sifat dari bahan pengisi atau mineral debu yang digunakan. Oleh karena itu jenis dan jumlah mineral pengisi atau debu yang di gunakan dalam campuran haruslah dikontrol dengan seksama.

b. Kebersihan Agregat

Dalam spesifikasi biasanya memasukkan syarat kebersihan agregat dengan memberikan suatu batasan jenis dan jumlah material yang tidak diperlukan, seperti lumpur, tanaman dan lain sebagainya, yang melekat pada agregat, karena akan memberikan pengaruh yang jelek pada perkerasan seperti berkurangnya ikatan antara aspal dan agregat.

c. Kekerasan

Agregat yang nantinya digunakan sebagai lapis permukaan haruslah lebih keras (lebih tahan) dari agregat yang digunakan pada lapisan dibawahnya. Hal ini disebabkan karena permukaan pekerasan akan menerima dan menahan tekanan dan benturan dari beban lalu lintas paling besar.

d. Bentuk butir agregat

Agregat memiliki bentuk butir dari bulat (rounded) dan bersudut (angular). Bentuk butir agregat dapat mempengaruhi workabilitas

campuran perkerasan pada saat penghamparan, yaitu dalam hal energi pemadatan yang dibutuhkan untuk memadatkan campuran, dan untuk kekuatan struktur perkerasan selama umur pelayanannya.

Dalam campuran beraspal, penggunaan agregat yang bersudut saja atau bulat saja tidak akan menghasilkan campuran beraspal yang baik. Kombinasi penggunaan kedua bentuk partikel ini sangat dibutuhkan untuk menjamin kekuatan pada struktur perkerasan dan workabilitas yang baik dari campuran tersebut.

e. Tekstur permukaan agregat

Permukaan agregat yang kasar akan memberikan kekuatan pada campuran beraspal karena kekasaran permukaan agregat dapat menahan agregat dari pergeseran atau perpindahan. Kekasaran permukaan agregat juga akan memberikan tahanan gesek yang kuat pada roda kendaraan sehingga meningkatkan keamanan kendaraan terhadap slip.

Agregat dengan permukaan yang kasar memiliki koefisien gesek yang tinggi yang membuat agregat tersebut sulit untuk berpindah tempat sehingga akan menurunkan workabilitasnya. Oleh sebab itu, penggunaan agregat bertekstur halus dengan proporsi tertentu kadang-kadang dibutuhkan untuk membantu meningkatkan workabilitasnya. Di lain pihak film aspal lebih mudah merekat pada permukaan yang kasar sehingga akan menghasilkan ikatan yang baik antara aspal dan agregat.

f. Daya serap agregat

Keporusan agregat menentukan banyaknya zat cair yang dapat diserap agregat. Kemampuan agregat untuk menyerap air dan aspal adalah suatu informasi yang penting yang harus diketahui dalam pembuatan campuran beraspal. Jika daya serap agregat sangat tinggi, agregat ini akan terus menyerap aspal baik pada saat maupun setelah proses pencampuran agregat dengan aspal di unit pencampur aspal (AMP). Hal ini akan menyebabkan aspal yang berada pada permukaan agregat yang berguna untuk mengikat partikel agregat menjadi lebih sedikit sehingga akan menghasilkan film aspal yang tipis. Oleh karena itu, agar campuran yang dihasilkan tetap baik agregat yang porus memerlukan aspal yang lebih banyak dibandingkan dengan yang kurang porus.

Agregat dengan keporusan atau daya serap yang tinggi biasanya tidak digunakan, tetapi untuk tujuan tertentu pemakaian agregat ini masih dapat dibenarkan asalkan sifat lainnya dapat terpenuhi. Contoh material seperti batu apung yang memiliki keporusan tinggi yang digunakan karena ringan dan tahan terhadap abrasi.

g. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah kecenderungan agregat untuk menerima, menyerap dan menahan film aspal. Agregat hidrofobik (tidak menyukai air) adalah agregat yang memiliki sifat kelekatan terhadap aspal yang tinggi, contoh dari agregat ini adalah batu gamping dan



dolomit. Sebaliknya, agregat hidrophilik (suka air) adalah agregat yang memiliki kelekatan terhadap aspal yang rendah. Sehingga agregat jenis ini cenderung terpisah dari film aspal bila terkena air. Kuarsit dan beberapa jenis granit adalah contoh agregat hidrophilik.

Ada beberapa metode uji untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal dan kecenderungannya untuk mengelupas (stripping). Salah satu diantaranya dengan merendam agregat yang telah terselimuti aspal kedalam air, lalu diamati secara visual. Tes lainnya adalah dengan melakukan perendaman mekanik. Tes ini menggunakan 2 contoh campuran, satu direndam dalam air dan diberikan energi mekanik dengan cara pengadukan, dan satunya lagi tidak. Kemudian kedua contoh ini diuji kekuatannya. Perbedaan kekuatan antara keduanya dapat dipakai sebagai indikator untuk dapat mengetahui kepekaan agregat terhadap pengelupasan.

### **c. Gradasi**

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Ukuran butir agregat dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan. Satu set saringan umumnya terdiri dari saringan berukuran 1½ inci, 1inci, ¾ inci, ½ inci, 3/8 inci, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No. 200. Ukuran saringan dalam ukuran panjang menunjukkan ukuran bukaan, sedangkan nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan dalam 1 inci persegi. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase lolos, atau

persentase tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat. Gradasi agregat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran. Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat halus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan workability (mudah dikerjakan) dan stabilitas campuran.

Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, dimana contoh agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawatnya dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inci persegi dari saringan tersebut. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing-masing yang lolos pada saringan tertentu. Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan. Gradasi dapat dibedakan atas :

*a. Gradasi seragam (uniform graded)*

Gradasi seragam adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas yang rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

*b. Gradasi rapat (dense graded)*

Gradasi rapat adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga disebut gradasi menerus atau gradasi baik (*well graded*). Campuran dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.

*c. Gradasi senjang (gap graded)*

Gradasi senjang adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali. Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebut di atas.

Bentuk gradasi agregat biasanya digambarkan dalam suatu grafik hubungan antara ukuran saringan dinyatakan pada sumbu horizontal dan persentase agregat yang lolos saringan tertentu dinyatakan pada sumbu vertikal. Gradasi yang ditentukan pada Spesifikasi Bina Marga 2018 dapat dilihat pada Tabel. di bawah ini

Tabel 2.8 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal

Ukuran ayakan		% Berat yang lolos terhadap total agregat				
		HRS		AC		
ASTM	(mm)	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5					100
1"	25				100	90-100
¾"	19	100	100	100	90-100	76-90
½"	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	0,75	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal  
Tabel 6.3.2.3

## 2.7. Bahan Pengisi ( *Filler* )

Bahan pengisi (*filler*) adalah agregat yang dalam analisa gradasi merupakan lolos saringan No. 200. (diameter 0.075 mm), dapat terdiri dari debu batu, kapur padam dan semen Portland, atau bahan non plastis lainnya. Bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu. Bahan pengisi ini mempunyai fungsi :

- a. Sebagai pengisi antara agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antar butir yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran.
- b. jika ditambahkan ke dalam laston, bahan pengisi akan menjadi suspensi, sehingga terbentuk mastik yang bersama-sama dengan laston mengikat partikel agregat. Dengan penambahan bahan pengisi, laston menjadi lebih kental, dan campuran agregat laston menjadi bertambah kekuatannya.

Kadar *filler* dalam campuran beton laston akan berpengaruh pada proses campuran penghamparan, dan pemadatan. Selain itu, *filler* juga mempengaruhi sifat elastisitas campuran dan sensitivitasnya terhadap air.

## 2.8. Marshall test

Pengujian dengan alat Marshall dilakukan sesuai dengan prosedur Bina Marga. Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik campuran, menentukan ketahanan atau stabilitas terhadap kelelahan plastis (flow) dari campuran aspal.

Hubungan antara ketahanan (stabilitas) dan kelelahan plastisitas (flow) adalah berbanding lurus, semakin besar stabilitas, semakin besar pula flownya, dan begitu juga sebaliknya. Jadi semakin besar stabilitasnya maka aspal akan semakin mampu menahan beban, demikian juga sebaliknya. Dan jika flow semakin tinggi maka aspal semakin mampu menahan beban.

Dari hasil pengamatan pada pengujian Marshall kemudian dibuat grafik hubungan antara presentase kadar aspal dengan presentase rongga terisi aspal (VFA), presentase rongga dalam campuran (VIM), kelelahan (flow), stabilitas, dan perbandingan antara stabilitas dan kelelahan (MQ). Berikut ini penjelasan dari kata-kata di atas :

- a. Flow/Kelelahan adalah perubahan bentuk plastis suatu campuran aspal yang terjadi akibat beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01". Nilai *flow* juga diperoleh dari hasil pembacaan pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian *Marshall*.
- b. Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu-lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) seperti gelombang, alur (rutting), maupun mengalami

bleeding. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi atau penetrasi aspal, kadar aspal, gesekan (internal friction), sifat saling mengunci (interlocking) dari partikel-partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan, serta gradasi agregat.

- c. Rongga di dalam Campuran (VIM) adalah parameter yang menunjukkan volume rongga yang berisi udara didalam campuran beraspal, dinyatakan dalam % volume.
- d. (Rongga didalam Agregat (VMA) adalah volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dari suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, termasuk didalamnya adalah rongga udara dan rongga yang terisi aspal efektif, dinyatakan dalam % volume.

Nilai VMA dihitung dengan rumus di bawah ini :

$$VFA = 100 - \frac{100}{j} \dots\dots\dots (8)$$

$$b = \frac{a}{100 + a} \times 100 \dots\dots\dots (5)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ.Agregat} \dots\dots\dots (6)$$

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{BJ.Agregat} \dots\dots\dots (7)$$

$$I = 100 - j \dots\dots\dots (9)$$

Keterangan :

a = Persentase aspal terhadap batuan

b = Persentase aspal terhadap campuran

g = Persen rongga terisi aspal

i dan j = rumus substitusi

- e. *Marshall Quotient* adalah nilai pendekatan yang hampir menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. Nilai MQ diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas yang telah dikoreksi terhadap nilai kelelahan (*flow*), dan dinyatakan dalam satuan kg/mm atau kN/mm.

(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)

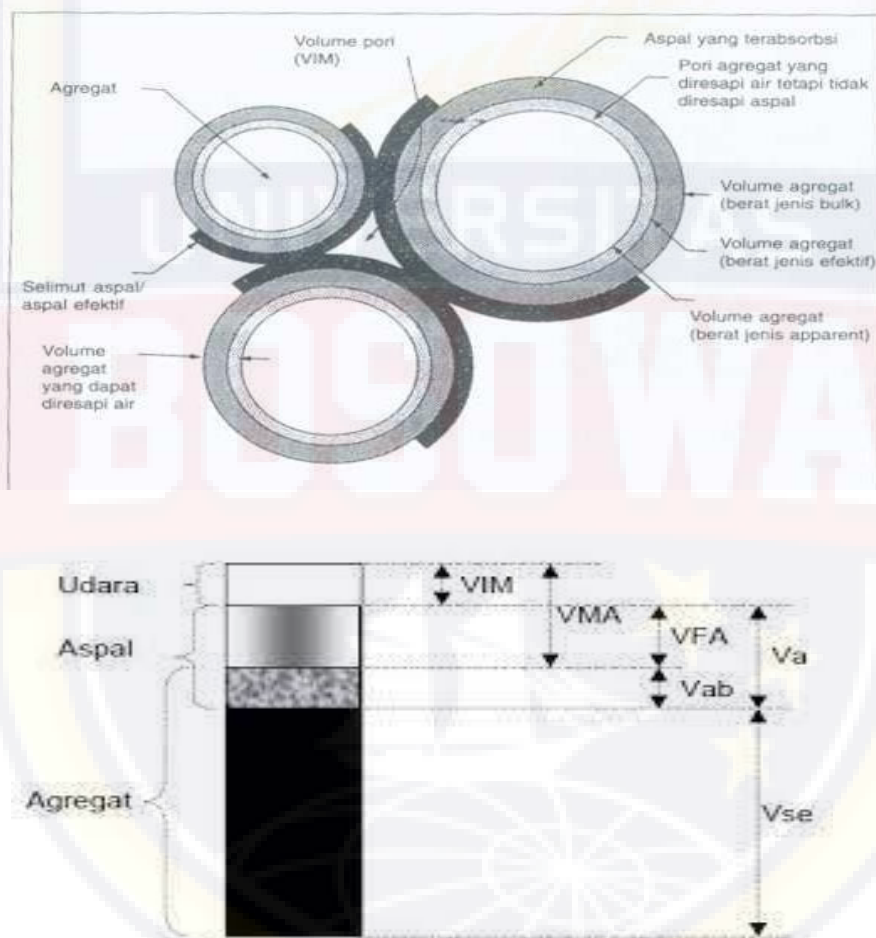
Setelah dilakukan analisis dari pengujian *Marshall*, dan didapat nilai- nilai karakteristik *Marshall*, dibuat grafik hubungan antara kadar aspal terhadap nilai karakteristik tersebut. Berdasarkan grafik dan perbandingan terhadap spesifikasi yang diisyaratkan oleh Bina Marga, ditentukan kadar aspal optimum campuran.

- f. VFB (Rongga terisi aspal) adalah bagian dari volume rongga di dalam agregat (VMA) yang terisi aspal efektif, dinyatakan dalam % VMA.
- g. Void Filled With Asphalt (VFA). VFA adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam persen terhadap rongga antar butiran agregat (VMA), sehingga



antara nilai VMA dan VFA mempunyai kaitan yang sangat erat. Faktor – faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energy pematat (jumlah dan temperatur pemadatan), dan absorpsi agregat.

**Gambar 2.9** : Penyerapan agregat aspaloleh agregata



## 2.9. Gypsum



**Gambar 2.10 Limbah Gypsum**

(<https://docplayer.info/176512988-Pemanfaatan-limbah-gypsum-board-sebagai-pengganti-sebagian-semen-terhadap-kuat-tekan-batako.htm>.)

Terbentuk karena pengendapan airkalsium yang mendominasi pada mineralnya. Gypsum merupakan mineral sulfat yang terdapat dalam batuan sedimen yang tersusun dari kalsium sulfat dehydrate, yang memiliki rumus kimia  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  [3]. Dalam bentuk murni, gypsum berupa kristal berwarna putih dan berwarna abu-abu, kuning, jingga, atau hitam bila kurang murni. Gypsum dibagi menjadi dua jenis, yaitu anhidrit (gypsum yang disuling dibentuk dari 29,4% zat kapur/Ca dan 23,5% belerang/S) dan dehydrate (berisi  $\text{CaSO}_4$  dan  $2\text{H}_2\text{O}$  serta air). Pada umumnya, gypsum mempunyai air yang dihubungkan dalam struktur molekular ( $\text{CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) dan kira-kira 23,3% Ca dan 18,5 % S [4].

Gypsum yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat kalsium sulfat dengan rumus  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Mineral yang teruapkan seperti karbonat, borat, nitrat, dan sulfat dapat membentuk gypsum

dengan mengendapkan mineral-mineral tersebut di laut, danau, gua, dan di lapisan garam [5]. Ketika air panas atau air memiliki kadar garam yang tinggi, gypsum berubah menjadi basanit ( $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) juga menjadi anhidrit ( $\text{CaSO}_4$ ). Dalam keadaan seimbang, gypsum yang berada di atas suhu  $108^\circ\text{F}$  atau  $42^\circ\text{C}$  dalam air murni akan berubah menjadi anhidrit

### **2.9.1 Jenis-jenis Gypsum**

1. TopLine merupakan papan gypsum berlapis kertas berwarna putih untuk memberikan kesan permukaan yang halus sehingga dapat menjaga estetika tanpa melupakan fungsinya. Gypsum jenis ini tidak mudah terbakar dan mampu menghambat panas.

2. BaseLine adalah papan gypsum standar dengan lapisan kertas putih yang dapat digunakan untuk partisi dinding dan plafon. Sama dengan TopLine, gypsum jenis ini juga memberikan estetika dengan penghambat panas dan tahan api.

3. AquaLine merupakan papan gypsum yang telah dilengkapi cairan silikon terpolimerasi sehingga mampu mengurangi penyerapan pada papan.

4. FireLine, papan gypsum dibuat dengan bahan khusus guna meningkatkan kohesivitas pada suhu tinggi sehingga memberikan hasil maksimal ketika dihadapkan dengan api.

ThermaLine merupakan gypsum beraerasi di dalamnya dan dilapisi

5. dengan kertas yang sangat kuat. Selain itu, berkat adanya lapisan materi insulasi berupa polystyrene di bagian belakang membuat papan gipsum tahan panas.

DuraLine, papan gipsum Gyproc yang memiliki daya tahan terhadap benturan dan ideal untuk rumah dan bangunan komersial yang membutuhkan dinding kuat.

### **2.9.2. Limbah Gypsum**

Papan gypsum atau yang biasa disebut dengan GYPSUM BOARD merupakan jenis paling umum yang dapat didaur ulang. Biasanya papan gypsum digunakan untuk panel dinding, system partisi ataupun langit-langit.

### **2.9.3. Gypsum dan Perkerasan**

Menurut Suroso (2008), pencampuran gypsum untuk menaikkan kinerja campuran beraspal ada dua cara yaitu cara basah dan cara kering.

a. Cara basah (*wet process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana gypsum dimasukkan kedalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, *mixer* kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.

b. Cara kering (*dry process*) yaitu suatu cara pencampuran dimana gypsum dimasukkan kedalam agregat yang dipanaskan

pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini lebih murah, dikatakan lebih murah karena tidak perlu ada aspal yang harus dikeluarkan dari tangki aspal di AMP (Asphalt Mixing Plant) apabila tangki aspal akan digunakan untuk keperluan pencampuran aspal dengan aspal konvensional. Selain lebih murah, cara kering ini juga lebih mudah karena hanya dengan memasukkan gypsum dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (mixer). Kekurangan cara ini adalah harus benar-benar dapat dipertanggungjawabkan kehomogenan dan keseragaman kadar gypsum yang dimasukkan/ dicampurkan. Suroso (2008)

## 2.10. Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Alimatul Hidayah, Sugeng Dwi Hartantyo (2021)	Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Gypsum Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Asphalt Concrete- Wearing Course	Penggunaan limbah serbuk gypsum sebagai pengganti filler pada campuran AC-WC ternyata mempengaruhi hasil Marshall. Dimana nilai stabilitas, VFA, dan Flow mengalami kenaikan. Sedangkan nilai VMA dan VIM mengalami penurunan namun tetap memenuhi spesifikasi.
2.	Rahmad Riadi, Eva Rita,	Pengaruh Substitusi Serbuk Gypsum Sebagai	Kadar aspal optimum untuk lapisan AC-WC yaitu pada kadar 5,8%. Hasil

	Yulcherlina	Filler Pada Campuran Aspal AC-WC	tersebut diperoleh berdasarkan hasil pengujian Marshall dan telah memenuhi persyaratan VMA, VIM, VFA, Density, MQ, Stabilitas, dan Flow. Pada penelitian ini serbuk Gypsum digunakan sebagai substitusi dengan <i>Filler</i> untuk campuran aspal AC-WC dengan kadar yang digunakan 4%, 4.5%, 5%, 5.5%, 6% dari berat total <i>filler</i> pada campuran. Pengaruh dari substitusi serbuk gypsum ini pada nilai VMA kadar 5%, VIM kadar 4%, Flow 4% - 4,5% tidak memenuhi spesifikasi. Dan secara keseluruhan substitusi serbuk gypsum kadar 5,5% - 6% adalah nilai optimal dari hasil penelitian ini dan sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018.
3.	Bethalia Adventi Auditia, Rendih, Debora Elnov, Mulatua H.H,	Pengaruh Penggunaan Bubuk Gypsum Sebagai Filler Dalam Campuran Aspal	(1) Penggunaan bubuk gypsum pada kadar optimum mampu meningkatkan kualitas campuran aspal menjadi lebih baik. (2) Kadar bubuk gypsum

	Rachmansyah (2018)		optimum yang digunakan sebagai pengganti bin 4 adalah sebesar 6% dari total keseluruhan campuran. (3) Indikator yang terpenuhi dengan penggunaan bubuk gypsum 6%, yaitu nilai VMA, stabilitas, dan kelelahan (flow) sedangkan pada campuran aspal kadar optimum hanya memenuhi indikator VMA dan flow saja.
--	-----------------------	--	---



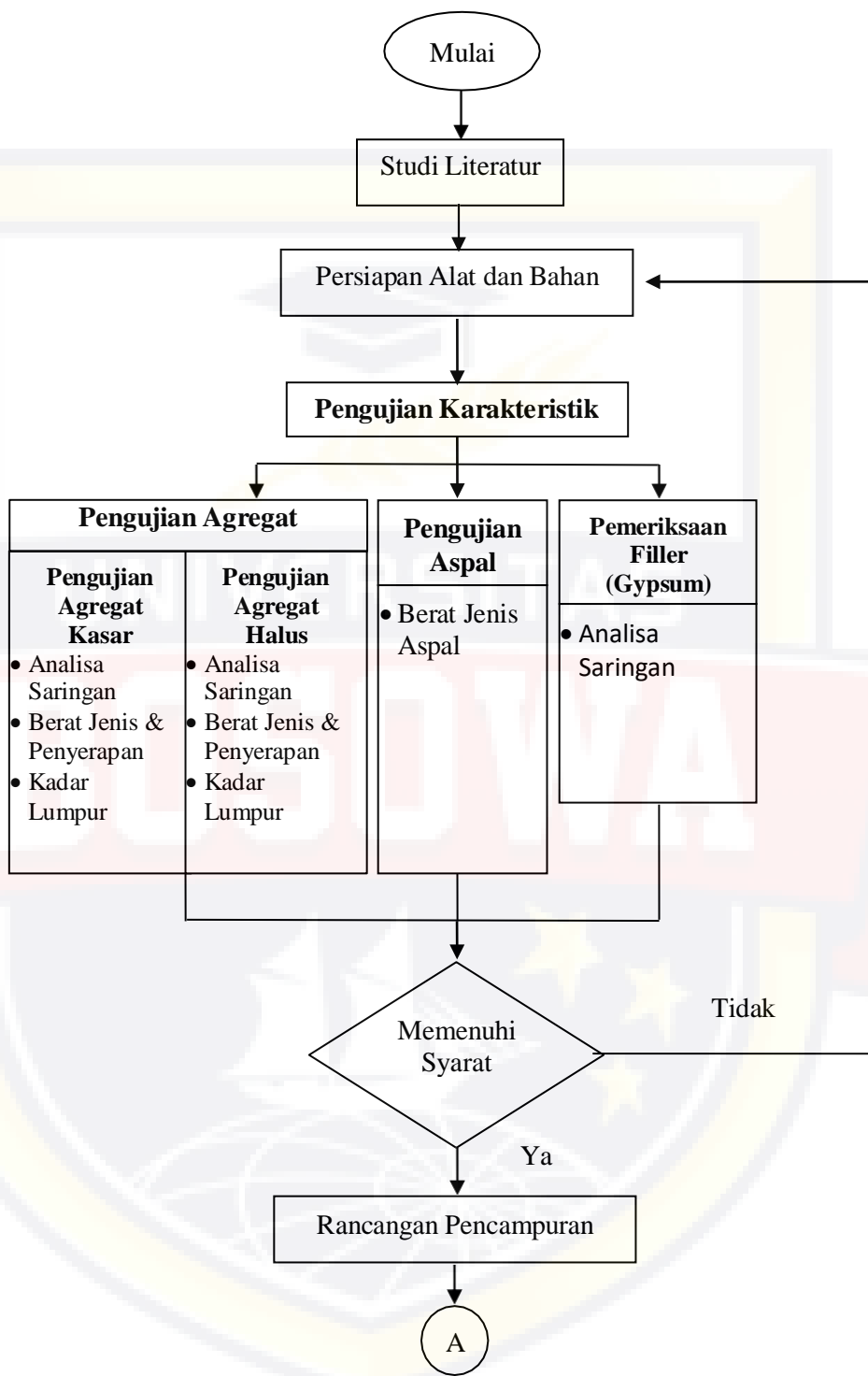
## BAB III

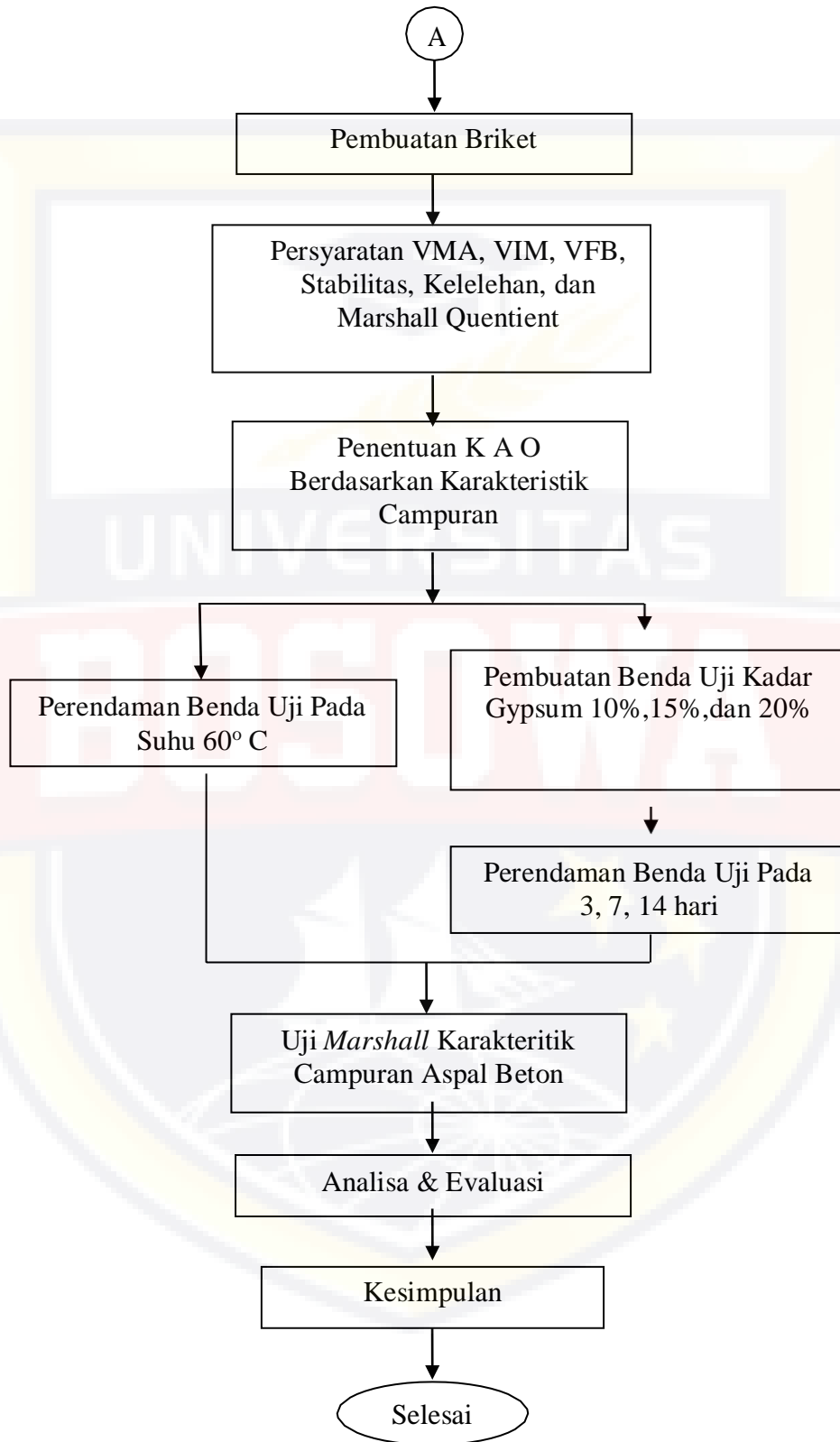
### METODE PENELITIAN

#### 3.1 Bagan Alur Penelitian









Gambar 3. 1 Diagram Alir Penelitian

### **3.2 Lokasi Material**

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah agregat kasar ( Batu Pecah 1-2 dan Batu Pecah 0,5-1 ) dan Agregat Halus ( Abu Batu ), bahan bakunya diperoleh dari Bili-bili, Kab. Gowa - Sulawesi Selatan dan Limbah gypsum diperoleh dari sisa – sisa bangunan konstruksi

### **3.3 Lokasi Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Bosowa Makassar

### **3.4 Waktu Pelaksanaan**

Waktu Pelaksanaan penelitian ini dilakukan pada bulan September 2021

### **3.5 Persiapan Peralatan dan Pengambilan Sampel**

Pada pemeriksaan ini penulis menggunakan metode persyaratan yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderall Bina Marga, yaitu Manual Pemeriksaan Bahan Jalan (MPBJ).

#### **3.5.1. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus**

##### **i. Tujuan**

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir agregat kasar dengan menggunakan satu set saringan.

b. Peralatan :

1. Timbangan
2. Satu set saringan ditambah PAN
3. Talam dan Kuas
4. Oven

c. Bahan :

Abu Batu, Semen, dan Gypsum sebagai bahan tambah filler

d. Prosedur kerja :

1. Masing-masing benda uji dibagi dengan menggunakan alat Splitter sampai mendapat pembagian sesuai kebutuhan.
2. Kemudian saringan disusun sesuai spesifikasi.
3. Lalu masing-masing benda uji tersebut baik Batu Pecah 1-2, Batu Pecah 0,5-1, Abu Batu maupun semen dimasukkan kedalam saringan, lalu dilakukan penyaringan sampai tidak ada lagi yang lolos pada tiap-tiap saringan.
4. Setelah itu saringan diangkat dan dibuka lalu ditimbang berat masing-masing agregat yang tertahan pada saringan tersebut.

e. Rumus :

$$\% \text{ tertahan per saringan} = \frac{\text{Jumlah Kumulatif Tertahan}}{\text{Total Agregat}} \times 100 \dots\dots(3.1)$$

$$\% \text{ lolos} = 100\% - \% \text{ tertahan per saringan} \dots\dots\dots(3.2)$$

### 3.5.2 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (Bulk), berat jenis permukaan jenuh (Saturated Surface Dry = SSD), berat jenis semu (Apparent) dan prosentase air yang dapat diserap terhadap berat agregat kasar.

b. Peralatan :

1. Timbangan dengan kapasitas 20 kg
2. Keranjang kawat ukuran 3.35 mm atau 2.36 mm (No.6 atau No.8)
3. Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai ukuran material
4. Alat penggantung keranjang
5. Oven
6. Bak Perendam
7. Lap Kasar

c. Benda Uji :

1. Batu Pecah 2 - 3
2. Batu Pecah 1 - 2
3. Batu Pecah 0,5 - 1

d. Prosedur Kerja :

1. Rendam benda uji selama  $\pm 24$  jam.
2. Keluarkan benda uji dari bak perendam dan keringkan dengan dilap agar air pada permukaan hilang, tetapi harus masih tampak lembab (Kondisi SSD).
3. Kemudian ditimbang untuk mendapatkan kering permukaan jenuh ( $B_j$ ).
4. Masukkan benda uji kedalam keranjang kemudian dicelupkan kedalam air lalu timbang, sehingga didapatkan berat dalam air ( $B_a$ ).
5. Keluarkan benda uji dari dalam keranjang, kemudian keringkan dalam oven selama  $\pm 24$  jam.
6. Keluarkan benda uji dari dalam oven, biarkan dalam suhu ruangan hingga dingin kemudian timbang, sehingga didapat berat benda uji kering ( $B_k$ ).

e. Rumus :

$$\text{Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)} = \frac{B_k}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.3)$$

$$\text{Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD)} = \frac{B_j}{B_j - B_a} \dots\dots\dots(3.4)$$

$$\text{Berat Jenis Semu (Apparent)} = \frac{B_k}{B_k - B_a} \dots\dots\dots(3.5)$$

$$\text{Penyerapan (Absorption)} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots(3.6)$$

### 3.5.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis semu (*Apparent*) dan penyerapan dari agregat halus.

b. Peralatan :

1. Talam
2. Kerucut terpancung (Cone)
3. Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata
4. Saringan No.4
5. Piknometer
6. Pompa hampa udara (Vaccum Pump)
7. Air Suling
8. Timbangan
9. Oven

c. Benda Uji :

Agregat yang lolos saringan No.8

d. Prosedur Kerja :

1. Rendam benda uji selama 24 jam.
2. Buang air perendam hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat diatas talang, keringkan diudara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji. Lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.

3. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji kedalam kerucut terpacung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpacung. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
4. Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan benda uji kedalam piknometer. Masukkan air suling kedalam piknometer kira-kira  $\frac{3}{4}$  bagian, putar sambil guncang sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya. Untuk mempercepat proses ini dipergunakan pompa hampa udara.
5. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
6. Timbang piknometer berisi air dan benda uji (Bt)
7. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu  $110^{\circ}\text{C}$ , kemudian dinginkan benda uji lalu timbang (BK).
8. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukuran suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar  $25^{\circ}\text{C}$  (B).

e. Rumus :

$$\text{Berat Jenis (Bulk Specific Gravity)} = \frac{BK}{B+SSD-Bt} \dots\dots(3.8)$$

$$\text{Berat jenis kering permukaan jenuh (SSD)} = \frac{SSD}{B+SSD-Bt} \dots\dots(3.9)$$

$$\text{Berat jenis semu (Appernt Specific Gravity)} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \dots\dots(3.10)$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(SSD-Bk)}{Bk} \times 100\% \dots\dots\dots(3.11)$$



keterangan :

BK = Berat contoh kering oven

B = Berat picnometer + air

BT = Berat picnometer + air + benda uji

### 3.5.4 Pemeriksaan Abrasi

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui angka keausan tersebut yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan no.12 (1,7 mm) terhadap berat semula, dalam persen.

b. Peralatan :

1. Mesin Los Angeles dengan 500 putaran
2. Saringan 12,5 mm, 9,5 mm dan saringan 2,36 mm
3. Bola baja sebanyak 6 buah untuk gradasi D
4. Timbangan digital, ketelitian 0,001 gr
5. Oven
6. Wadah
7. Stopwatch

c. Benda Uji :

Agregat yang lolos saringan 37,5 mm ( 1 ½") sebanyak 5000 gr

d. Prosedur Kerja :

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles.
2. Ambil agregat kasar sebanyak 5000 gr, yaitu agregat yang lolos

saringan 12,5 mm dan tertahan saringan 9,5 mm.

3. Cuci agregat tersebut hingga bersih dan oven selama 24 jam, dan setelah dioven dinginkan agar suhunya sama dengan suhu ruangan.
4. Setelah dingin masukkan benda uji kedalam mesin Los Angeles dan 6 buah bola baja.
5. Nyalakan mesin dengan kecepatan putaran 30 – 33 rpm yaitu sekitar 500 putaran selama 15 menit.
6. Setelah selesai keluarkan agregat dari mesin los angeles dan saring dengan menggunakan saringan 2,36 mm.
7. Timbang berat agregat yang lolos dan tertahan saringan 2,36 mm tersebut.
8. Lakukan pengolahan data.

e. Rumus :

$$\frac{w_1 - w_2}{w_1} \times 100\%$$

Keterangan :

W1 = Berat benda uji semula

W2 = Berat benda uji tertahan saringan no. 12

### 3.5.5 Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar

#### a. Tujuan

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kandungan lumpur/ lempung dalam agregat.

#### b. Peralatan / Bahan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
2. Cawan / Talam
3. Agregat kasar ( kerikil)
4. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu
5. Air bersih
6. Saringan no. 200

#### c. Prosedur Percobaan

1. Timbang benda uji (kerikil).
2. Cuci benda uji hingga bersih menggunakan saringan no. 200.
3. Masukkan benda uji yang telah di cuci ke dalam oven pada suhu  $\pm 110^{\circ}$  C selama 24 jam.
4. Keluarkan benda uji dari dalam oven dan dinginkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian timbang benda uji tersebut.
5. Analisa data.

#### d. Perhitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

Dimana : A = Berat awal (gram)

B = Berat akhir (gram)

### 3.5.6. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus

#### a. Tujuan

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui kandungan lumpur/ lempung dalam agregat.

#### b. Peralatan

1. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gram
2. Cawan / Talam
3. Agregat halus
4. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu
5. Air bersih
6. Saringan no. 200

#### c. Prosedur Percobaan

1. Timbang benda uji (kerikil dan pasir).
2. Cuci benda uji hingga bersih menggunakan saringan no. 200.
3. Masukkan benda uji yang telah di cuci ke dalam oven pada suhu  $\pm 110^{\circ}$  C selama 24 jam.
4. Keluarkan benda uji dari dalam oven dan dinginkan hingga mencapai suhu ruang, kemudian timbang benda uji tersebut.
5. Analisa data.

#### d. Perhitungan

$$\text{Kadar lumpur} = \frac{(A - B)}{A} \times 100$$

Dimana : A = Berat awal (gram)

B = Berat akhir (gram)

### 3.6 Pemeriksaan Aspal

#### 3.6.1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis aspal dengan menggunakan piknometer. Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

b. Peralatan :

1. Termometer
2. Bak perendam
3. Piknometer
4. Air suling sebanyak 1000 cm<sup>3</sup>
5. Timbangan.

c. Benda uji :

Aspal Minyak

d. Prosedur Kerja :

1. Timbang piknometer kosong dalam keadaan bersih dan kering.
2. Mengisi bejana dengan air suling sehingga diperkirakan bagian atas piknometer yang terendam 40 mm, kemudian rendam dan jepitlah bejana tersebut dalam bak perendam sekurang-kurangnya 100 mm, kemudian mengatur suhu bak perendaman pada suhu 25°C.

3. Bersihkan, keringkan dan timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg, (A).
4. Angkat bejana dari bak perendam dan isilah piknometer dengan air suling kemudian tutuplah piknometer tanpa ditekan.
5. Letakkan piknometer kedalam bejana dan tekanlah penutup sehingga rapat, kembalikan kedalam bejana berisi piknometer kedalam bak perendam, diamkan bejana tersebut kedalam bak perendam selama 30 menit (B).
6. Panaskan contoh bitumen/aspal sejumlah  $\pm 100$  gram, sampai menjadi cair dan aduklah untuk mencegah pemanasan setempat, pemanasan tidak boleh lebih dari 30 menit atau pada suhu  $111^{\circ}\text{C}$  diatas titik lembek aspal.
7. Tuang benda uji tersebut kedalam piknometer hingga terisi  $\frac{3}{4}$  bagian kemudian biarkan piknometer hingga dingin tidak kurang dari 40 menit, lalu menimbang dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg (C).
8. Isi piknometer yang berisi benda uji dengan air suling dan diamkan agar gelembung-gelembung udara keluar kemudian tekan penutupnya hingga rapat.
9. Masukkan bejana kedalam bak perendam dan diamkan selama 30 menit.
10. Angkat dan keringkan lalu timbang piknometer (D).

e. Rumus yang digunakan :

$$\text{Berat jenis aspal} = \frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)} \dots \dots \dots (3.13)$$

Keterangan :

$\delta$  = berat jenis aspal

A = berat piknometer (dengan penutup) (gram)

B = berat pinometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi aspal (gram)

D = berat pinometer berisi aspal dan air (gram)

### 3.6.2 Pemeriksaan Daktilitas

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal minyak sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

b. Peralatan :

1. Termometer
2. Cetakan daktilitas kuningan
3. Pelat alat cetakan
4. Bak perendam
5. Mesin uji daktilitas
6. Alat pemanas, untuk mencairkan aspal keras
7. Spatula

c. Benda Uji :

Aspal Minyak, Glyserin

d. Prosedur Kerja :

1. Lapisi cetakan dengan campuran *Glyserin* kemudian memasang cetakan daktalitas diatas pelat dasar.
2. Tuang bahan uji kedalam cetakan dari ujung ke ujung hingga penuh berlebih.
3. Dinginkan cetakan pada suhu ruang selama 30-40 menit lalu ratakan dengan spatula.
4. Rendam di dalam bak perendam yang bersuhu 25°C selama 30 menit.
5. Lepaskan benda uji dari pelat dasar dan sisi-sisi cetakan.
6. Pasang benda uji pada mesin uji dan tarik dengan kecepatan 5 cm/menit sampai benda uji putus.
7. Baca jarak antara pemegang benda uji pada saat benda uji putus (cm).

### 3.6.3 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan penetrasi aspal keras atau lembek (*Solid Atau Semi Solid*) dengan memasukkan ukuran 100 gram, beban dan waktu tertentu dalam aspal pada suhu 25°C.



b. Peralatan :

1. Alat penetrasi
2. Pemegang jarum
3. Jarum penetrasi
4. Pemberat
5. Cawan
6. Bak perendam (*water Bath*)
7. Bak / Tempat air
8. Pengatur waktu (*stopwatch*)
9. Termometer Logam

c. Benda Uji :

Aspal Minyak

d. Prosedur Kerja :

1. Letakkan benda uji dalam tempat air yang kecil dan masukkan tempat air tersebut dalam bak perendam yang telah berada pada suhu 25°C.
2. Letakkan pemberat 100 gram diatas jarum untuk memperoleh beban sebesar  $(110 \pm 0.1)$  gram, ujung jarum harus berbentuk kerucut terpancung.
3. Pindahkan tempat air dari bak perendam tepat dibawah alat penetrasi.
4. Turunkan jarum perlahan-lahan sehingga jarum tersebut menyentuh permukaan benda uji. Kemudian aturlah angka 0 di arloji penetrometer, sehingga jarum penunjuk berimpik dengannya.

5. Lepaskan pemegang jarum.
6. Putarlah arloji penetrometer dan bacalah angka penetrasi yang berimpit dengan jarum penunjuk.
7. Lepaskan jarum dari pemegang jarum dan siapkan alat penetrasi untuk pekerjaan berikutnya.
8. Lakukan pekerjaan 1 sampai dengan 6 diatas tidak kurang dari 3 kali untuk benda uji yang sama dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan berjarak satu sama lain dan dari tepi dinding lebih dari 1 cm.

#### **3.6.4. Pemeriksaan Viskositas**

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan temperatur pencampuran dan temperatur pematangan.

b. Peralatan :

1. Satu set alat viskositas
2. Termometer
3. Labu viskositas

c. Benda Uji :

Aspal Minyak

d. Prosedur Kerja :

1. Panaskan benda uji pada suhu 120°C
2. Tuangkan benda uji kedalam tabung viskositas (*suhu pemanasan aspal harus sama dengan suhu aspal didalam tabung viskositas*)

3. Buka karet penyumbat dari tabung viskositas dan mulai menyalakan stopwatch saat benda uji menyentuh dasar labu viskositas.
4. Matikan stopwatch apabila benda uji tepat pada garis batas labu viskositas.
5. Catat waktu air (t) dalam detik.
6. Tutup kembali lubang viskositas dengan karet penyumbat.
7. Ulangi percobaan dari poin 1- 6 untuk suhu 140°, 160°C dan 180°C.

### **3.6.5 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar**

#### **a. Tujuan :**

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua jenis hasil aspal minyak bumi.

Titik nyala adalah suhu pada saat terlihat nyala singkat pada suhu titik diatas permukaan aspal.

Titik bakar adalah suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik permukaan aspal.

#### **b. Peralatan :**

1. Termometer
2. Cawan Cleveland Open Cup
3. Plat pemanas
4. Batang nyala Bunsen yang dapat diatur dan memberikan nyala dengan diameter 3.2-4.8 mm dengan panjang tabung 7.5 cm.

c. Benda Uji :

Aspal Minyak

d. Prosedur Kerja :

1. Letakkan cawan diatas plat pemanas dan atur sumber pemanas sehingga terletak dibawah titik tengah cawan.
2. Letakkan pembakar dititik tengah cawan
3. Letakkan thermometer tegak lurus diatas benda uji dengan jarak 6.4 mm diatas cawan, dan terletak pada satu garis yang menghubungkan titik tengah cawan dan titik poros nyala burner. Kemudian aturlah sehingga poros thermometer terletak pada jarak  $\frac{1}{4}$  diameter cawan dari tepi.
4. Nyalakan Bunsen dan atur pemanas sehingga kenaikan suhu temperatur  $15^{\circ}\text{C}$  permenit sampai suhu  $56^{\circ}\text{C}$  dibawah titik nyala perkiraan.
5. Aturlah kecepatan pemanasan  $5^{\circ}\text{C} - 6^{\circ}\text{C}$ .
6. Putar bagian nyala Bunsen melalui permukaan cawan (dari ketepi cawan) dalam waktu 1 detik. Ulangi pekerjaan diatas tiap kenaikan temperatur  $2^{\circ}\text{C}$ .
7. Ulangi prosedur 5-6 sampai terlihat nyala singkat pada suhu titik diatas permukaan benda uji. Baca temperatur dan catat titik nyala yang terjadi.

8. Lanjutkan prosedur 7 sampai terlihat nyala agak lama kurang lebih 3 detik diatas permukaan benda uji. Baca temperatur dan catat titik bakar.

#### **3.6.6. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal**

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa temperatur pada saat dimana aspal menjadi lunak atau lembek.

b. Peralatan :

1. Termometer
2. Cincin Kuningan
3. Bola Baja
4. Bejana gelas tahan panas dengan ketinggian 12 cm
5. Kaca
6. Dudukan benda uji
7. Detergen/Sabun

c. Benda Uji :

Aspal Minyak

d. Prosedur Kerja :

1. Pasang dan atur benda uji diatas kedua kedudukannya dan letakkan pengarah bola keatasnya. Kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut kedalam bejana gelas. Isi bejana dengan air suling dengan suhu 5°C dan tinggi permukaanair berkisar antara 101.6 – 108 mm, letakkan thermometer yang sesuai untuk

pekerjaan ini diantara kedua benda uji. Atur jarak antara permukaan pelat dasar dengan dasar benda uji sehingga menjadi 25.4 mm.

2. Panaskan bejana sehingga kenaikan suhu menjadi 5°C/menit.
3. Catat suhu dan waktu pada saat bola menyentuh pelat dasar.

### **3.7 Pemeriksaan Limbah Gypsum**

a. Tujuan :

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menghaluskan limbah gypsum

b. Peralatan :

1. Palu
2. Wadah
3. Saringan no.200

c. Benda Uji :

Limbah Gypsum

d. Prosedur Kerja :

1. Kumpulkan limbah Gypsum
2. Haluskan limbah Gypsum tersebut agar dapat tercampur dengan aspal secara homogen

### **3.8 Penentuan Jumlah dan Persiapan 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.

### 3.8.1 Penentuan Jumlah Benda Uji

Banyaknya benda uji yang dibuat untuk kebutuhan penelitian ini, dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Perhitungan benda Uji

Uraian kegiatan pengujian					Jumlah	
1. Penentuan Kadar Aspal Optimum						
Variasi Kadar Aspal (%)				Jumlah Benda Uji	Jumlah	
AC-WC				AC-WC		
5		3		3	3	
5.5		3		3	3	
6		3		3	3	
6.5		3		3	3	
7		3		3	3	
2. Pengujian stabilitas (60 <sup>0</sup> )					Jumlah	
Kadar Aspal (%)	Waktu (Menit/jam)			AC-WC		
Optimum	30 Menit			3	3	
Optimum	24 Jam			3	3	
3. Variasi Penambahan Gypsum					Jumlah	
Kadar Aspal (%)	Kadar Gypsum (%)	Siklus (hari)				AC-WC Gypsum
Optimum	10	3	7	14	3	6
Optimum	15	3	7	14	3	6
Optimum	20	3	7	14	3	6
<b>Total Benda Uji</b>					<b>39</b>	

### 3.8.2 Perancangan Agregat Gabungan

Perancangan agregat gabungan adalah penentuan proporsi masing-masing gradasi agregat kemudian digabung dalam satu campuran. Merancang proporsi campuran dapat dilakukan dengan metode grafis diagonal.

Langkah-langkah perancangan proporsi campuran adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui persyaratan gradasi yang diminta
2. Buatlah empat persegi panjang pada kertas grafik dengan ukuran 10x20 cm, atau ukuran lain dengan perbandingan 1: 2
3. Sumbu datar (X) digunakan untuk menunjukkan ukuran saringan, sumbu vertical (Y) digunakan untuk menunjukkan persen lolos saringan.
4. Garis diagonal dari empat persegi panjang menjadi garis gradasi tengah untuk spesifikasi agregat campuran yang diinginkan.
5. Masukkan prosentase lolos saringan masing-masing material kedalam grafik tersebut.
6. Untuk menentukan presentase Batu Pecah1-2, dilihat dari jarak antara grafik gradasi Batu Pecah 0,5-1 terhadap tepi atas yang mana nilainya harus sama dengan nilai Batu Pecah 1-2.
7. Setelah didapatkan garis yang sama maka tariklah garis bantu vertical sampai memotong diagonal yang kemudian dari titik potong ini ditarik garis horizontal kekanan yang menunjukkan batas besarnya nilai prosentase komposisi campuran untuk Batu Pecah 1-2.
8. Dengan cara yang sama pada No.6 dan No.7 didapat nilai prosentase komposisi campuran untuk Batu Pecah 0,5-1 dan abu batu. Setelah diperoleh proporsi dari setiap jenis gradasi agregat dibuat suatu tabel hasil analisa gabungan agregat, dimana presentase masing-masing gradasi yang akan digunakan diperoleh



dari hasil perkalian dengan presentase lolos untuk masing-masing nomor saringan lalu dikontrol apakah gradasi hasil gabungan tersebut memenuhi spesifikasi yang diisyaratkan.

### 3.8.3 Pembuatan Benda Uji

#### a. Peralatan :

1. Timbangan
2. Panci
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)

Rumus umum untuk menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) pada campuran adalah :

$$Pb = 0,035 (\% \text{Agregat Kasar}) + 0,045 (\% \text{Agregat Halus}) + 0,18 (\% \text{mineral aspal}) + K.$$

Dimana :

$P_b$  = Kadar aspal perkiraan

$K$  = Nilai konstanta 0,5-1,0

3. Timbang masing-masing agregat dan aspal sesuai dengan presentase gabungan yang didapat.
4. Panaskan agregat dengan menggunakan panis sampai suhu  $165^{\circ}\text{C}$
5. Tuangkan gypsum dan aspal penetrasi 60/70 aduk sampai merata
6. Kemudian tuangkan Gypsum dan aspal tersebut kedalam campuran agregat yang berada dalam wajan sesuai dengan jumlahnya dan kemudian aduk sampai menyatu secara baik.
7. Ukur temperatur pemadatan yaitu  $155^{\circ}\text{C}$  lalu masukkan campuran kedalam cetakan.
8. Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak  $2 \times 75$  kali tumbukan, lalu dinginkan untuk kemudian dikeluarkan dari cetakan.

### **3.9 Pengetesan Benda Uji 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 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  $60^{\circ}\text{C}$  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.

## 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, dan limbah gypsum yang diperoleh dari sisa pekerjaan konstruksi.

##### 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	56,62	100,00	100,00	100
3/8"	9,5	29,53	89,96	100,00	100
No.4	4,75	4,47	50,58	99,68	100
No. 8	2,36	0,99	21,12	90,50	100
No. 16	1,18	0,86	6,85	72,96	100
No. 30	0,6	0,84	2,73	5848	100
No. 50	0,3	0,77	2,52	39,22	100
No.100	0,14	0,73	1,92	21,43	100
No.200	0,075	0,47	1,79	6,86	95.16

Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium

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

Rumus:

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

Keterangan :

Bk = Berat benda kering oven

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD)

Ba = 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	2.63	-	-
2. SSD		2.68	-	-
3. Semu		2.77	Min 2,5	-
4. Penyerapan		2.00	Max 3	-
Berat jenis dan penyerapan (batu pecah 0,5-1)				
1. Bulk	SNI 1969:2016	2.66	-	-
2. SSD		2.72	-	-
3. Semu		2.84	Min 2,5	-
4. Penyerapan		2.33	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	2.86	-	Gram
2. SSD		2.95	-	Gram
3. Semu		3,12	Min 2,5	Gram
4. Penyerapan		2.90	Max 3	Gram

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

#### 4.1.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal

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 4.4. 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	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 dan campuran Aspal Dingin 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 dan campuran aspal dingin (*AC-WC Standar*) berdasarkan hasil perhitungan pada lampiran adalah:

- Batu Pecah 1 - 2 = 20%
- Batu Pecah 0,5-1 = 45%
- Abu Batu = 34%
- Filler = 1%

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

$$\begin{aligned} \text{Gradasi Penggabungan Agregat} &= \frac{\text{Komposisi Camp.}}{100} \times a + \\ & \frac{\text{Komposisi Camp.}}{100} \times b + \frac{\text{Komposisi Camp.}}{100} \times c + \frac{\text{Komposisi Camp.}}{100} \times d \\ &= \frac{20}{100} \times 100 + \frac{45}{100} \times 100 + \frac{34}{100} \times 100 + \frac{1}{100} \times 100 \\ &= 100\% \end{aligned}$$

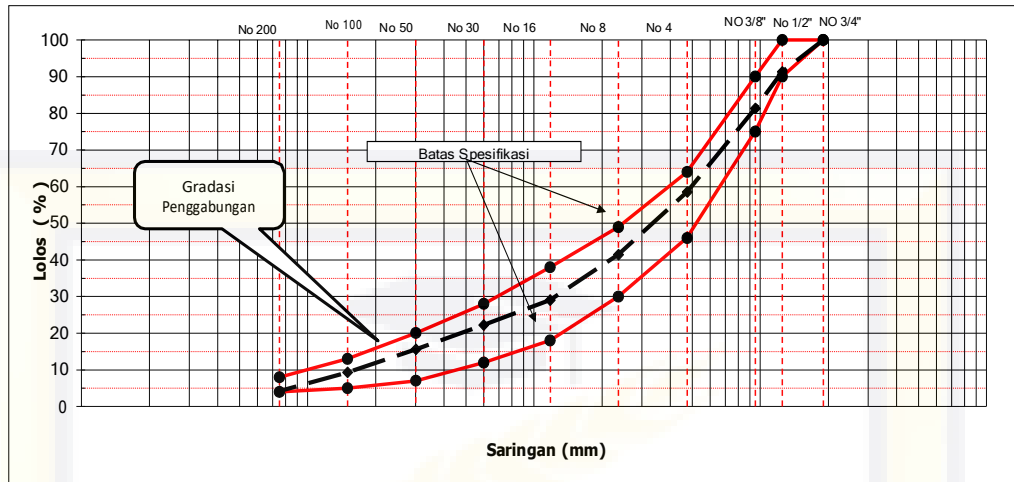
Selanjutnya untuk nilai persentase agregat gabungan untuk campuran aspal panas dan Campuran aspal dingin (*AC-WC*) berdasarkan hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran.



**Tabel 4.5. Rancangan Campuran 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	
3/4"	100.0	100.0	100.0	100	<b>100.00</b>		<b>100</b>
1/2"	56,62	100.0	100.0	100	<b>91.32</b>		<b>90-100</b>
3/8"	29,53	89,96	100.0	100	<b>81,39</b>		<b>77-90</b>
#4	4,47	50,58	99,68	100	<b>58,55</b>		<b>53-69</b>
#8	0,99	21,12	90,50	100	<b>41,47</b>		<b>33-53</b>
#16	0,86	6,85	72,96	100	<b>29,06</b>		<b>21-40</b>
#30	0,84	2,73	58,48	100	<b>22,28</b>		<b>14-30</b>
#50	0,77	2,52	39,22	100	<b>15,62</b>		<b>9-22</b>
#100	0,73	1,92	21,43	100	<b>9,30</b>		<b>6-15</b>
#200	0.47	1.79	6,86	95.16	<b>4,18</b>		<b>4-9</b>
<b>Komposisi Penggabungan Agregat (%)</b>							
a. Batu pecah 1 - 2					<b>20</b>		
b. Batu pecah 0,5 - 1					<b>45</b>		
c. Abu batu					<b>34</b>		
d. Filler					<b>1</b>		
Total Luas Permukaan Agregat					<b>5,17</b>		
(M <sup>2</sup> /Kg)							

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

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0.035 (\text{Ag. Kasar}) + 0.045 (\text{Ag. Halus}) + 0.18 (\text{Filler}) + K \\
 &= 0.035 (58,53) + 0.045 (37,29) + 0.18 (4,18) + 0,75 \\
 &= 5,23 \% \rightarrow 6 \%
 \end{aligned}$$

Keterangan :

Agregat Kasar = #3/4" - #8

Agregat Halus = #8 - #200

$$= 100 - 41,47$$

$$= 41,47 - 4,18$$

$$= 58,53$$

$$= 37,29$$

Filler = #200

$$= 4,18$$

Kadar aspal yang didapatkan adalah 6 %, dengan mengambil dua kadar aspal dibawah dan dua kadar aspal diatas menggunakan interval 6% maka nilai tersebut adalah 5,0 % ; 5,5 % ; 6 % ; 6,5 % ; 7%.

#### 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 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**

<b>Kadar Aspal = 5 %</b>		100 % - 5 %		=	95
<b>Hasil Combine</b>					
<b>BP 1- 2</b>	<b>20 %</b>	x	<b>95 %</b>	=	0.19 x 1200 = 228,00
<b>BP 0,5 - 1</b>	<b>45 %</b>	x	<b>95 %</b>	=	0.43 x 1200 = 513,00
<b>Abu Batu</b>	<b>34 %</b>	x	<b>95 %</b>	=	0.32 x 1200 = 387,60
<b>Filler</b>	<b>1 %</b>	x	<b>95 %</b>	=	0.01 x 1200 = 11.40
<b>Aspal</b>	<b>5 %</b>	X			1200 = 60,00
					<b>1200</b>

Ket: Dalam satuan gram

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

Kadar aspal	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
Batu Pecah 1 - 2	228,00	226,80	225,60	224,40	223,20
Batu Pecah 0,5 - 1	513,00	510,30	507,60	504,90	502,20
Abu Batu	387,60	385,56	383,52	381,48	379,44
Semen	11,40	11,34	11,28	11,22	11,16
Berat Aspal Terhadap Campuran	60,00	66,00	72,00	78,00	84,00
Jumlah	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>	<b>1200</b>

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	2,63	2,77	2,70
Batu Pecah 0,5 - 1	2,66	2,84	2,75
Abu batu	2,86	3,12	2,99
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 :

1. Untuk campuran aspal AC-WC

$$\begin{aligned} \text{Bj. Bulk Agregat (G}_{sb}) &= \frac{100}{\left(\frac{20\%}{2,63}\right) + \left(\frac{45\%}{2,66}\right) + \left(\frac{34\%}{2,86}\right)} \\ &= 2,75 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Bj. Semu Agregat (G}_{sa}) &= \frac{100}{\left(\frac{20\%}{2,77}\right) + \left(\frac{45\%}{2,84}\right) + \left(\frac{34\%}{2,12}\right)} \\ &= 2,92 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\text{Bj. Efektif Agregat (G}_{se}) = \frac{2,75 + 2,92}{2} = 2,83 \text{ gram}$$

#### 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.

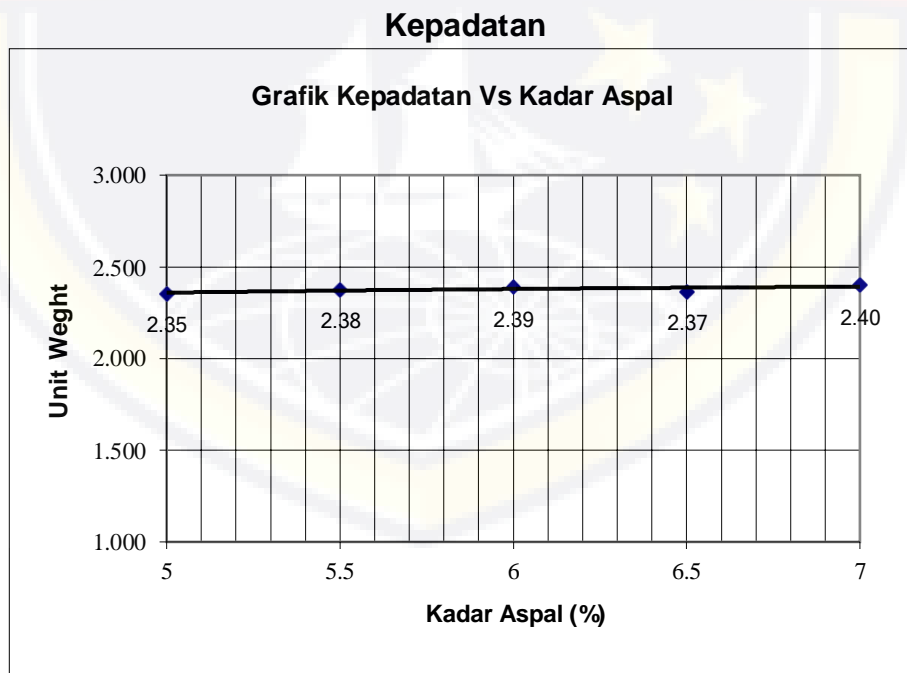
#### 4.3.1. Data Uji Marshall untuk Penentuan KAO Aspal Minyak

Dari hasil pengujian dan perhitungan *marshall* yang telah dilakukan terhadap benda uji untuk campuran AC – WC disajikan pada table di bawah ini :

**Tabel 4.9 Hasil Marshall tes KAO Aspal Minyak**

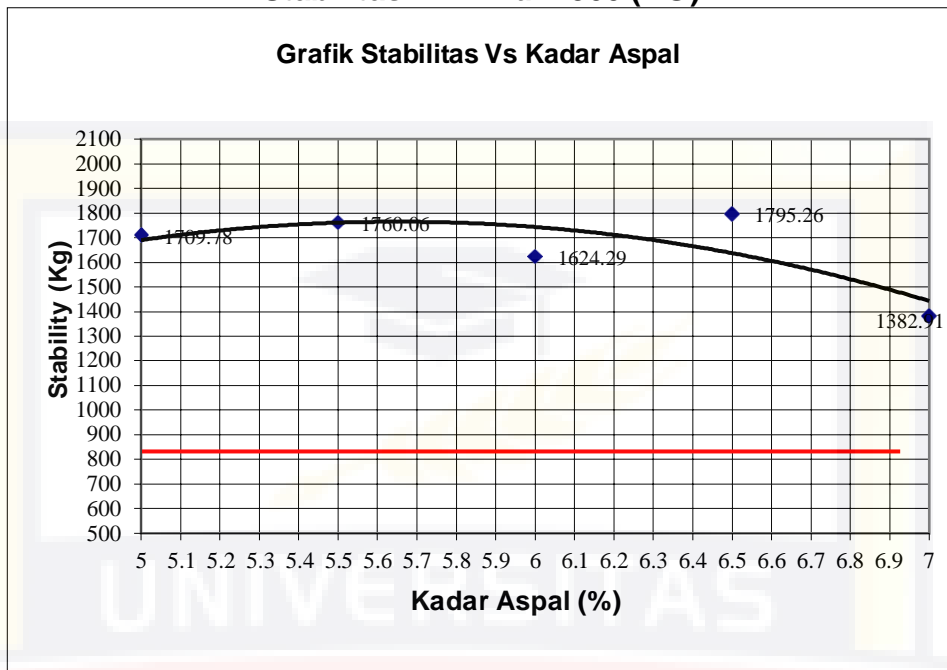
Kadar Aspal %	Hasil Pengujian						
	Kepadatan	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VIM (%)	VMA(%)	VFB (%)
5	2.35	1709.78	2.57	677.4	9.29	18.58	47.04
5,5	2.38	1760.06	3.00	589.8	7.69	18.26	44.82
6	2.39	1624.29	2.53	648.1	6.40	18.23	65.23
6,5	2.37	1795.26	3.07	591.9	4.86	19.48	74.78
7	2.40	1382.91	3.17	443.6	4.46	18.76	75.01

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.



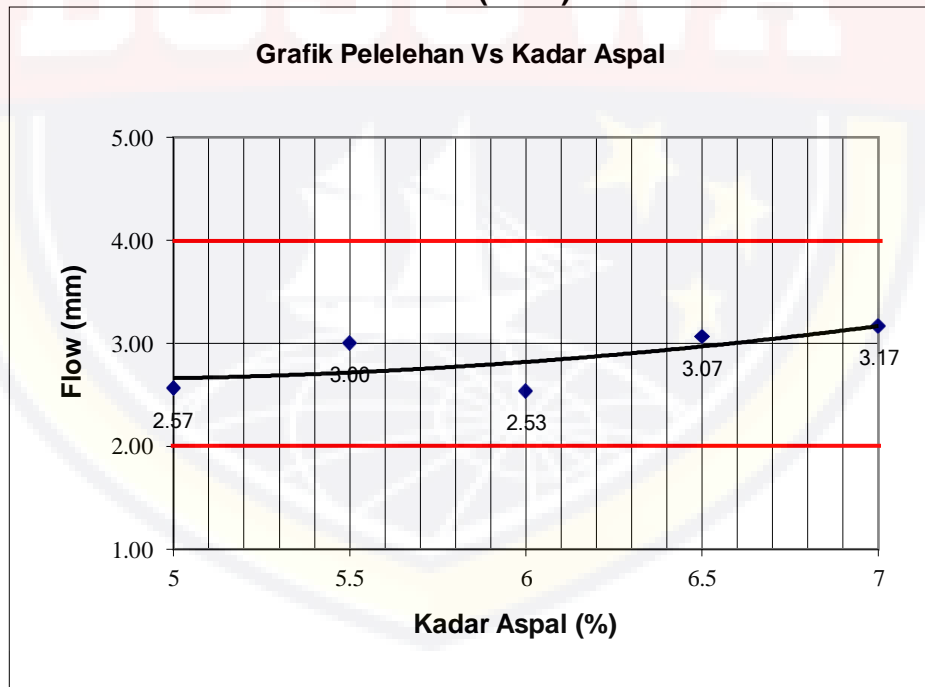
Gambar 4.2.a. Grafik Kepadatan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

### Stabilitas Minimum 800 (KG)



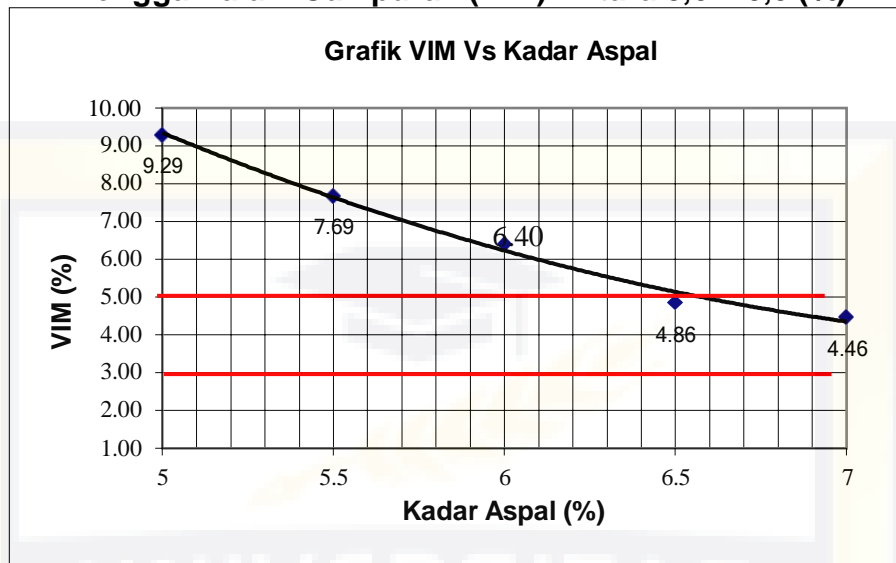
Gambar 4.2.b. Grafik Stabilitas Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

### Pelelehan (Flow) 2-4



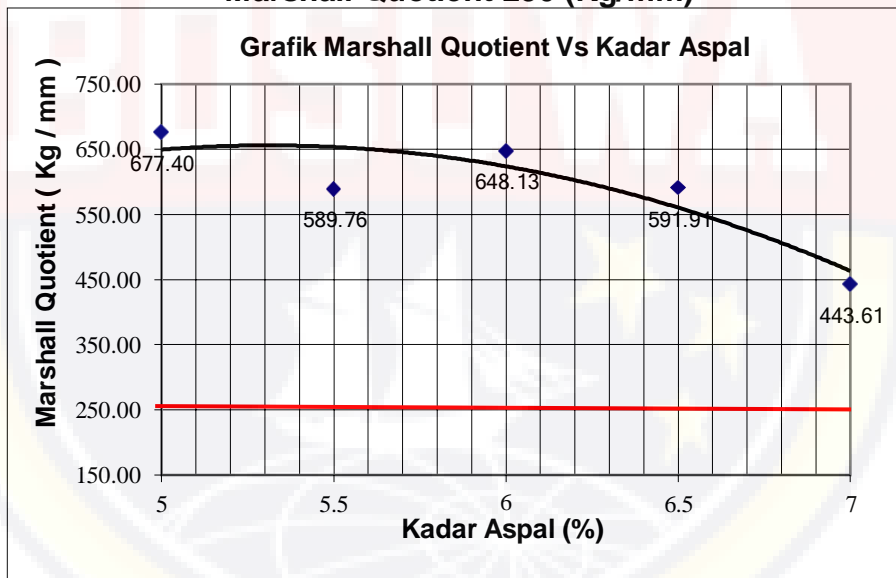
Gambar 4.2.c. Grafik Pelehan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

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



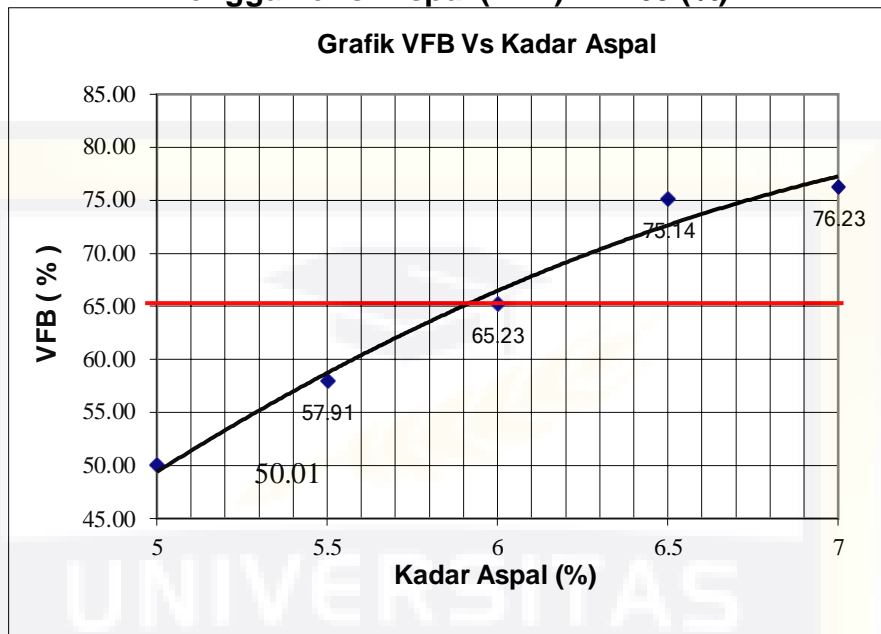
Gambar 4. 2.d. Grafik VIM Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

### Marshall Quotient 250 (Kg/mm)



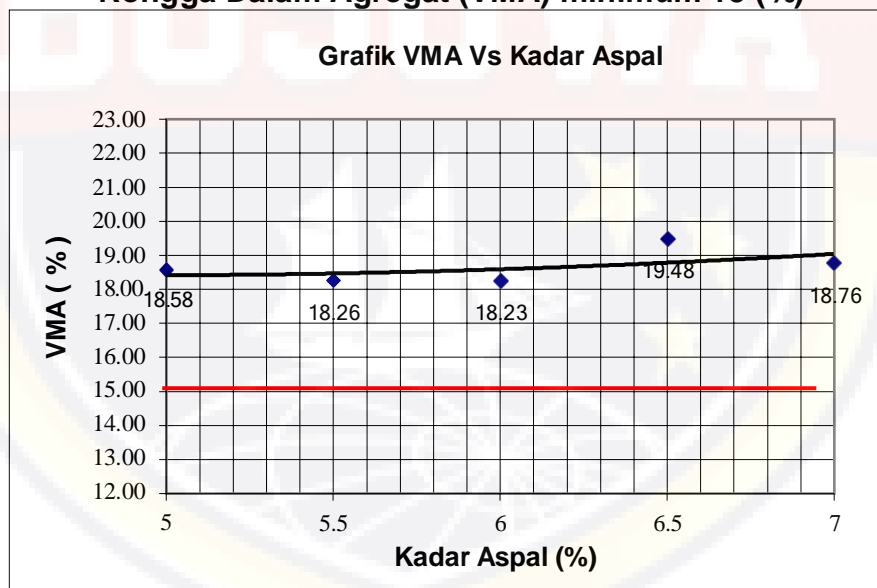
Gambar 4.2.e. Grafik Marshall Quotient Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

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



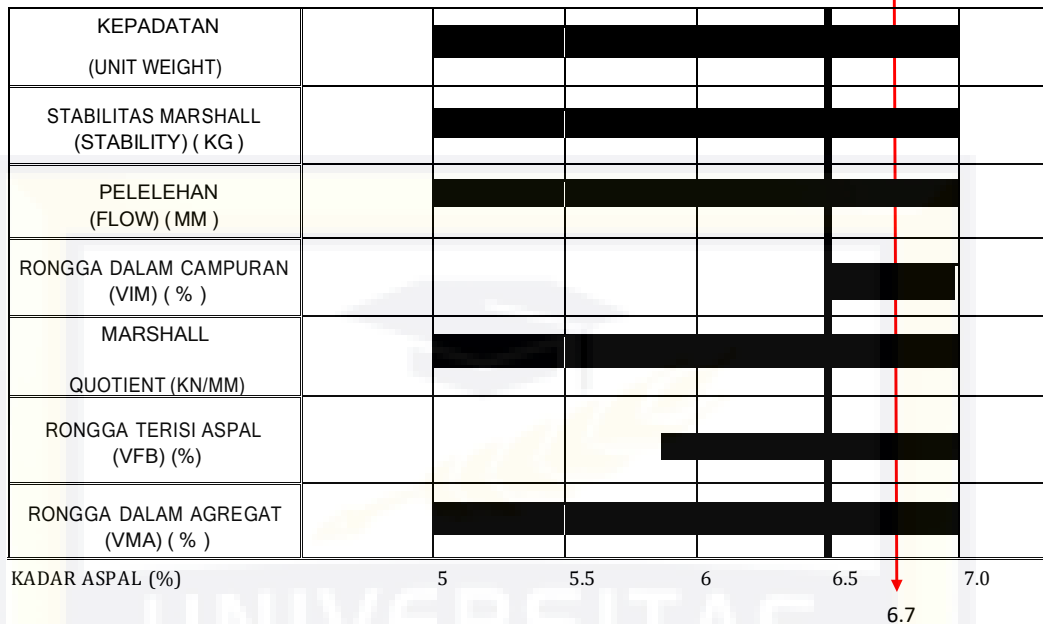
Gambar 4.2.f. Grafik VFB Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

### 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

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{6,5\% + 7\%}{2} = 6,75\% \rightarrow 7\%$$

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.

- c) 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.
- f) Grafik hubungan antara *VMA* terhadap kadar aspal menunjukkan bahwa semakin tinggi persentase kadar aspal maka nilai *VMA* akan semakin tinggi.

**4.4. Pembuatan Benda Uji dengan menggunakan limbah Gypsum**  
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**

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

Untuk campuran *AC - WC* dengan variasi gipsum 10%, 15%, dan 20% pada perendaman berulang, 3 hari, 7 hari dan 14 hari didapat kadar Aspal dan Agregat terhadap kadar Aspal optimum sebagai berikut :

**Tabel 4.10 Komposisi campuran menggunakan variasi Limbah**

**Gypsum**

Kadar Aspal = 7 %		100 %		- 7 %		= 93
Hasil Combine						
Batu Pecah 1-2 cm	20 %	x	93 %	=	0.186 x	1200 = 223.2
Batu Pecah 0.5-1 cm	45 %	x	93 %	=	0.419 x	1200 = 502.2
Abu Batu	34 %	x	93 %	=	0.316 x	1200 = 379.4
Filler	1 %	x	93 %	=	0.009 x	1200 = 11.16
Gypsum			10 %	=	11.16 x	<u>10</u>
						100
				=	1.116	
Semen			90 %	=	11.16 -	1.116
				=	10.04	
Aspal	7 %		X			1200 = 84
						<u>1200</u>

Kadar Aspal = 7 %		100 %		- 7 %		= 93
Hasil Combine						
Batu Pecah 1-2 cm	20 %	x	93 %	=	0.186 x	1200 = 223.2
Batu Pecah 0.5-1 cm	45 %	x	93 %	=	0.419 x	1200 = 502.2
Abu Batu	34 %	x	93 %	=	0.316 x	1200 = 379.4
Filler	1 %	x	93 %	=	0.009 x	1200 = 11.16
Gypsum			15 %	=	11.16 x	<u>15</u>
						100
				=	1.674	
Semen			85 %	=	11.16 -	1.674
				=	9.486	
Aspal	7 %		X			1200 = 84
						<u>1200</u>

Kadar Aspal = 7 %		100 %		- 7 %		= 93
Hasil Combine						
Batu Pecah 1-2 cm	20 %	x	93 %	=	0.186 x	1200 = 223.2
Batu Pecah 0.5-1 cm	45 %	x	93 %	=	0.419 x	1200 = 502.2
Abu Batu	34 %	x	93 %	=	0.316 x	1200 = 379.4
Filler	1 %	x	93 %	=	0.009 x	1200 = 11.16
Gypsum			20 %	=	11.16 x	<u>20</u>
						100
				=	2.232	
Semen			80 %	=	11.16 -	2.232
				=	8.928	
Aspal	7 %		X			1200 = 84
						<u>1200</u>

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 dan campuran aspal dingin dengan kadar aspal optimum dengan waktu 24 jam. Maksud dari pengujian ini untuk mengetahui ketahanan (*Stabilitas*) terhadap kelelahan plastis (*Flow*) dari campuran aspal tersebut, untuk lebih jelas dapat dilihat pada lampiran.

**Tabel 4.11 Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan perendaman selama 30 menit dan 24 jam pada suhu 60°C.**

No	Pemeriksaan	KAO 7%		Spesifikasi 2018
		Perendaman KAO		
		30 menit	24 jam	
1	Kepadatan	2.40	2.39	-
2	Stabilitas (Kg)	1614,17	1539,67	Min 800
3	Flow (mm)	2,97	3.03	2-4
4	MQ (Kg/mm)	548,93	510,23	Min 250
5	VIM (%)	4,53	4,86	3-5
6	VMA (%)	18,82	19,09	Min 15
7	VFB (%)	75,99	74,58	Min 65

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018 Kementerian PUPR

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

Dari hasil uji marshall dapat diketahui campuran aspal panas dan campuran aspal dingin AC-WC dengan perendaman berulang kedalam campuran aspal AC-WC menggunakan Variasi gipsum 10%, 15% dan 20% dengan perendaman selama 3, 7, dan 14 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:

### C. BJ Bulk Campuran Pemadatan

Rumus :

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

Dimana :

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

**Kadar Aspal 7**  
Sampel I ( Satu ) 10%

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1176.90}{492.90} = 2.39$$

Sampel II ( Dua )

$$\text{BJ Bulk Campuran} : \frac{1176.80}{492.20} = 2.39$$

### B. Volume Benda Uji

Rumus :

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

Dimana :

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

**Kadar Aspal 7**

Sampel I ( Satu ) 10%

$$\text{Volume Benda uji} : 1185.40 - 692.50 = 492.90$$

Sampel II ( Dua )

$$\text{Volume Benda uji} : 1185.10 - 692.90 = 492.20$$

D. % VIM

Rumus :

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

Dimana :

D : BJ Max Campuran (GMM)  
I : BJ Bulk Campuran Pemdatan

Kadar Aspal 7

Sampel I ( Satu ) 10%

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.51 - 2.39)}{2.51} = 4.9 \%$$

Sampel II ( Dua )

$$\% \text{ VIM} = \frac{100 (2.51 - 2.39)}{2.51} = 4.8 \%$$

E. Marshall Quotien ( Kg/mm)

Rumus :

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

Dimana :

L : Stability ( Kg ) Adjust  
M : Flow ( mm )

Kadar Aspal 7

Sampel I ( Satu ) 10%

$$\text{Marshall Quotien ( Kg/mm)} = \frac{1704.56}{3.25} = 524.48 \text{ Kg/mm}$$

Sampel II ( Dua )

$$\text{Marshall Quotien ( Kg/mm)} = \frac{1472.12}{3.55} = 414.68 \text{ Kg/mm}$$

F. VMA

Rumus :

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

Dimana :

I : BJ Bulk Campuran Pemadatan  
B : BJ Bulk Gab  
A : Kadar Aspal

Kadar Aspal 7

Sampel I ( Satu ) 10%

$$\text{VMA} = 100 - \frac{2.39}{2.75} \times 100 - 7.0 = 19.25 \%$$

Sampel II ( Dua )

$$\text{VMA} = 100 - \frac{2.39}{2.75} \times 100 - 7.0 = 19.04 \%$$

**G. VFB**

Rumus :

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

Dimana :

R : Rongga dalam agregat  
J : Rongga dalam campuran

**Kadar Aspal 7**

Sampel I ( Satu ) 10%

$$\text{VFB} = \frac{19.25 - 4.90}{19.25} \times 100 = 74.55 \%$$

Sampel II ( Dua )

$$\text{VFB} = \frac{19.14 - 4.80}{19.14} \times 100 = 75.05 \%$$

**H. Stabilitas**

Rumus :

$$\text{Stabilitas} = k \times \text{Angka koreksi} \times \text{Angka kalibrasi}$$

Dimana :

k : Pembacaan Stabilitas

**Kadar Aspal 7**

Sampel I ( Satu ) 10%

$$110 \times 1.04 \times 14.9 = 1704.56 \text{ Kg}$$

Sampel II ( Dua )

$$95 \times 1.04 \times 14.9 = 1472.12 \text{ Kg}$$

**I. Tebal Film**

Rumus :

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

Dimana :

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

**Kadar Aspal 7**

Sampel I ( Satu ) 10%

$$\frac{1000 \cdot 7 - 5.55}{1.005 \cdot 100 - 7} = 11.64$$

**J. Kadar aspal efektif**

Rumus :

$$\text{kadar Aspal Efektif} = A - \frac{P}{100} \times 100 - A$$

Dimana :

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

**Kadar Aspal 7**

Sampel I ( Satu ) 10%

$$7 - \frac{1.01}{100} \times 100 - 7.0 = 6.06$$

**K. Absorpsi Aspal terhadap berat total campuran**

Rumus :

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

Dimana :

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

**Kadar Aspal 7**

Sampel I ( Satu ) 10%

$$= 7 + \frac{1.005 ( 100 - 7.5 )}{2.73} \cdot \frac{100 \times 1.005}{2.51} = 1.01 \quad 0.9608$$

Untuk perhitungan lainya dapat dilihat pada lampiran.



**Tabel 4.12. Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan perendaman berulang selama 3 hari. kemudian di rendam selama 24 jam pada suhu 60°C.**

No	Pemeriksaan	KAO 7%				Spesifikasi 2018
		Perendaman 3 Hari				
		Kadar Limbah Gypsum				
		KAO 7%	10%	15%	20%	
1	Kepadatan	2.39	2.39	2.34	2.33	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1588.34	1229.10	1199.45	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.40	3.65	4.00	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.84	4.54	4.02	3-5
5	VFB (%)	74.58	74.79	74.59	75.34	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.20	19.25	19.45	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	469.58	324.57	299.23	Min 250

Sumber : Hasil Pengujian Aspal Minyak dan Spesifikasi Bina Marga 2018  
Kementrian PUPR

**Tabel 4.13. Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan perendaman berulang selama 7 hari. kemudian di rendam selama 24 jam pada suhu 60°C**

No	Pemeriksaan	KAO 7 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 7 Hari				
		Kadar Limbah Gypsum				
		KAO 7%	10%	15%	20%	
1	Kepadatan	2.39	2.38	2.34	2.34	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1518.61	1214.35	1206.90	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.55	3.85	3.73	2-4
4	VIM (%)	4.86	5.07	4.90	6.16	3-5
5	VFB (%)	74.58	73.87	68.55	75.78	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.39	20.60	19.14	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	429.29	307.09	312.22	Min 250

Sumber : Hasil Pengujian aspal Minyak dan Spesifikasi Bina Marga 2018  
Kementrian PUPR

**Tabel 4.14. Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan perendaman berulang selama 14 hari. kemudian di rendam selama 24 jam pada suhu 60°C.**

No	Pemeriksaan	KAO 7 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 14 Hari				
		kadar Limbah Gypsum				
		KAO 7%	10%	15%	20%	
1	Kepadatan	2.39	2.37	2.35	2.33	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1306.90	1213.70	1199.45	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.70	3.60	4.00	2-4
4	VIM (%)	4.86	5.44	4.02	6.64	3-5
5	VFB (%)	74.58	72.41	78.55	75.34	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.70	17.72	19.45	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	352.66	334.47	299.23	Min 250

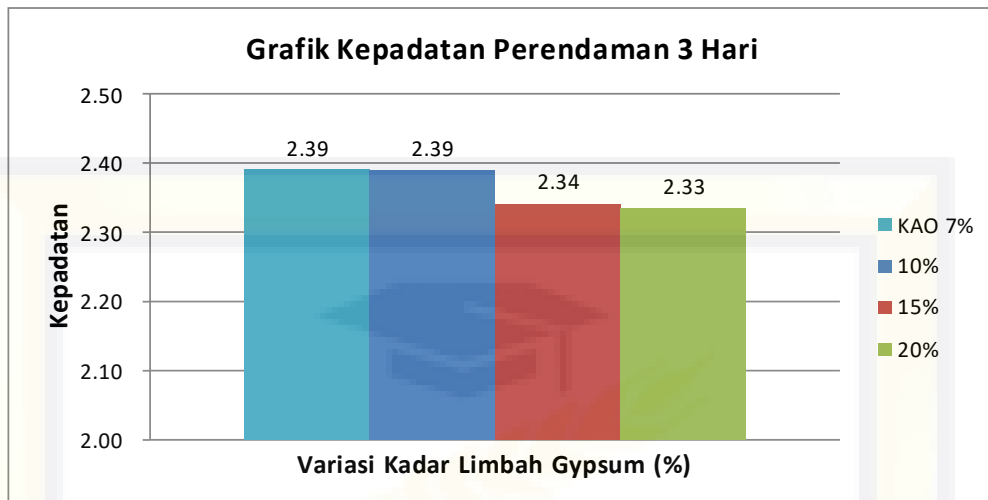
Sumber : Hasil Pengujian aspal Minyak dan Spesifikasi Bina Marga 2018  
Kementrian PUPR

#### 4.4.4 Analisis Hasil Pengujian Aspal Minyak dengan variasi gipsum pada perendaman berulang selama 3 hari

Hasil pengujian campuran Aspal Minyak menggunakan alat uji 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 perendaman berulang, dapat dilihat pada gambar 4.6 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC menggunakan aspal minyak pada kondisi kadar aspal optimum.



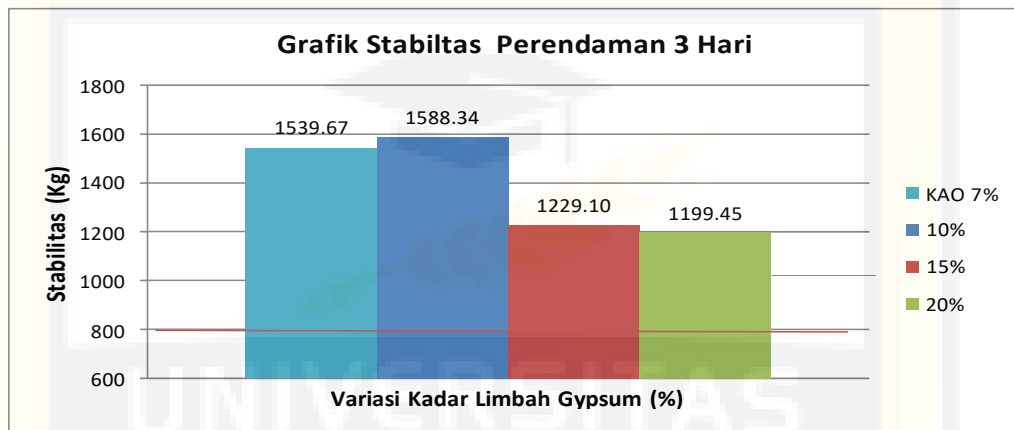
**Gambar 4.4** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.4 dapat dilihat bahwa semakin lama Perendaman yang dilakukan secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai Kapadatan (density), pada KAO 7% adalah 2,39, pada kadar 10% adalah 2,39, pada kadar 15% adalah 2,34 dan pada kadar 20% adalah 2,33 bisa dikatakan nilainya hampir sama. Hal ini disebabkan karena belum dilakukan pemebebanan, dan Gypsum yang mempertahankan daya rekat aspal.

**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 perendaman berulang pada kadar aspal optimum menggunakan aspal minyak diperlihatkan pada gambar 4.5.

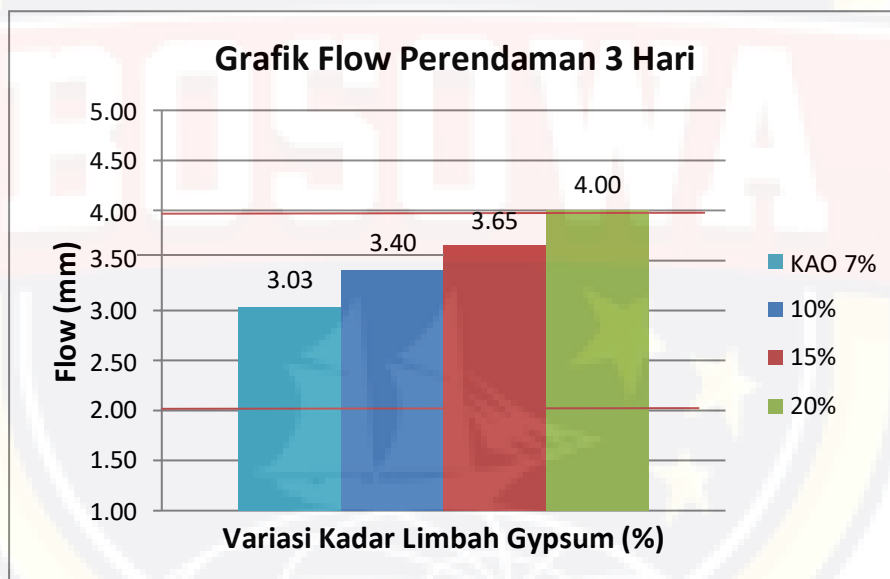


**Gambar 4.5** Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.7. diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang nilai stabilitas mengalami penurunan. Pada nilai KAO 7% adalah 1539,67 Kg, pada kaadar 10% adalah 1588,34 Kg, pada kadar 15% adalah 1229,10 Kg dan nilai pada kadar 20% adalah 1199,45 Kg. Ketika campuran aspal direndam 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, 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 perendaman berulang dengan menggunakan air pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Nilai *Flow* menyatakan besarnya deformasi yang terjadi pada

Dari gambar 4.8. menunjukkan bahwa variasi jumlah tumbukan yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* pada KAO 7% adalah 3.03 mm, pada 10% adalah 3,40 mm, pada 20% adalah 3,65 mm,

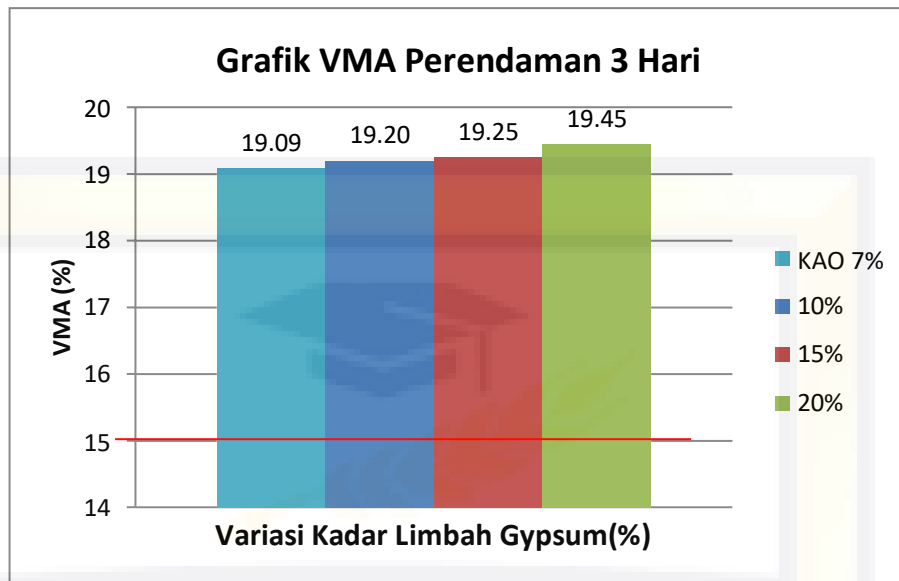
sedangkan pada perendaman 20% adalah 4.00 mm dengan syarat flow 2,0 – 4,0 (mm) maka perendaman 3 hari memenuhi spesifikasi. Semakin lama perendaman, air akan berusaha mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun baik agregat maupun aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalam dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Hal ini mengurangi daya rekat aspal. Sehingga semakin lama perendaman maka daya rekat aspal semakin berkurang.

**d. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 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 perendaman berulang dengan air laut pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.7

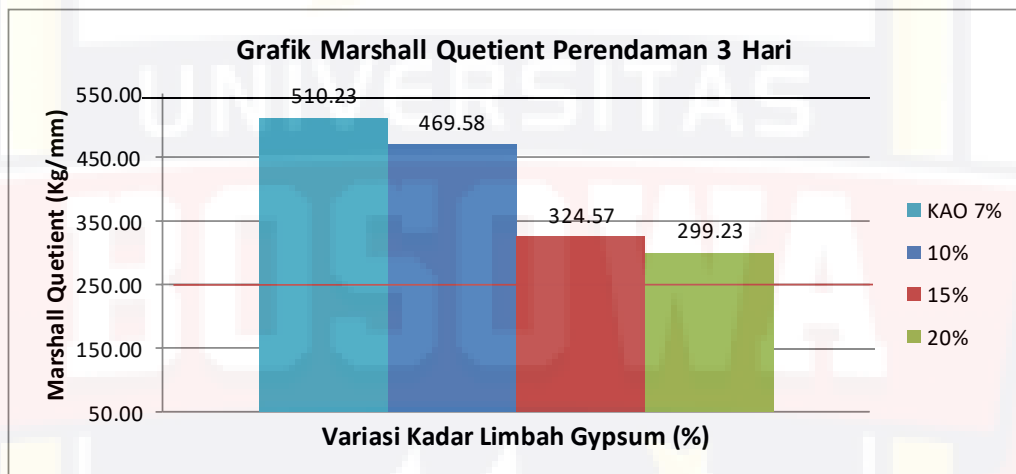


**Gambar 4.7** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap vma pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.8. menunjukkan bahwa variasi jumlah tumbukan yang di rendam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* pada KAO7% adalah 19,09 mm, pada kadar 10% adalah 19,20 mm, pada kadar 15% adalah 20,30 mm, sedangkan pada kadar 20% adalah 19.45 mm dengan syarat flow 2,0 – 4,0 (mm) maka pada kadar 10%, 15%, dan 20% memenuhi spesifikasi. 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 air maka daya rekat aspal semakin berkurang.

**e. Marshall Quotient**

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quotient 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 4.8.



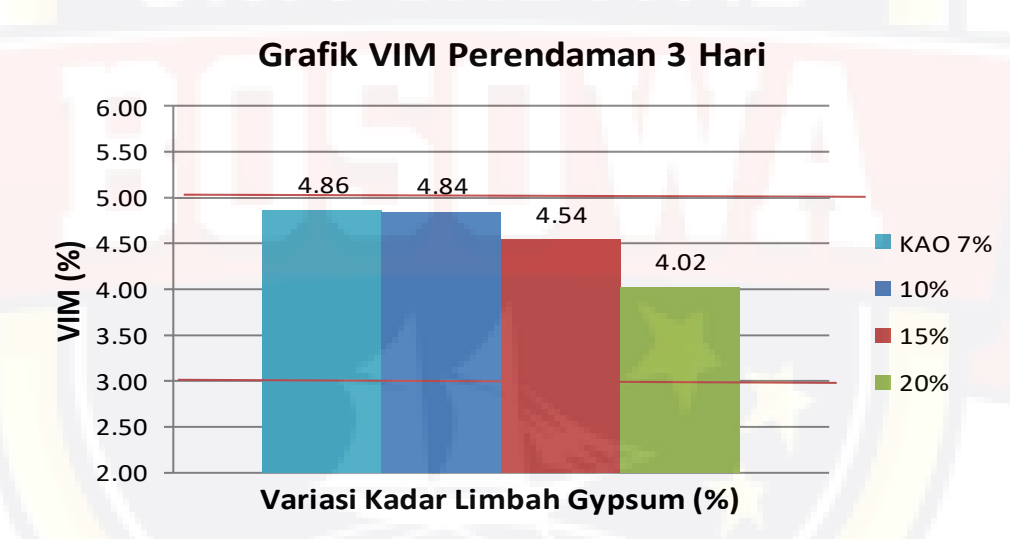
**Gambar 4.8** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C

Gambar diatas menunjukkan bahwa nilai Marshall Quotient pada KAO 7% adalah 510,23 Kg/mm, pada kadar 10% adalah 469,58 Kg/mm, pada peredaman kadar 15% adalah 324,57 kg/mm, dan pada kadar 20% adalah 299,23 Kg/mm. Dilihat dari grafik diatas bahwa perendaman berulang akan mengakibatkan penurunan namun tetap memenuhi batas spesifikasi MQ. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam.



**f. 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 perendaman berulang pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.9.



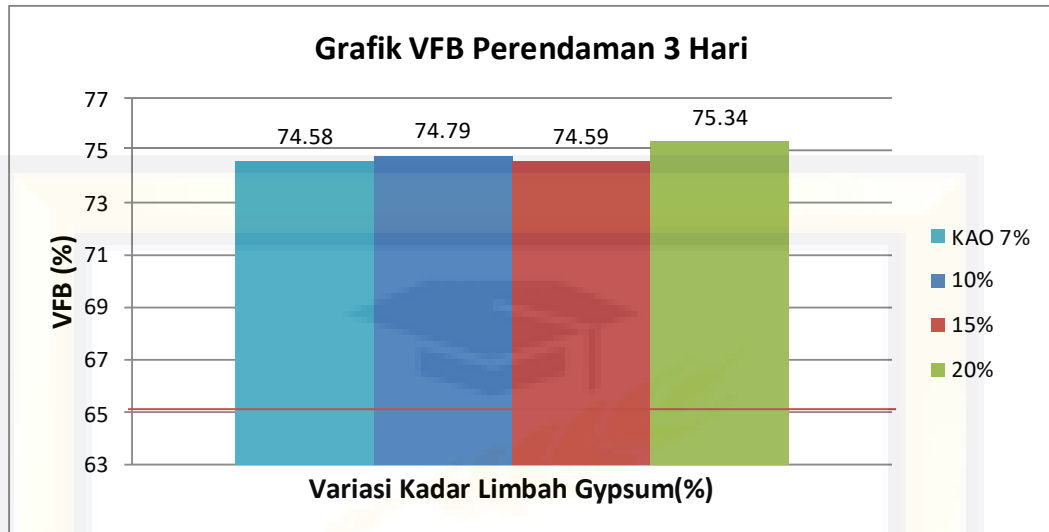
**Gambar 4.9** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.10 menunjukkan bahwa variasi jumlah tumbukan yang direndam secara berulang dalam campuran aspal dapat berpengaruh nilai *VIM*. pada nilai KAO adalah 4,86 % , pada kadar 10% adalah 4,84 % , pada kadar 15% adalah 4,54 % , sedangkan pada kadar 20% adalah 4,54

% dengan syarat VIM 3,0 – 5,0 % Semakin menurunnya nilai VIM pada campuran aspal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam, maka air akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran, kemudian mendesak aspal baik yang menyelimuti agregat maupun mengisi rongga akibat gaya tekan air ke segala arah sehingga menyebabkan rongga dalam campuran meningkat. Rongga yang meningkat dan terisi air inilah yang mengurangi durabilitas atau keawetan campuran.

**g. Rongga Terisi Aspal (VFB) Minimum 65 (%)**

VFB (Void Filled Bitumen), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan, Nilai VFB ini merupakan pada sifat kedap air dan udara, maupun sifat elastis campuran. Nilai VFB yang semakin besar berarti semakin banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kedap campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami bleeding atau naiknya aspal kepermukaan. Nilai VFB (Void Filled Bitumen) yang terlalu kecil akan menyebabkan kedap campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan mudah masuk kedalam lapis keras sehingga keawetan dari lapis keras akan berkurang.



**Gambar 4.10** Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 3 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°c.

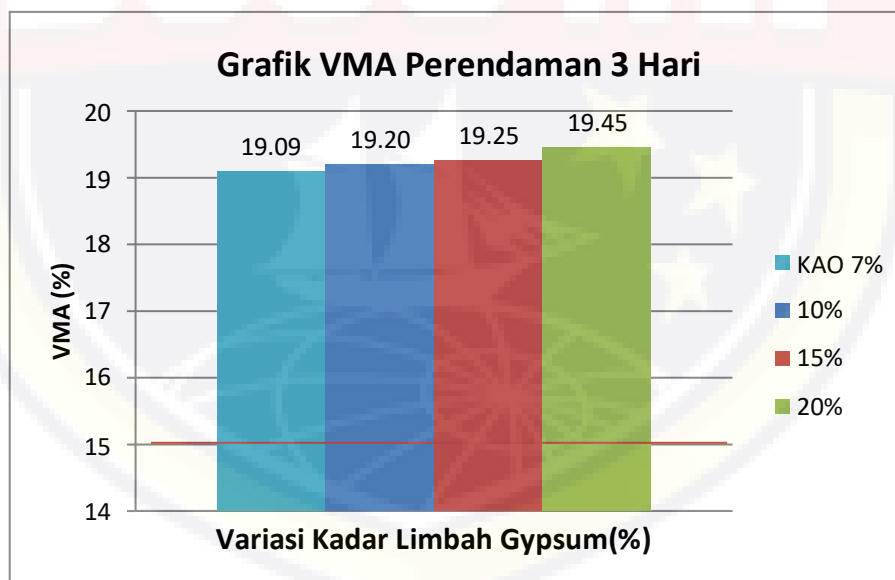
Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai VFB pada KAO 7% adalah 74,58 %, pada kadar 10% adalah 74,79 %, pada kadar 15% adalah 74,59 %, dan pada kadar 20% adalah 75,34 %. Ketentuan sifat – sifat campuran laston nilai VFB adalah 65 % maka nilai VFB memenuhi spesifikasi. Dilihat dari grafik diatas bahwa perendaman berulang mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman akan membuat lekatan semakin berkurang sehingga hal itu dapat mehyebabkan melemahnya ikatan antara aspal dengan agregat sehingga agregat yang terselimuti menjadi sedikit.

#### h. 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 perendaman berulang dengan air laut pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.11.



**Gambar 4.11** Diagram hubungan variasi gipsium terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.12 menunjukkan bahwa penambahan variasi jumlah tumbukan yang direndam secara berulang dapat mempengaruhi nilai VMA.

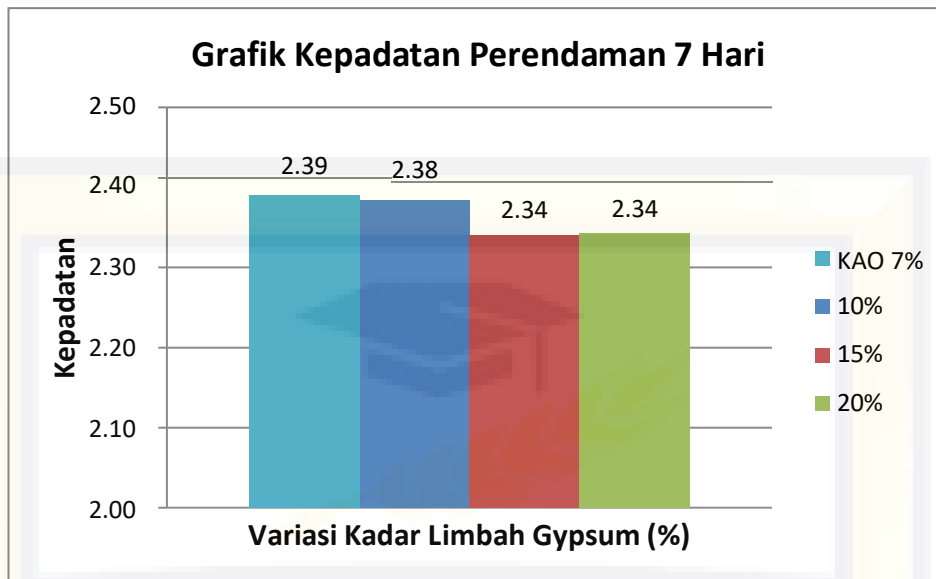
Pada sampel KAO 7% adalah 19,02 %, pada perendaman kadar 10% adalah 19,20 %, pada kadar 15% adalah 19,25 %, dan pada kadar 20% adalah 19,45 %. Hal ini di sebabkan karena semakin lama campuran terendam maka kondisinya akan semakin jenuh. Peningkatan VMA pada campuran disebabkan karena daya tekan air ke segala arah yang mendesak aspal sehingga memungkinkan terjadinya perubahan susunan agregat yang menyebabkan rongga dalam mineral agregat meningkat.

#### **4.4.5. Analisis Hasil Pengujian Aspal Minyak dengan variasi gipsum pada perendaman berulang selama 7 hari**

Hasil pengujian campuran Aspal Minyak menggunakan alat uji 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 perendman berulang, dapat dilihat pada gambar 4.13 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC menggunakan aspal minyak pada kondisi kadar aspal optimum.



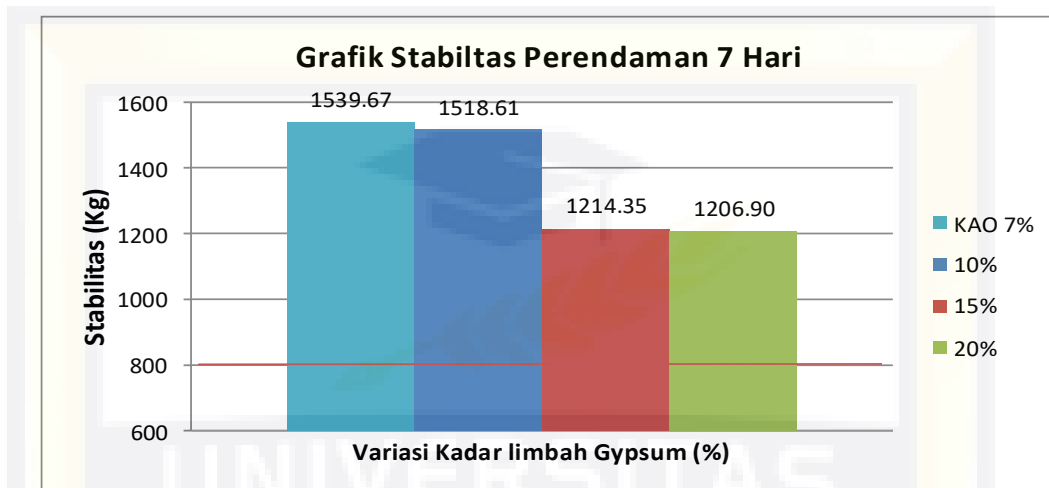
**Gambar 4.12** Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap Keapatan pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 24 jam Dengan Suhu 60°C.

Dari gambar 4.13 dapat dilihat bahwa semakin lama Perendaman yang dilakukan secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai Keapatan (density), pada KAO 7% adalah 2,39, pada kadar 10% adalah 2,38 pada kadar 15% adalah 2,34 dan pada kadar 20% adalah 2,34 bisa dikatakan nilainya hampir sama. Hal ini disebabkan karena belum dilakukan pemebebanan.

**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 perendaman berulang pada kadar aspal optimum menggunakan aspal minyak diperlihatkan pada gambar 4.13.



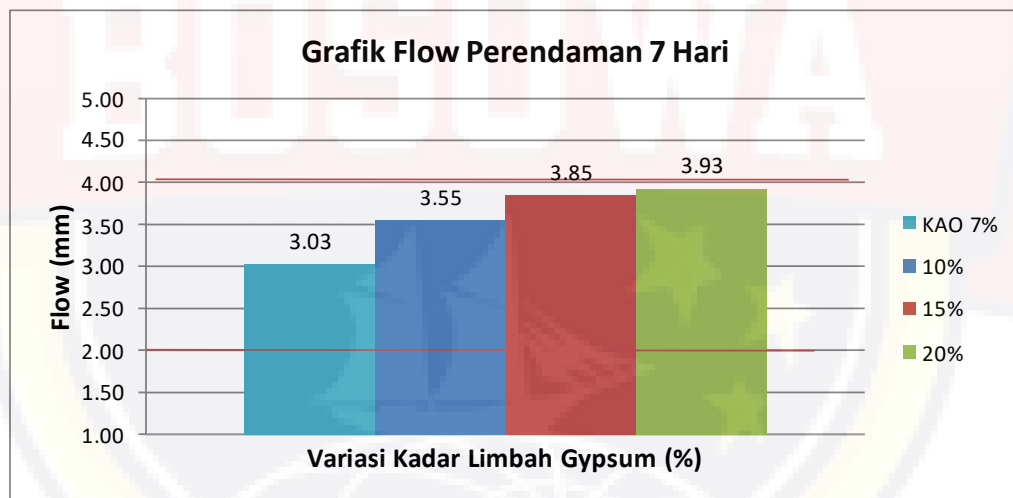
**Gambar 4.13** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.14. diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang nilai stabilitas mengalami penurunan pada nilai KAO 7% adalah 1539,67 Kg, pada kadar 10% adalah 1518,61 Kg, pada kadar 15% adalah 1214,35 Kg dan nilai pada kadar 20% adalah 1206,90 Kg. Ketika campuran aspal direndam 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, 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 perendaman berulang dengan menggunakan air pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.14



**Gambar 4.14** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

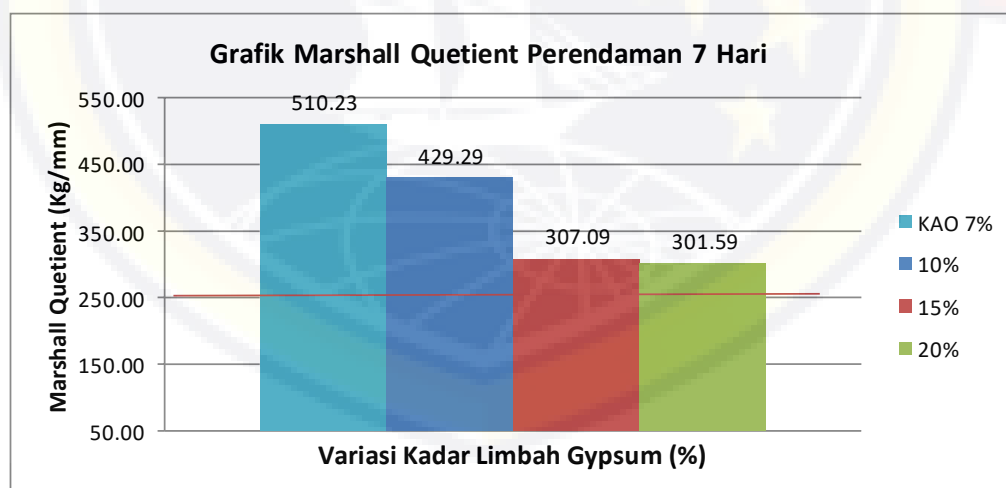
Dari gambar 4.15. menunjukkan bahwa variasi jumlah tumbukan yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* pada KAO 7% adalah 3,03 mm, pada 10% adalah 3,55 mm, pada 15% adalah 3,85 mm, sedangkan pada 20% adalah 3.93 mm dengan syarat flow 2,0 - 4,0 (mm)



maka perendaman 7 hari memenuhi spesifikasi. 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 Quotient**

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quotient 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 4.15.

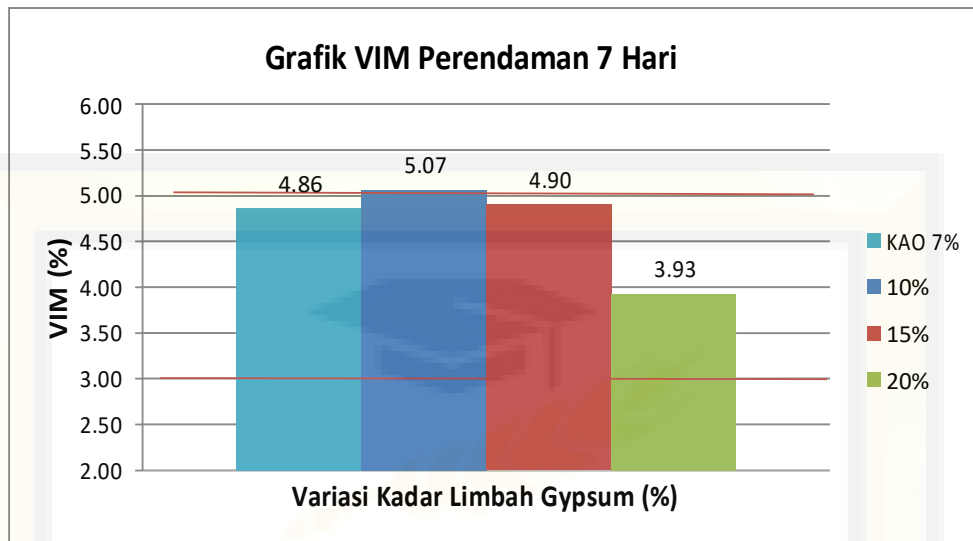


**Gambar 4.15** Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C

Gambar diatas menunjukkan bahwa nilai Marshall Quotient pada KAO 7% adalah 510,23 Kg/mm, pada kadar 10% adalah 429,29 Kg/mm, pada kadar 15% adalah 307.09 Kg/mm, pada kadar 20% adalah 301,59 Kg/mm. Dilihat dari grafik diatas bahwa perendaman berulang akan mengakibatkan penurunan namun tetap memenuhi batas spesifikasi MQ. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam.

**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 perendaman berulang pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.16.



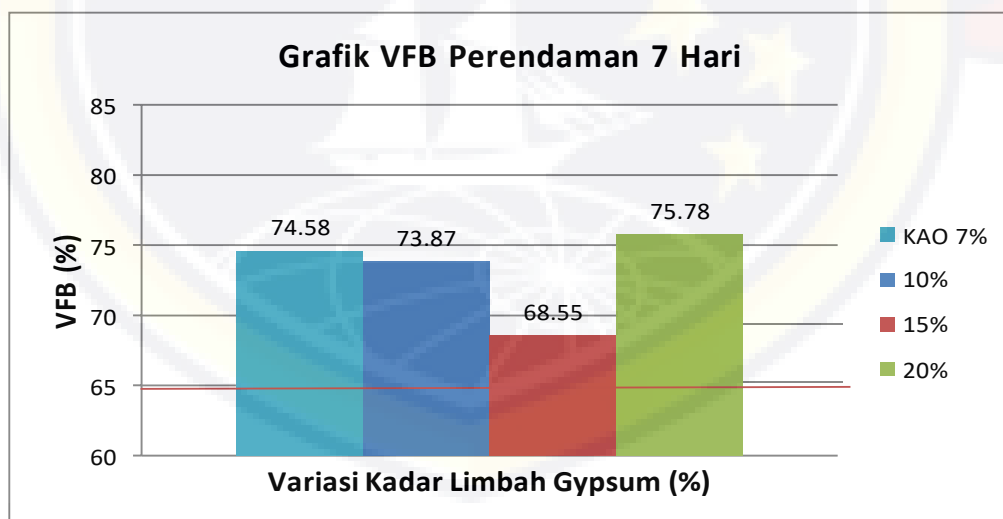
**Gambar 4.16** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.17 menunjukkan bahwa variasi Gipsum yang direndam secara berulang dalam campuran aspal dapat berpengaruh nilai *VIM*. pada nilai KAO 7% adalah 4,86 % , pada kadar adalah 5,07 % , pada kadar 15% adalah 4,90 % , sedangkan pada kadar 20% adalah 3,93 % dengan syarat *VIM* 3,0 – 5,0 % maka perendaman berulang 7 hari memenuhi spesifikasi.

Semakin naiknya nilai *VIM* pada campuran aspal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam, maka air akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran, kemudian mendesak aspal baik yang menyelimuti agregat maupun mengisi rongga akibat gaya tekan air 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 (%)**

VFB (Void Filled Bitumen), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan, Nilai VFB ini merupakan pada sifat kedap air dan udara, maupun sifat elastis campuran. Nilai VFB yang semakin besar berarti semakin banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kedap campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami bleeding atau naiknya aspal kepermukaan. Nilai VFB (Void Filled Bitumen) yang terlalu kecil akan menyebabkan kedap campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan mudah masuk kedalam lapis keras sehingga keawetan dari lapis keras akan berkurang.



**Gambar 4.17** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

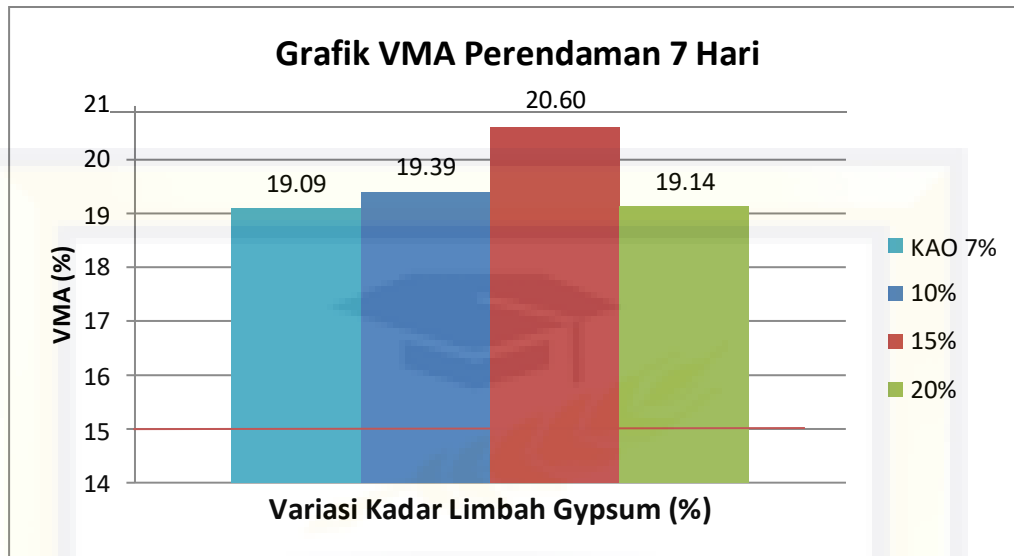
Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai VFB pada KAO 7% adalah 74,58 %, pada perendaman 3 hari adalah 75,91 %, pada peredaman ke 7 hari adalah 74,53 %, dan pada perendaman yang ke 14 hari adalah 73,16 %. Ketentuan sifat – sifat campuran laston nilai VFB adalah 65 % maka nilai VFB memenuhi spesifikasi. Dilihat dari grafik diatas bahwa variasi jumlah tumbukan yang direndam secara berulang mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman akan membuat lekatan semakin berkurang sehingga hal itu dapat menyebabkan melemahnya ikatan antara aspal dengan agregat sehingga agregat yang terselimuti menjadi sedikit.

#### **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 perendaman berulang dengan air laut pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.18.



**Gambar 4.18.** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 7 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.19 menunjukkan bahwa penambahan variasi gipsum yang direndam secara berulang dapat mempengaruhi nilai VMA. Nilai KAO 7% adalah 19,09 %, pada kadar 10% adalah 19,39%, pada kadar 15% adalah 20,60 %, dan pada kadar 20% adalah 15,11 %. Hal ini di sebabkan 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.

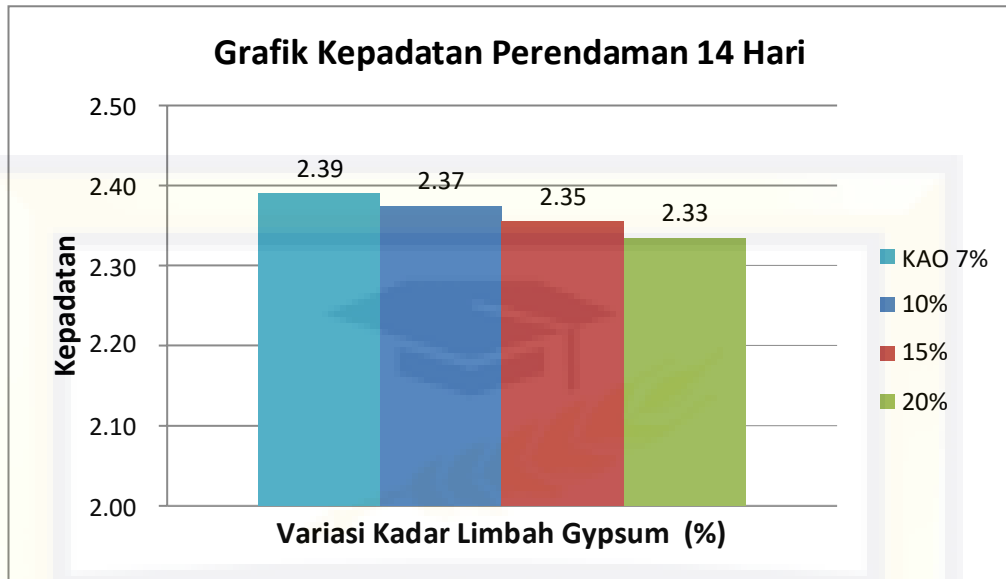
#### 4.4.6. Analisis Hasil Pengujian Aspal Minyak dengan variasi gipsum pada perendaman berulang selama 14 hari

Hasil pengujian campuran Aspal Minyak menggunakan alat uji marshall maka 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 perendaman berulang, dapat dilihat pada gambar 4.20 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC menggunakan aspal minyak pada kondisi kadar aspal optimum.



**Gambar 4.19.** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap Kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 24 jam Dengan Suhu 60°C.

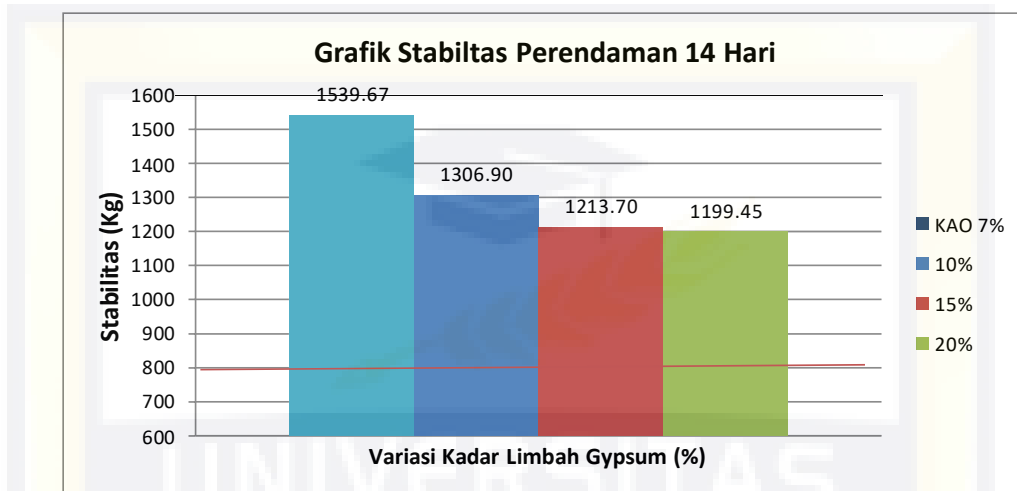
Dari gambar 4.20 dapat dilihat bahwa variasi jumlah tumbukan di rendam secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai Kepadatan (density), pada KAO 7% adalah 2,39, pada kadar 10% adalah 2,37 pada kadar 15% adalah 2,35 dan pada kadar 20% adalah 2,33 bisa dikatakan nilainya hampir sama. Hal ini disebabkan karena belum dilakukan pemebebanan.

**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 perendaman berulang pada kadar aspal optimum menggunakan aspal minyak diperlihatkan pada gambar 4.20.



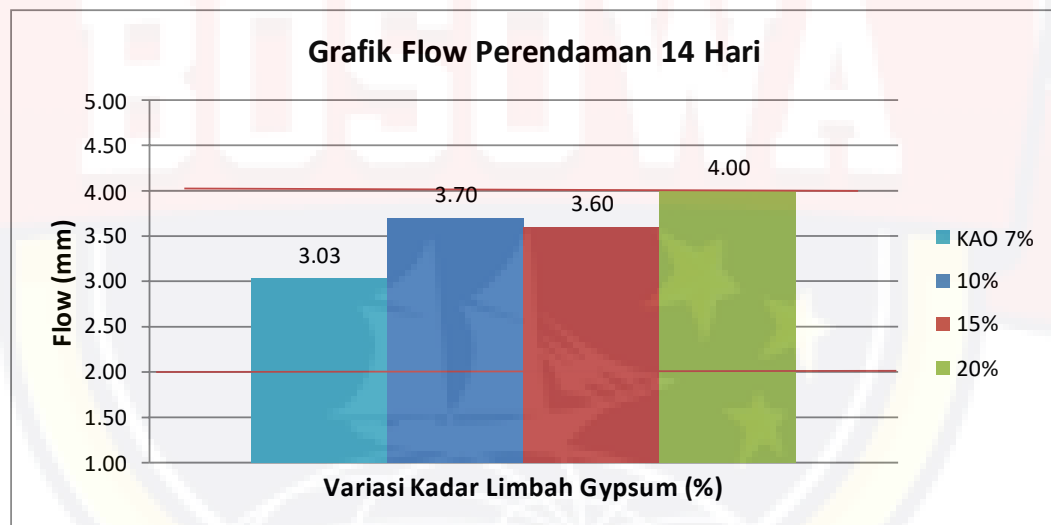
**Gambar 4.20.** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.21. diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang. Nilai stabilitas mengalami penurunan pada nilai KAO 7% adalah 1539,67 Kg, pada kadar 10% adalah 1306,90 Kg, pada kadar 15% adalah 1213,70 Kg dan nilai pada kadar 20% adalah 1199,45 Kg. Ketika campuran aspal direndam 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, 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 perendaman berulang dengan menggunakan air pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.21



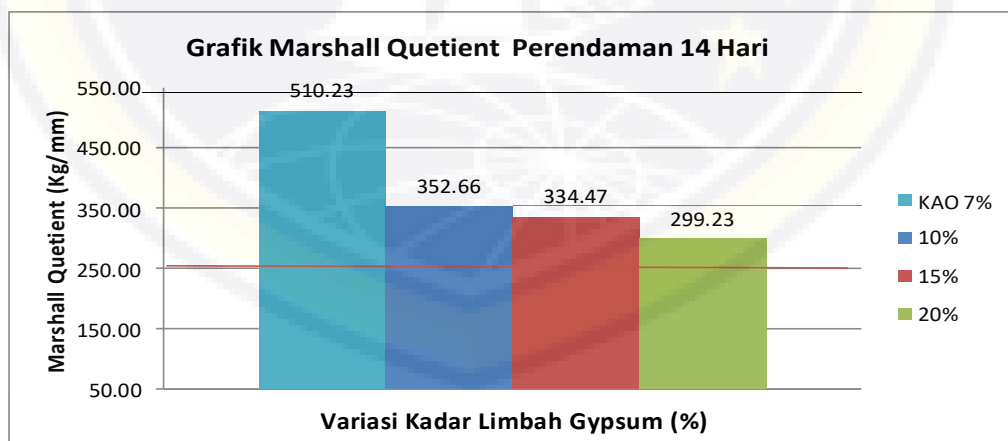
**Gambar 4.21** Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.22 menunjukkan bahwa variasi Gypsum yang di rendam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* pada KAO 7% adalah 3,03 mm, pada kadar 10% adalah 3,70 mm, pada kadar 15% adalah 3,60 mm, sedangkan pada kadar 20% adalah 4.00 mm dengan syarat flow 2,0

- 4,0 (mm) maka perendaman 14 hari tidak memenuhi spesifikasi. 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 Quotient**

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quotient 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 4.22.

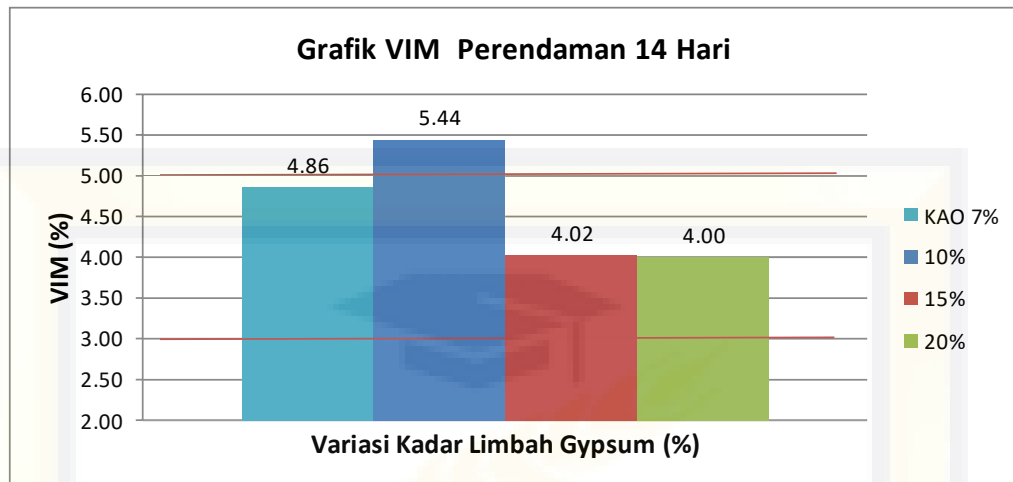


**Gambar 4.22.** Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C

Gambar diatas menunjukkan bahwa niali Marshall Quetient pada KAO 7% adalah 510,23 Kg/mm, pada kadar 10% adalah 352.66 Kg/mm, pada kadar 15% adalah 334.47 kg/mm, dan pada kadar 20% adalah 299.23 Kg/mm. Dilihat dari grafik diatas bahwa perendaman berulang akan mengakibatkan penurunan namun tetap memenuhi batas spesifikasi *MQ*. Hal ini disebabkan karena kohesi atau daya lekat dalam aspal menurun akibat oksidasi selama direndam.

**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 perendaman berulang pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.23



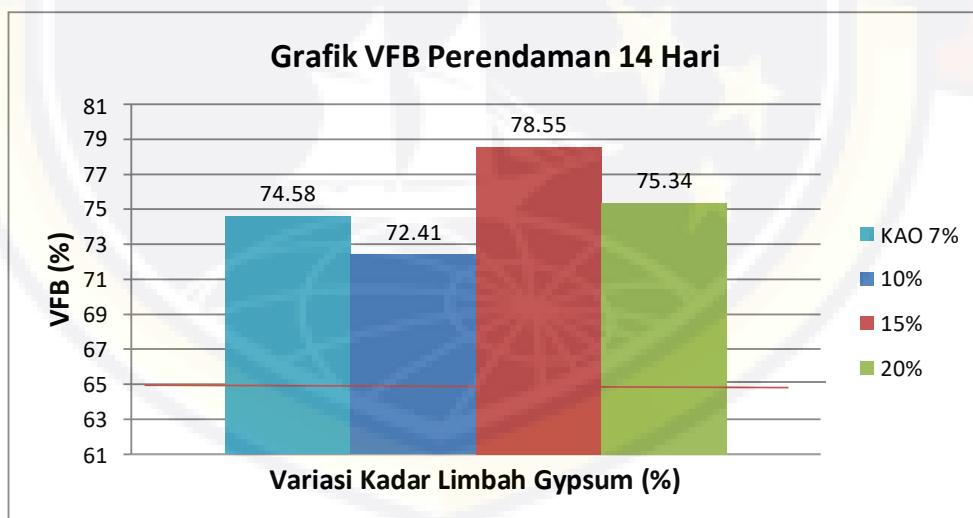
**Gambar 4.23.** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.24 menunjukkan bahwa variasi jumlah tumbukan yang di rendam secara berulang dalam campuran aspal dapat berpengaruh pada nilai *VIM*. pada nilai KAO 7% adalah 4,86 % , pada kadar 10% adalah 5,44 %, pada kadar 15% adalah 4,02 %, sedangkan pada kadar 20% adalah 4.00 % dengan syarat *VIM* 3,0 – 5,0 % maka perendaman berulang 14 hari memenuhi spesifikasi.

Semakin naiknya nilai *VIM* pada campuran aspal ini disebabkan karena pada saat campuran aspal direndam, air akan terinfiltrasi kedalam rongga-rongga yang tersisa dalam campuran, kemudian mendesak aspal baik yang menyelimuti agregat maupun mengisi rongga akibat gaya tekan air 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 (%)**

VFB (Void Filled Bitumen), menyatakan prosentase rongga udara yang terisi aspal pada campuran yang telah mengalami pemadatan, Nilai VFB ini merupakan pada sifat kedap air dan udara, maupun sifat elastis campuran. Nilai VFB yang semakin besar berarti semakin banyaknya rongga udara yang terisi aspal sehingga kedap campuran terhadap air dan udara akan semakin tinggi. Nilai VFB yang terlalu tinggi akan menyebabkan lapis perkerasan mudah mengalami bleeding atau naiknya aspal kepermukaan. Nilai VFB (Void Filled Bitumen) yang terlalu kecil akan menyebabkan kedap campuran terhadap air berkurang karena sedikit rongga yang terisi aspal. Dengan banyaknya rongga yang kosong, air dan udara akan mudah masuk kedalam lapis keras sehingga keawetan dari lapis keras akan berkurang.



**Gambar 4.24.** Diagram hubungan variasi gipsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

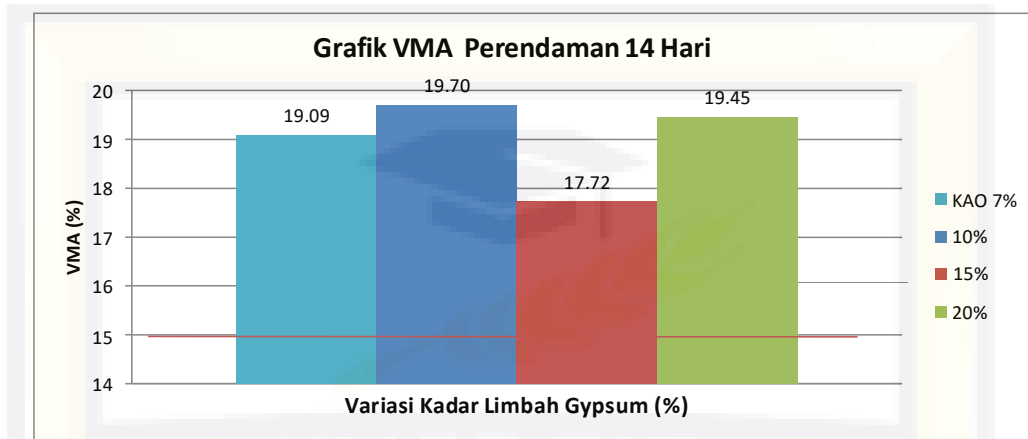
Grafik diatas menunjukkan bahwa nilai VFB pada KAO 7% adalah 74,58 %, pada kadar 10% adalah 72,41 %, pada kadar 15% adalah 78,55 %, dan pada kadar 20% adalah 75,34 %. Ketentuan sifat – sifat campuran laston nilai VFB adalah 65 % maka nilai VFB memenuhi spesifikasi. Dilihat dari grafik diatas bahwa variasi jumlah tumbukan yang di rendam secara berulang mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman akan membuat lekatan semakin berkurang sehingga hal itu dapat menyebabkan melemahnya ikatan antara aspal dengan agregat sehingga agregat yang terselimuti menjadi sedikit.

#### **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 perendaman berulang dengan air laut pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.25.



**Gambar 4.25.** Diagram hubungan variasi gypsum dengan perendaman berulang selama 14 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.26 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah gypsum yang direndam secara berulang dapat mempengaruhi nilai VMA. Nilai kao 7% adalah 19.02 %, pada kadar 10% adalah 19,70%, pada kadar 15% adalah 17,72 %, dan pada kadar 20% adalah 19,45 %. 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.



#### **4.4.7. 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.

Dari hasil uji marshall dapat diketahui campuran aspal panas AC-WC dengan variasi menggunakan penambahan limbah Gypsum, 10%, 15%, dan 20% kedalam campuran aspal panas AC-WC dengan perendaman selama 3, 7, dan 14 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 lampiran.

**Tabel 4. 15. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah gipsum 10% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.**

No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gipsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar limbah Gipsum 10 %				
		KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari	
1	Kepadatan	2.39	2.39	2.38	2.37	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1588.34	1518.61	1306.90	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.40	3.55	3.70	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.84	5.07	5.44	3-5
5	VFB (%)	74.58	74.79	73.87	72.41	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.20	19.39	19.70	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	469.58	429.29	352.66	Min 250

**Tabel 4.16. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah gipsum 15% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.**

No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gipsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar limbah Gipsum 15%				
		KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari	
1	Kepadatan	2.39	2.37	2.34	2.31	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1229.10	1214.35	1171.95	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.55	3.65	3.85	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.54	4.90	6.49	3-5
5	VFB (%)	74.58	83.50	74.59	68.55	Min 65
6	VMA (%)	19.09	17.62	19.25	20.60	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	350.28	324.57	307.09	Min 250

**Tabel 4. 17. Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah gipsum 20% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.**

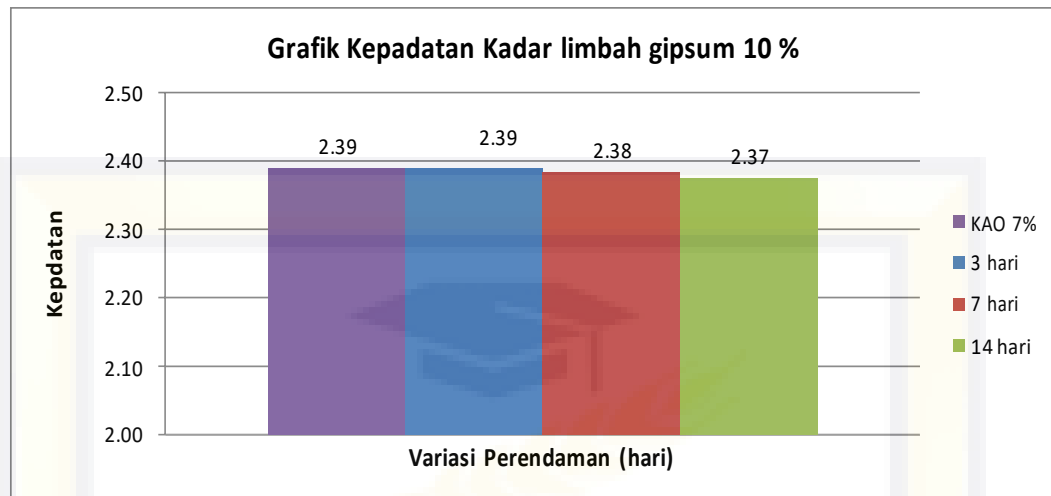
No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gipsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar Limbah Gipsum 20 %				
		KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari	
1	Kepadatan	2.39	2.35	2.34	2.33	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1213.70	1206.90	1199.45	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.60	3.93	4.00	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.02	6.16	6.64	3-5
5	VFB (%)	74.58	78.55	75.78	75.34	Min 65
6	VMA (%)	19.09	17.72	19.14	19.45	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	334.47	301.59	299.23	Min 250

#### **4.4.8. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Limbah Gypsum 10 % Pada Campuran Aspal minyak 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 Limbah Gypsum 10 %, dapat dilihat pada gambar 4.27 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum.

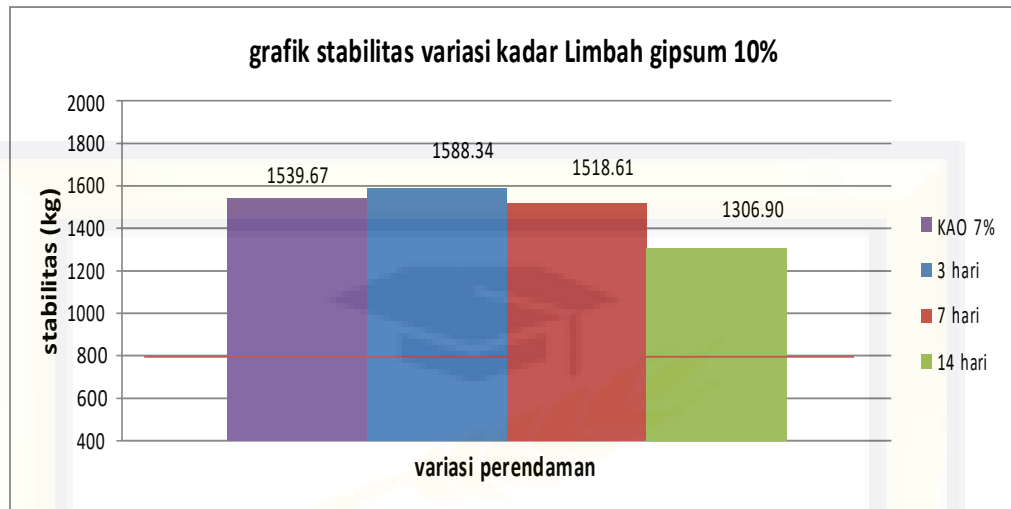


**Gambar 4.26.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsum 10% terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.26 dapat dilihat bahwa semakin Perendaman yang dilakukan secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai Kepadatan (density) pada kao 7% yaitu 2.39, 3 hari yaitu 2.39 pada hari ke 7 yaitu 2.38 dan pada hari ke 14 yaitu 2.37 bisa dikatakan nilainya hampir sama hal ini disebabkan karena limbah gipsum yang bersifat keras dan mempertahankan daya lekat aspal.

#### **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 Gypsum pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.27



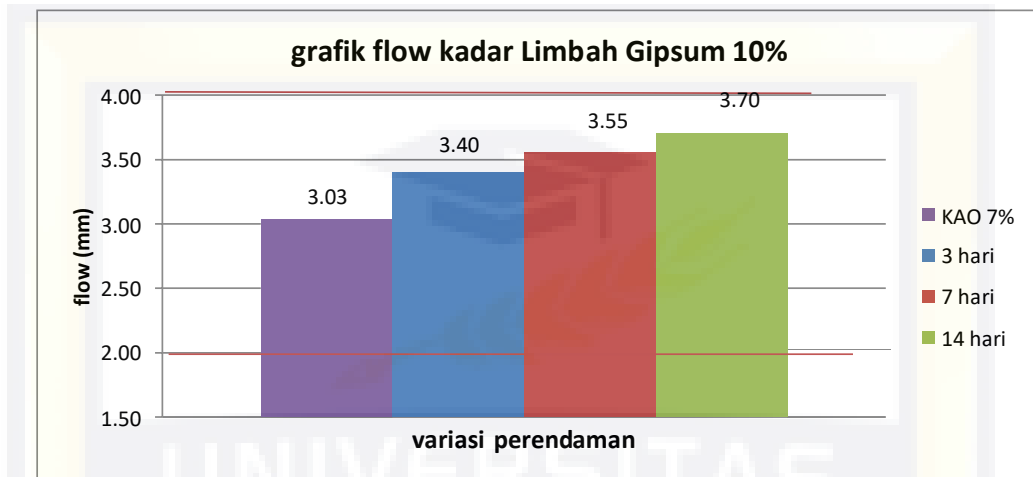
**Gambar 4.27.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C

Dari gambar 4.28. diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang dilakukan perendaman berulang, Nilai KAO 7% adalah 1539,67 Nilai pada hari ke 3 hari yaitu 1588.34 Kg, pada hari ke 7 yaitu 1518,61 Kg dan hari ke 14 yaitu 1306,90 Kg. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman daya lekat dalam aspal juga menurun.

**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 plastik pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.28.

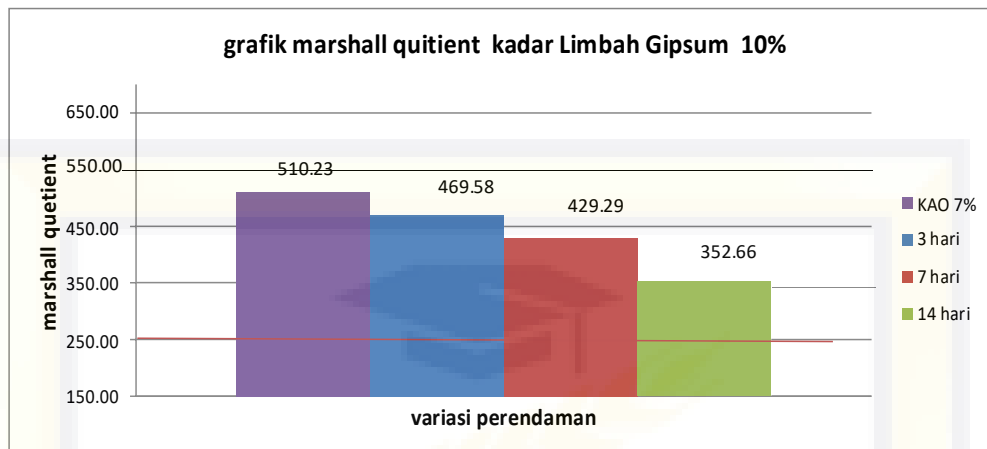


**Gambar 4.28** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.29. menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan limbah gypsum yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* pada 3 hari yaitu 3.40 mm, pada hari ke 7 yaitu 3.55 mm, dan pada hari ke 14 yaitu 3.70 mm terlihat bahwa nilai flow meningkat hal ini dikarenakan semakin lama perendaman nilai viskositas semakin meningkat.

#### d. Marshall Quitient

Hasil bagi Marshall atau Marshall Quesient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelahan yang juga merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai MQ maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan.. Nilai MQ pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.29.



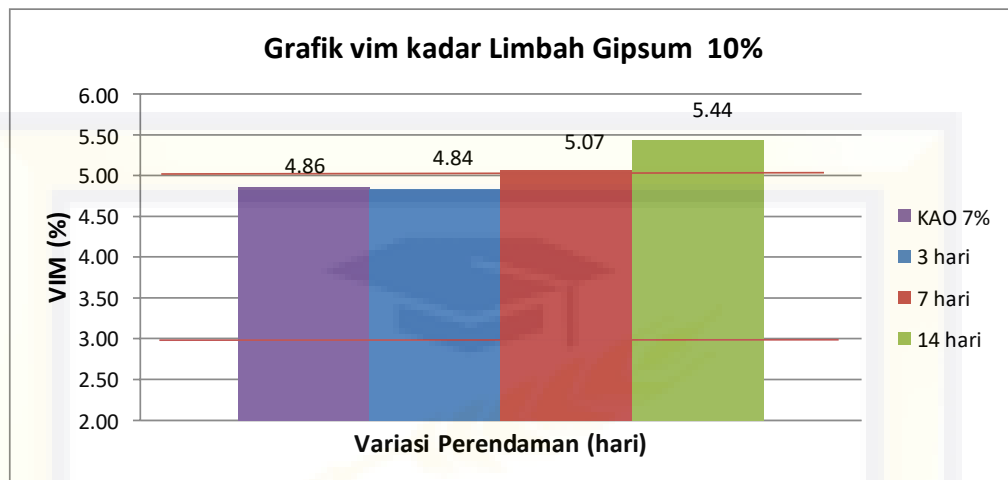
**Gambar 4.29.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% pada terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C

Dari gambar 4.30 menunjukkan bahwa nilai Marshall Quotient pada 3 hari yaitu 469.58 Kg/mm, pada perendaman 7 hari yaitu 429.29 Kg/mm sedangkan pada peredaman yang ke 14 hari yaitu 353.66 kg/mm.

**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 limbah gypsum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.30



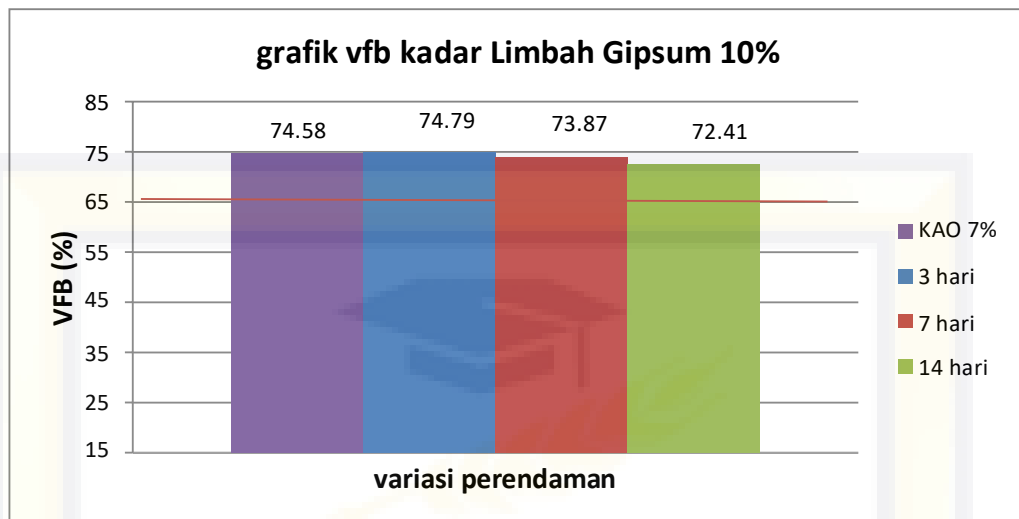
**Gambar 4.30** Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsum terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.31 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan limbah Gypsum ke dalam campuran yang direndam secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai *VIM* dan masuk dalam batas spesifikasi hal ini dikarenakan belum di lakukan pembebanan.

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

Nilai *VFB* memperlihatkan presentase rongga terisi aspal. Apabila *VFB* besar maka banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedapatan 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 4.31** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C

Dari gambar 4.31. menunjukkan bahwa penambahan Limbah Gypsum ke dalam campuran yang direndam secara berulang tidak terlalu menyebabkan nilai *VFB* berubah hal ini di sebabkan karena kadar aspal dan Limbah Gypsum yang digunakan sama.

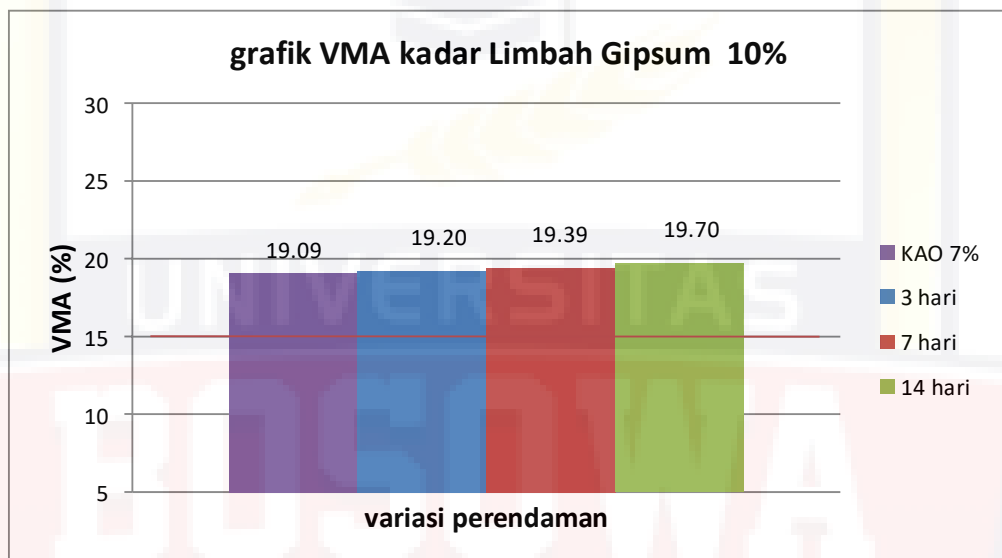
**g. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 15%**

*VMA* adalah presentase rongga antar butir agregat, termasuk di dalamnya 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 ukurann butir, susunan, bentuk, dan metode pemadatan.

Grafik nilai *VMA* campuran AC-WC untuk berbagai variasi kadar Limbah Gypsum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.32



**Gambar 4.32.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 10% pada terhadap *VMA* pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C

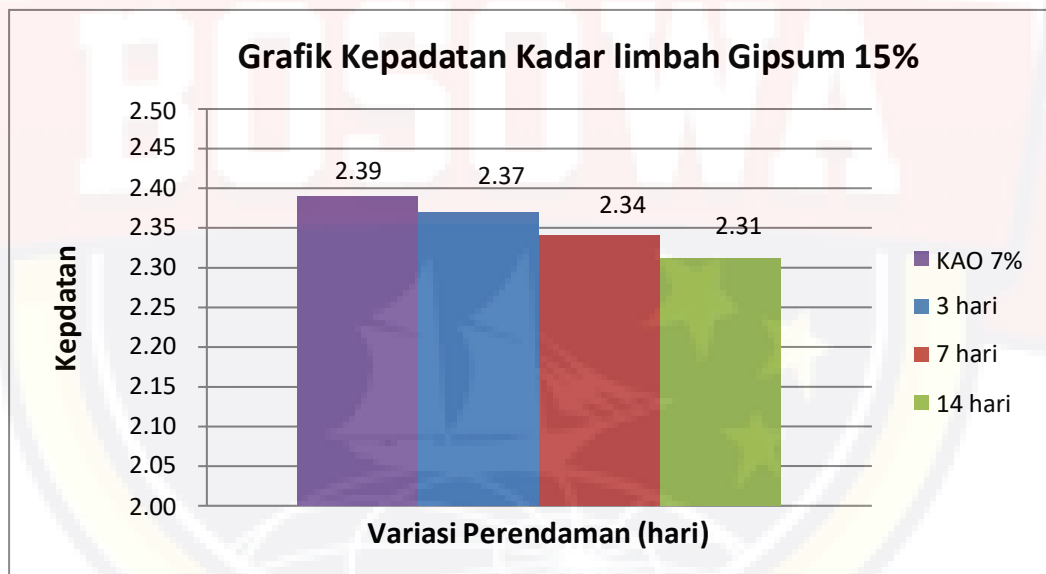
Dari gamabar 4.32 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah Limbah Gypsum ke dalam campuran yang direndam secara beruang tidak terlalu menyebabkan nilai *VMA* berubah hal ini disebabkan karena pori-pori diantara butir-butir agregat dalam campuran aspal tidak mengalami perubahan.

#### 4.4.9. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Limbah Gypsum 15 % Pada Campuran Aspal minyak 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 gypsum 15%, dapat dilihat pada gambar 4.34 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum.

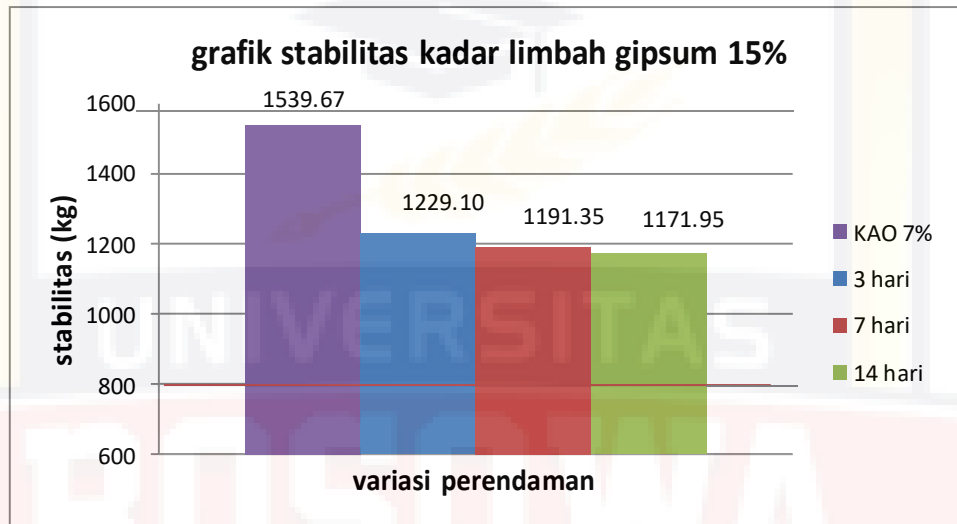


**Gambar 4.33.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 15% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.33 dapat dilihat bahwa penambahan limbah gypsum 15% yang dilakukan perendaman tidak terlalu menyebabkan nilai kepadatan (*density*) berubah. Hal ini disebabkan karena belum dilakukan pembebanan

### b. Stabilitas Minimum 800 (Kg)

Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi kadar limbah gypsum pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.34

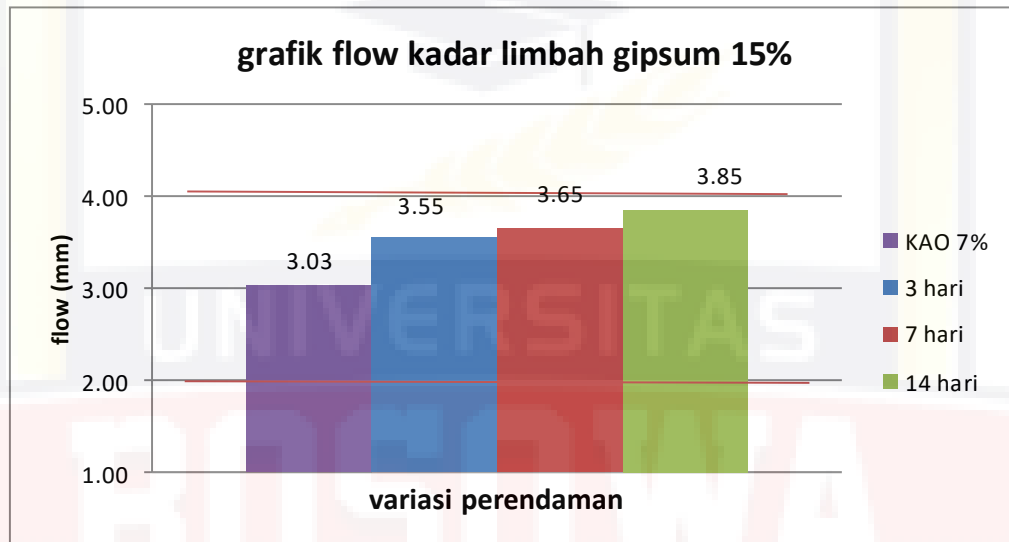


**Gambar 4.34.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsum 15% terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.35 diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi penambahan limbah gypsum 15% yang dilakukan perendaman berulang cenderung mengalami penurunan. Nilai stabilitas mengalami Penurunan pada perendaman 3 hari nilainya yaitu 1229.10 Kg pada perendaman 7 hari yaitu 1191.35 Kg dan pada perendama 14 hari yaitu 1171.95 Kg hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman daya lekat aspal semakin berkurang.

**c. Pelelehan (*Flow*) Minimum 2 - 4 (mm).**

Grafik nilai *Flow* campuran AC-WC untuk berbagai variasi Limbah Gypsum yang ditambahkan pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.35

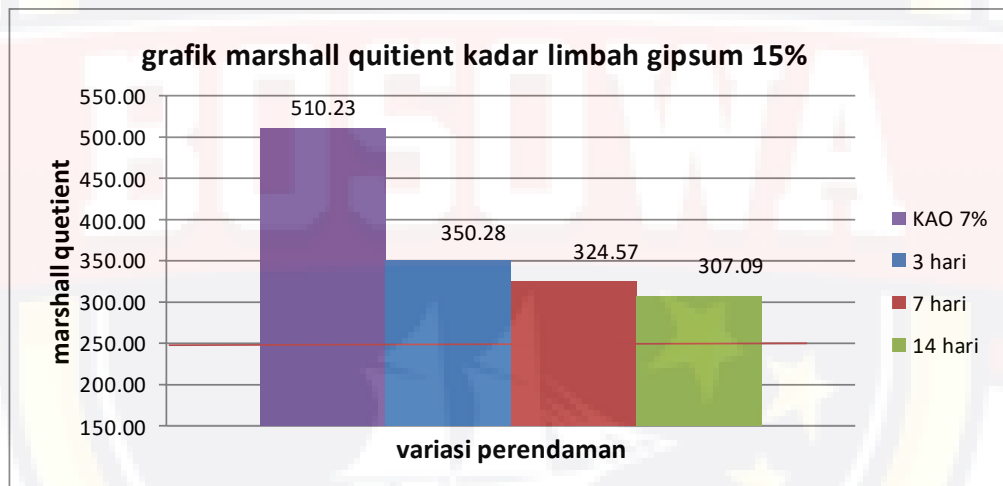


**Gambar 4.35.** Diagram hubungan Variasi kadar limbah gypsum 15% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.35 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan Limbah Gypsum 15 % kedalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* meningkat hal ini dikarenakan Limbah Gypsum yang ditambahkan ke dalam campuran yang direndam secara berulang mempengaruhi aspal sehingga campuran lunak dan titik lembek meningkat.

#### d. Marshall Quotient

*Marshall Quotient* 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 4.36



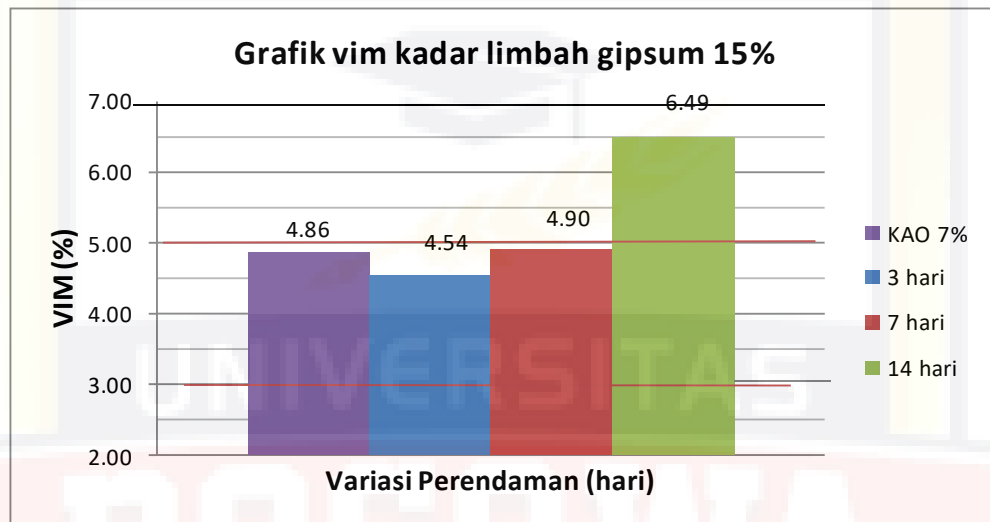
**Gambar 4.36.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 15% terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C

Dilihat dari table diatas bahwa penamabahan limbah gypsum 15 % 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 kadar Limbah

Gipsum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.37

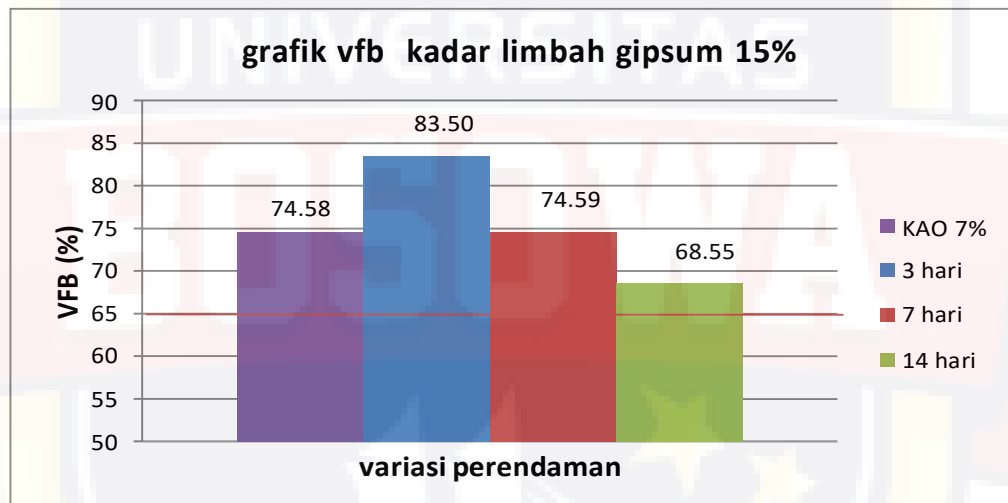


**Gambar 4.37** Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsum 15 % terhadap nilai *VIM* pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dilihat dari table diatas bahwa penamabahan limbah gypsum 15 % dari Dari gambar 4.38 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan limbah gypsum 15 % ke dalam campuran yang direndam 3 hari yaitu 4.54 % pada perendaman 7 hari yaitu 4.90 % dan pada hari ke 14 yaitu 6.49 %. Nilainya hampir sama karena komposisi campuran dan yang digunakan sama.

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

Nilai *VFB* memperlihatkan presentase rongga terisi aspal. Apabila *VFB* besar maka banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedap terhadap 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.



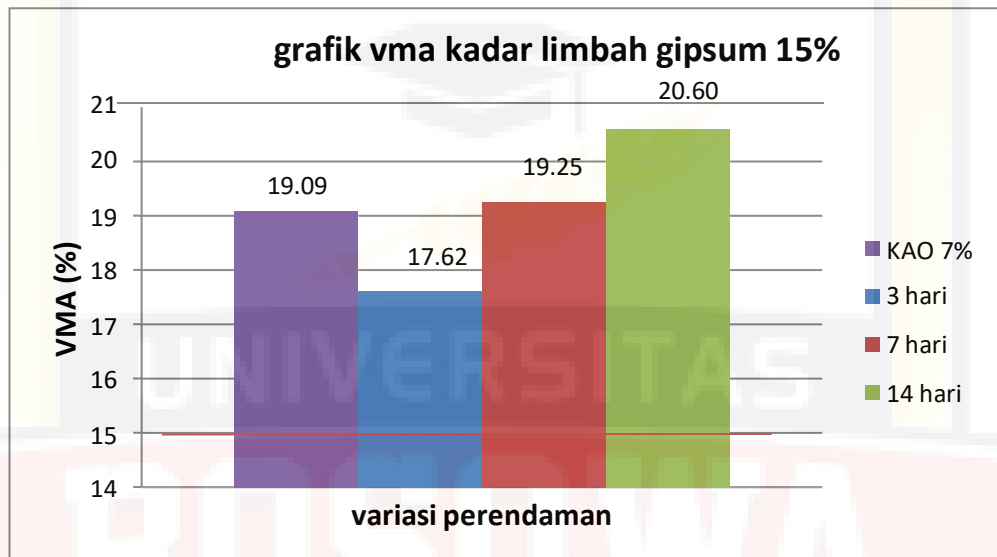
**Gambar 4.38.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 15% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.39 menunjukkan bahwa penambahan limbah gypsum 15% ke dalam campuran yang direndam secara berulang tidak menyebabkan nilai *VFB* berubah drastis. Hal ini disebabkan karena penambahan limbah gipsum yang memiliki sifat yang keras dan mempertahankan daya lekat aspal



**g. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 15 %**

Grafik nilai VMA campuran AC-WC untuk kadar Limbah Gypsum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada 4.39 sebagai berikut.



**Gambar 4.39.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 15% pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 24 jam Dengan Suhu 60°C

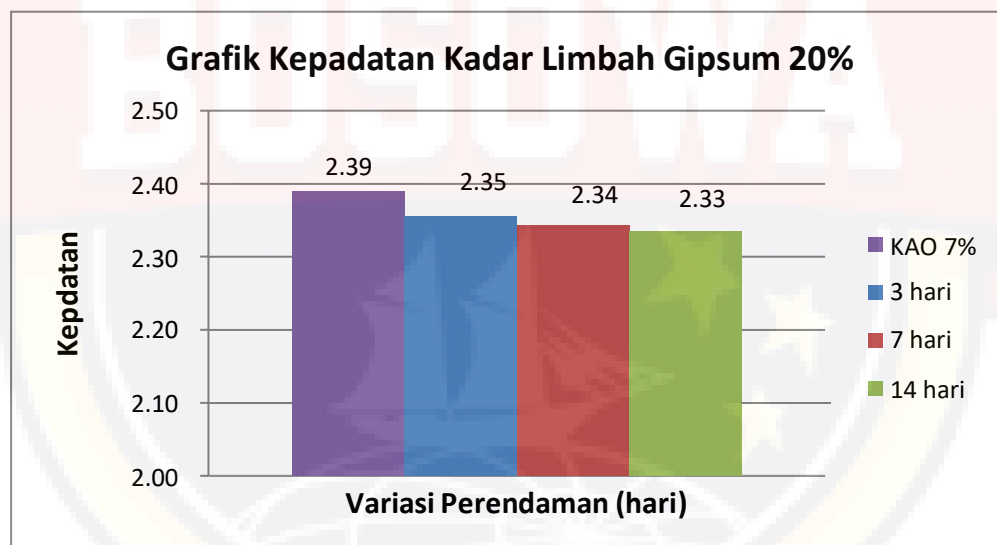
Dari gambar 4.40 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan limbah gypsum 15 % ke dalam campuran yang direndam secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai VMA pada perendaman 3 hari yaitu 17.62 % pada perendaman 7 hari yaitu 19.25 dan pada perendaman ke 14 hari yaitu 20.60%. Hal ini disebabkan karena pori diantara butir-butir agregat dalam campuran aspal tidak mengalami perubahan.

#### 4.4.10. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Limbah gipsum 20% Pada Campuran Aspal Minyak 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 Gypsum 20 %, dapat dilihat pada gambar 4.25 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum.

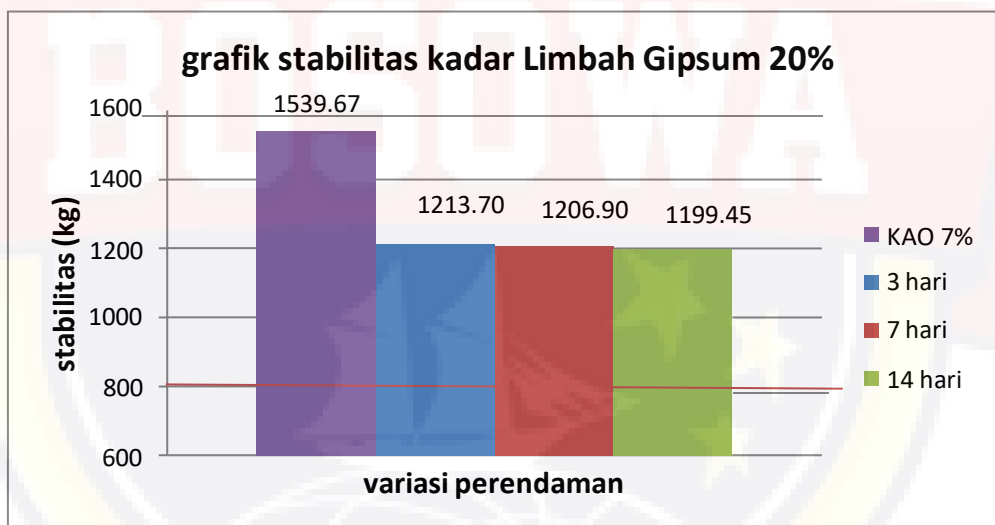


**Gambar 4.40** Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsum 20% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.41 dapat dilihat bahwa variasi limbah gipsum 20 % kedalam campuran yang direndam secara berulang tidak terlalu memengaruhi nilai kepadatan (*density*) yakni berada di sekitar 2.35 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 4.41

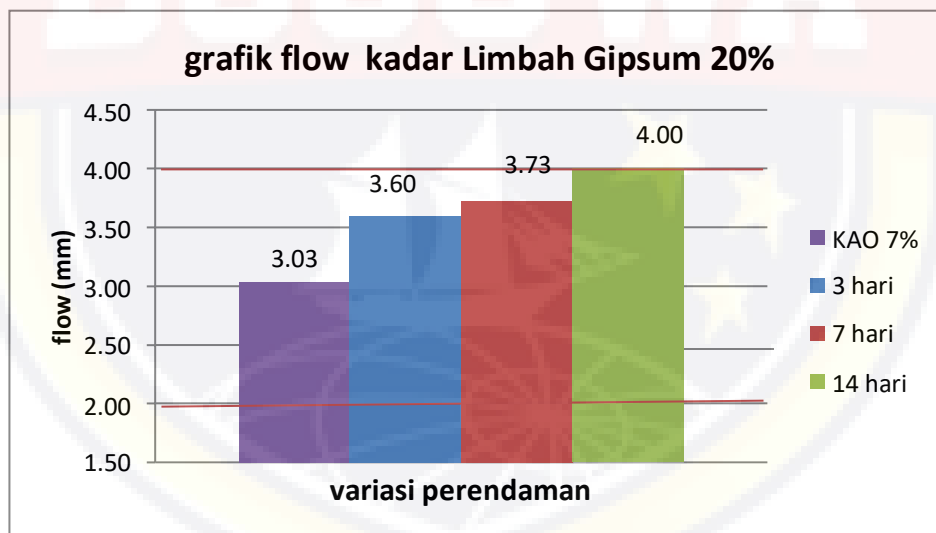


**Gambar 4.41** Diagram hubungan variasi limbah gypsum kadar 20 % terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C

Dari gambar 4.41 diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi Limbah Gypsum 20% kedalam campuran yang direndam secara berulang cenderung mengalami penurunan. Nilai stabilitas pada perendaman 3 hari 1213.70 Kg pada perendaman 7 hari 1206.90 Kg dan pada perendaman 14 hari yaitu 1199.45 Kg. Hal ini disebabkan semakin lama perendaman akan mengurangi daya rekat aspal.

**c. Pelelehan (*Flow*) Minimum 2 - 4 (mm).**

Grafik nilai *Flow* campuran AC-WC untuk berbagai variasi plastik yang ditambahkan pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.42

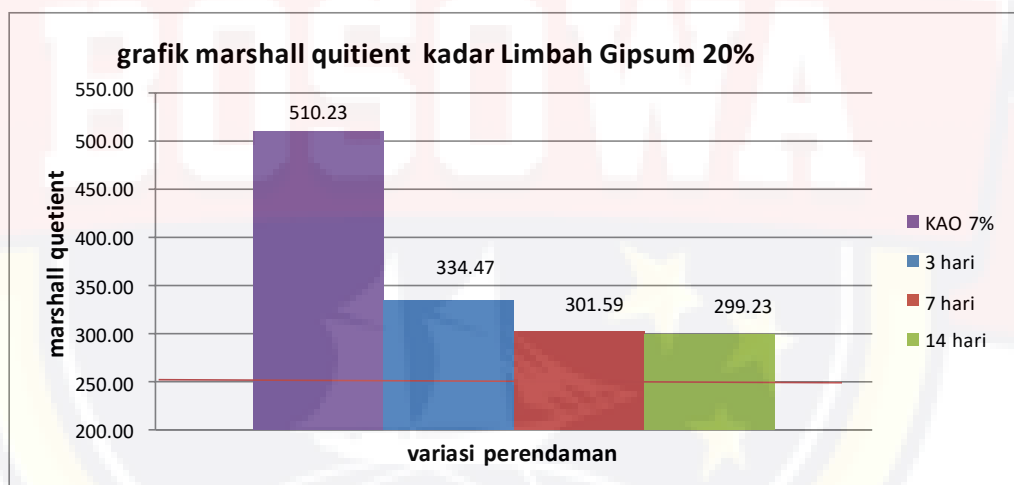


**Gambar 4.42.** Diagram hubungan Variasi kadar limbah gipsum 20% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.42 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan limbah gipsum 20% kedalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* meningkat, pada perendaman 3 hari nilainya yaitu 3.60 mm pada perendaman 7 hari yaitu 3.73 mm dan pada perendaman yang ke 14 hari nilai Flownya yaitu 4.00 mm. Hal ini dikarenakan semakin lama perendaman dalam air akan mengurangi nilai viskositas akan semakin meningkat.

#### d. Marshall Quotient

Nilai MQ pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.43

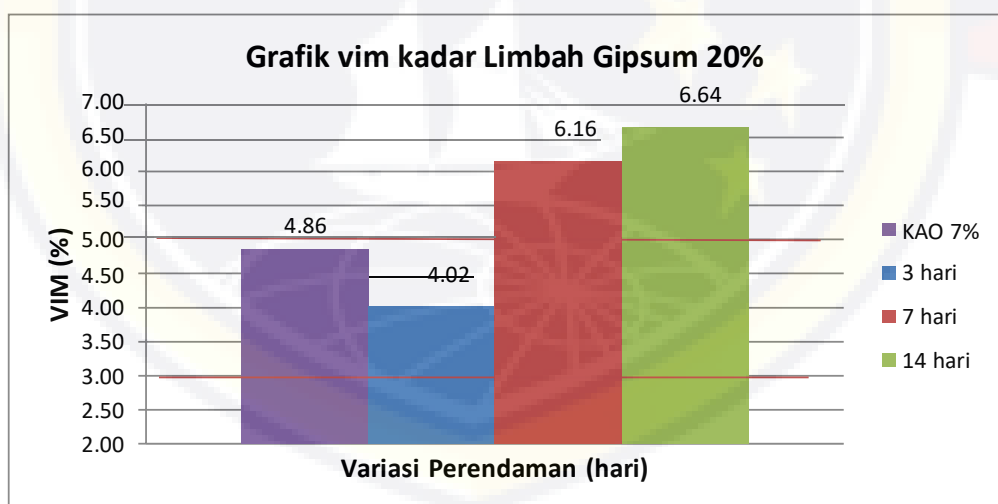


**Gambar 4.43.** Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsum 20 % pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Gambar diatas menunjukkan bahwa lamanya durasi perendaman mengakibatkan nilai *Marshall Quotient* bervariasi tanpa perendaman nilai *Marshall Quotient* yaitu pada perendaman 3 hari yang diperoleh 334.47 Kg/mm, pada perendaman 7 hari nilai yang diperoleh 301.59 Kg/mm dan pada perendaman yang ke 14 hari nilai yang di peroleh yaitu 299.23 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 limbah gypsum 20% pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.44

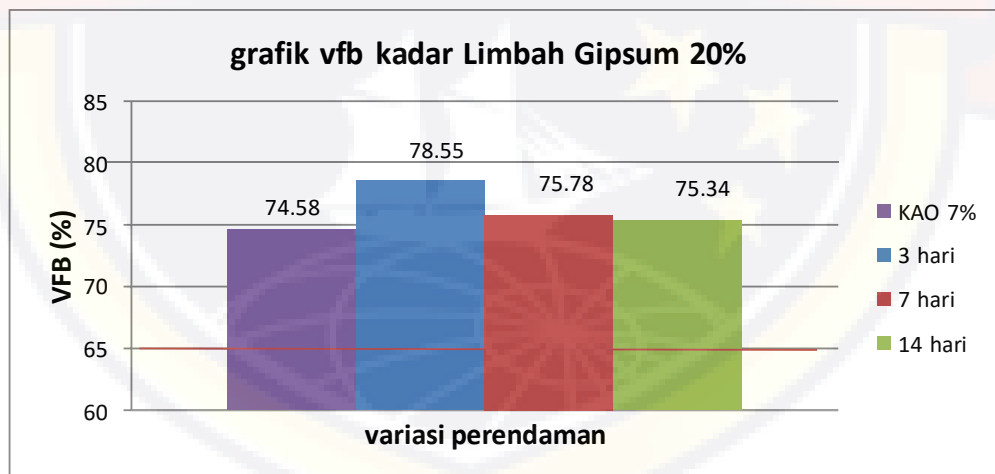


**Gambar 4.44** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 20 % terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.44 menunjukkan bahwa penambahan variasi limbah gipsium 20% ke dalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *VIM* cenderung berbededa. Hal ini disebabkan karena campuran belum dilakukan pembebanan.

**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.



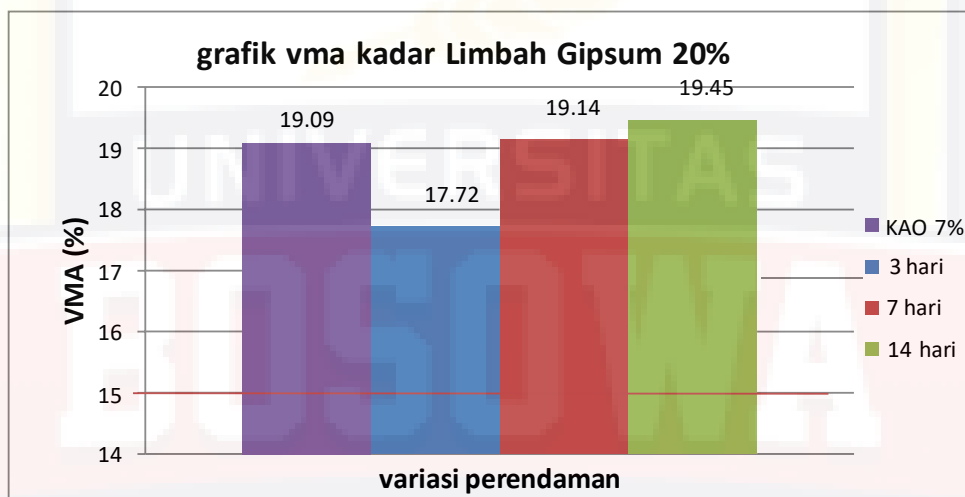
**Gambar 4.45** Diagram hubungan variasi kadar limbah gypsum 20 % terhadap *VFB* pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 24 jam dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.46 menunjukkan bahwa penambahan limbah gypsum 20% ke dalam campuran tidak terlalu menyebabkan nilai *VFB*

berubah . Hal ini disebabkan karena penambahan limbah gipsum akan mempertahankan rongga dalam aspal.

#### g. Rongga Dalam Agregat (VMA) Min 15%

Grafik nilai VMA campuran AC-WC untuk berbagai variasi limbah Gypsum kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.47



**Gambar 4.46** Diagram hubungan variasi kadar limbah gipsum 20 % terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 24 jam Dengan Suhu 60°C.

Dari gambar 4.47 menunjukkan bahwa penambahan Limbah Gypsum ke dalam campuran cenderung sama yakni berada pada 20%. Hal ini disebabkan karena penambahan Limbah Gypsum mempertahankan rongga dalam mineral agregat



#### 4.5 Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS

*Marshall* sisa dilakukan setelah direndam selama 24 jam pada suhu 60° pada kondisi kadar aspal optimum. 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 4.20 dan 4.21.

**Tabel 4.18 Hubungan KAO Aspal Minyak Dengan Persentase Nilai IKS Aspal Beton AC- WC**

KAO	Waktu Perendaman Suhu 60°C		IKS	Spek. %
	30 Menit	24 Jam		
	1614,2	1539,7	104,84	90

*Sumber : Hasil penelitian Laboratorium*

Dari tabel 4.20 menunjukkan bahwa nilai stabilitas untuk campuran AC-WC pada kadar aspal optimum terhadap perendaman.

No	Proporsi Campuran (% Berat Total Agregat)				KADAR		KEPADATAN	Rongga Dalam Campuran VIM (%)	STABILITAS (Kg)	(mm)	(kg / mm)	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFB)							
					Kadar Aspal	Kadar Limbah Gypsum														
	a	b	c	d	A	% Terhadap total Campuran								E H	J 100 (D - I) D	K	L Disesuaikan (Kalibrasi Alat & Korelasi)	M	N	R 100 - (1/B) x (100 - A)
IA	20	45	36	1	7	10%	2.39	4.9	110	1704.56	3.25	524.48	19.25	74.53						
IIB	20	45	36	1	7	10%	2.39	4.8	95	1472.12	3.55	414.68	19.14	75.05						
Perendaman 3 Hari 30 Menit Suhu 60°C													<b>2.39</b>	<b>4.8</b>	<b>102.50</b>	<b>1588.34</b>	<b>3.4</b>	<b>469.58</b>	<b>19.20</b>	<b>74.79</b>
IB	20	45	36	1	7	10%	2.39	4.9	96	1487.62	3.30	450.79	19.24	74.60						
IIB	20	45	36	1	7	10%	2.38	5.2	100	1549.60	3.80	407.79	19.55	73.14						
Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60°C													<b>2.38</b>	<b>5.1</b>	<b>98.00</b>	<b>1518.61</b>	<b>3.6</b>	<b>429.29</b>	<b>19.39</b>	<b>73.87</b>
IC	20	45	36	1	7	10%	2.38	5.3	95	1415.50	3.9	362.95	19.60	72.89						
IIC	20	45	36	1	7	10%	2.37	5.6	101	1198.30	3.50	342.37	19.81	71.93						
Perendaman 14 Hari 30 Menit Suhu 60°C													<b>2.37</b>	<b>5.4</b>	<b>98.00</b>	<b>1306.90</b>	<b>3.7</b>	<b>352.66</b>	<b>19.70</b>	<b>72.41</b>
IA	20	45	36	1	7	15%	2.47	1.7	108	1239.4	3.9	317.79	16.49	89.96						
IIB	20	45	36	1	7	15%	2.40	4.3	105	1218.8	3.2	380.88	18.74	77.04						
Perendaman 3 Hari 30 Menit Suhu 60°C													<b>2.37</b>	<b>4.5</b>	<b>106.50</b>	<b>1229.10</b>	<b>3.6</b>	<b>350.28</b>	<b>17.62</b>	<b>83.50</b>
IB	20	45	36	1	7	15%	2.40	4.4	81	1206.9	3.40	354.97	18.80	76.76						
IIB	20	45	36	1	7	15%	2.37	5.4	82	1221.8	3.90	313.28	19.70	72.41						
Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60°C													<b>2.34</b>	<b>4.9</b>	<b>81.50</b>	<b>1214.35</b>	<b>3.7</b>	<b>324.57</b>	<b>19.25</b>	<b>74.59</b>
IC	20	45	36	1	7	15%	2.36	5.8	90	1192.6	3.80	313.84	20.05	70.85						
IIC	20	45	36	1	7	15%	2.33	7.1	95	1151.30	3.90	295.21	21.15	66.26						
Perendaman 14 Hari 30 Menit Suhu 60°C													<b>2.31</b>	<b>6.5</b>	<b>92.50</b>	<b>1171.95</b>	<b>3.9</b>	<b>307.09</b>	<b>20.60</b>	<b>68.55</b>
IA	20	45	36	1	7	20%	2.38	5.2	85	1175.80	3.70	317.78	19.52	73.26						
IIB	20	45	36	1	7	20%	2.44	2.8	84	1251.6	3.50	357.60	17.49	83.83						
Perendaman 3 Hari 30 Menit Suhu 60°C													<b>2.35</b>	<b>4.3</b>	<b>84.50</b>	<b>1213.70</b>	<b>3.6</b>	<b>334.47</b>	<b>17.72</b>	<b>78.55</b>
IB	20	45	36	1	7	20%	2.44	2.8	89	1326.1	3.95	335.72	17.47	83.92						
IIB	20	45	36	1	7	20%	2.34	6.7	73	1087.7	3.90	278.90	20.80	67.65						
Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60°C													<b>2.34</b>	<b>6.2</b>	<b>81.00</b>	<b>1206.90</b>	<b>3.9</b>	<b>301.59</b>	<b>19.14</b>	<b>75.78</b>
IC	20	45	36	1	7	20%	2.46	2.0	87	1296.3	3.80	341.13	16.78	88.10						
IIC	20	45	36	1	7	20%	2.30	8.3	74	1102.6	4.20	262.52	22.11	62.59						
Perendaman 14 Hari 30 Menit Suhu 60°C													<b>2.33</b>	<b>6.6</b>	<b>80.50</b>	<b>1199.45</b>	<b>4.0</b>	<b>299.23</b>	<b>19.45</b>	<b>75.34</b>
<b>SPESIFIKASI</b>								<b>Min 3,0 - 5,0</b>		<b>Min 800</b>	<b>Min 2 - Maks. 4</b>		<b>Min 15</b>	<b>Min 65</b>						

Tabel 4.19 Tabel Resume Nilai Limbah Gypsum

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan analisis data yang dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh penggunaan Limbah Gypsum sebagai filler dengan perendaman berulang dapat mempengaruhi nilai stabilitas dimana semakin bertambahnya kadar variasi limbah gypsum dan semakin lama perendaman maka nilai stabilitas semakin menurun, untuk variasi 10% = 1588.34 kg, 15% = 1229.10 kg, 20% = 1199.45, kemudian pada nilai flow 10% = 3.40 mm, 15% = 3.65 mm, 20% = 4.00 mm. flow mengalami peningkatan seiring bertambahnya limbah gypsum.
2. Hasil pengujian marshall test menggunakan variasi bahan limbah gypsum, nilai terbaik untuk stabilitas = 1588.34 kg dan flow = 3.03 mm, yaitu pada limbah gypsum 10% dengan perendaman 3 hari, semakin banyak limbah gypsum yang digunakan maka akan mempengaruhi kinerja campuran lapis perkerasan sehingga menyebabkan lapis perkerasan mengalami penurunan kekuatan.

## 5.2 Saran

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

1. Masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang “Dampak Substitusi Bahan/Limbah Gypsum Sebagai Pengganti Filler Terhadap Sifat dan Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Minyak AC-WC”.
2. Agar dilakukan penelitian selanjutnya tentang variasi kadar dari penambahan Limbah Gypsum dan agar didapatkan hasil uji yang lebih baik dengan pengujian lapangan.
3. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar menggunakan penumbuk listrik (Electrik Compaction) agar beban yang diterima benda uji tetap sama.
4. Dengan hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi pedoman dalam perencanaan penggunaan kadar Limbah Gypsum dalam campuran aspal Minyak AC-WC.

## 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.
- Dinas Lalu Lintas dan Angkutan Jalan. Undang-Undang Republik Indonesia No.38 Tahun 2004 tentang *Jalan*.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018 Untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*. Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat : Jakarta.
- 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. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung, Nova.
- Sukirman, S. 2007. *Beton Aspal Campuran Panas*.:Yayasan obor indonesia, jakarta.
- Sugeng dwi hartoyo, 2021 *Pengaruh Penambahan limbah serbuk gipsum sebagai bahan Pengganti Gypsum dalam Bahan Campuran Aspal*
- Rahmat Riadi, Eva Rita,2017 *Pengaruh substitusi serbuk gipsum sebagai filler pada campuran AC-WC*.



L

A

M

P

I

R

N



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

**ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR**

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

Material : Batu Pecah 1 - 2

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 25 Agustus 2021

Saringan No	Total :	2500,4		Total :	2500,3		Rata - rata
	Sampel Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Sampel Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	% Lolos
3/4"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1/2"	1126,60	45,06	54,94	1042,60	41,70	58,30	56,62
3/8"	1786,60	71,45	28,55	1737,40	69,49	30,51	29,53
No. 4	2396,60	95,85	4,15	2380,60	95,21	4,79	4,47
No. 8	2477,20	99,07	0,93	2473,90	98,94	1,06	0,99
No. 16	2480,90	99,22	0,78	2476,80	99,06	0,94	0,86
No. 30	2481,30	99,24	0,76	2477,20	99,08	0,92	0,84
No. 50	2482,50	99,28	0,72	2479,60	99,17	0,83	0,77
No. 100	2483,40	99,32	0,68	2481,00	99,23	0,77	0,73
No. 200	2487,40	99,48	0,52	2489,90	99,58	0,42	0,47
Pan	2498,60	99,93	0,07	2499,50	99,97	0,03	0,05



Makassar, 25 Agustus 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**

**ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR**

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

Material : Batu Pecah 0,5 - 1

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 25 Agustus 2021

Saringan No	2500,1			2500,2			Rata - rata % Lolos
	Sampel Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Sampel Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	
3/4"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1/2"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
3/8"	346,90	13,88	86,12	155,10	6,20	93,80	89,96
No. 4	1240,50	49,62	50,38	1230,50	49,22	50,78	50,58
No. 8	1987,20	79,48	20,52	1956,80	78,27	21,73	21,12
No. 16	2338,10	93,52	6,48	2319,60	92,78	7,22	6,85
No. 30	2442,40	97,69	2,31	2421,20	96,84	3,16	2,73
No. 50	2447,40	97,89	2,11	2427,10	97,08	2,92	2,52
NO. 100	2449,40	97,97	2,03	2454,80	98,18	1,82	1,92
No. 200	2453,00	98,12	1,88	2458,00	98,31	1,69	1,79
Pan	2497,10	99,88	0,12	2499,70	99,98	0,02	0,07



Makassar, 25 Agustus 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**

**ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS**

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

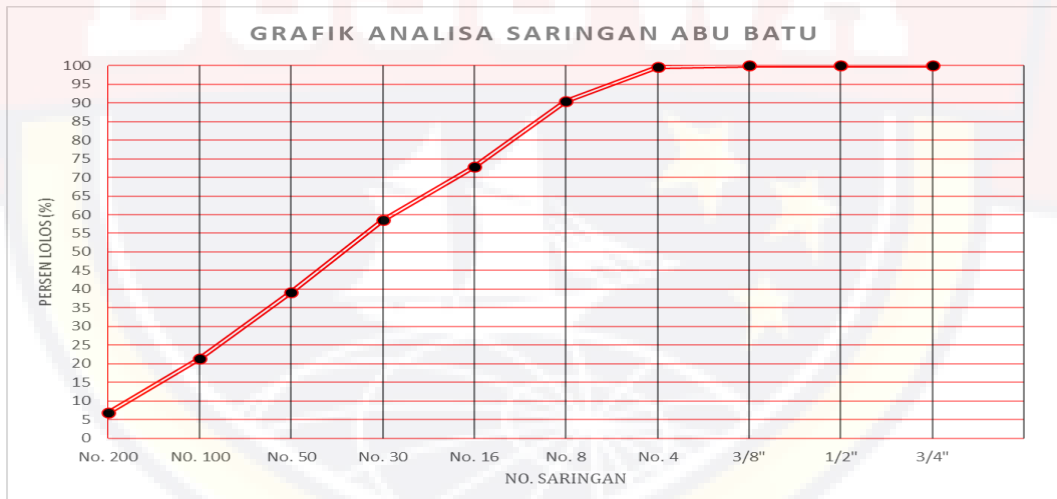
Material : Abu Batu

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 25 Agustus 2021

Saringan No	2500,4			2500,3			Rata - rata % Lolos
	Sampel Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Sampel Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	
3/4"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1/2"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
3/8"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
No. 4	0,40	0,02	99,98	15,40	0,62	99,38	99,68
No. 8	1,10	0,04	99,96	474,00	18,96	81,04	90,50
No. 16	603,00	24,12	75,88	749,10	29,96	70,04	72,96
No. 30	1120,80	44,82	55,18	955,30	38,21	61,79	58,48
No. 50	1441,70	57,66	42,34	1597,90	63,91	36,09	39,22
No. 100	2019,30	80,76	19,24	1909,80	76,38	23,62	21,43
No. 200	2357,90	94,30	5,70	2299,60	91,97	8,03	6,86
Pan	2496,60	99,85	0,15	2498,80	99,94	0,06	0,11



Makassar, 25 Agustus 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**

**ANALISA SARINGAN FILLER**

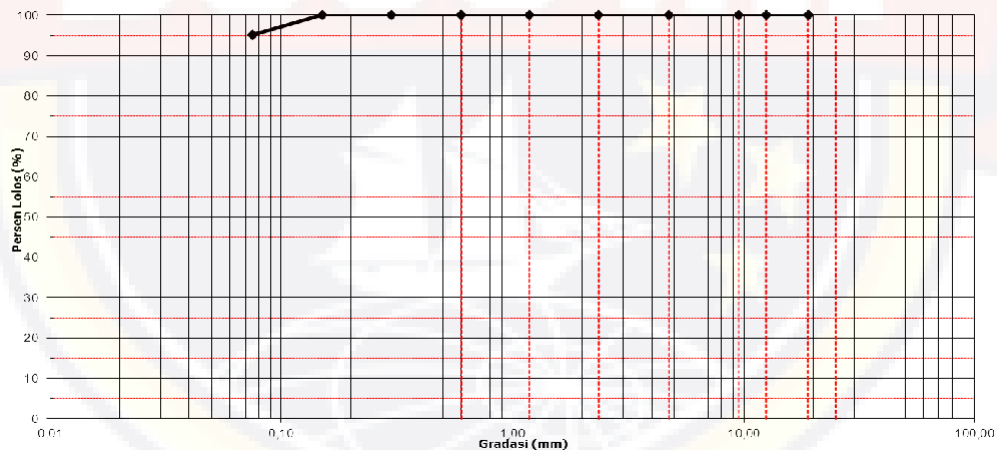
AASHTO T. 11 / 27 - 29 - SNI 03 - 1968 - 1990

Material : Semen

Nama : Muhammad Ilham S

Tanggal : 25 Agustus 2021

Saringan No	Total :	2000,0		Total :	2000		Rata - rata
	Sampel	1		Sampel	2		%
	Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Kumulatif Tertahan	% Tertahan	% Lolos	Lolos
3/4"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1/2"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
3/8"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
No. 4	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
No. 8	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
No. 16	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
No. 30	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
No. 50	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
NO. 100	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
No. 200	96,50	4,83	95,18	97,20	4,86	95,14	95,16



Makassar, 25 Agustus 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**

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS**

SNI 03-1969-1990

Material : Abu Batu

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 26 Agustus 2021

	A	B	Rata - rata
Berat benda uji kering - permukaan jenuh ( SSD )	500,00	500,30	500,15
Berat benda uji kering oven $B_k$	487,40	484,60	486,00
Berat Piknometer diisi air (25°C) $B$	688,30	687,40	687,85
Berat piknometer + benda uji (SSD) + air(25°C) $B_t$	1009,80	1025,60	1017,70

	A	B	Rata - rata
Berat jenis ( Bulk ) $\frac{B_k}{(B + 500 - B_t)}$	2,73	3,00	2,86
Berat jenis kering - permukaan jenuh $\frac{500}{(B + 500 - B_t)}$	2,80	3,09	2,95
Berat jenis semu ( Apparent ) $\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2,94	3,31	3,12
Penyerapan ( Absorption ) $\frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\%$	2,61	3,20	2,90

Makassar, 25 Agustus 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**

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR**

SNI 03-1969-1990

Material : Batu Pecah 1 - 2

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 26 Agustus 2021

		A	B	Rata - rata
Berat benda uji kering oven	$B_k$	2445,20	2457,80	2451,50
Berat benda uji kering - permukaan jenuh	$B_j$	2500,50	2500,60	2500,55
Berat benda uji didalam air	$B_a$	1565,40	1570,40	1567,90

		A	B	Rata - rata
Berat jenis ( Bulk )	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,61	2,64	2,63
Berat jenis kering - permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,67	2,69	2,68
Berat jenis semu ( Apparent )	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,78	2,77	2,77
Penyerapan ( Absorption )	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2,26	1,74	2,00

Makassar, 25 Agustus 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**

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR**

SNI 03-1969-1990

Material : Batu Pecah 0,5 - 1

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 26 Agustus 2021

		A	B	Rata - rata
Berat benda uji kering oven	$B_k$	2448,20	2439,10	2443,65
Berat benda uji kering - permukaan jenuh	$B_j$	2500,50	2500,70	2500,60
Berat benda uji didalam air	$B_a$	1586,30	1578,80	1582,55

		A	B	Rata - rata
Berat jenis ( Bulk )	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,68	2,65	2,66
Berat jenis kering - permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,74	2,71	2,72
Berat jenis semu ( Apparent )	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,84	2,84	2,84
Penyerapan ( Absorption )	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2,14	2,53	2,33

Makassar, 25 Agustus 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**

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL**

SNI 03-2442-1991

Material : Aspal

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Pabrik

Tanggal : 27 Agustus 2021

URAIAN		I	II
Berat Piknometer ( gram )	A	53,50	51,90
Berat Piknometer + Air ( gram )	B	116,40	111,70
BERAT AIR / ISI PIKNOMETER ( gram )	( B - A )	62,90	59,80
Berat Piknometer + Aspal ( gram )	C	86,60	84,30
BERAT ASPAL ( gram )	( C - A )	33,10	32,40
Berat Piknometer + Air + Aspal ( gram )	D	116,50	111,90
BERAT AIR ( gram )	( D - C )	29,90	27,60
Berat Jenis Aspal	$\frac{(C - A)}{(B - A) - (D - C)}$	1,003	1,006
Rata-rata		1,005	

Makassar, 25 Agustus 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**

**PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR**

SNI ASTM C117:2012

Material : Batu Pecah 1 - 2

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 27 Agustus 2021

No.	Uraian	I	II
1	Berat Kering contoh semula (A), gram	2500,4	2500,6
2	Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200 (B), gram	2360,2	2353,4
3	Persentase material lolos No. 200 (A-B/A) x 100%	5,61	5,89
4	Hasil Rata - rata	5,75	

Makassar, 25 Agustus 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**

**PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR**

SNI ASTM C117:2012

Material : Batu Pecah 0,5 - 1

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 27 Agustus 2021

No.	Uraian	I	II
1	Berat Kering contoh semula (A), gram	2500,3	2500,5
2	Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200 (B), gram	2336,2	2338,4
3	Persentase material lolos No. 200 (A-B/A) x 100%	6,56	6,48
4	Hasil Rata - rata	6,52	

Makassar, 25 Agustus 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**

**PEMERIKSAAN KADAR LUMPUR**

SNI ASTM C117:2012

Material : Abu Batu

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 27 Agustus 2021

No.	Uraian	I	II
1	Berat Kering contoh semula (A), gram	1500,3	1500,1
2	Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200 (B), gram	1270	1283,4
3	Persentase material lolos No. 200 (A-B/A) x 100%	15,35	14,45
4	Hasil Rata - rata	14,90	

Makassar, 25 Agustus 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

## GRADASI PENGGABUNGAN AGREGAT

( COMBINE )

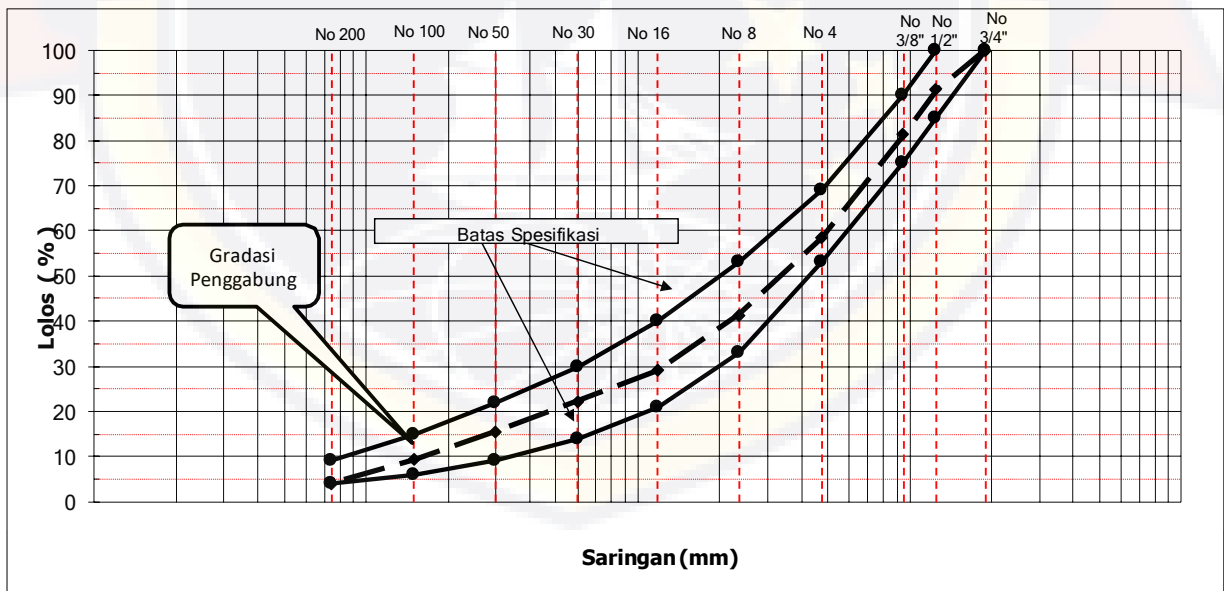
Material : BP 1-2, BP 0,5-1, Abu Batu, Filler

Nama : Muhammad Ilham S

Sumber : Bili-Bili

Tanggal : 26 Agustus 2021

No. Saringan	Gradasi Agregat Individu ( Rata - rata )				Gradasi Penggabungan Agregat ( Combined ) AC - WC											Spesifikasi 2018	Faktor Luas Permukaan Agregat	
	a	b	d	e	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI			
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00												100	0,41
1/2"	56,62	100,00	100,00	100,00	91,32												90 - 100	0,41
3/8"	29,53	89,96	100,00	100,00	81,39												75 - 90	0,41
# 4	4,47	50,58	99,68	100,00	58,55												53 - 69	0,41
# 8	0,99	21,12	90,50	100,00	41,47												33 - 53	0,82
# 16	0,86	6,85	72,96	100,00	29,06												21 - 40	1,64
# 30	0,84	2,73	58,48	100,00	22,28												14 - 30	2,87
# 50	0,77	2,52	39,22	100,00	15,62												9 - 22	6,14
# 100	0,73	1,92	21,43	100,00	9,30												6 - 15	12,29
# 200	0,47	1,79	6,86	95,16	4,18												4 - 9	32,77
Rasio Komposisi Agregat ( % terhadap Total Agregat )	b. Batu Pecah 1 - 2				20													
	c. Batu Pecah 0,5 - 1				45													
	d. Abu Batu				34													
	e. Filler				1													
Total Luas Permukaan Agregat ( M <sup>2</sup> / KG )				5,17														





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

$$\begin{aligned} \text{Pb} &= 0,035 \times \text{CA} + 0,045 \times \text{FA} + 0,18 \times \text{FF} + \text{K} \\ &= 0,035 \times 58,53 + 0,045 \times 37,29 + 0,18 \times 4,18 + 0,75 \\ &= 5,23 \end{aligned}$$

Makassar, 25 Agustus 2021

Mengetahui  
Kepala Laboratorium

Diperiksa Oleh  
Asisten Laboratorium

Ir. H. Abd. Rahim Nurdin. MT.

Marlina Alwi. ST.

UNIVERSITAS

**BOSOWA**



## MARSHALL TEST

{ AASHTO T. 245 - 97 ( 2003 ) }

Penetrasi	: 60 / 70
Berat Jeni Aspal ( T )	: 1.005 gr/cc

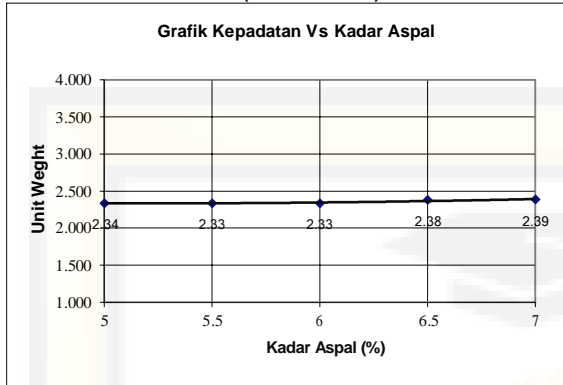
No	Agregat	Bj bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2.59	2.76
b	Batu Pecah 0.5 - 1	2.62	2.82
c	Abu Batu	2.78	3.01
d	filler	3.17	3.17

No	Proporsi Campuran ( % Berat Total Agregat )				Kadar Aspal Efektif	Kadar Aspal	Bj Bulk Gab.	Bj Efektif Gab.	Bj Max Campuran ( GMM )	Berat ( gram )			Volume Benda Uji	Bj Bulk Campuran (kepadatan)	Rongga Dalam Campuran ( VM )	Stabilitas ( kg )		Pelelehan ( mm )	Marshall Quotien ( kg / mm )	Luas Permukaan Agregat	Absorpsi Aspal Thdp Berat Total Campuran	Tebal Film	Rongga Dalam Agregat ( VMA )	Rongga Terisi Aspal ( VFB )
										Di Udara ( In Air )	Di Dalam Air ( In Water )	Kering Permukaan Jenuh (SSD)				Pembacaan	Disesuaikan (Kalibrasi Alat dan Angka Korelasi)							
	a	b	c	d	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
					$A - \frac{(P \times 100)}{100 - A}$	( % )	Note 1	Note 2	$\frac{100 - A}{C} + \frac{A}{T}$			G - F	$\frac{E}{H}$	$\frac{100(D - I)}{D}$		(Pembacaan x Kalibrasi Alat x (Angka Korelasi)		L -M-	Combined A + B $\frac{100 \cdot T}{D}$	$\frac{T(100 - A)}{100(A - P)}$	$100 - \frac{(R - J)}{(100 - A)}$	$\frac{(R - J)}{R} \times 100$		
I	20	50	29	1	3.93	5	2.69	2.77	2.55	1164.3	689.2	1185.1	495.9	2.35	7.9	65.0	980.6	3.50	280.2	5.61	1.1	7.012	16.94	53.48
II	20	50	29	1	3.93	5	2.69	2.77	2.55	1173.7	696.2	1196.2	500.0	2.35	7.9	78.0	1176.7	3.46	340.1	5.61	1.1	7.012	16.96	53.42
III	20	50	29	1	3.93	5	2.69	2.77	2.55	1182.2	695.4	1206.1	510.7	2.31	9.2	85.0	1282.3	3.65	351.3	5.61	1.1	7.012	18.11	49.33
							2.69	2.77	2.55	1173.4	693.6	1195.8	502.20	2.34	8.3	76.0	1146.56	3.54	323.9	5.61	1.1	7.012	17.34	52.08
I	20	50	29	1	4.45	5.5	2.69	2.77	2.53	1161.3	689.6	1184.7	495.1	2.35	7.2	104.0	1569.0	4.56	344.1	5.61	1.1	7.968	17.46	58.61
II	20	50	29	1	4.45	5.5	2.69	2.77	2.53	1172.9	694.5	1187.6	493.1	2.38	5.9	107.0	1614.2	3.03	532.7	5.61	1.1	7.968	16.30	63.68
III	20	50	29	1	4.45	5.5	2.69	2.77	2.53	1181.8	683.8	1202.2	518.4	2.28	9.8	91.0	1372.8	3.22	426.4	5.61	1.1	7.968	19.78	50.29
							2.69	2.77	2.53	1172.00	689.30	1191.50	502.20	2.33	7.7	100.7	1518.68	3.60	434.4	5.61	1.1	7.968	17.85	57.53
I	20	50	29	1	4.96	6	2.69	2.77	2.51	1178.3	679.7	1175	495.3	2.38	5.2	102.0	1538.8	3.20	480.9	5.61	1.1	8.935	16.73	69.21
II	20	50	29	1	4.96	6	2.69	2.77	2.51	1188.2	699.9	1198.1	498.2	2.38	4.9	82.0	1237.1	3.35	369.3	5.61	1.1	8.935	16.52	70.27
III	20	50	29	1	4.96	6	2.69	2.77	2.51	1161.4	685.8	1204.9	519.1	2.24	10.8	85.0	1282.3	4.60	278.8	5.61	1.1	8.935	21.69	50.21
							2.69	2.77	2.51	1175.97	688.47	1192.67	504.20	2.33	7.0	89.7	1352.73	3.72	376.3	5.61	1.1	8.935	18.31	63.23
I	20	50	29	1	5.50	6.5	2.69	2.77	2.49	1178.3	697.8	1184.9	487.1	2.42	2.7	84.0	1267.2	4.10	309.1	5.61	1.1	9.977	15.78	82.87
II	20	50	29	1	5.50	6.5	2.69	2.77	2.49	1191.4	685.6	1189.9	504.3	2.36	5.0	94.0	1418.1	3.70	383.3	5.61	1.1	9.977	17.75	71.96
III	20	50	29	1	5.50	6.5	2.69	2.77	2.49	1188.1	697.8	1200.5	502.7	2.36	4.9	93.0	1403.0	3.80	369.2	5.61	1.1	9.977	17.71	72.12
							2.69	2.77	2.49	1185.93	693.73	1191.77	498.03	2.38	4.2	90.3	1362.79	3.87	353.9	5.61	1.1	9.977	17.08	75.65
I	20	50	29	1	5.98	7	2.69	2.77	2.47	1173.3	696.9	1180.8	483.9	2.42	1.8	99.0	1493.5	4.00	373.4	5.61	1.1	10.899	16.03	88.83
II	20	50	29	1	5.98	7	2.69	2.77	2.47	1183.6	688.6	1182.4	493.8	2.40	2.9	89.0	1342.7	3.70	362.9	5.61	1.1	10.899	16.99	82.85
III	20	50	29	1	5.98	7	2.69	2.77	2.47	1190.5	691.5	1201	509.5	2.34	5.4	102.0	1538.8	4.26	361.2	5.61	1.1	10.899	19.08	71.92
							2.69	2.77	2.47	1182.47	692.33	1188.07	495.73	2.39	3.4	96.7	1458.34	3.99	365.8	5.61	1.1	10.899	17.37	81.20
<b>SPESIFIKASI</b>					Min 4.3									Min 3,0 - 5,0		Min 800	Min 3	Min 250		Max 1,2		Min 15	Min 65	

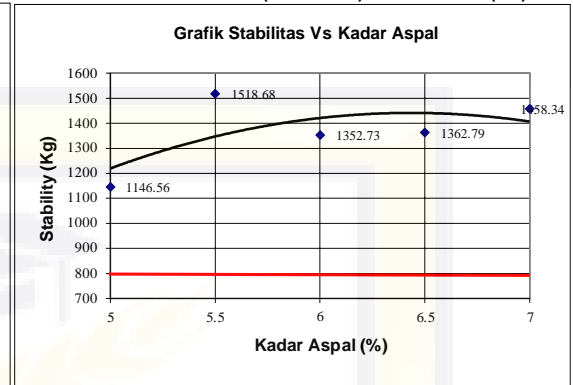
# GRAFIK KARAKTERISTIK MARSHALL TEST

Jenis Campuran AC - WC

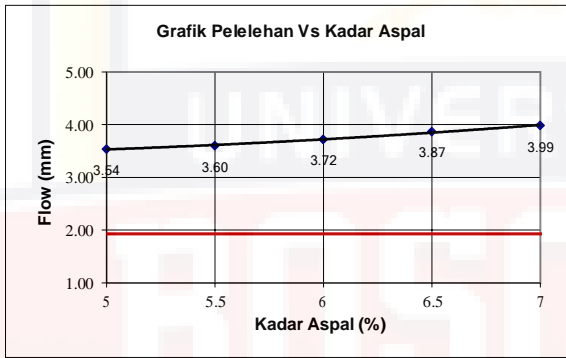
KEPADATAN ( UNIT WEIGHT )



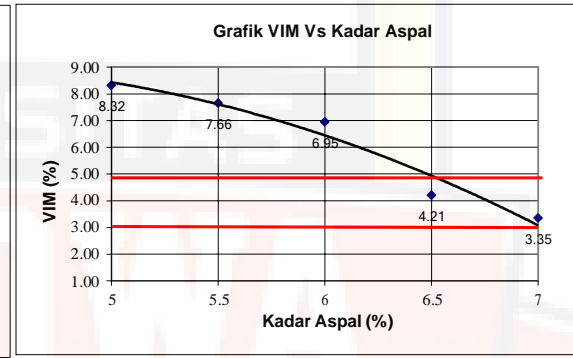
STABILITAS MARSHALL (STABILITY) Minimum 800 (KG)



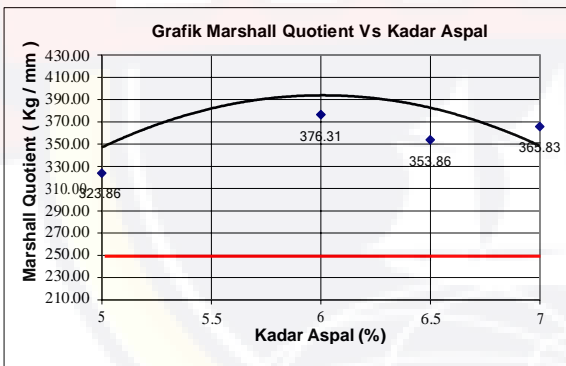
PELELEHAN (FLOW ) MINIMUM 3 (MM)



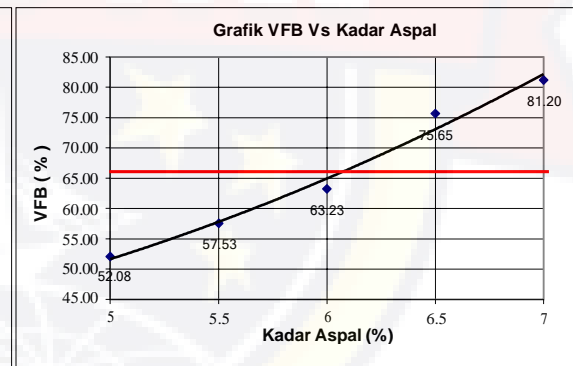
RONGGA DALAM CAMPURAN (VIM) 3,0 - 5,0 (%)



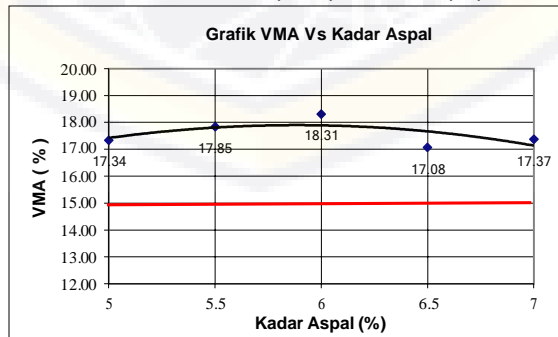
MARSHALL QUOTIENT MINIMUM 250 (Kg/MM)



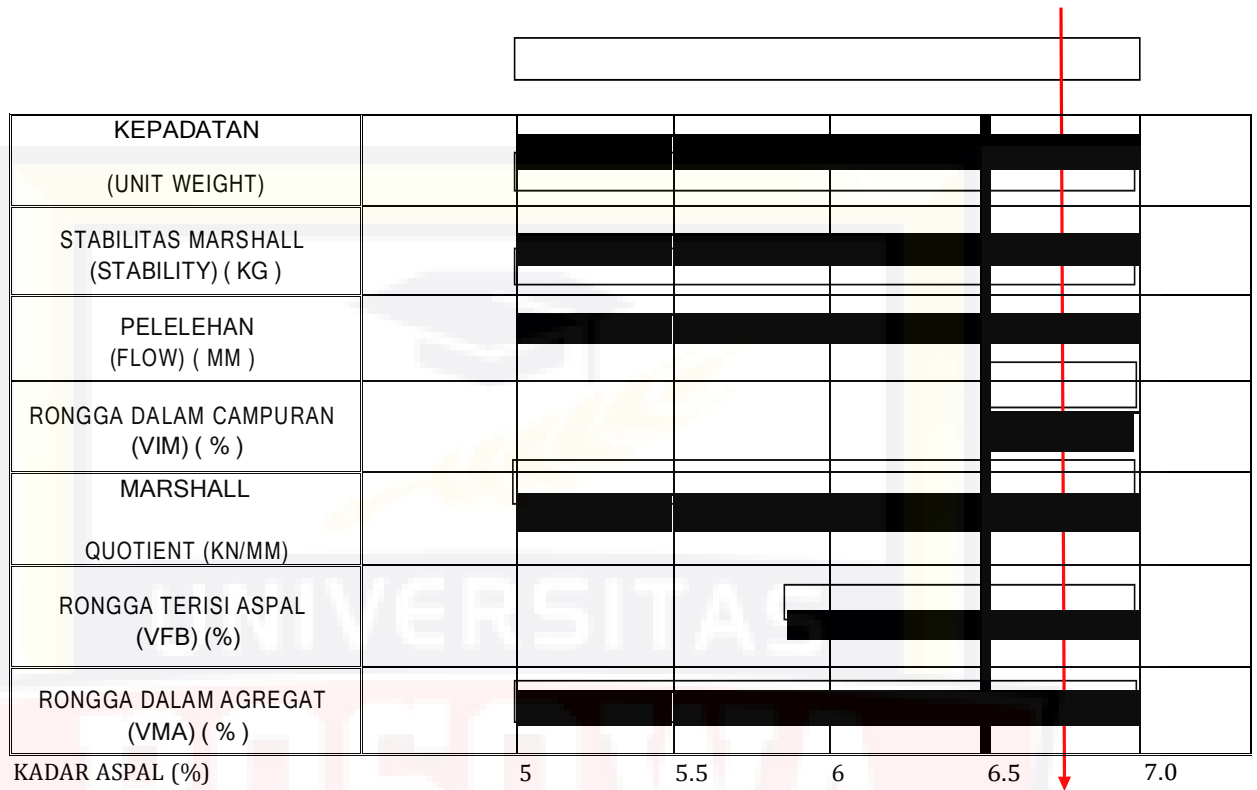
RONGGA TERISI ASPAL ( VFB ) MINIMUM 65 (%)



RONGGA DALAM AGREGAT ( VMA ) MINIMUM 15 (%)



## DIAGRAM PENENTUAN KADAR ASPAL OPTIMUM



$$\text{KADAR ASPAL OPTIMUM} = \frac{6.5 + 7}{2}$$

$$= 6.75$$

$$\text{KAO} = 6.75\% \rightarrow 6.80\%$$

**MARSHALL TEST**  
(AASHTO T. 245 - 97 (2003))

Nama : Muhammad Ilham S.	Aspal : Emulsi	
	Berat Jenis Aspal : 1.005	gr/cc
	di Tes Oleh : Herman	

No	Agregat	Bj Bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2.63	2.77
b	Batu Pecah 0,5 - 1	2.66	2.84
c	abu batu	2.86	3.12
d	Filler	3.14	3.14

No.	Proporsi Campuran (% Berat Total Agregat)				%		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 )					
					Kadar Aspal Efektif	Kadar Aspal				Di Udara (In Air)	Dalam Air (In Water)	Kering Permukaan (SSD)				Pembacaan	Disesuaikan (Kalibrasi Alat & Angka Korelasi)												
	a	b	c	d	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S						
					$A - (P/100) \times (100 - A)$	% terhadap total Campuran		$\frac{100}{100 - A}$ A C T				G - F	E H	$100(D - I)$ D		$(\text{Pembacaan} \times \text{Kalibrasi Alat}) \times \text{Angka Korelasi}$		$\frac{L}{M}$	Combined	$\frac{T(100 - A) - B}{100 \cdot T - D}$	$\frac{1000(A - P)}{100(100 - A)}$	$100 - \frac{I}{B} \times (100 - A)$	(R - J) R						
I	20	45	34	1	6.06	7	2.75	2.83	2.51	1182.80	695.50	1186.10	490.60	2.41	4.00	71.00	1100.22	3.20	343.82	5.17	1.01	12.39	18.36	78.22					
II	20	45	34	1	6.06	7	2.75	2.83	2.51	1186.90	697.70	1189.20	491.50	2.41	3.84	64.00	991.74	3.30	300.53	5.17	1.01	12.39	18.23	78.92					
III	20	45	34	1	6.06	7	2.75	2.83	2.51	1180.70	693.90	1184.50	490.60	2.41	4.17	60.00	929.76	3.40	273.46	5.17	1.01	12.39	18.51	77.47					
Perendaman 30 Menit dengan Suhu 60°									<b>2.51</b>			<b>490.90</b>	<b>2.41</b>	<b>4.00</b>	<b>65.00</b>	<b>1007.24</b>	<b>3.30</b>	<b>305.93</b>	<b>5.17</b>	<b>1.01</b>	<b>12.39</b>	<b>18.37</b>	<b>78.20</b>						
I	20	45	34	1	6.06	7	2.75	2.83	2.51	1179.50	679.90	1182.80	502.90	2.35	6.61	62.00	960.75	3.40	282.57	5.17	1.01	12.39	20.58	67.89					
II	20	45	34	1	6.06	7	2.75	2.83	2.51	1177.50	693.60	1180.00	486.40	2.42	3.60	61.00	945.26	3.60	262.57	5.17	1.01	12.39	18.03	80.00					
III	20	45	34	1	6.06	7	2.75	2.83	2.51	1175.00	695.80	1179.00	483.20	2.43	3.17	71.00	1100.22	3.10	354.91	5.17	1.01	12.39	17.66	82.04					
Perendaman 24 Jam dengan Suhu 60°									<b>2.51</b>			<b>490.83</b>	<b>2.40</b>	<b>4.46</b>	<b>64.67</b>	<b>1002.07</b>	<b>3.37</b>	<b>300.02</b>	<b>5.17</b>	<b>1.01</b>	<b>12.39</b>	<b>18.76</b>	<b>76.21</b>						
<b>SPESIFIKASI</b>																													
															Min 3-5		Min 800	Min 2-4	Min 250								5Min 18	Min 65	







**Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan perendaman berulang selama 3 hari. kemudian di rendam selama 24 jam pada suhu 60°C.**

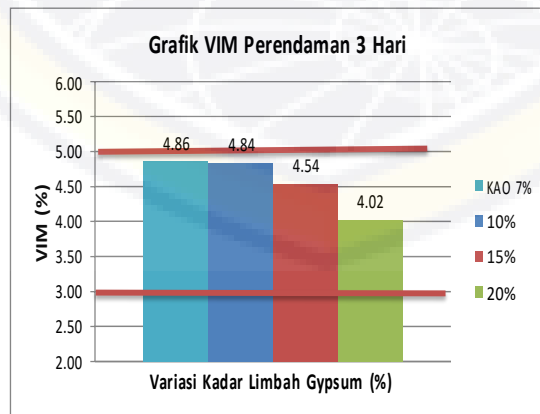
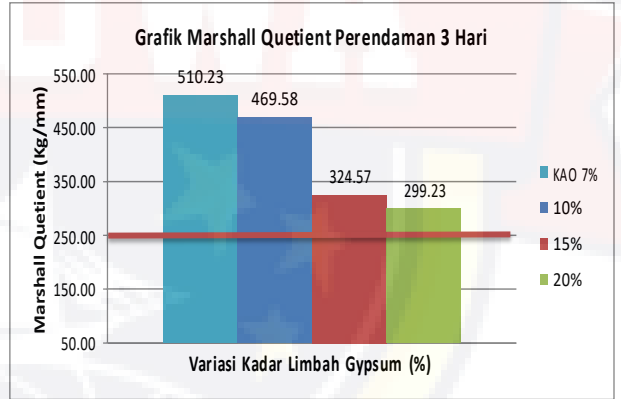
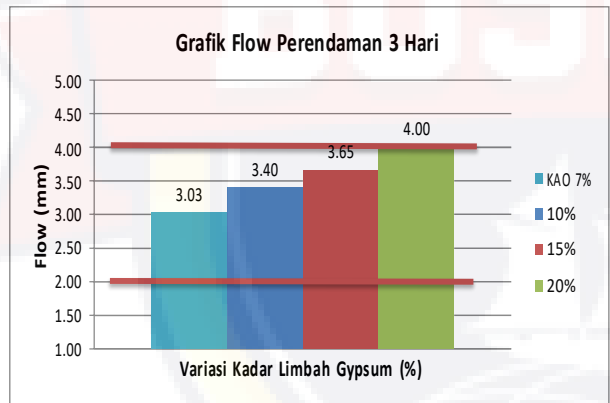
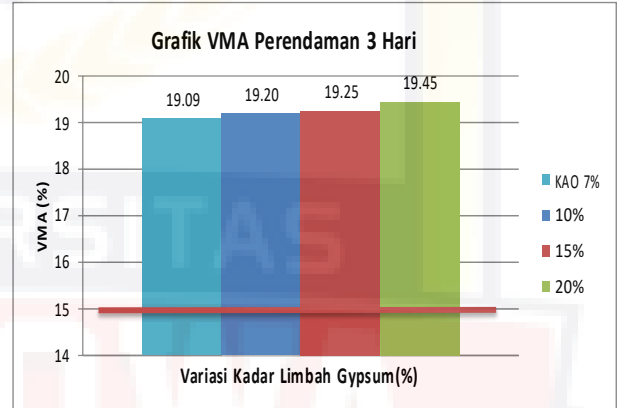
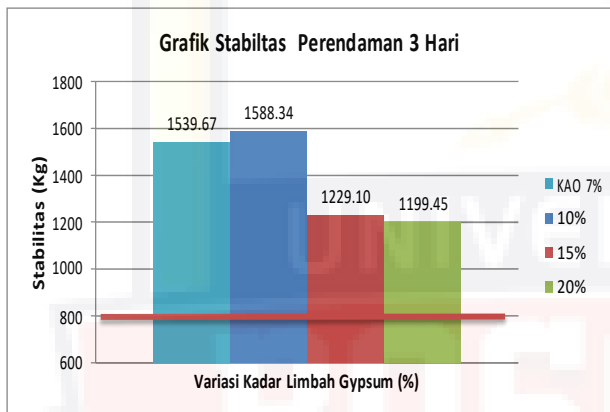
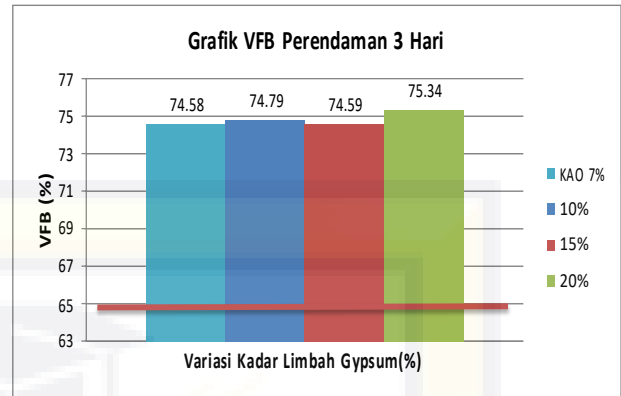
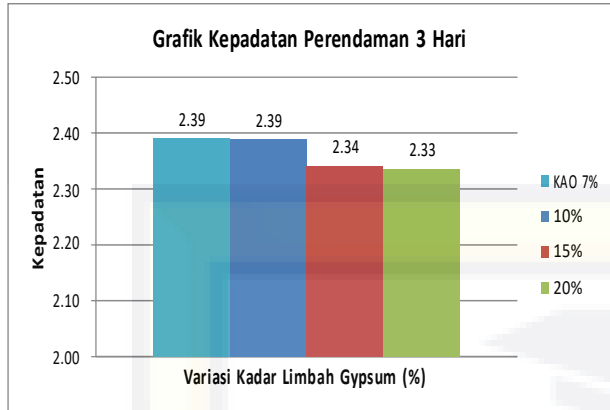
No	Pemeriksaan	KAO 7%				Spesifikasi 2018
		Perendaman 3 Hari				
		Kadar Limbah Gypsum				
		KAO 7%	10%	15%	20%	
1	Kepadatan	2.39	2.39	2.34	2.33	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1588.34	1229.10	1199.45	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.40	3.65	4.00	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.84	4.54	4.02	3-5
5	VFB (%)	74.58	74.79	74.59	75.34	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.20	19.25	19.45	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	469.58	324.57	299.23	Min 250

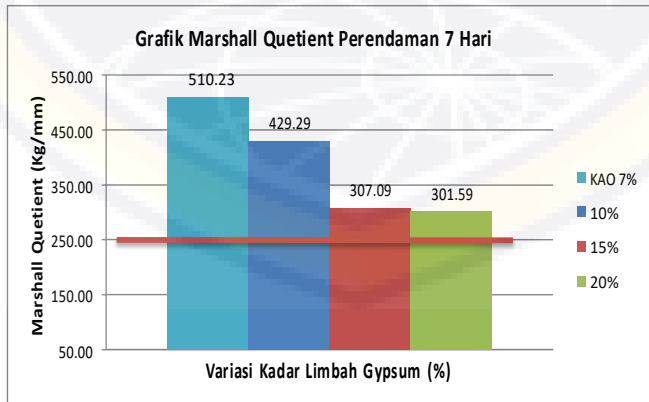
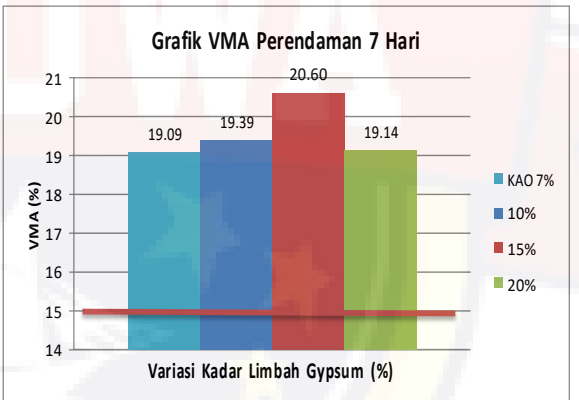
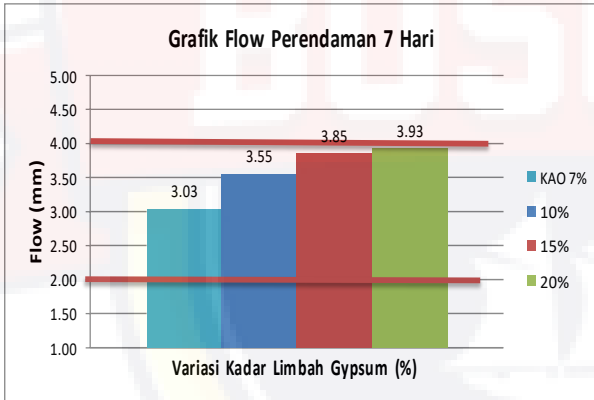
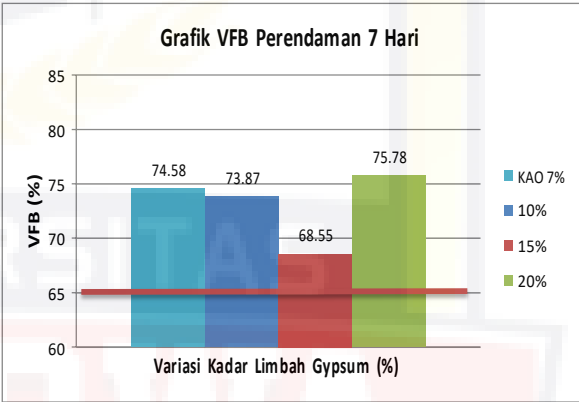
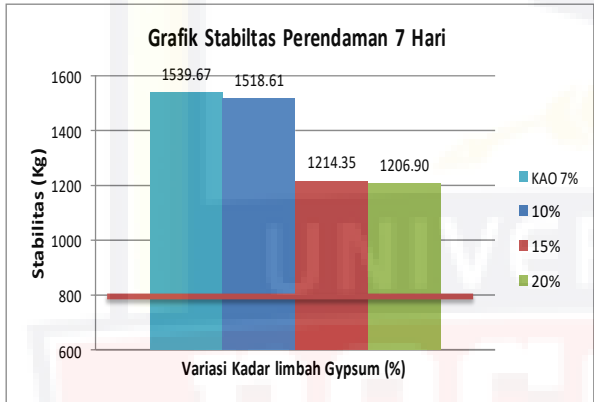
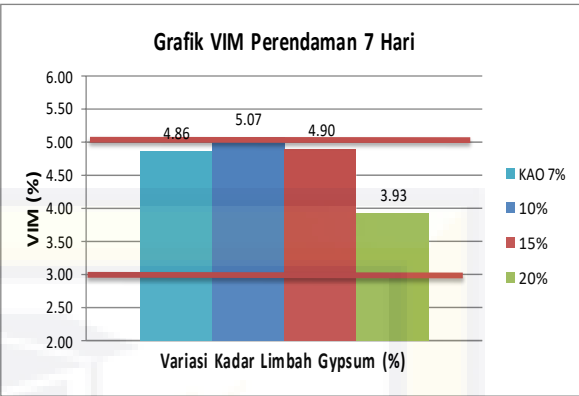
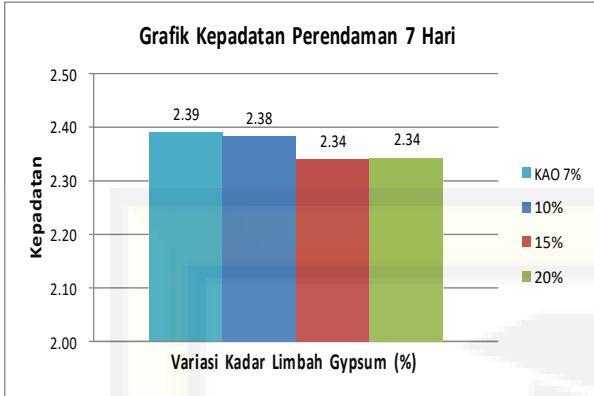
**Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan perendaman berulang selama 7 hari. kemudian di rendam selama 24 jam pada suhu 60°C**

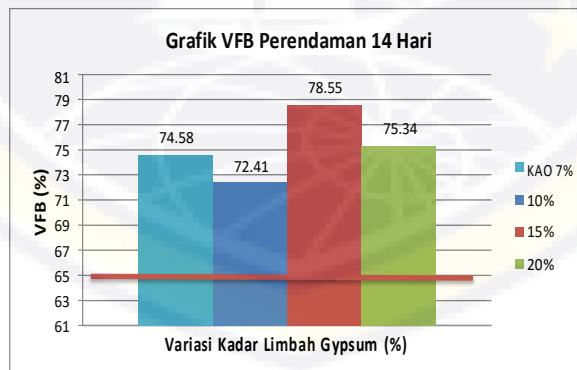
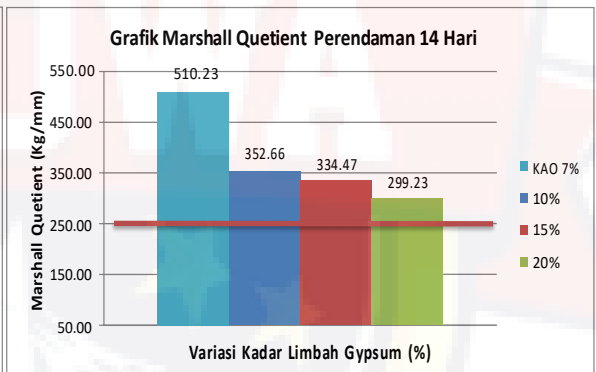
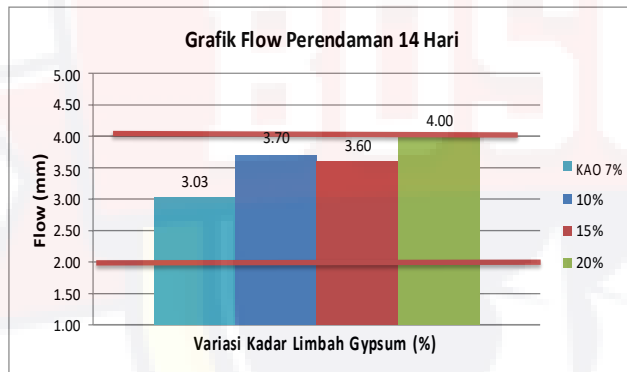
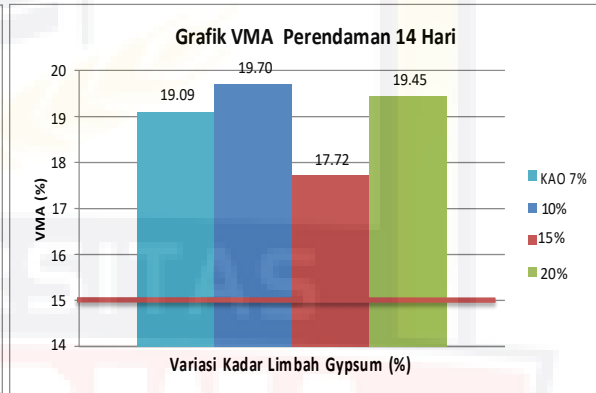
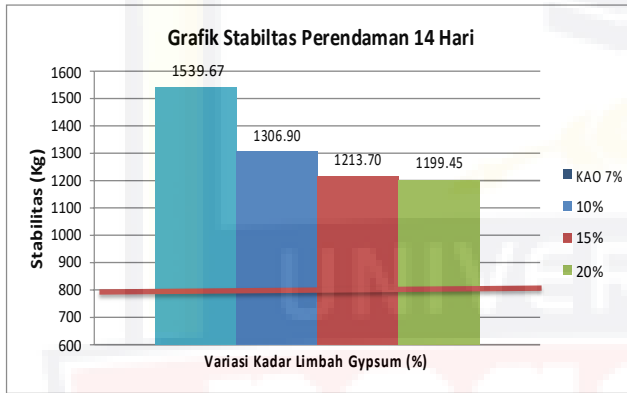
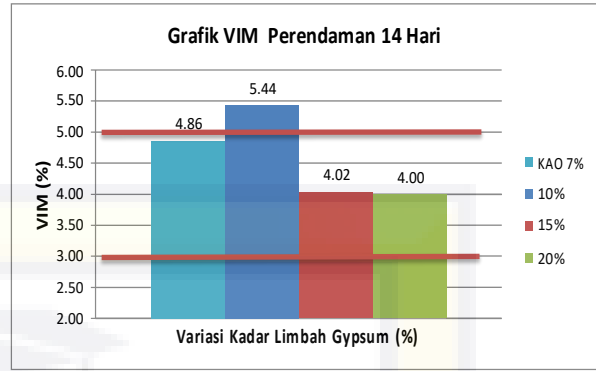
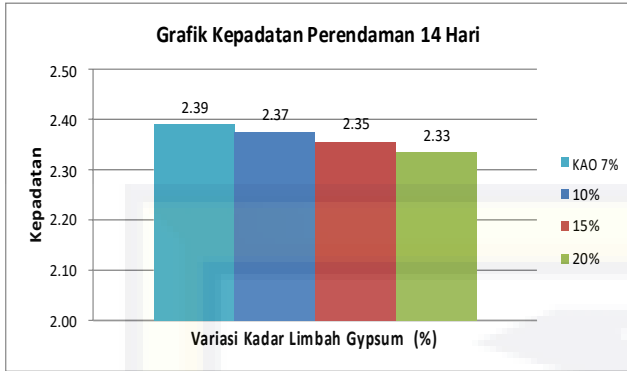
No	Pemeriksaan	KAO 7 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 7 Hari				
		Kadar Limbah Gypsum				
		KAO 7%	10%	15%	20%	
1	Kepadatan	2.39	2.38	2.34	2.34	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1518.61	1214.35	1206.90	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.55	3.85	3.73	2-4
4	VIM (%)	4.86	5.07	4.90	6.16	3-5
5	VFB (%)	74.58	73.87	68.55	75.78	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.39	20.60	19.14	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	429.29	307.09	312.22	Min 250

**Hasil Uji Marshall KAO Aspal Minyak dengan perendaman berulang selama 14 hari. kemudian di rendam selama 24 jam pada suhu 60°C**

No	Pemeriksaan	KAO 7 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 14 Hari				
		kadar Limbah Gypsum				
		KAO 7%	10%	15%	20%	
1	Kepadatan	2.39	2.37	2.35	2.33	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1306.90	1213.70	1199.45	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.70	3.60	4.00	2-4
4	VIM (%)	4.86	5.44	4.02	6.64	3-5
5	VFB (%)	74.58	72.41	78.55	75.34	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.70	17.72	19.45	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	352.66	334.47	299.23	Min 250







**Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah gipsum 10% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C**

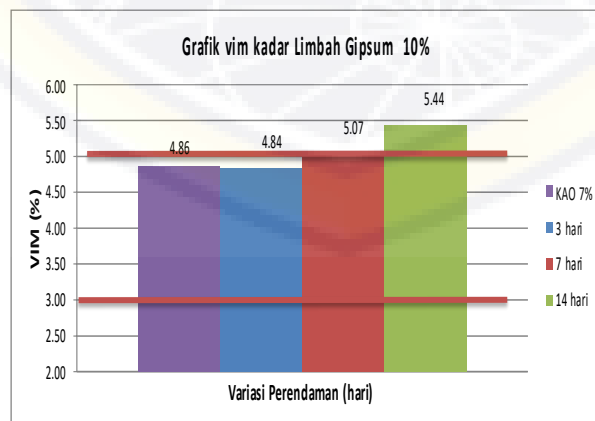
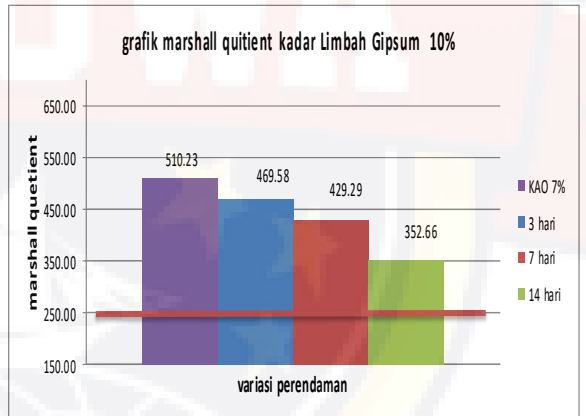
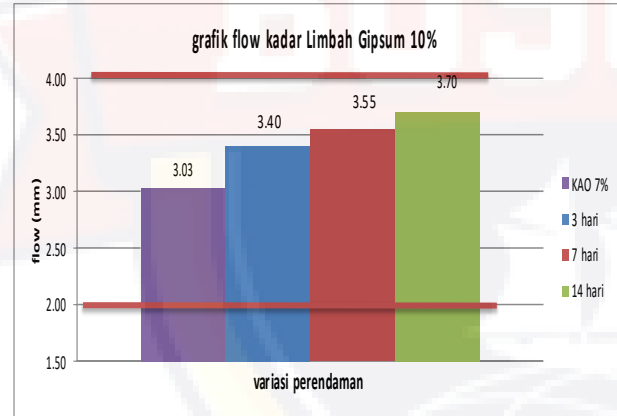
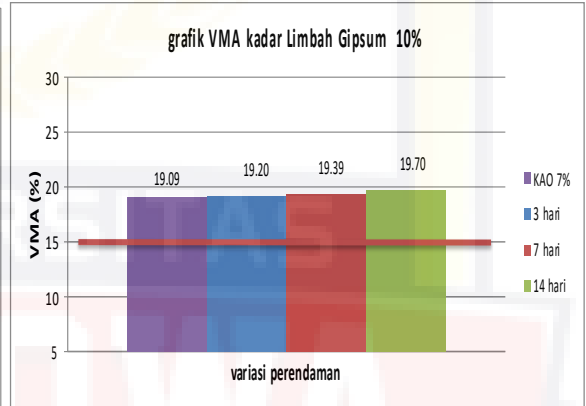
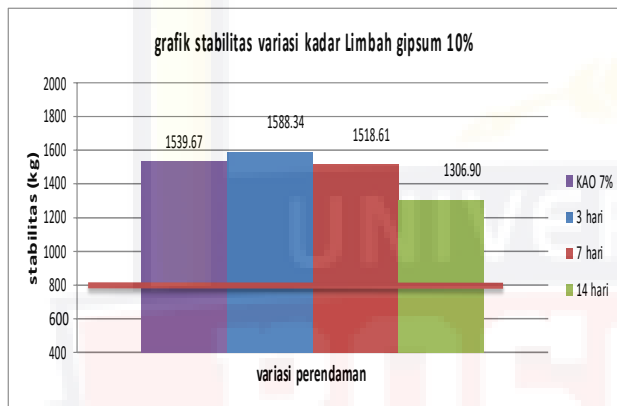
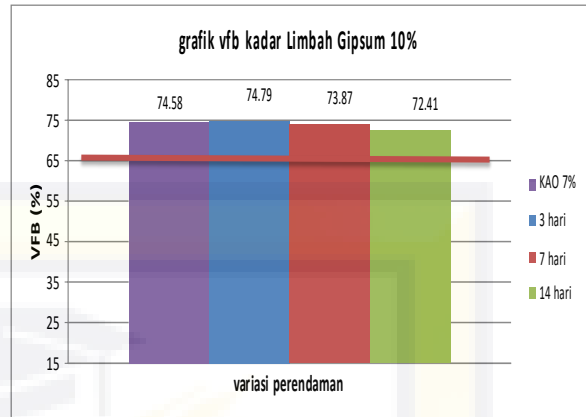
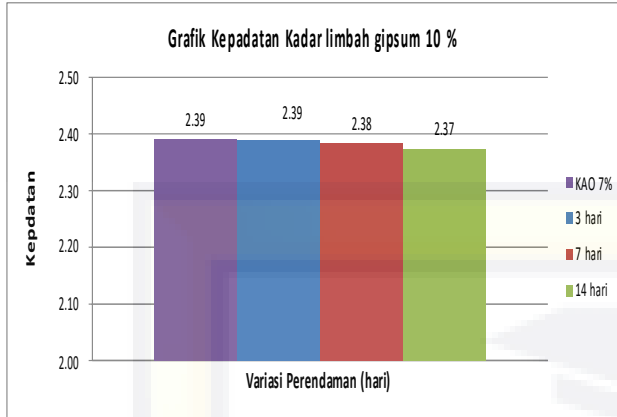
No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gipsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar limbah Gipsum 10 %				
		KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari	
1	Kepadatan	2.39	2.39	2.38	2.37	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1588.34	1518.61	1306.90	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.40	3.55	3.70	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.84	5.07	5.44	3-5
5	VFB (%)	74.58	74.79	73.87	72.41	Min 65
6	VMA (%)	19.09	19.20	19.39	19.70	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	469.58	429.29	352.66	Min 250

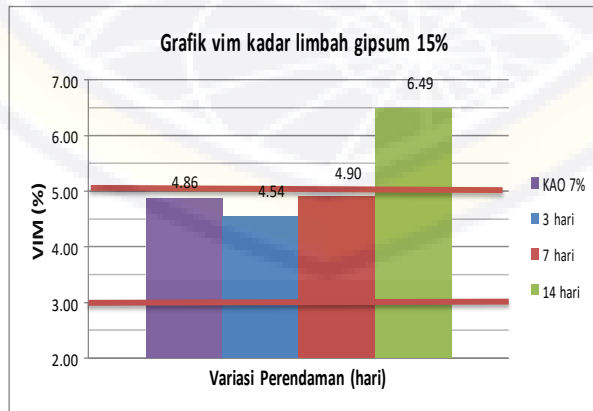
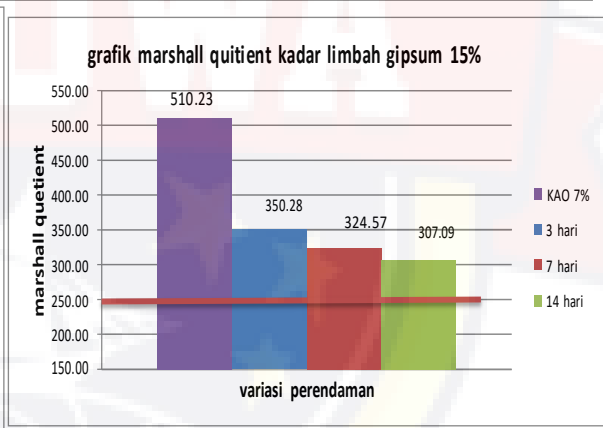
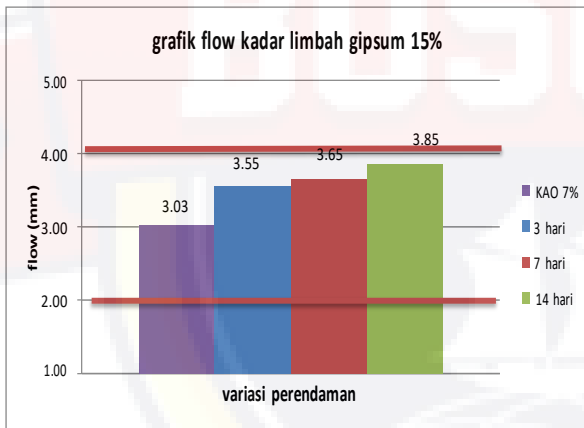
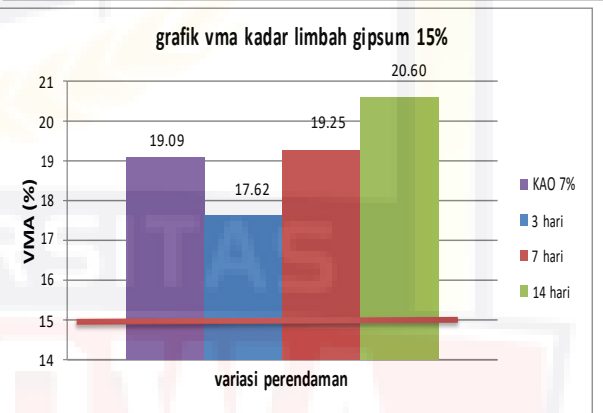
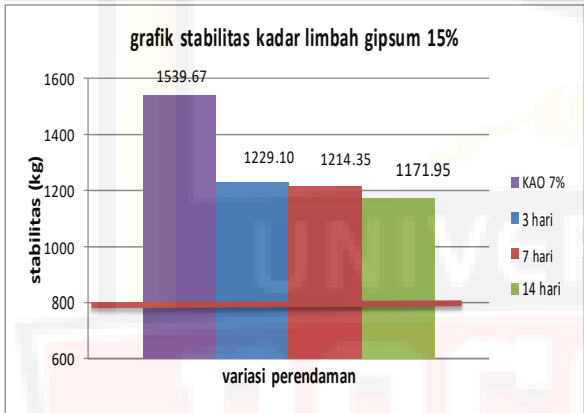
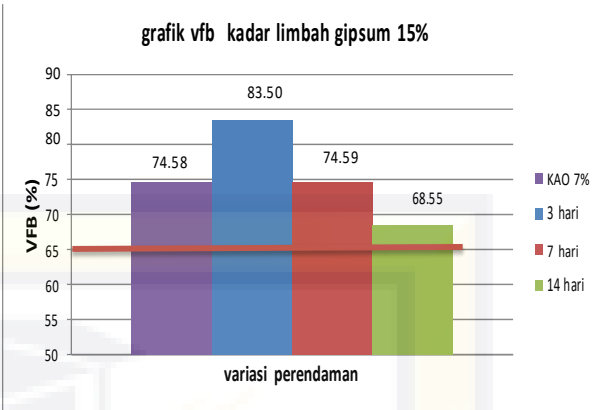
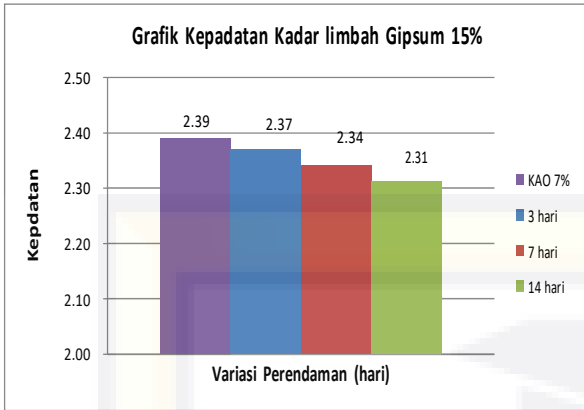
**Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah gipsum 15% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C**

No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gipsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar limbah Gipsum 15%				
		KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari	
1	Kepadatan	2.39	2.37	2.34	2.31	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1229.10	1214.35	1171.95	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.55	3.65	3.85	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.54	4.90	6.49	3-5
5	VFB (%)	74.58	83.50	74.59	68.55	Min 65
6	VMA (%)	19.09	17.62	19.25	20.60	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	350.28	324.57	307.09	Min 250

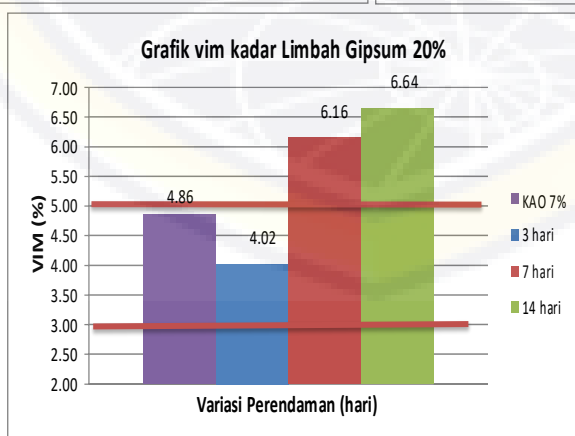
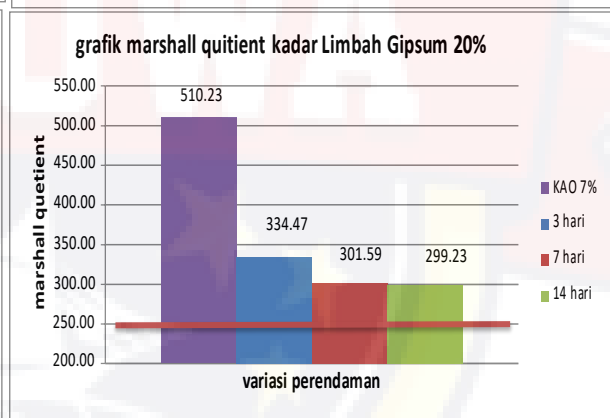
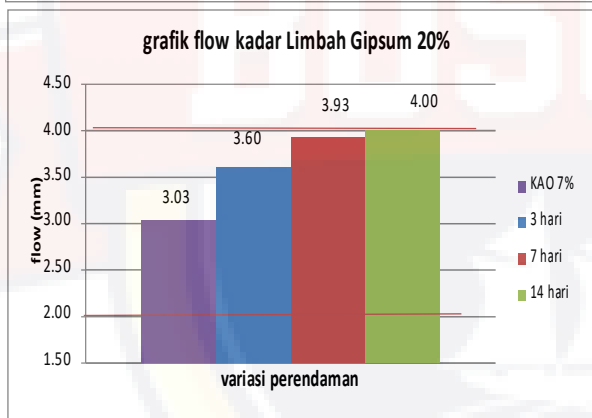
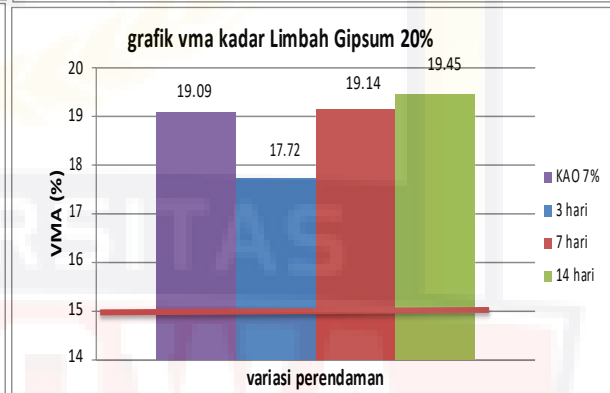
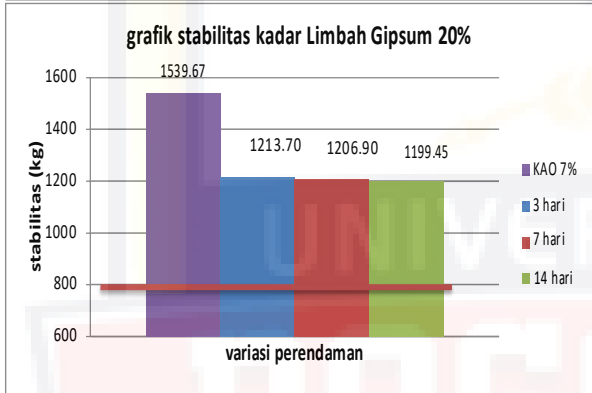
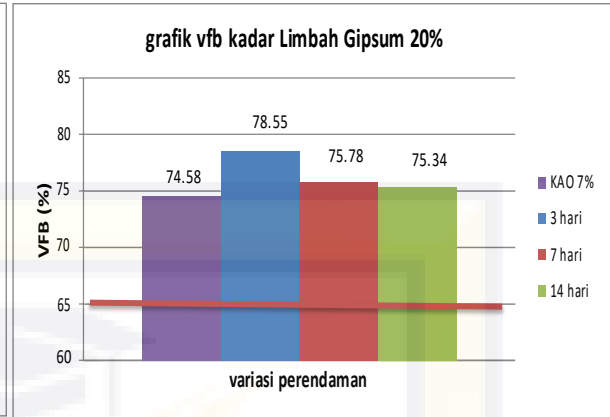
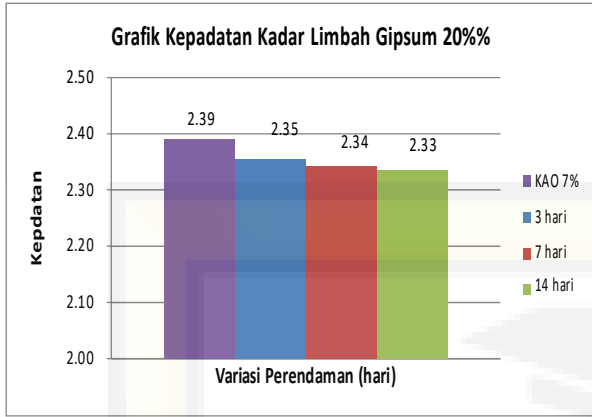
**Hasil Uji Marshall KAO menggunakan bahan limbah gipsum 20% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C**

No	Pemeriksaan	Penamabahan Limbah Gipsum				Spesifikasi 2018
		KAO 7%				
		Kadar Limbah Gipsum 20 %				
		KAO 7%	3 Hari	7 Hari	14 Hari	
1	Kepadatan	2.39	2.35	2.34	2.33	-
2	Stabilitas (Kg)	1539.67	1213.70	1206.90	1199.45	Min 800
3	Flow (mm)	3.03	3.60	3.93	4.00	2-4
4	VIM (%)	4.86	4.02	6.16	6.64	3-5
5	VFB (%)	74.58	78.55	75.78	75.34	Min 65
6	VMA (%)	19.09	17.72	19.14	19.45	Min 15
7	MQ (Kg/mm)	510.23	334.47	301.59	299.23	Min 250

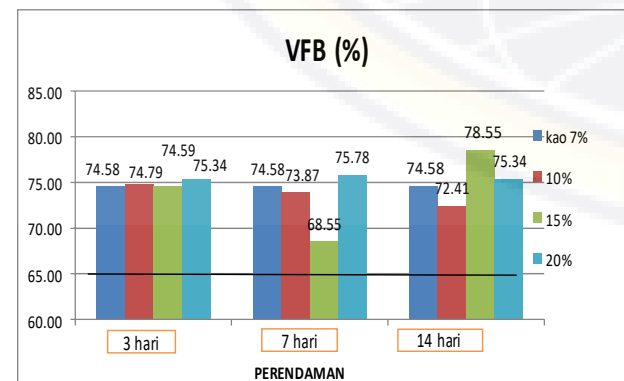
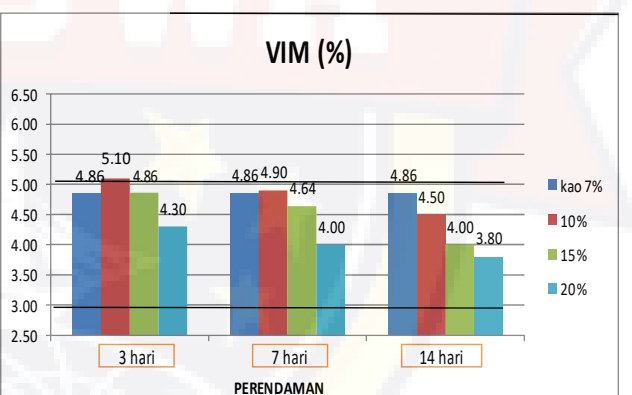
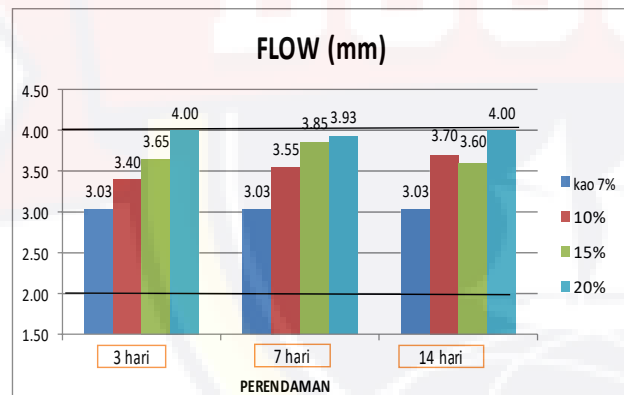
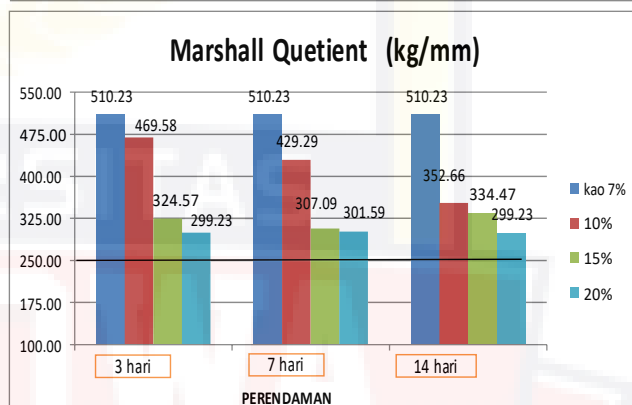
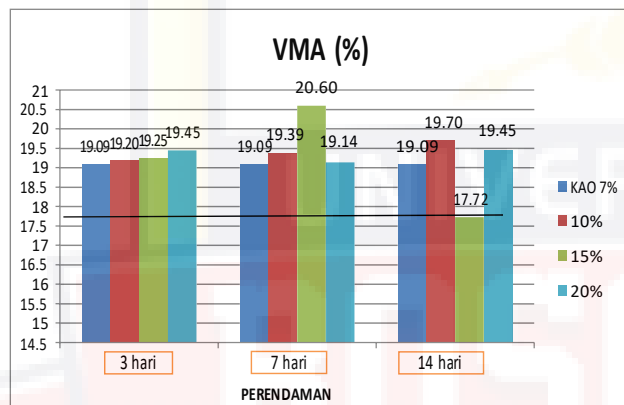
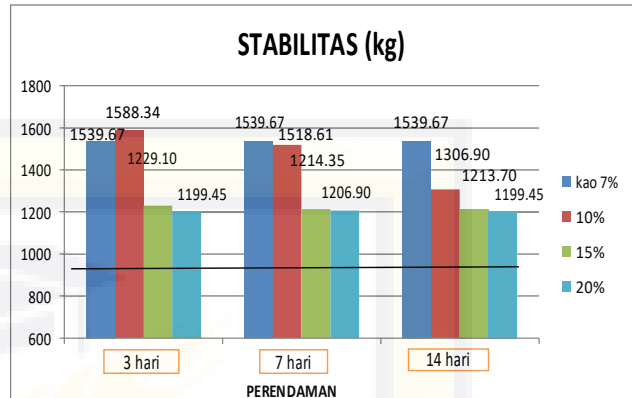
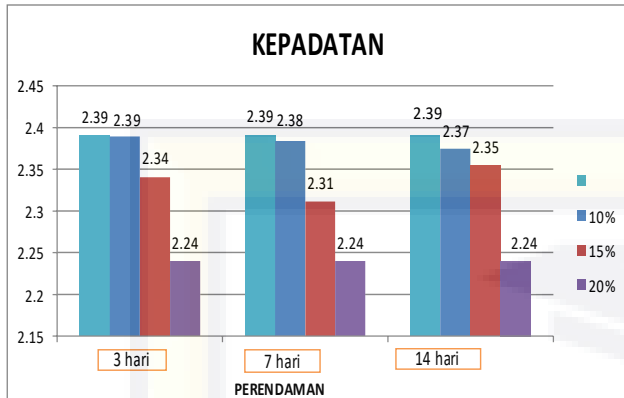








### Grafik Gabungan KAO Dengan Kadar Limbah Gypsum



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





**Gambar 1.1** Pengujian Analisa saringan



**Gambar 1.2** Pengujian Berat Jenis Agregat (SSD)



**Gambar 1.3.** Pengujian BJ Agregat (Berat Dalam Air)



**Gambar 1.4.** Pengujian Kadar Lumpur Agregat



**Gambar 1.5.** Pengujian Berat Jenis Aspal



**Gambar 1.6.** Proses Penyaringan Limbah Gypsum



**Gambar 1.7.** Pengujian Berat Jenis Limbah Gypsum



**Gambar 1.8.** Proses Pencampuran Agregat (Hot Mix)



**Gambar 1.9.** Proses Pengukuran Suhu Pencampuran



**Gambar 1.10.** Proses Pengukuran Suhu Sebelum Penumbukan





**Gambar 1.11.** Proses Penumbukan Briket Benda Uji



**Gambar 1.12.** Proses Penimbangan Briket



**Gambar 1.13.** Proses Penimbangan Briket (Dalam Air)



**Gambar 1.14.** Proses Perendaman Briket



**Gambar 1.15.** Proses Perendaman Briket Dalam Waterbath



**Gambar 1.16.** Pengujian Marshall Test



**Gambar 1.17.** Limbah Gypsum

