TUGAS AKHIR

"Analisis Campuran Aspal Beton dengan Mengganti Sebagian Filler Menggunakan Abu Dari Bunga Pinus Pada Perendaman Berulang"

Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan

Mencapai Gelar S-1

Disusun oleh :

SALLY PATRICIA SONDAKH

4516041024

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.universitasbosowa.ac.id

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

LEMBAR PENGESAHAN

Berdasarkan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar No.A 110/FT/UNIBOS/I/ 2022, Tanggal 21 Januari 2022, Perihal Pengangkatan Panitia dan Tim Penguji Tugas Akhir, maka pada :

Hari / Tanggal	: Rabu / 26 Januari 2022
N a m a	: **SALLY PATRICIA SONDAKH**
No.Stambuk	: **45 16 041 024**
Fakultas / Jurusan	: Teknik / Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir	:**"ANALISIS CAMPURAN ASPAL BETON DENGAN MENGGANTI SEBAGIAN FILLER MENGGUNAKAN ABU DARI BUNGA PINUS PADA 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 Ujian Akhir

Ketua / Ex Officio	: **Ir. H. Abd. Rahim Nurdin, MT**	(.....)
Sekretaris /Ex Officio	: **Ir. Nurhadijah Yunianti, ST. MT**	(.....)
Anggota	: **Ir. Burhanuddin Badrun, Msp**	(.....)
	: **Ir.Tamrin Mallawangeng, MT.**	(.....)

Makassar, 2022

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

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

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil

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

Scanned with CamScanner

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 UJIAN TUTUP
TUGAS AKHIR

Judul : **"ANALISIS CAMPURAN ASPAL BETON DENGAN MENGGANTI FILLER MENGGUNAKAN ABU DARI BUNGA PINUS PADA PERENDAMAN BERULANG"**

Disusun dan diajukan oleh :

N a m a : **SALLY PATRICIA SONDAKH**

No.Stambuk : **45 16 041 024**

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. Nurhadijah Yunianti, ST. MT** (.....)

Mengetahui :

Dekan Fakultas Teknik

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

Ketua Program Studi / Jurusan Sipil

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

Scanned with CamScanner

SURAT PERNYATAAN
KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: **SALLY PATRICIA SONDAKH**
NIM	: **45 16 041 024**
Program Studi	: **Teknik Sipil**
Judul Tugas Akhir	: **Analisis Campuran Aspal Beton dengan Mengganti Filler Menggunakan Abu Dari Bunga Pinus Pada Perendaman berulang**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa :

1. Tugas akhir yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.
2. Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya tidak keberatan apabila Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa menyimpan, mengalih mediakan / mengalih formatkan, mengelola dalam bentuk data base, mendistribusikan dan menampilkannya untuk kepentingan akademik.
3. Bersedia dan menjamin untuk menanggung secara pribadi tanpa melibatkan pihak Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa dari semua bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran hak cipta dalam tugas akhir ini.

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

Makassar, 01 Maret 2022

Yang Menyatakan

SALLY PATRICIA SONDAKH

Scanned with CamScanner

PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama	: **SALLY PATRICIA SONDAKH**
NIM	: **45 16 041 024**
Program Studi	: **Teknik Sipil**
Judul Tugas Akhir	: **Analisis Campuran Aspal Beton dengan Mengganti Filler Menggunakan Abu Dari Bunga Pinus Pada Perendaman berulang**

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa penulisan skripsi ini berdasarkan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan hasil dari saya sendiri, baik untuk naskah laporan maupun kegiatan programming yang tercantum sebagai bagian dari skripsi ini. Jika terdapat karya orang lain, saya akan mencantumkan sumber yang jelas.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya tulis ini dan sanksi lain sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Bosowa.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari pihak maupun.

Makassar, 01 Maret 2022

membuat pernyataan

METERAI TEMPEL

ACAJX695746078

SALLY PATRICIA SONDAKH

NIM: 45 16 041 024

Scanned with CamScanner

KATA PENGANTAR

Pertama-tama saya mengucapkan puji dan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberkati penulis sehingga proposal skripsi ini dapat terselesaikan. Proposal Skripsi ini merupakan salah satu syarat untuk mencapai gelar sarjana pada Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar.

Dalam menyelesaikan Skripsi ini, memilih bidang Transportasi yang merupakan salah satu bagian disiplin ilmu teknik sipil. Dipilihnya bidang ini berdasarkan kenyataan dilapangan bahwa bidang transportasi khususnya jalan merupakan sarana umum yang digunakan sehari-hari. Skripsi ini berjudul: "*Analisis Campuran Aspal Beton dengan Mengganti Sebagian Filler Menggunakan Abu Dari Bunga Pinus Pada Perendaman berulang*"

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa selesainya Tugas Akhir ini berkat bantuan, masukan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Untuk itu, melalui kesempatan ini penulis menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. Kedua orang tua kami tercinta atas doa, dukungan dan bantuannya berupa moril maupun materi selama penulis menuntut ilmu di Universitas Bosowa Makassar.
2. Bapak Dr. Ridwan, ST., M.Si Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar

3. Bapak Dr. Andi Rumpang Yusuf, ST., MT selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Bosowa Makassar
4. Bapak Ir. H. Abdul Rahim Nurdin, MT dan Ibu Ir. Nur Hadijah Yunianti, ST., MT selaku Pembimbing I dan II yang senantiasa meluangkan waktunya untuk membimbing dan membantu penulis dalam rangka menyelesaikan tugas akhir ini.
5. Bapak Ir. Burhanuddin Badrun, Msp selaku Dosen Teknik Sipil Universitas Bosowa yang telah memberikan arahan dan masukan kepada penulis selama mengemban studi di Universitas Bosowa Makassar.
6. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar yang membantu penulis dalam penyelesaian dan pengurusan sehubungan dengan tugas akhir ini.
7. Rekan-rekan mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Bosowa Makassar, khususnya sipil angkatan 2016. Serta rekan-rekan seperjuangan Hariadi Rasak, Indra Bayu, Zulkifli, Ulfa Angriani, Zasqia Ainun, Valentino dan pihak-pihak yang tidak bisa penulis tuliskan satu persatu yang telah banyak mendukung dan memberikan bantuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis mengakui bahwa penulis adalah manusia yang mempunyai keterbatasan dalam berbagai hal. Oleh karena itu tidak ada hal yang

diselesaikan dengan sempurna. Begitu pula dengan Skripsi ini yang telah penulis selesaikan. Tidak semua hal dapat penulis deskripsikan dengan sempurna dalam laporan ini. Penulis berupaya melakukannya dengan semaksimal mungkin dengan kemampuan yang penulis miliki.

Maka dari itu, saya selaku penulis bersedia menerima kritik dan saran dari pembaca yang budiman. Penulis akan menerima semua kritik dan saran tersebut sebagai batu loncatan yang dapat memperbaiki laporan penulis di masa datang. Dengan menyelesaikan tugas akhir ini penulis mengharapkan manfaat yang dapat dipetik dan diambil dari tugas akhir ini.

Makassar, Januari 2022

Penulis

ABSTRAK

Penelitian ini mencoba menggunakan filler abu bunga pinus yang diharapkan menambah daya tahan lapis perkerasan beton aspal terhadap kerusakan yang disebabkan oleh cuaca dan beban lalu lintas. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa besar nilai karakteristik Marshall pada campuran beton aspal panas (AC-WC) dengan menggunakan aspak minyak dengan variasi filler abu bunga pinus pada perendaman berulang. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen yaitu dengan suatu percobaan untuk mendapatkan hasil, dengan demikian akan terlihat pemanfaatan filler abu bunga pinus pada konstruksi beton aspal dengan variasi kadar filler 5%, 10% dan 15% terhadap total campuran Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan filler abu bunga pinus akan mempengaruhi karakteristik campuran beton aspal.

Kata Kunci : *Campuran Beton aspal, Abu Bunga Pinus, Karakteristik Marshall, Aspal Minyak, AC-WC*

ABSTRACT

This study tries to use pine flower ash filler which is expected to increase the durability of asphalt concrete pavement layers against damage caused by weather and traffic loads. This study aims to determine how big the value of Marshall characteristics in hot asphalt concrete mix (AC-WC) using oil asphalt with variations of pine flower ash filler on repeated immersion. This study uses an experimental method, namely an experiment to get results, thus it will be seen the use of pine flower ash filler in asphalt concrete construction with variations in filler content of 5%, 10% and 15% of the total mixture. The results show that the use of pine flower ash filler will affect the characteristics of the asphalt concrete mix.

Keywords : Asphalt Concrete Mix, Pine Flower Ash, Marshall Characteristics, Oil Asphalt, AC-WC

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i
LEMBAR PENGAJUAN ii
LEMBAR PENGESAHAN iii
PERNYATAAN KEASLIAN DAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR iv
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR v
KATA PENGANTAR vi
ABSTRAK ix
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xv
DAFTAR GAMBAR xvii
DAFTAR NOTASI xxii
BAB I PENDAHULUAN
1.1. Latar Belakang I-1
1.2. Rumusan Masalah I-4
1.3. Tujuan dan Manfaat I-4
1.4. Pokok Bahasan dan Batasan Masalah I-5
1.5. Sistematika Penulisan I-6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA
2.1 Jalan II-1
2.1.1 Struktur Jalan II-1
2.2 Perkerasan jalan II-3
4.2.1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*) II-8
2.2.2 Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) II-9
2.2.3. Perkerasan komposit II-10
2.2.4. Fungsi perkerasan II-10
2.3 Aspal II-11
2.3.1 Jenis Aspal II-12
2.3.2. Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan II-14
2.3.3. Sifat Sifat Aspal II-15
2.3.4 Sifat Kimiawi Aspal II-17

Scanned with CamScanner

2.3.5 Fungsi Aspal II-19
2.3.6 Tes standar bahan aspal II-20
2.4 Aspal Beton (Laston) II-24
2.4.1 Unsur Pembentuk Laston II-28
2.4.2. Jenis Agregat II-32
2.4.3. Sifat Sifat fisik Agregat II-34
2.4.3. Klasifikasi Agregat Berdasarkan Asalnya II-38
2.5 Gradasi II-39
2.6 Filler (Bahan Pengisi) II-42
2.7 Bunga Pinus II-43
2.8 Metode Marshall II-44
2.8.1 Parameter Marshall Campuran Aspal Beton II-46
2.9 Penelitian terdahulu II-53
2.9.1 Penelitian Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan Filler Bunga Pinus II-53
2.9.2 Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara II-54

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Alir 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 Pengambilan Sampel III-3
3.5.1. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus III-3
3.5.2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar III-4
3.5.3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus III-4
3.5.4. Pemeriksaan Abrasi III-5
3.5.5. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Kasar III-7
3.5.6. Pemeriksaan Kadar Lumpur Agregat Halus III-7
3.6. Pemeriksaan Aspal III-8
3.6.1. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal III-8
3.6.2. Pemeriksaan Penetrasi Aspal III-8

3.6.3. Pemeriksaan Viskositas III-9
3.6.4. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar III-9
3.6.5. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal III-9
3.6.6. Penentuan Jumlah Benda Uji III-10
3.6.7. Perancangan Agregat Gabungan III-10
3.6.8. Perhitungan Kadar Aspal Optimum Rencana (KAO) / Pb III-11
3.6.9. Pembuatan Briket / Benda Uji III-11
3.7. Pengetesan Benda Uji I Dengan Alat Marshall III-12
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN
4.1. Penyajian Data IV-1
4.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat IV-1
4.1.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Minyak IV-4
4.1.3. Penentuan Komposisi Agregat Gabungan IV-4
4.2. Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum IV-7
4.2.1. Perkiraan Kadar Aspal Optimum Rencana (Pb) IV-7
4.2.2. Penentuan Berat Agregat dan Aspal dalam Campuran IV-7
4.2.3. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Campuran IV-8
4.3. Data Uji Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum IV-9
4.4. Pembuatan Benda Uji dengan Menggunakan Abu Bunga Pinus Pada Perendaman Berulang IV-16
4.4.1. Perhitungan Berat Agregat Dan Berat Aspal Menggunakan Kadar Aspal Optimum Dengan Menggunakan Bahan Abu Bunga Pinus IV-16
4.4.2. Data Hasil Uji Dengan Alat Marshall Yang Diperoleh Dengan Menggunakan Kadar Aspal Optimum IV-18
4.4.3. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus 5% Pada Campuran Beton Aspal Panas *AC-WC*. IV-21
4.4.4. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus 10% Pada Campuran Beton Aspal Panas *AC-WC*. IV-30
4.4.5. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus 15% Pada Campuran Beton Aspal Panas *AC-WC* IV-38
4.4.6. Perhitungan Berat Agregat Dan Berat Aspal Menggunakan Kadar Aspal Optimum Dengan menggunakan filler Abu Bunga Pinus IV-47

4.4.7. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Beton Aspal Panas *AC-WC* dengan Perendaman 3 Hari IV-49

4.4.8. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC dengan Perendaman 7 Hari IV-57

4.4.9. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC dengan Perendaman 10 Hari IV-66

4.5. Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS IV-75

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan V-1

5.2. Saran V-2

LAMPIRAN

Pemeriksaaan Karakteristik L-1

Rumus untuk komposisi campuran AC – WC L-13

Grafik Karakteristik Marshall Test L-15

Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum L-17

Rumus Campuran Variasi Bunga Pinus L-18

Analisa Data Variasi L-20

Data dan Grafik Hasil Uji Variasi L-29

Grafik Gabungan KAO Dengan Kadar Abu Bunga Pinus L-49

Dokumentasi Penelitian L-52

DAFTAR PUSTAKA

Scanned with CamScanner

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku.....II-6
Tabel 2. 2 Kelebihan dan kekurangan perkerasan lentur II-6
Tabel 2. 3 Pengujian Aspal Keras.....II-23
Tabel 2. 4 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Beraspal Panas (AC).....II-27
Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Kasar II-30
Tabel 2. 6 Spesifikasi Gradasi Agregat Halus II-32
Tabel 2. 7 Gradasi Agregat Untuk Campuran Aspal.....II-41
Tabel 3. 1 Contoh Perhitungan benda Uji.....III-10
Tabel 4. 1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat (Bina Marga 2018)..... IV-1
Tabel 4. 2 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar (Batu Pecah 1 - 2 dan Batu Pecah 0,5 - 1).....IV-2
Tabel 4. 3 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Abu Batu IV-3
Tabel 4. 4 Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70.....IV-4
Tabel 4. 5 Rancangan Campuran Aspal Panas *AC-WC*.....IV-6
Tabel 4. 6 Komposisi campuran *AC-WC* IV-8
Tabel 4. 7 Berat Aspal dan agregat pada campuran aspal Panas *AC-WC* Standar.....IV-8
Tabel 4. 8 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat IV-8
Tabel 4. 9 Komposisi campuran dengan Abu Bunga Pinus 5%.....IV-17
Tabel 4. 10 Komposisi campuran dengan Abu Bunga Pinus 10% IV-17
Tabel 4. 11 Komposisi campuran dengan Abu Bunga Pinus 15% IV-18
Tabel 4. 12 Hasil Uji Marshall KAO dengan perendaman selama 30 menit pada suhu 60°C. IV-19
Tabel 4. 13 Hasil Uji Marshall KAO menggunakan filler abu bunga pinus 5% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C. IV-19
Tabel 4. 14 Hasil Uji Marshall KAO menggunakan filler abu bunga pinus 10% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C. IV-20

Tabel 4. 15 Hasil Uji Marshall KAO menggunakan filler abu bunga pinus 15% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C. IV-20
Tabel 4. 16 Komposisi campuran dengan penambahan Abu Bunga Pinus perendaman 3 hari IV-48
Tabel 4. 17 Komposisi campuran dengan penambahan Abu Bunga Pinus perendaman 7 hari IV-48
Tabel 4. 18 Komposisi campuran dengan penambahan Abu Bunga Pinus perendaman 10 hari IV-49
Tabel 4. 19 Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS Beton Aspal AC – WC IV-75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Lapisan Perkerasan Jalan Lentur II-9
Gambar 2. 2 Perkerasan Jalan Kaku..... II-9
Gambar 2. 3 Perkerasan Komposit..... II-10
Gambar 4. 1 Grafik Gradasi Penggabungan Agregat AC-WC.....IV-6
Gambar 4. 2 Grafik Kepadatan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO IV-11
Gambar 4. 4 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-22
Gambar 4. 5 Diagram hubungan variasi Abu Bunga Pinus 5% terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-23
Gambar 4. 6 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.....IV-25
Gambar 4. 7 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% pada terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-26
Gambar 4. 8 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.....IV-27
Gambar 4. 9 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°c.....IV-28
Gambar 4. 10 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% pada terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-29
Gambar 4. 11 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-31

Gambar 4. 12 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-32
Gambar 4. 13 Diagram hubungan Variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-33
Gambar 4. 14 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-34
Gambar 4. 15 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-35
Gambar 4. 16 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-36
Gambar 4. 17 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C.....IV-37
Gambar 4. 18 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-38
Gambar 4. 19 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-39
Gambar 4. 20 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-41
Gambar 4. 21 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-42
Gambar 4. 22 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-43

Gambar 4. 23 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-45
Gambar 4. 24 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C. IV-46
Gambar 4. 25 Diagram hubungan variasi Perendaman 3 hari terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-50
Gambar 4. 26 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-51
Gambar 4. 27 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-52
Gambar 4. 28 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-53
Gambar 4. 29 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-54
Gambar 4. 30 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-55
Gambar 4. 31 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C. IV-56
Gambar 4. 32 Diagram hubungan variasi Perendaman 7 hari terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-58
Gambar 4. 33 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-59

Gambar 4. 34 Diagram hubungan Variasi perendaman 7 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-60
Gambar 4. 35 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-61
Gambar 4. 36 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-62
Gambar 4. 37 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-64
Gambar 4. 38 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C. IV-65
Gambar 4. 39 Diagram hubungan variasi Perendaman 10 hari terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-67
Gambar 4. 40 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-68
Gambar 4. 41 Diagram hubungan Variasi perendaman 10 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-69
Gambar 4. 42 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-70
Gambar 4. 43 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-72
Gambar 4. 44 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C. IV-73

Gambar 4. 45 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C. IV-74

DAFTAR NOTASI

AASTHO = *American Association Of State Highway and Transportation Officials*

AC = *Asphalt Concrete*

AC – BC = *Asphalt Concrete Bearing Course*

AC – Base = *Asphalt Concrete Base*

AC - WC = *Asphal Concrete Wearing Course*

ASBUTON = Aspal Batu Buton

ASTM = *American Society For Testing and Materials*

Ba = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh di dalam Air

BFT = *Bitumen Film Thickness*

Bj = Berat Benda Uji Kering Permukaan Jenuh

Bk = Berat Benda Uji Kering Oven

cP = *Centipoise*

DMF = *Design Mix Formula*

EVA = *Ethylene Vinyle Acetate*

Filler = Berupa Abu batu Bahan Perkerasan Yang Lolos Saringan 200

Flow = Pelelehan

Ga = Berat Jenis Aspal

Gsa = Berat Jenis Semu

Gsb = Berat Jenis curah dari total Agregat

Gse = Berat Jenis Efektif

H = Hidrokarbon

HRS = *Hot Rolled Sheet*

HRS – WC = *Hot Rolled Sheet Wearing Course*

HSMA = *High Stiffnes Modulus Asphalt*

IKS = Indeks Kekuatan Sisa

JMF = *Job Mix Formula*

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 = *Medium Curing Cut Back*

MPBJ = Manual Pemeriksaan Bahan Jalan

MQ = Marshall Quetiont(kg / mm)

Pa.s = Pascal sekon

Pb = Kadar Aspal Dalam Persentase dari Total Berat Campuran

Pba = Penyerapan Aspal

Pen 60/70 = Penetrasi 60/70

RC = *Rapid Curing*

SC = *Slow Curing Cut Back*

SI = Standar Internasional

SMA = Split Mastic Asphalt

SNI = Standar Nasional Indonesia

SS = *Sand Sheer*

SSD = *Surface Saturated Dry*

VFB = *Voids Filled With Bitumen*

VIM = *Void In Mixed (%)*

VMA = *Void In Mineral Agregates (%)*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Aspal beton sebagai bahan untuk konstruksi jalan sudah lama dikenal dan digunakan secara luas dalam pembuatan jalan. Penggunaannya pun dinegara Indonesia dari tahun ketahun semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena aspal beton mempunyai kelebihan dibanding bahan lainnya, disamping harga yang relatif lebih murah dibanding beton pada umumnya, kemampuan dalam mendukung beban berat kendaraan cukup tinggi, dapat dibuat dari bahan-bahan lokal yang tersedian dan mempunyai ketahanan yang baik terhadap cuaca. Jenis perkerasan ini merupakan campuran merata antara agregat dan aspal sebagai bahan pengikat pada suhu tertentu.

Ada empat sifat dasar aspal beton yang harus diperhatikan dalam merencanakan campuran aspal beton, seperti stabilitas, durabilitas, fleksibilitas dan mempunyai tahanan terhadap selip (*skid resistance*). Apabila keempat sifat tidak dapat diwujudkan secara optimum, maka perencanaan campuran aspal beton tidak dapat dilakukan. Karena campuran yang baik harus mempunyai kecukupan dalam keempat sifat di atas.

Bahan pengisi (*filler*) dalam campuran aspal beton adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Pengisiannya dilakukan secara

terstruktur, jika bahan pengisi kurang dalam campuran akan menyebabkan aspal beton menjadi sangat kaku dan mudah retak meskipun telah dilakukan penambahan aspal yang lumayan banyak. Sebaliknya terlalu banyak bahan campuran akan berakibat lentur sehingga mudah terdeformasi oleh roda kendaraan dan menghasilkan jalan yang bergelombang. Macam bahan pengisi yang dapat digunakan seperti; abu batu, *portland cement* (PC), debu dolomite, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen dan Bunga Pinus (dihaluskan menjadi abu untuk *filler*). Pada penelitian ini kadar bahan pengisi dibatasi dari berat total campuran aspal beton. Jenis bahan pengisi dipilih Bunga Pinus yang dihaluskan.

Pada awalnya kata “pinus” merujuk pada salah satu famili tumbuhan, namun kebanyakan orang Indonesia menyebut “pinus” adalah nama dari Tanaman Pinus merkusii. Sehingga, Tanaman Pinus merkusii sampai sekarang disebut sebagai Pinus atau ada yang menyebutnya Tusam. Tanaman Pinus ini mempunyai bunga yang berada pada batang. Pada batang pula, terdapat saluran getah dimana dalam saluran getah ada yang arahnya vertical (longitudinal) maupun horizontal (radial). Saluran getah ini terbentuk secara lisigen, sizogen, maupun sizoligen.

Bunga pada Tanaman Pinus termasuk ke dalam bunga berkelamin tunggal (unisexualis). Bunga Pinus ini terbagi menjadi dua, yaitu bunga jantan dan bunga betina. Bunga jantan memiliki bentuk silindris dengan panjang sekitar 2-4 cm. Sedangkan bunga betina memiliki bentuk kerucut, ujungnya runcing, memiliki sisik, berwarna cokelat, dan setiap bakal biji

terdapat sayap, serta terletak di sepertiga bagian atas tajuk terutama di ujung dahan. Bunga Pinus ini pada umumnya berwarna kuning ketika muda dan berwarna kecoklatan ketika sudah tua.

Bunga pinus banyak terbuang dari pohonnya setelah jatuh. Didaerah hutan pinus yang berada di Malino banyak ditumbuhi pohon pinus, untuk pemanfaatan bunganya sendiri di daerah tersebut masih belum banyak dilakukan. Dalam penelitian ini untuk memanfaatkan bunga pinus yang tak terpakai, bunga pinus dimanfaatkan sebagai pengganti *filler* campuran Aspal beton. Karena di daerah hutan pinus Malino belum ada pemanfaatannya, maka dari itu peneliti mengembangkan pemanfaatan bunga pinus yang terbuang pada daerah tersebut sebagai bahan tambah pada penelitian ini dengan mengambil abu hasil bakaran dari bunga pinus lalu disaring dengan saringan no.200.

Aspal adalah bahan bitumen atau perekat utama yang digunakan untuk kontruksi perkerasan jalan yang sering digunakan. Aspal memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan bahan perekat lain seperti semen. Aspal relatif lebih murah lebih murah dan lebih lentur dibanding semen yang mahal dan sangat kaku sebagai bahan perekat pada perkerasan jalan.

Aspal beton adalah campuran dari agregat bergradasi menerus dan bahan bitumen. Kekuatan utama aspal beton ada pada keadaan butir agregat yang saling mengunci dan sedikit pada pasir atau filler sebagai mortar.

Berdasarkan uraian permasalahan diatas perlu dilakukan penelitian dengan uji laboratorium tentang analisis campuran aspal beton dengan mengganti filler menggunakan abu dari bunga pinus pada perendaman berulang.

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Apakah campuran aspal beton dengan menggunakan sebagian filler abu dari bunga pinus berpengaruh terhadap sifat campuran aspal beton ?
2. Berapakah presentase abu dari bunga pinus yang optimal dan dihasilkan dalam campuran aspal beton ?

1.3. Tujuan dan Manfaat

1.3.1. Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan filler abu dari bunga pinus terhadap sifat-sifat campuran aspal beton.
2. Untuk menganalisis campuran aspal beton dengan menggunakan filler dari bunga pinus pada perendaman berulang.

1.3.2. Manfaat dari penulisan ini adalah untuk menambah wawasan pembaca mengenai analisis campuran aspal beton dengan mengganti filler menggunakan abu dari bunga pinus pada perendaman berulang.

1.4. Pokok Bahasan dan Batasan Masalah

1.4.1. Pokok Bahasan pada penelitian ini adalah :

1. Membahas pengujian agregat.
2. Membahas aspal beton.
3. Membahas dampak perendaman berulang pada aspal beton.
4. Membahas uji marshall terhadap aspal beton.

1.4.2. Batasan Masalah pada penelitian ini adalah :

1. Bunga pinus digunakan diambil dari Hutan Pinus Malino.
2. Tipe campuran yang digunakan adalah agregat campuran AC-WC.
3. Aspal yang digunakan adalah aspal minyak dengan penetrasi 60/70.
4. Permasalahan yang diamati adalah analisis campuran aspal beton dengan mengganti filler menggunakan abu dari bunga pinus pada perendaman berulang.
5. Pengujian dilakukan dengan Metode Marshall.
6. Waktu perendaman dilakukan dengan variasi 3, 7, dan 10 hari.
7. Material yang di gunakan di ambil dari Sungai Jenneberang
8. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Bosowa Makassar.

1.5. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

1.5.1. Bab I Pendahuluan

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

1.5.2. Bab II Tinjauan Pustaka

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

1.5.3. Bab III Metode Penelitian

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

1.5.4. Bab IV Hasil dan Pembahasan

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

1.5.5. Bab V Kesimpulan dan Saran

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

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Jalan

Jalan merupakan prasarana yang sangat dibutuhkan dalam sistem transportasi untuk menghubungkan suatu tempat ke tempat lain dalam rangka pemenuhan kebutuhan ekonomi, sosial, budaya, pertahanan dan keamanan Negara. Kondisi jalan yang baik diperlukan untuk kelancaran kegiatan transportasi yaitu untuk mempercepat kelancaran mobilisasi orang, barang atau jasa secara aman dan nyaman.

2.1.1 Struktur 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.

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 permukaaan 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. 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

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 diatasnya
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 diatasnya.

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

2.2 Perkerasan jalan

Perkerasan jalan adalah segala jenis material konstruksi yang di hampar dan dipadatkan diatas tanah dasar. Perkerasan jalan raya adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas diatasnya ke tanah dasar secara

aman. Lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Silvia Sukirman, 2003 dalam skripsi Serli Carlina 2013).

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

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

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

1. **Syarat Berlalu Lintas**

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

a. Permukaan yang rata, tidak bergelombang, tidak melendut dan tidak berlubang.

b. Permukaan cukup kaku, sehingga tidak mudah berubah bentuk akibat beban yang bekerja di atasnya.

c. Permukaan cukup kesat, memberikan gesekan yang baik antara ban dan permukaan jalan sehingga kendaraan tidak mudah selip.

d. Permukaan tidak mengkilap, tidak silau jika terkena sinar matahari.

2. **Syarat-Syarat Kekuatan / Struktural**

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

a. Ketebalan yang cukup sehingga mampu menyebarkan beban atau muatan lalu lintas ke tanah dasar.

b. Kedap terhadap air, sehingga air tidak mudah meresap ke lapisan di bawahnya.

c. Permukaan mudah mengalirkan air, sehingga air hujan yang jatuh di atasnya dapat cepat dialirkan.

d. Kekakuan untuk memikul beban yang bekerja tanpa menimbulkan deformasi yang berarti.

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

Tabel 2. 1 Perbedaan antara perkerasan lentur dan perkerasan kaku

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

Sumber : Sukirman, S., (1992)

Tabel 2. 2 Kelebihan dan kekurangan perkerasan lentur

No	Perkerasan kaku	Perkerasan Lentur
1.	Kebanyakan digunakan hanya pada jalan kelas tinggi, serta	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

No	Perkerasan kaku	Perkerasan Lentur
4.	Umur rencana dapat mencapai 20 tahun.	Umur rencana relative pendek 5 – 10
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 denganw aktu dan frekuensi beban lalu lintasnya. (-)
7.	Pada umumnya biaya awal konstruksi tinggi. Tetapi biaya awal hampir sama untuk jenis	Pada umumnya biaya awal konstruksi rendah, terutama untuk jalan lokal dengan
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 praktis tdk melentur (kecil) .(-)	Bila dibebani melentur. Beban hilang, lenturan kembali. (+)

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

Perkerasan jalan adalah campuran antara agregat dan bahan ikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat dipakai antara lain adalah batu pecah, batu belah, batu kali, dan hasil samping peleburan baja. Sedangkan bahan ikat yang dipakai antara lain adalah aspal, semen, dan tanah liat. Berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dibedakan atas tiga macam, yaitu :

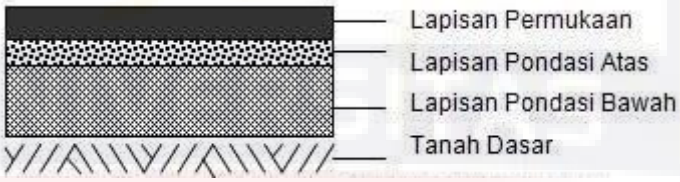
4.2.1. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement)*

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.

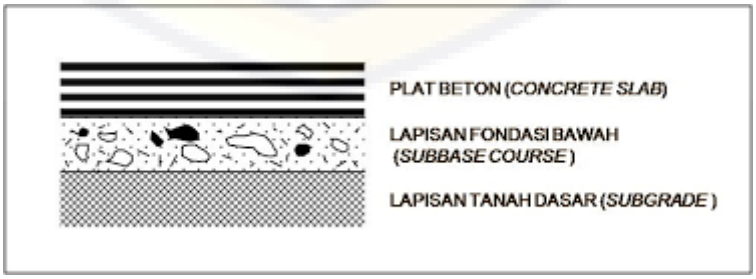
Gambar 2. 1 Lapisan Perkerasan Jalan Lentur



2.2.2 Perkerasan Kaku (Rigid Pavement)

Digunakannya pelat beton diatas lapisan agregat, diatas pelat beton tersebut dapat dilapisi aspal agregat atau aspal pasir yang tipis atau tidak. ada lapisan sama sekali. Bagian dari perkerasan kaku terdiri dari: tanah dasar *(subgrade),* lapisan pondasi bawah *(sub-base),* lapisan beton B-0 *(blinding concrete/beton lantai kerja),* lapisan pelat beton *(concrete slab),* dan lapisan aspal agregat/aspal pasir yang bisa ada bisa tidak. (Didik Purwadi, 2008).

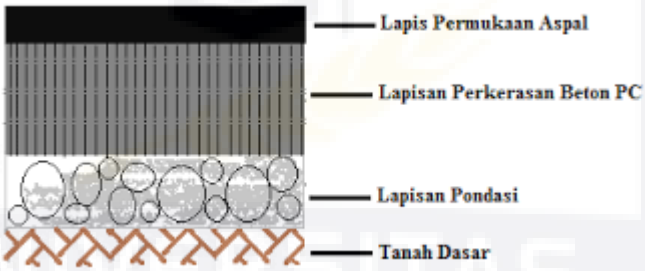
Gambar 2. 2 Perkerasan Jalan Kaku



2.2.3. Perkerasan komposit

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

Gambar 2. 3 Perkerasan Komposit



2.2.4. Fungsi perkerasan

Adapun fungsi dari lapis perkerasan yaitu :

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

   Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah atau dengan tanah apabila

tidak menggunakan lapis pondasi bawah. Fungsi lapis ini adalah :

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

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

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

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

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

Tanah dasar (*subgrade*) adalah permukaan tanah semula, permukaan tanah galian atau permukaan tanah timbunan yang dipadatkan dan merupakan permukaan tanah dasar untuk perletakan bagian-bagian perkerasan lainnya.

2.3 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat (cementitious), berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal merupakan material yang paling umum digunakan untuk bahan pengikat agregat, oleh karena itu seringkali bitumen disebut pula sebagai

aspal. (Silvia Sukirman,2003) Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4 –10% berdasarkan berat campuran, atau 10 – 15% berdasarkan volume campuran.

2.3.1 Jenis Aspal

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal minyak.

1. Aspal Alam

   Aspal alam adalah aspal yang didapat di suatu tempat di alam, dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahan. Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton yang disebut dengan Asbuton. Asbuton merupakan batu yang mengandung aspal. Asbuton merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Karena asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi. Untuk mengatasi hal ini, maka asbuton mulai diproduksi dalam berbagai bentuk di pabrik pengolahan asbuton.

2. Aspal Minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *paraffin base crude oil* yang banyak mengandung parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil.*

Residu aspal berbentuk padat, tetapi melalui pengilahan hasil residu ini dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada suhu ruang

a. Aspal padat adalah aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal nama semen aspal (asphalt cement). Oleh karena itu semen aspal harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.

b. Aspal cair (cutback asphalt) adalah aspal yang berbentuk cair pada suhu ruangan. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar. Bahan pencair membedakan aspal cair menjadi : 1. Rapid curing cut back asphalt (RC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair bensin. RC merupakan aspal cair

yang paling cepat menguap. 2. Medium curing cut back asphalt (MC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair minyak tanah (kerosene). 3. Slow curing cut back asphalt (SC), yaitu aspal cair dengan bahan pencair solar (minyak diesel). SC merupakan aspal cair yang paling lambat menguap.

c. Aspal emulsi (emulsified asphalt) adalah suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair daripada aspal cair. Di dalam aspal emulsi, butir – butir aspal larut dalam air. Berdasarkan kecepatan mengerasnya, aspal emulsi dapat dibedakan atas : 1. Rapid Setting (RS), yaitu aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat, dan aspal cepat menjadi padat atau keras kembali. 2. Medium Setting (MS) 3. Slow Setting (SS), yaitu jenis aspal emulsi yang paling lambat mengeras. Dari ketiga bentuk aspal, semen aspal adalah bentuk yang paling banyak digunakan.

2.3.2. Fungsi Aspal Sebagai Material Perkerasan Jalan

Aspal yang digunakan sebagai material perkerasan jalan berfungsi sebagai:

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal.

2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir agregat dan pori – pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

Penggunaan aspal pada perkerasan jalan dapat melalui dicampurkan pada agregat sebelum dihamparkan (pra hampar), seperti lapisan beton aspal atau disiramkan pada lapisan agregat yang telah dipadatkan dan ditutupi oleh agregat–agregat yang lebih halus (pasca hampar), seperti perkerasan penetrasi makadam atau pelaburan.

Fungsi utama aspal untuk kedua jenis proses pembentukan perkerasan yaitu proses pencampuran prahampar, dan pascahampar itu berbeda. Pada proses prahampar aspal yang dicampurkan dngan agregat akan membungkus atau menyelimuti butir – butir agregat, mengisi pori antar butir, dan meresap kedalam pori masing – masing butir.

2.3.3. 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.

Sumber : Akem, 2012

Sedang sifat aspal lainnya adalah :

a. Aspal mempunyai sifat mekanis (*Rheologi*), yaitu hubungan antara tegangan (*stress*) dan regangan (*strain*) dipengaruhi oleh waktu. Apabila mengalami pembebanan dengan jangka waktu pembebanan yang sangat cepat, maka aspal akan bersifat elastis, tetapi jika pembebanannya terjadi dalam jangka waktu yang lambat maka sifat aspal menjadi plastis (*viscous*).

b. Aspal adalah bahan yang *Thermoplastis*, yaitu konsistensinya atau viskositasnya akan berubah sesuai dengan perubahan temperatur yang terjadi. Semakin tinggi temperature aspal, maka viskositasnya akan semakin rendah atau semakin encer demikian pula sebaliknya. Dari segi pelaksanaan lapis keras, aspal dengan viskositas yang rendah akan menguntungkan karena aspal akan menyelimuti batuan dengan lebih baik dan merata. Akan tetapi dengan pemanasan yang berlebihan maka akan merusak molekul-molekul dari aspal, aspal menjadi getas dan rapuh.

c. Aspal mempunyai sifat *Thixotropy*, yaitu jika dibiarkan tanpa mengalami tegangan regangan akan berakibat aspal menjadi mengeras sesuai dengan jalannya waktu.

Sumber : Nurkhayati Darunifah, 2007

2.3.4 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 :

1. **Asphalten**

Asphalten adalah unsur kimia aspal yang padat yang tidak larut dalam n-penten. Aspalten berwarna coklat sampai hitamyang terdiri dari senyawa karbon dan hydrogen dengan perbandingan 1 : 1, dan kadang-kadang mengandung nitrogen, sulfur, dan oksigen. Molekul asphalten ini memiliki ukuran antara 5 – 30 nano meter. Besar kecilnya kandungan aspalten dalam aspal sangat mempengaruhi sifat rheologi aspal tersebut.

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.

2.3.5 Fungsi Aspal

Fungsi aspal antara lain :

1. Untuk mengikat batuan agar tidak lepas dari permukaan jalan akibat lalu lintas (water proofing, protect terhadap erosi)
2. Sebagai bahan pelapis dan perekat agregat.
3. Lapis resap pengikat (*prime coat*) adalah lapisan tipis aspal cair yang diletakan di atas lapis pondasi sebelum lapis berikutnya.
4. Lapis pengikat (*tack coat*) adalah lapis aspal cair yang diletakan di atas jalan yang telah beraspal sebelum lapis berikutnya dihampar, berfungsi pengikat di antara keduanya.
5. Sebagai pengisi ruang yang kosong antara agregat kasar, agregat halus, dan filler.

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.

2.3.6 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 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 30oC sampai 200oC 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 pela 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 dakilitas 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^{o}C. Pengujian ini ditujukan untuk memperoleh nilai berat jenis aspal keras denga menggunakan rumus berat jenis hasil pengujian. Batasan minimal yang dicantumkan dalam spesifikasi ini mensyaratkan berat jenis diatas 1,0 gram/cc, kalau terlalu ringan berarti bahan aspal tersebut kekurangan asphaltene dan terlalu banyak minyak ringan yang mudah menguap dan kehilangan daya lengketnya.

f. Kehilangan Berat

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

Aspal yang dipakai dalam konstruksi jalan mempunyai sifat yang penting, yaitu : kepekatan (consistency), ketahanan lama atau ketahanan terhadap pelapukan dapat dilihat pada tabel 2.3 berikut :

Tabel 2. 3 Pengujian Aspal Keras

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Tipe 1 Aspal pen. 60/70
1	Penetrasi pada 25° C (0,1 mm)	SNI 06-2456-2011	60-70
2	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis(G*/sin)pada osilasi 10 rad/detik ≥1,0 kpa,(^{0}C)	SNI 06-6442-2000	-
3	Titik Lembek (℃)	SNI 06-2434-2011	>48
4	Viskositas 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	> 300
5	Daktilitas pada 25° C, (cm)	SNI 06-2432-2011	>100
6	Titik nyala (℃)	SNI 06-2433-2011	>232
7	Larutan dlm Toluene (%)	AASHTO T44-14	>99
8	Berat jenis	SNI 2441-2011	>1,0
9	Stabilitas penyimpanan (℃)	ASTM D5976 part 6.1 dan SNI 2434:2011	–
10	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	<0.80
11	Penetrasi pada 25℃ (%)	SNI 2456-2011	≥54
12	Temperatur yang menghasilkan geser dinamis(G*/sin)pada osilasi 10 rad/detik ≥2,2 kpa,(^{0}C)	SNI 06-6442-2000	-
13	Temperatur yang menghasilkan geser	SNI 06-6442-2000	--

No.	Jenis pengujian	Metode pengujian	Tipe 1 Aspal pen. 60/70
	dinamis(G*/sin)pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000kpa,(^{0}C)		
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432-2011	≥50
15	Kadar paraffin lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2

Sumber : Spesifikasi umum 2018

2.4 Aspal Beton (Laston)

Laston adalah suatu lapis permukaan yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam kondisi panas dan suhu tertentu. Laston bersifat kedap air, mempunyai nilai struktural, awet, kadar aspal berkisar 4-7% terhadap berat campuran, dan dapat digunakan untuk lalu lintas ringan, sedang, hingga berat. Campuran ini memiliki tingkat kekakuan yang tinggi. Menurut Kimpraswil tahun 2000 (dalam Hardiyatmo, 2015) aspal beton menjadi 3 macam campuran, yaitu laston lapis aus (AC-WC), laston lapis pengikat (AC-BC), dan laston lapis pondasi.

Menurut Asphalt Institute MS-22 (dalam Hardiyatmo, 2015), suatu campuran aspal beton harus memiliki karakteristik campuran yang baik. Karakteristik tersebut meliputi stabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, daya tahan/durabilitas, kekesatan permukaan, kemudahan pekerjaan, kedap air,

dan ketahanan terhadap kelelehan. Berikut penjelasan masing-masing karakteristik marshall:

1. Stabilitas adalah kemampuan campuran beraspal dalam melawan deformasi plastis atau perubahan bentuk permanen akibat beban lalu lintas. Stabilitas juga dapat didefinisikan sebagai kemampuan lapisan perkerasan dalam melayani beban lalu lintas dengan tanpa mengalami deformasi permanen, seperti gelombang dan timbulnya alur-alur. Stabilitas akan maksimal apabila agregat memiliki permukaan kasar dan volume aspal yang cukup, sehingga adhesi dengan permukaan 3 agregat dapat disebarkan dengan merata. Nilai stabilitas marshall dinyatakan dalam pon yang menyebabkan keruntuhan dari benda uji campuran beton aspal panas padat yang diuji dalam alat marshall. Stabilitas marshall bertambah apabia kadar aspal bertambah sampai nilau tertentu, setelah nilai tersebut stabilitasnya berkurang.

2. Kelenturan/fleksibilitas adalah campuran aspal harus mampu mengakomodasi lendutan permanen dalam batas-batas tertentu dengan tanpa mengalami retak-retak. Untuk mendapatkan kelenturan yang tinggi, maka dapat digunakan agregat yang bergradasi terbuka atau gradasi senjang. Aspal yang digunakan harus lunak (penetrasi tinggi).

3. Daya tahan/durabilitas Daya tahan atau durabilitas maksudnya daya tahan suatu lapis perkerasan terhadap keausan akibat beban lalu lintas dan pengaruh perubahan cuaca dengan tanpa mengalami pelepasan film aspal dati butirean agregat. Perubahan cuaca dapat mengakibatkan penuaan

aspal. Faktor-faktor yang dapat meningkatkan durabilitas campuran agregat aspal adalah kadar aspal tinggi, gradasi agregat rapat, pemadatan sempurna, campuran agregat kedap air, serta batuan penyusun lapis perkerasan cukup keras.

4. Kekesatan permukaan adalah lapisan permukaan aspal harus mempunyai kekesatan yang cukup tinggi, sehingga menjamin 4 keselamatan pengguna jalan, terutama apabila dalam kondisi basah. Untuk mempertinggi kekesatan maka jadar aspal harus tepat dan permukaan agregat harus kasar.

5. Kemudahan dalam pekerjaan adalah campuran aspal harus mudah dikerjakan dalam pelaksanaan di lapangan termasuk penghamparan dan pemadatannya.

6. Kedap air maksudnya adalah kekedapan campuran beraspal terhadap masuknya air dan udara. Hal ini diperlukan untuk mencegah lolosnya air dan kontak langsung aspal dengan udara. Air dan udara akan mempercepat penuaan aspal. Selain itu, air juga dapat menyebabkan pengelupasan lapis film aspal yang berada di permukaan agregat.

7. Ketahanan terhadap kelelehan adalah ketahanan campuran beraspal dalam menahan lendutan yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang berulang-ulang, sehingga campuran tidak cepat mengalami keretakan.

Tabel 2. 4 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Beraspal Panas (AC)

Sifat-Sifat Campuran		Lapias 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		Lapias 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. (Ic)]

2.4.1 Unsur Pembentuk Laston

Secara umum laston dibentuk oleh agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal, yang akan diuraikan dibawah ini :

1. Agregat

a. Pengertian agregat

Berdasarkan (Departemen Pekerjaan Umum–Direktorat Jenderal Bina Marga. 1998) agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya berupa hasil alam atau buatan. Agregat adalah partikel mineral yang berbentuk butiran-butiran yang merupakan salah satu penggunaan dalam kombinasi dengan berbagai macam tipe mulai dari sebagai bahan material di semen untuk membentuk beton, lapis pondasi jalan, material pengisi, dan lain-lain (Harold N. Atkins, PE. 1997). Sedangkan secara umum agregat didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat (Silvia Sukirman, 2003).

Beberapa pendapat di atas, maka dapat diartikan bahwa agregat sebagai suatu kumpulan butiran batuan yang berukuran tertentu yang diperoleh dari hasil alam langsung maupun dari pemecahan batu besar ataupun agregat yang disengaja dibuat untuk tujuan tertentu. Seringkali agregat diartikan pula sebagai suatu bahan yang bersifat keras dan kaku yang digunakan sebagai bahan pengisi campuran. Agregat dapat berupa berbagai jenis butiran atau pecahan batuan, termasuk di dalamnya antara lain: pasir, kerikil, agregat pecah, abu/debu agregat dan lain-lain (Harold N. Atkins, PE. 1997).

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

a. Agregat kasar

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

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

Tabel 2. 5 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%, Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC bergrasadi	SNI 2417:2008	Maks. 30%
	Semua jenis campuran bergradasi lainnya		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Maks. 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90
	Lainnya		95/90
Partikel pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material lolos Ayakan No.200		SNI 03-4142 1996	Maks. 1%

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

b. Agregat Halus

Agregat halus pasir alam merupakan hasil desintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu. Agregat halus adalah material yang lolos saringan no.4 (4,75 mm). Agregat dapat menigkatkan stabilitas campuran dengan penguncian antara butiran. Selain itu agregat halus juga mengisi ruang antara butir Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya. Agregat halus pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera pada Tabel 2.6 di bawah :

Tabel 2. 6 Spesifikasi Gradasi Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Material Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%
Kadar Lempung	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min 45

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

Agregat merupakan komponen utama dari struktur utama perkerasan jalan yaitu 90–95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75–85 % agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

2.4.2. Jenis Agregat

Adapun jenis – jenis dari agregat itu adalah sebagai berikut :

a. Agregat siap pakai adalah agregat yang dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh di lokasi asalnya, atau dengan sedikit proses pengolahan. Agregat ini berbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Agregat siap pakai sering disebut sebagai agregat alam. Agregatnya cenderung bulat – bulat, dengan tekstur permukaan licin. Proses degradasi agregat di bukit –

bukit akan membentuk agregat bersudut dan kasar. Dua bentuk dan ukuran agregat alam yang sering dipergunakan sebagai material perkerasan jalan yaitu kerikil dan pasir.

b. Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai adalah agregat yang diperoleh di bukit – bukit, di gunung – gunung, ataupun di sungai – sungai. Agregat di gunung dan di bukit umumnya ditemui dalam masif, sehingga perlu dilakukan pemecahan dahulu supaya dapat diangkat ke tempat mesin pemecah batu (Stone Crusher). Sungai – sungai yang membawa agregat di musim hujan, umumnya membawa agregat berukuran besar sehingga tidak memenuhi persyaratan ukuran yang ditentukan. Guna dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan, agregat ini harus diolah dulu secara manual, dengan mempergunakan tenaga manusia atau melalui proses mekanis di mesin pemecah batu. Agregat yang berasal dari gunung, bukit, sungai yang perlu melalui proses pengolahan terlebih dahulu di mesin pemecah batu, umumnya lebih baik sebagai material perkerasan jalan, karena mempunyai bidang pecahan bertekstur kasar dan ukuran agregat sesuai yang diinginkan.

Di samping itu terdapat pula agregat hasil olahan pabrik seperti semen dan kapur atau limbah industri seperti abu terbang. Berdasarkan ukuran butirannya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (filler). Batasan masing – masing agregat ini seringkali berbeda sesuai institusi yang menentukannya.

2.4.3. 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 almiah 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 tertentukadang-kadang dibutuhkan untuk membantu meningkatkan workabilitasnya. Dilain 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 denganyang 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, meyerap dan menahan film aspal. Agregat hidrophobik (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 yan rendah. Sehingga agregat jenis ini cenderung terpisah dari film aspal bila terkena air. Kuarsit dan beberapa jenis granit adalah contohagregat 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.

2.4.3. Klasifikasi Agregat Berdasarkan Asalnya

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

a. Agregat Alam

Agregat alam merupakan agregat yang digunakan dalam bentuk alamiahnya dengan sedikit atau tanpa pemprosesan 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 di lakukan 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).*

2.5.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 teridiri 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 garadasi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan workability (mudah dikerjakan) dan stabiltas 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 inchi 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 garadasi baik *(well graded).* Campuran dengan gradasi ini memiliki

stabilitasyang 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 2.7. di bawah ini :

Tabel 2. 7 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

2.6 Filler (Bahan Pengisi)

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 yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk bambu. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas

gumpalan-gumpalan dan mempunyai sifat non plastis dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136:2012 harus mengandung bahan lolos ayakan no.200. Fungsi filler dalam campuran adalah :

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

2.7 Bunga Pinus

Bahan pengisi dapat terdiri atas batu kapur, debu dolomite, semen portland, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahkan mineral tidak plastis lainnya. Bahan pengisi mikro agregat ini harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Fungsi bahan pengisi adalah untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur.

Bunga pada Tanaman Pinus termasuk ke dalam bunga berkelamin tunggal (unisexualis). Bunga Pinus ini terbagi menjadi dua, yaitu bunga jantan dan bunga betina. Bunga jantan memiliki bentuk silindris dengan panjang sekitar 2-4 cm. Sedangkan bunga betina memiliki bentuk kerucut, ujungnya runcing, memiliki sisik, berwarna cokelat, dan setiap bakal biji terdapat sayap, serta terletak di sepertiga bagian atas tajuk terutama di ujung dahan. Bunga Pinus ini pada umumnya berwarna kuning ketika muda dan berwarna kecoklatan ketika sudah tua.

Bunga pinus banyak terbuang dari pohonnya setelah jatuh. Didaerah hutan pinus yang berada di Malino banyak ditumbuhi pohon pinus, untuk pemanfaatan bunganya sendiri di daerah tersebut masih belum banyak dilakukan. Dalam penelitian ini untuk memanfaatkan bunga pinus yang tak terpakai, bunga pinus dimanfaatkan sebagai pengganti *filler* campuran Aspal beton. Karena di daerah hutan pinus Malino belum ada pemanfaatkan sebagai kerajinan maupun lainnya. Dalam kandungan bunga pinus memiliki sedikit kadar minyak terpenting yang mengandung senyawa *terpene* biasanya digunakan sebagai pelarut untuk mengencerkan cat minyak, bahan campuran vernis.

2.8 Metode Marshall

Rancangan campuran berdasarkan Metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar Metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan

kelelehan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (5000 *lbs*) dan *flow* meter. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flow* meter untuk mengukur kelelehan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 *inchi* (10,2 cm) dan tinggi 2,5 *inchi* (6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76. Secara garis besar pengujian Marshall meliputi: persiapan benda uji, penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan perhitungan sifat *volumetric* benda uji.

Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

a) Jumlah benda uji yang disiapkan.

b) Persiapan agregat dan serat *Polypropylene* yang akan digunakan.

c) Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.

d) Persiapan campuran aspal beton.

e) Pemadatan benda uji.

f) Persiapan untuk pengujian Marshall.

Jumlah benda uji yang disiapkan ditentukan dari tujuan dilakukannya uji Marshall tersebut. AASHTO menetapkan minimal 3 buah benda uji untuk setiap kadar filler kaca yang digunakan. Agregat yang akan digunakan dalam campuran dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105-110ºC.

2.8.1 Parameter Marshall Campuran Aspal Beton

1. Stabilitas

Menurut Sukirman (2007:107), pemeriksaan Stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, dan *flow meter* mengukur besarnya deformasi yang terjadi akibat beban. Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis atau dengan arti lain yaitu kemampuan lapis keras untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas yang bekerja diatasnya tanpa mengalami perubahan bentuk tetap seperti gelombang (washboarding) dan alur (rutting). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh bentuk, kualitas, tekstur permukaan dan gradasi agregat yaitu gesekan antar butiran agregat (internal friction) dan penguncian antar agregat (interlocking), daya lekat (cohesion), dan kadar aspal dalam campuran.

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

Syarat nilai stabilitas adalah lebih dari 800 kg. Lapis perkerasan dengan nilai stabilitas kurang dari 800 kg akan mudah mengalami rutting , karena perkerasan bersifat lembek sehingga kurang mampu mendukung beban. Sebaliknya jika stabilitas perkerasan terlalu tinggi maka perkerasan akan mudah etak karena sifat perkerasan menjadi kaku. Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada saat pengujian Marshall. Hasil tersebut dicocokkan dengan angka kalibrasi proving ring dengan satuan lbs atau kilogram, dan masih harus dikoreksi dengan faktor koreksi yang dipengaruhi oleh tebal benda uji.

Nilai stabilitas sesungguhnya diperoleh dengan rumus (1) di bawah ini:

S = p x q ..... (1)

Keterangan :

S = angka stabilitas sesungguhnya

P = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

q = angka koreksi benda uji

q = angka koreksi benda uji

2. *Void In Mix* (VIM)

VIM adalah volume pori yang masih tersisa setelah campuran beton aspal dipadatkan. VIM ini dibutuhkan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat, akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas, atau tempat jika aspal menjadi lunak akibat meningkatnya temperatur. VIM *(Void In The Mix)* merupakan persentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai VIM berpengaruh terhadap

keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai VIM menunjukan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat pourous. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Air akan melarutkan komponen-komponen yang akan teroksidasi sehingga mengakibatkan terus berkurangnya kadar aspal dalam campuran. Penurunan kadar aspal dalam campuran menyebabkan lekatan antara butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran (revelling) dan pengelupasan permukaan (stripping) pada lapis perkerasan.

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

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

Nilai VIM dihitung dengan rumus (4) – (7) di bawah ini :

$$VIM = (100 - i - j) \quad \text{.....} \quad (4)$$

$$b = \frac{a}{100 + a} \times 100 \quad \text{.....} \quad (5)$$

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

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

Keterangan :

a = Persentase aspal terhadap batuan

b = Persentase aspal terhadap campuran

g = Persen rongga terisi aspal

i dan j = rumus subtitusi

3. Void In The Mineral Ag*gregate* (VMA)

Menurut Sukirman (2007:85) rongga antar mineral agregat (VMA) adalah ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan berat jenis *bulk* (Gsb) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume *bulk* campuran yang dipadatkan. Void In Mineral Agregate (VMA) adalah rongga udara antar butir agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif, yang dinyatakan dalam persen terhadap total volume. Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran karena jika VMA terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitas, dan jika VMA terlalu besar maka campuran bisa memperlihatkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi.

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

4. Kelelehan Plastis (*Flow)*

Kelelehan Plastis (*flow*) menyatakan besar deformasi lapisan perkerasan akibat beban lalulintas. Suatu campuran dengan *flow*nya yang tinggi, melampaui batas maksimum maka campuran cenderung menjadi plastis, sehingga mudah berubah bentuk jika terlalu banyak menerima beban. Sebaliknya bila nilai flow-nya rendah, maka campuran menjadi kaku dan mudah retak jika beban melampaui daya dukungnya. Besarnya nilai flow diakibatkan oleh bertambahnya nilai kadar aspal, semakin tinggi kadar aspal semakin tinggi pula nilai flow. (Silvia Sukirman, 2007:102).

5. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient adalah hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai *Marshall Quotient* dipengaruhi oleh nilai stabilitas dan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm. Nilai *Marshall Quotient* di bawah 250 kg/mm mengakibatkan perkerasan

mudah mengalami washboarding, rutting dan bleeding, sedangkan nilai *Marshall Quotient* yang tinggi mengakibatkan perkerasan menjadi kaku dan mudah mengalami retak.

Nilai dari *Marshall Quotient* (MQ) diperoleh dengan rumus (10) di bawah ini :

MQ = S / F .....(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.

Rancangan campuran berdasarkan Metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar Metode Marshall adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelehan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 kN (5000 *lbs*) dan *flow* meter.

Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flow* meter untuk mengukur kelelehan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 *inchi* (10,2 cm) dan tinggi 2,5 *inchi* (6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76. Secara garis besar pengujian Marshall meliputi: persiapan benda uji, penentuan berat jenis *bulk* dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan perhitungan sifat *volumetric* benda uji.

Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain :

a) Jumlah benda uji yang disiapkan.
b) Persiapan agregat dan serat *Polypropylene* yang akan digunakan.
c) Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
d) Persiapan campuran aspal beton.
e) Pemadatan benda uji.
f) Persiapan untuk pengujian Marshall.

Jumlah benda uji yang disiapkan ditentukan dari tujuan dilakukannya uji Marshall tersebut. AASHTO menetapkan minimal 3 buah benda uji untuk setiap kadar filler serbuk bambu yang digunakan. Agregat yang akan digunakan dalam campuran dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105-110ºC.

2.9 Penelitian terdahulu

2.9.1 Penelitian Campuran Aspal Beton Dengan Menggunakan Filler Bunga Pinus

Penelitian terkait pernah dilakukan oleh April Gunato dan Agata Iwan dengan campuran Bunga Pinus menggunakan metode Marshall, dan untuk menentukan kadar aspal optimal yang dihasilkan dalam campuran aspal beton dengan pengisi Bunga Pinus, ditinjau dari cadangan Marshall, aliran, VIM (rongga Dalam Campuran), VMA (Void) Dalam Mineral) Agregat), VFB (Void Filled Bitumen), dan Marshall quotient (MQ). Metode campuran aspal beton dalam penelitian ini menggunakan aspal minyak AC 60/70. Penelitian ini terdiri dari 5 sampel, masing-masing menggunakan kadar aspal yang berbeda, yaitu: 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%. Dengan masing-masing sampel terdiri dari 3 varian spesimen sampel. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Teknis, universitas hadir.

Tahapan penelitian termasuk agregat kasar dari batuan padat yang dipegang dengan filter no. 8 (2.36mm), agregat halus dengan pasir sungai brantas melewati no. 8 (2.36mm), dan pengisi menggunakan abu pinus melewati filter no. 200 (0,075mm). Hasil penelitian ini tentang karakteristik Marshall diperoleh tingkat Asphalt Optimal 6,5% dengan nilai Stabilitas rata-rata 1417, nilai rata-rata Arus 3,6 mm, nilai rata-rata VIM (void Dalam Campuran) 4,11%, nilai rata-rata VMA (Void Dalam Mineral Agregat 16,69%, VFB (Void Filled Bitumen) nilai rata-rata 73,57%, dan Marshall quotient (MQ) nilai rata-rata 314 kg / mm

2.9.2 Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara

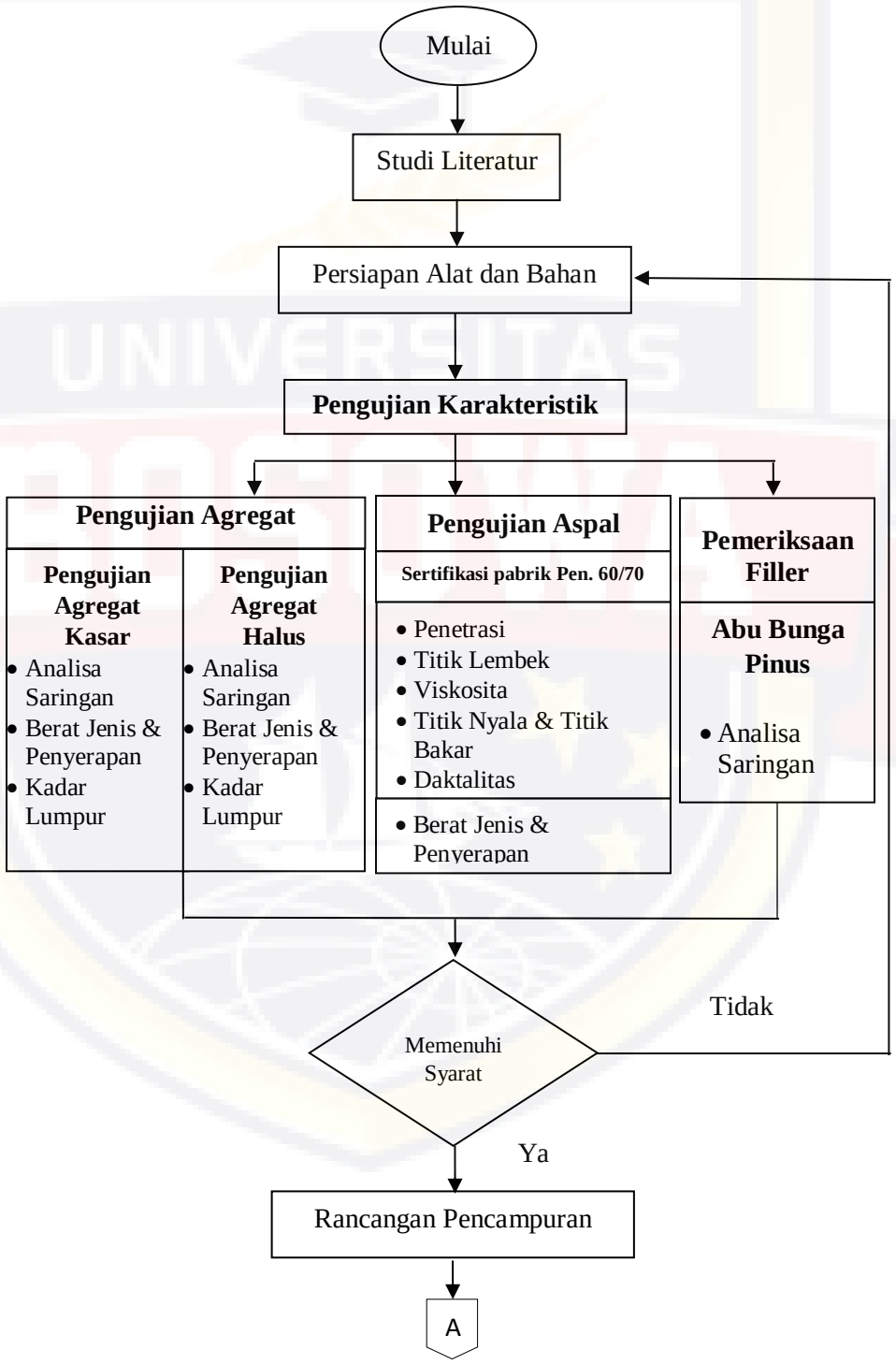
Penelitian terkait telah dilakukan oleh Anas Tahir dengan menggunakan metode eksperimen yaitu dengan suatu percobaan untuk mendapatkan hasil, dengan demikian akan terlihat pemanfaatan filler abu terbang batu bara pada konstruksi beton aspal dengan variasi kadar filler 4%, 5%, 6%, 7%, dan 8% terhadap total campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan filler abu terbang batu bara akan mempengaruhi karakteristik campuran beton aspal. Semakin banyak filler abu terbang batu bara yang digunakan, menyebabkan nilai stabilitas semakin meningkat. Pada kadar filler abu terbang batu bara 4% nilai stabilitas yang didapatkan sebesar 1518.124 Kg, pada saat kadar filler abu terbang batu bara ditambahkan sampai pada kadar 8%, nilai stabilitas meningkat menjadi 1640.499 Kg.

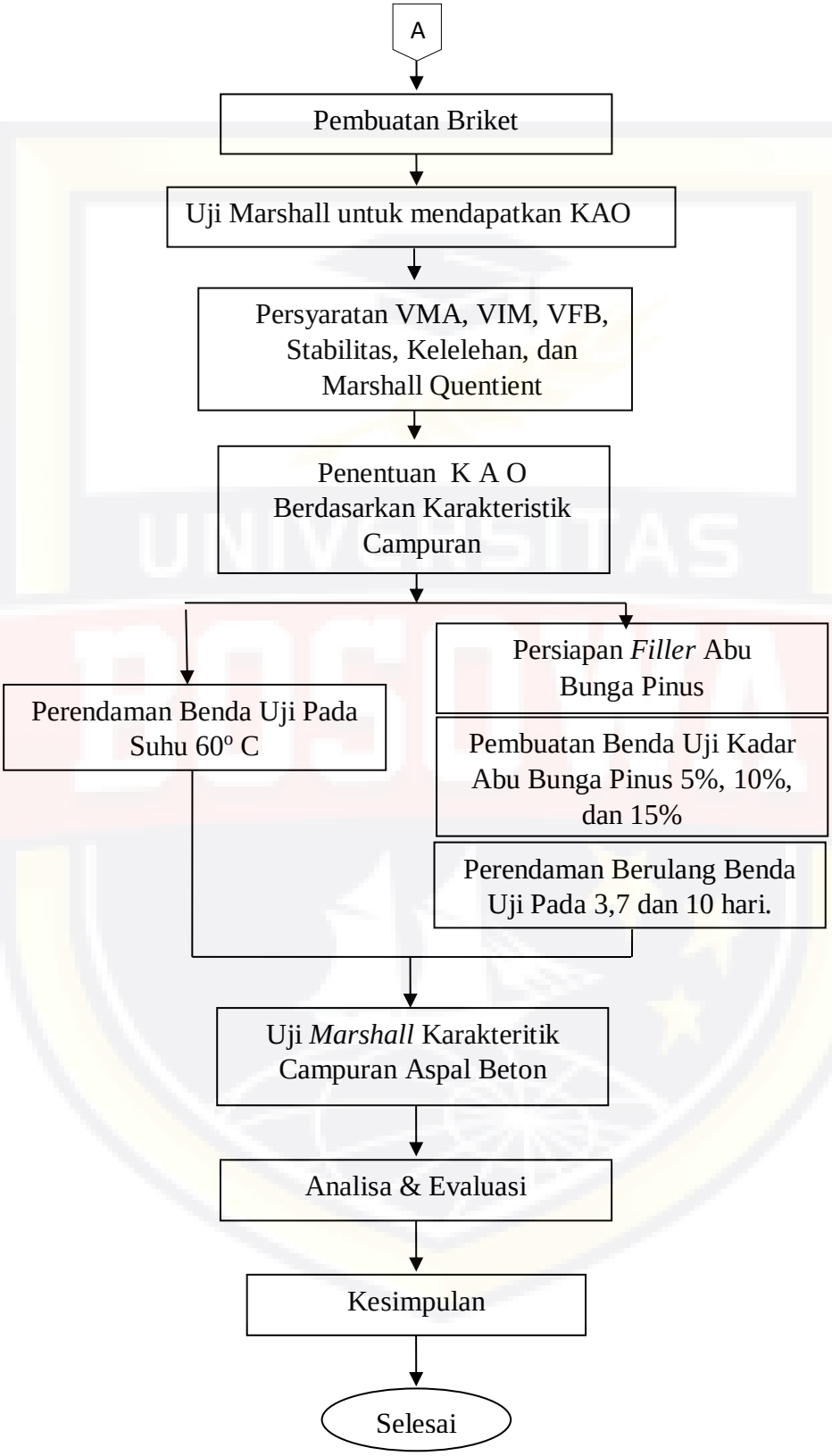
Nilai fleksibilitas mengalami peningkatan seiring pertambahan kadar filler abu terbang batu bara. Dengan peningkatan rata-rata sebesar 14,87% dari kadar filler abu terbang batu bara 4 % sampai 8 % menunjukan bahwa campuran lebih bersifat kaku. Durabilitas campuran mengalami peningkatan seiring pertambahan kadar filler abu terbang batu bara. Pada saat campuran menggunakan variasi kadar filler abu terbang batu bara sebesar 4 %, memiliki nilai durabilitas sebesar 91.433%, setelah divariasikan dengan kadar filler abu terbang batu bara sampai pada 8%, nilai durabilitas meningkat menjadi 95.703%, dengan rata-rata peningkatan sebesar 2.02%.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian




A
Pembuatan Briket
Uji Marshall untuk mendapatkan KAO
Persyaratan VMA, VIM, VFB, Stabilitas, Kelelehan, dan Marshall Quentient
Penentuan K A O Berdasarkan Karakteristik Campuran
Persiapan *Filler* Abu Bunga Pinus
Perendaman Benda Uji Pada Suhu 60º C
Pembuatan Benda Uji Kadar Abu Bunga Pinus 5%, 10%, dan 15%
Perendaman Berulang Benda Uji Pada 3,7 dan 10 hari.
Uji *Marshall* Karakteritik Campuran Aspal Beton
Analisa & Evaluasi
Kesimpulan
Selesai

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 di Bili-Bili, Kab. Gowa - Sulawesi Selatan dan Abu Bunga Pinus diperoleh dari Hutan Pinus Malino, Sulawesi Selatan.

3.3. Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan Universitas Bosowa Makassar

3.4. Waktu Pelaksanaan

Waktu Pelakanaan penelitian ini dilakukan pada bulan Juni 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 Kasar dan Halus

a. Tujuan

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

b. Rumus :

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

% lolos = 100% - % tertahan per saringan ……. (3.2)

3.5.2. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan 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. Rumus :

Berat Jenis (*Bulk Spesific Gravity*) $= \frac{\mathbf{Bk}}{\mathbf{Bj - Ba}}$ .....(3.3)

Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (SSD) $= \frac{\mathrm{Bj}}{\mathbf{Bj} - \mathrm{Ba}}$.....(3.4)

Berat Jenis Semu (Apparent) $= \frac{\mathrm{Bk}}{\mathrm{Bk - Ba}}$.....(3.5)

Penyerapan (Absorption) $= \frac{\mathrm{Bj - Bk}}{\mathbf{Bk}}$x100%.....(3.6)

3.5.3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

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. Rumus :

Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*) $= \frac{\mathrm{Bk}}{\mathrm{B+SSD-Bt}}$.....(3.8)

Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) $= \frac{\mathrm{SSD}}{\mathrm{B+SSD-Bt}}$.....(3.9)

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

Penyerapan $= \frac{(\mathrm{SSD-Bk})}{\mathrm{Bk}} \times 100\%$.....(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
4. Timbangan digital,ketelitian 0,001 gr
5. Oven
6. Wadah
7. Stopwatch

c. Benda Uji :

Agregat yang lolos saringan 37,5 mm (1 1/2") sebanyak 5000 gr

d. Prosedur Kerja :

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakandalam 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 :

$$\frac{W1-W2}{W1} \text{ X } 100\%$$

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. Perhitungan

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

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. Perhitungan

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

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. Rumus yang digunakan :

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

Keterangan :

δ = 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 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 25ºC.

3.6.3. Pemeriksaan Viskositas

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menetukan temperatur pencampuran dan temperatur pemadatan.

3.6.4. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

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.

3.6.5. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

a. Tujuan :

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

3.6.6. Penentuan Jumlah Benda Uji

Dalam perhitungan dibawah ini, kadar aspal yang digunakan di-tabel 3.1 hanya merupakan sampel dan digunakan untuk menghitung jumlah aspal.

Tabel 3. 1 Contoh Perhitungan benda Uji

Uraian kegiatan pengujian						**Jumlah**
1. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)						
Variasi Kadar Aspal (%)					**Jumlah Benda Uji**	
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 Briket Normal						
Kadar Aspal Optimum (%)		**Waktu (Menit/jam)**			***AC-WC***	**Jumlah**
KAO		30 Menit			**3**	3
KAO		24 Jam			**3**	3
3. Variasi Pengganti Sebagian Filler Abu Bunga Pinus dengan Perendaman Berulang						
Kadar Aspal (%)	**Kadar Abu (%)**	**Siklus (hari)**			***AC-WC***	**Jumlah**
KAO	5	3	7	10	**2**	6
KAO	10	3	7	10	**2**	6
KAO	15	3	7	10	**2**	6
Total Benda Uji						**39**

3.6.7. 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.

3.6.8. Perhitungan Kadar Aspal Optimum Rencana (KAO) / Pb

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

Pb = 0,035 (%Agregat Kasar) + 0,045 (%Agregat Halus) + 0,18 (%*Filler*) + K

Dimana :

Pb = Kadar aspal perkiraan

Filler = Persen agregat lolos saringan No.200 (abu bunga pinus)

K = Nilai konstanta 0,5-1,0

3.6.9. Pembuatan Briket / Benda Uji

a. Peralatan :

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

b. Prosedur kerja :

1. Pisahkan agregat dengan cara penyaringan sesuai dengan presentase agregat yang didapat.
2. Menentukan kadar aspal optimum rencana (Pb)
3. Timbang masing-masing agregat dan aspal sesuai dengan presentase gabungan yang didapat.
4. Panaskan agregat dengan menggunakan panic sampai suhu 165ºC
5. Tuangkan Abu Bunga Pinus dan aspal penetrasi 60/70 aduk sampai merata
6. Kemudian tuangkan Abu Bunga Pinus 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 155ºC lalu masukkan campuran kedalam cetakan.
8. Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 2 x 75 kali tumbukan, lalu dinginkan untuk kemudian dikeluarkan dari cetakan.

3.7. Pengetesan Benda Uji I 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 60ºC 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 optimal.

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 diambil dari Hutan Pinus Malino. Jenis Aspal yang digunakan Studi ini adalah Aspal Minyak dengan penetrasi 60/70.

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Hasil pemeriksaan karakteristik agregat sesuai dengan metode pengujian yang dipakai dan spesifikasi yang disyaratkan dan disajikan dalam Tabel dibawah. dan hasil pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus disajikan dalam Tabel 4.1 – 4. 3 sebagai berikut :

a. Pemeriksaan Analisa Saringan

Tabel 4. 1 Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat (Bina Marga 2018)

Ukuran Saringan		% Lolos Saringan		
Inchi	mm	Gradasi Batu Pecah 1-2	Gradasi Batu Pecah 0,5-1	Abu Batu
3/4”	19	100.00	100.00	100.00
1/2”	12,5	51.43	100.00	100.00
3/8”	9,5	11.20	85.82	100.00
No.4	4,75	1.56	58.19	90.47
No. 8	2,36	1.46	43.77	67.36
No. 16	1,18	1.02	27.67	50.34
No. 30	0,6	0.99	21.05	34.52
N0. 50	0,3	0.92	15.18	25.59
No.100	0,14	0.67	11.65	11.97
No.200	0,075	0.61	5.21	4.73
Pan	-	0.09	0.15	0.23

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan Unibos

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

Rumus:

Berat Jenis (*Bulk SpecificGravity*) $= \frac{Bk}{Bj - Ba}$

Berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*) $= \frac{Bj}{Bj - Ba}$

Berat jenis semu (*Appernt Specific Gravity*) $= \frac{Bk}{Bk - Ba}$

Penyerapan (Absorption) $= \frac{(Bj - Bk)}{Bk} x\ 100\%$

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	Hasil	Spesifikasi		Satuan
			Min.	Maks.	
Gradasi	AASHTO T27-82		-	-	%
Berat jenis dan penyerapan (batu pecah 1-2)	SNI 03-1969-1990			3	
1. Bulk		2.59	2.5		-
2. SSD		2.65	2.5		-
3. Semu		2.76	2.5		-
4. Penyerapan		2.41	-		-
Berat jenis dan penyerapan (batu pecah 0,5-1)	SNI 03-1969-1990			3	
1. Bulk		2.62	2.5		-
2. SSD		2.69	2.5		-
3. Semu		2.83	2.5		-
4. Penyerapan		2.73	-		-

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan Unibos dan Spesifikasi Bina Marga 2018

c. Pemeriksaan Berat Jenis Abu Batu :

Rumus :

Berat Jenis (*Bulk Specific Gravity*) $= \frac{Bk}{B+500-Bt}$

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

Berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) $= \frac{Bk}{B+Bk-Bt}$

Penyerapan $= \frac{(500-Bk)}{Bk} x\ 100\%$

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
			Min.	Max	
Gradasi	AASHTO T27-82		-	-	%
Berat jenis dan penyerapan	SNI 03-1970-1990			3	
1. Bulk		2.78	2.5		Gram
2. SSD		2.85	2.5		Gram
3. Semu		3.01	2.5		Gram
4. Penyerapan		2.75	-		Gram

Sumber : Hasil Pengujian Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan Unibos dan Spesifikasi Bina Marga 2018

4.1.2. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Minyak

Jenis aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal minyak penetrasi 60/70. Hasil pengujian sifat-sifat fisik aspal sesuai hasil pengujian dan penelitian, diperlihatkan pada Tabel 4.4. sebagai berikut :

Tabel 4. 4 Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

No.	Pemeriksaan	Prosedur Pemeriksaan	Spesifikasi		Hasil	Satuan
			Min.	Max.		
1	Penetrasi (25º C, 5 dtk)	SNI-06-2456-1991	1.0	-	1.005	Gr/mm

Sumber : Hasil Pengujian dan Spesifikasi Bina Marga 2018

4.1.3. Penentuan Komposisi Agregat Gabungan

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

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

- Batu Pecah 1 – 2 = 20%
- Batu Pecah 0,5-1 = 50%
- Abu Batu = 29%
- Filler = 1%

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

Gradasi Penggabungan Agregat = $\frac{\text{Komposisi Camp.}}{100}$ x a + $\frac{\text{Komposisi Camp.}}{100}$x b + $\frac{\text{Komposisi Camp.}}{100}$x c + $\frac{\text{Komposisi Camp.}}{100}$x d

= $\frac{20}{100}$x 100 + $\frac{50}{100}$ x 100 + $\frac{29}{100}$x 100 + $\frac{1}{100}$X100

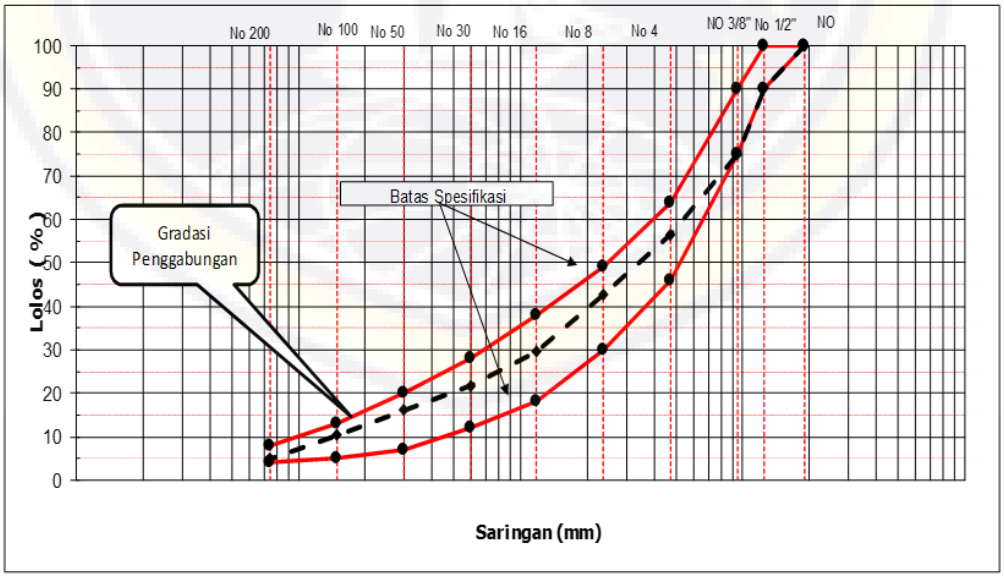
= 100%

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

Tabel 4. 5 Rancangan Campuran Aspal Panas *AC-WC*

No. Saringan	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	III	IV	V	
3/4"	100,00	100,00	100,00	100,00	**100**					**100**
1/2"	51,43	100,00	100,00	100,00	**90,29**					**90 - 100**
3/8"	11,20	85,82	100,00	100,00	**75,15**					**77 - 90**
#4	1,56	58,19	90,47	100,00	**56,64**					**53 - 69**
#8	1,46	43,77	67,36	100,00	**42,71**					**33 - 53**
#16	1,02	27,67	50,34	100,00	**29,64**					**21 - 40**
#30	0,99	21,05	34,52	100,00	**21,73**					**14 - 30**
#50	0,92	15,18	25,59	100,00	**16,19**					**9 - 22**
#100	0,67	11,65	11,97	100,00	**10,43**					**6 - 15**
#200	0,61	5,12	4,73	95,07	**5,003**					**4 - 9**
					Komposisi Penggabungan Agregat (%)					
	a. Batu pecah 1 – 2				**20**					
	b. Batu pecah 0,5 – 1				**50**					
	c. Abu batu				**29**					
	d. Filler				**1**					
Total Luas Permukaan Agregat (M2/Kg)					**5.61**					

Sumber : Hasil Analisa Data



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*

Pb = 0.035 (Ag. Kasar) + 0.045 (Ag. Halus) + 0.18 (Filler) + K

= 0.035 (57.29) + 0.045 (37.71) + 0.18 (5.00) + 0.75

= 5.35 % ➡ 6.0 %

Keterangan :

Agregat Kasar = #3/4" - #8

= 100 - 42.71

= 57.29

Agregat Halus = #8 - #200

= 42.71 – 5.00

= 37.71

Filler = #200

= 5.00

Kadar aspal yang didapatkan adalah 6.0 %, dengan mengambil dua kadar aspal dibawah dan dua kadar aspal diatas menggunakan interval 0,5 % maka nilai tersebut adalah 5 % ; 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 panas *AC-WC* dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 dapat dilihat pada lampiran.

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

Tabel 4. 6 Komposisi campuran *AC-WC*

Kadar Aspal	=	**5**	%			100	%	-	**5**	%	= 95
Hasil Combine											
BP 1 - 2	**20**	%	x	95	%	=	0.19	x	1200	=	228.00
BP 0,5 - 1	**50**	%	x	95	%	=	0.48	x	1200	=	570.00
Abu Batu	**29**	%	x	95	%	=	0.28	x	1200	=	330.60
Filler	**1**	%	x	95	%	=	0.01	x	1200	=	11.40
Aspal	**5**	%	X						1200	=	60.00
											1200

Ket: Dalam satuan gram

Tabel 4. 7 Berat Aspal dan agregat pada campuran aspal Panas *AC-WC* Standar

Kadar aspal	**5**	**5.5**	**6**	**6.5**	**7**
Batu Pecah 1 - 2	228.00	226.80	225.60	224.40	223.20
Batu Pecah 0,5 - 1	570.00	567.00	564.00	561.00	558.00
Abu Batu	330.60	328.86	327.12	325.38	323.64
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	**1200**	**1200**	**1200**	**1200**	**1200**

Ket: Dalam satuan gram

4.2.3. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Campuran

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

Tabel 4. 8 Hasil pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Material	**Berat jenis bulk**	**Berat jenis semu**	**Berat jenis efektif**
	a	**b**	$c = \frac{(a+b)}{2}$
Batu Pecah 1 - 2	2.59	2.76	2.67
Batu Pecah 0,5 - 1	2.62	2.83	2.72
Abu batu	2.78	3.01	2.89
Filler	3.17		
Aspal	1.005		

Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium dan Spesifikasi 2018

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

a. Untuk campuran aspal panas *AC-WC*

Bj. Bulk Agregat (G_{sb}) $= \dfrac{100}{\left(\frac{20\%}{2.59}\right)+\left(\frac{50\%}{2.62}\right)+\left(\frac{29\%}{2.78}\right)+\left(\frac{1\%}{3.17}\right)}$

= 2,67 gram

Bj. Semu Agregat (G_{sa}) $= \dfrac{100}{\left(\frac{20\%}{2.76}\right)+\left(\frac{50\%}{2.82}\right)+\left(\frac{29\%}{3.01}\right)+\left(\frac{1\%}{3.17}\right)}$

= 2.87 gram

Bj. Efektif Agregat (G_{se}) $= \dfrac{2.67+2.87}{2}$ = **2,77 gram**

4.3. Data Uji Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

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

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

a. Berat Jenis Aspal (T) = 1.005 gr/cc

b. Kadar Aspal (A) = 5 %

c. Bj. Bulk Gabungan (B) = 2.69 %

d. Bj. Efektif Gabungan (C) = 2.78 %

e. Bj. Maksimum Campuran (D) = 100 / ((100 – A)/C) + (A + T)

= 2.55 %

f. Berat Campuran di Udara (E) = 1164.3 gr

g. Berat Campuran Dalam Air (F) = 652.2 gr

h. Berat Campuran SSD (G) = 1185.1 gr

i. Volume Benda Uji (H) = (G – F) = 532.9 gr

j. Bj Bulk Campuran (Kepadatan) (I) = E/H = 2.18 %

k. Rongga dalam Campuran (VIM) (J) = 100 (D – I) / D

= 14.3 %

l. Pembacaan Stabilitas (K) = 65 kg

m. Kalibrasi Alat (Kg) = 14.9 kg

n. Angka Korelasi (dapat dilihat pada lampiran) = 1

o. Stabilitas setelah koreksi (L) = Pemb. Stabilitas x Kalibrasi Alat x Angka Korelasi = 980.6 kg

p. Pelelehan (M) = 3.6 mm

q. Marshall Quetient (N) = L/M = 272.4 kg/mm

r. Luas Permukaan Agregat (O) = 5.61 %

s. Absorsi Aspal Terhadap Berat Total Campuran (P) = (A + ((T x (100 – A))/B)) – ((100 x T)/D) = 1.15 %

t. Tebal Film (Q) = (1000 x (A – P))/((T x O) x (100 – A)) = 6.954 %

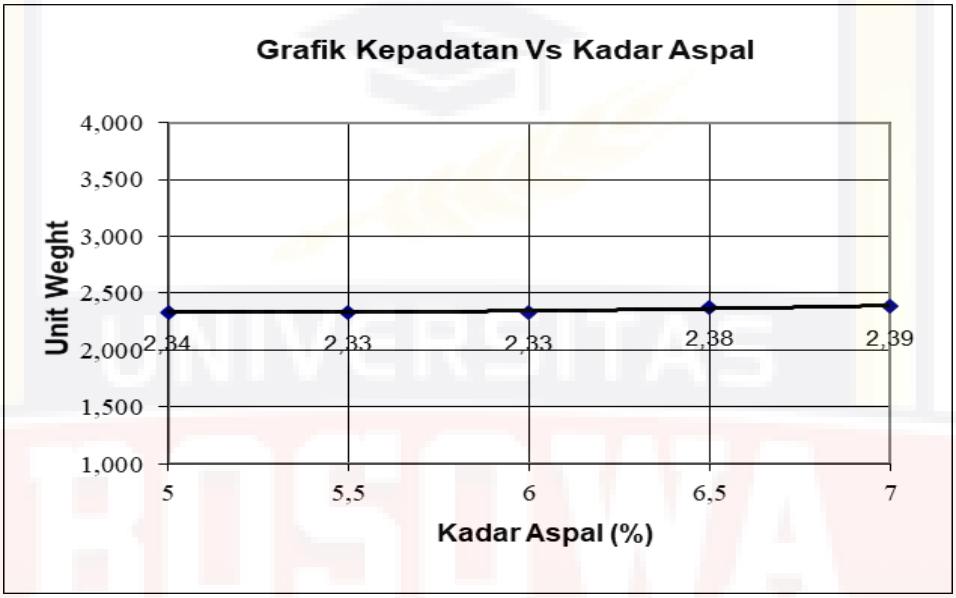
u. Rongga Dalam Agregat (VMA) (R) = 100 – (I/B) x (100 – A)

= 22.71 %

v. Rongga Terisi Aspal (VFB) (S) = 36.82 %

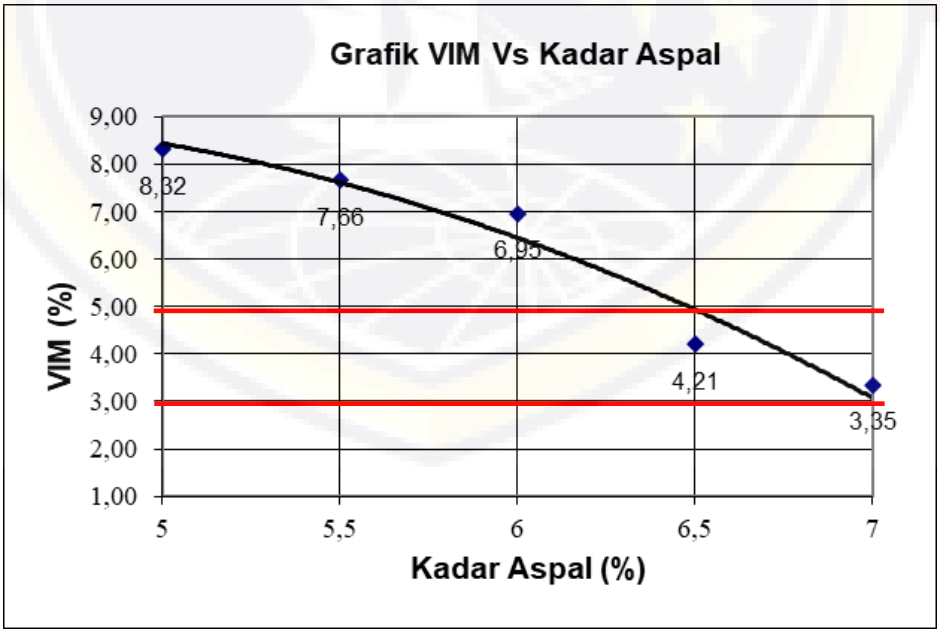
Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada lampiran, lalu diplot kedalam grafik untuk kemudian ditentukan kadar aspal optimum (KAO) seperti pada Gambar 4.2. dan 4.3.

Kepadatan



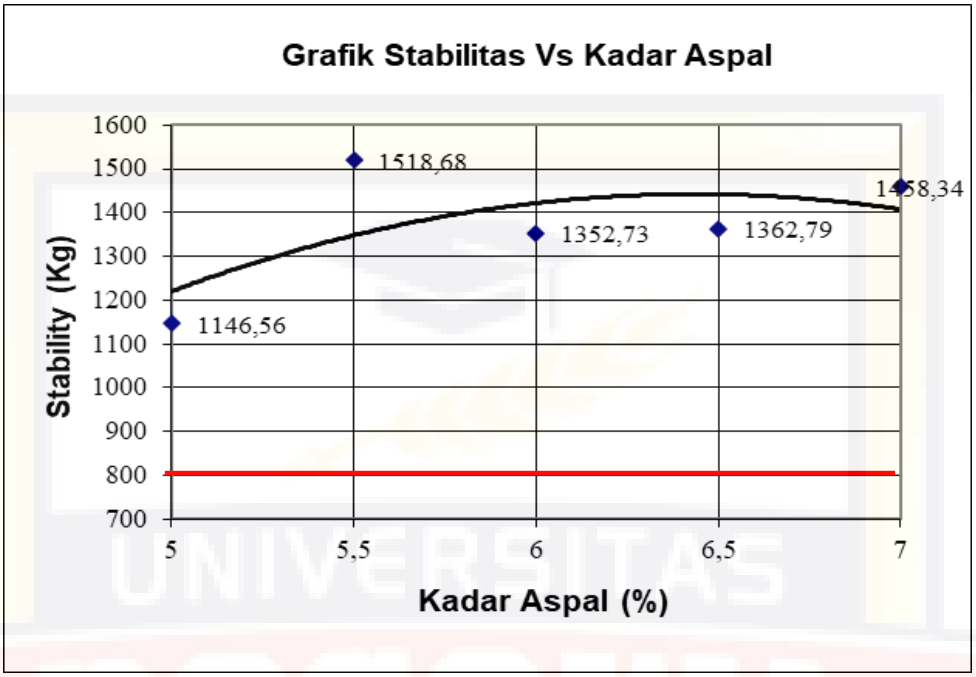
Gambar 4. 2 .a. Grafik Kepadatan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Rongga Dalam Campuran (VIM) Antara 3.0 – 5.0 (%)



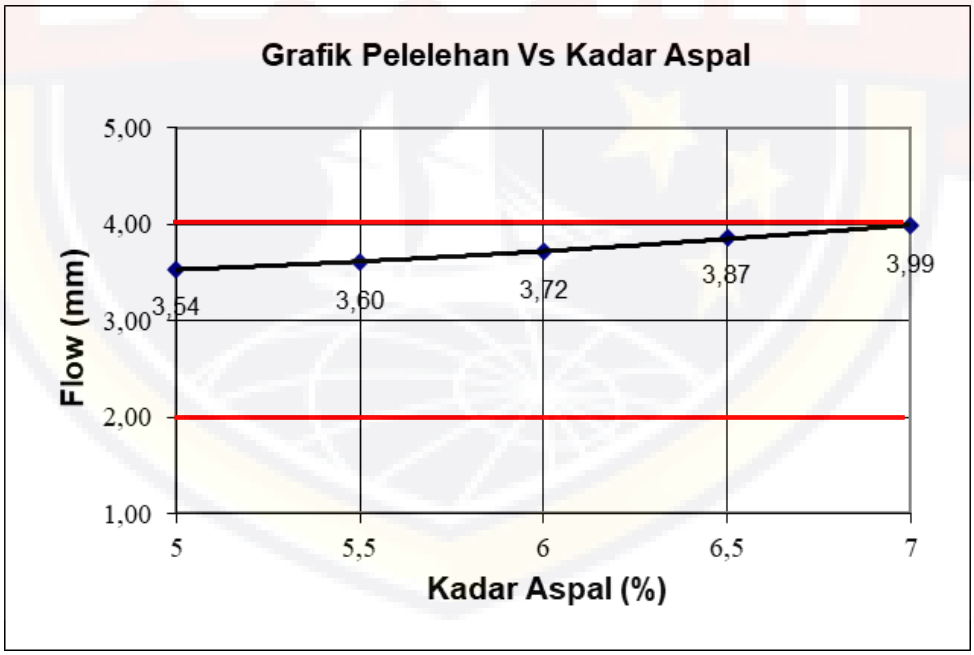
Gambar 4. 2.b. Grafik VIM Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Stabilitas Min. 800 (KG)



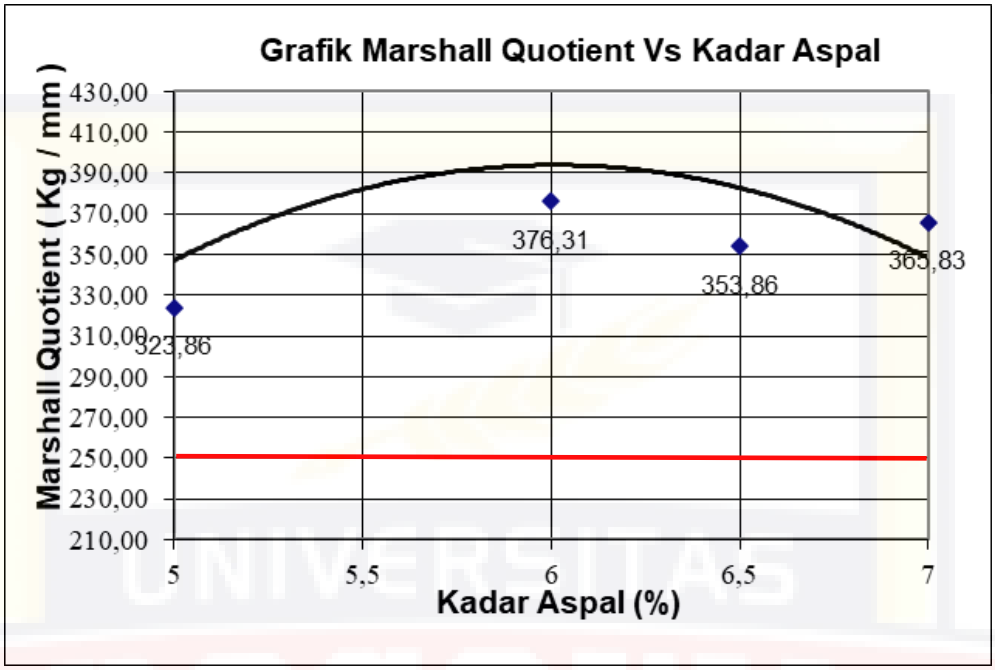
Gambar 4.2.c. Grafik Stabilitas Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO.

Pelelehan (Flow) Maks. 2.0 - 4.0 (mm)



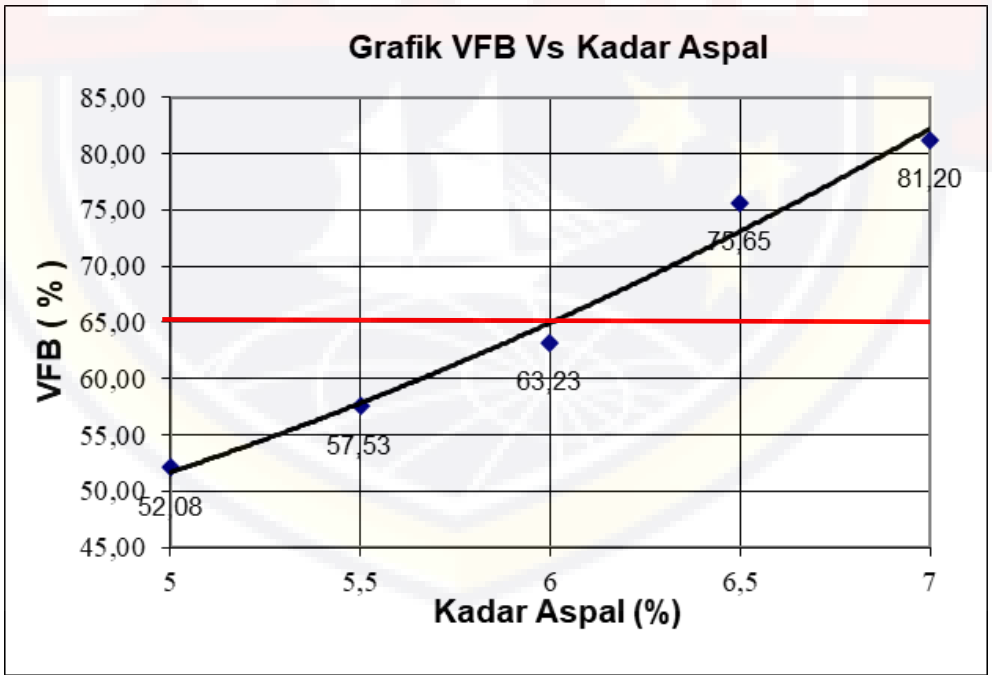
Gambar 4.2.d. Grafik Pelehan Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Marshall Quotient Min. 250 (Kg/mm)



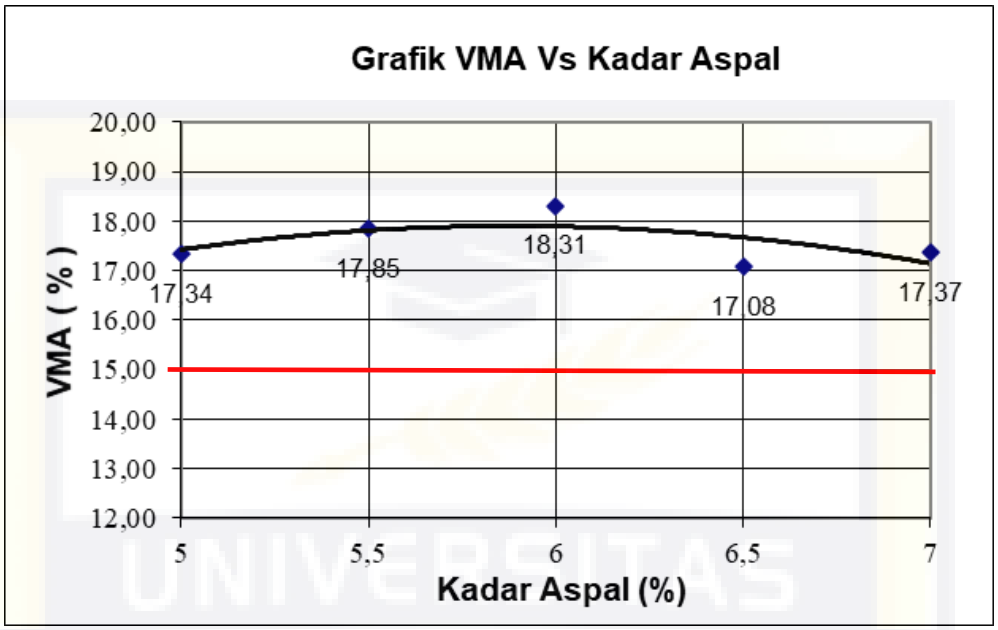
Gambar 4.2.e. Grafik Marshall Quotient Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Rongga Terisi Aspal (VFB) Min 65 (%)

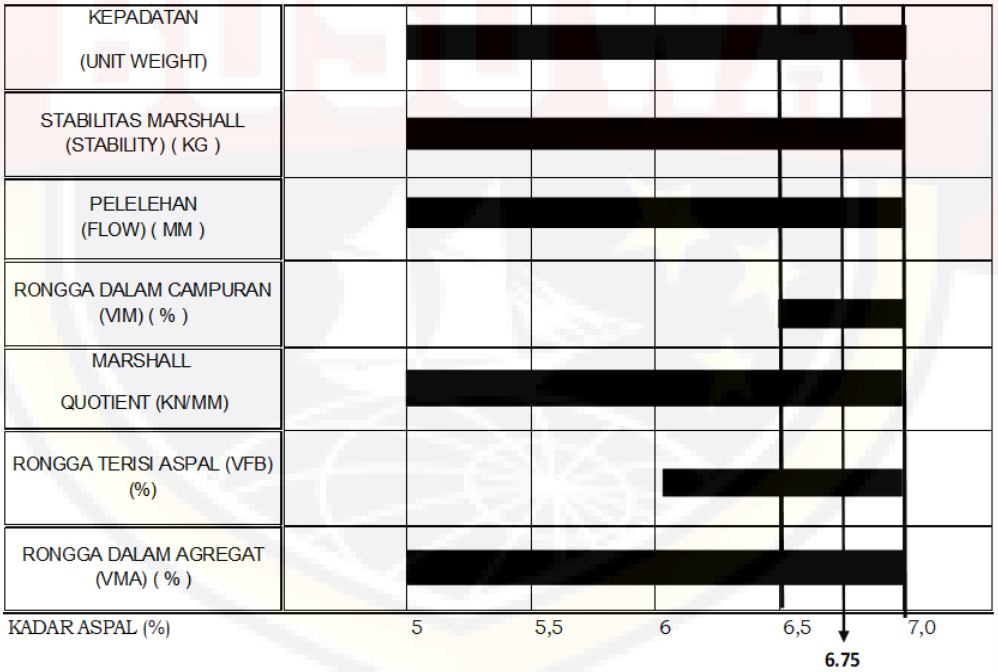


Gambar 4.2.f. Grafik VFB Hasil Uji Marshall untuk Penentuan KAO

Rongga Dalam Agregat (VMA) minimum 15 (%)



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



Gambar 4.1 Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum

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

$= 6.75$

KAO $=$ **6.80 %**

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

a) 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.

b) 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 Quentient* menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal maka nilai MQ akan semakin bertambah sampai pada titik tertinggi dan kemudian mengalami penurunan seiiring 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 berkurang.

4.4. Pembuatan Benda Uji dengan Menggunakan Abu Bunga Pinus Pada Perendaman Berulang

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

Selanjutnya untuk campuran *AC-WC* didapat berat aspal dan agregat terhadap kadar aspal optimum sebagai berikut :

4.4.1. Perhitungan Berat Agregat Dan Berat Aspal Menggunakan Kadar Aspal Optimum Dengan Menggunakan Bahan Abu Bunga Pinus

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

Untuk campuran *AC - WC* dengan variasi Abu Bunga Pinus 5%, 10% dan 15% pada perendaman berulang 3 hari, 7 hari, dan 10 hari didapat kadar Aspal dan Agregat terhadap kadar Aspal optimum sebagai berikut :

Tabel 4. 9 Komposisi campuran dengan Abu Bunga Pinus 5%

Kadar Aspal		=	**6,8**	%			100	%	-	**6,8**	%	=	93,20
Hasil Combine													
BP 1- 2	**20**	%	x	93,2	%	=	0,186	x		1200		=	223,68
BP 0,5 - 1	**50**	%	x	93,2	%	=	0,466	x		1200		=	559,20
Abu Batu	**29**	%	x	93,2	%	=	0,27	x		1200		=	324,34
Filler	**1**	%	x	93,2	%	=	0,009	x		1200		=	11,18
serbuk bunga pinus				5	%	=	11,18	x		5			
						=	0,559						
semen				95	%	=	11,18	-	0,56				
						=	10,62						
Aspal	**6,8**	%				X				1200		=	81,60
													1200,00

Ket: Satuan dalam gram

Tabel 4. 10 Komposisi campuran dengan Abu Bunga Pinus 10%

Kadar Aspal		=	**6,8**	%			100	%	-	**6,8**	%	=	93,20
Hasil Combine													
BP 1- 2	**20**	%	x	93,2	%	=	0,186	x		1200		=	223,68
BP 0,5 - 1	**50**	%	x	93,2	%	=	0,466	x		1200		=	559,20
Abu Batu	**29**	%	x	93,2	%	=	0,27	x		1200		=	324,34
Filler	**1**	%	x	93,2	%	=	0,009	x		1200		=	11,18
serbuk bunga pinus				10	%	=	11,18	x		10			
						=	1,118						
semen				90	%	=	11,18	-	1,12				
						=	10,07						
Aspal	**6,8**	%				X				1200		=	81,60
													1200,00

Ket: Satuan dalam gram

Tabel 4. 11 Komposisi campuran dengan Abu Bunga Pinus 15%

Kadar Aspal		=	**6,8**	%			100	%	-	**6,8**	%	=	93,20
Hasil Combine													
BP 1- 2	**20**	%	x	93,2	%	=	0,186	x		1200		=	223,68
BP 0,5 - 1	**50**	%	x	93,2	%	=	0,466	x		1200		=	559,20
Abu Batu	**29**	%	x	93,2	%	=	0,27	x		1200		=	324,34
Filler	**1**	%	x	93,2	%	=	0,009	x		1200		=	11,18
serbuk bunga pinus				15	%	=	11,18	x		15			
						=	1,678						
semen				85	%	=	11,18	-	1,68				
						=	9,51						
Aspal	**6,8**	%			X					1200		=	81,60
													1200,00

Ket: Satuan dalam gram

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

Tujuan dari uji Marshall ini ialah untuk mengetahui karakteristik campuran aspal panas dengan kadar aspal optimum dengan waktu 30 menit. Maksud dari pengujian ini untuk mengetahui ketahanan (*Stabilitas*) terhadap kelelehan 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 filler abu bunga pinus 5%, 10% dan 15% kedalam campuran aspal panas *AC-WC* dengan perendaman selama 3, 7, dan 10 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. 12 Hasil Uji Marshall KAO dengan perendaman selama 30 menit dan 24 jam pada suhu 60°C.

No	Pemeriksaan	KAO 6.8 %		Spesifikasi 2018
		30 menit	24 jam	
1	Kepadatan	2,38	2,36	-
2	Stabilitas (Kg)	1582,6	1497,95	Min 800
3	Flow (mm)	2,87	2,88	2-4
4	VMA (%)	17,28	18,26	Min 15
5	VIM (%)	3,84	4,82	3-5
6	VFB (%)	77,79	73,63	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	551,0	526,88	Min 250

Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium

Tabel 4. 13 Hasil Uji Marshall KAO menggunakan filler abu bunga pinus 5% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.

No	Pemeriksaan	Penggunaan Filler A.B Pinus 5%				Spesifikasi 2018
		KAO 6,8 %				
		Perendaman Berulang				
		KAO Normal	3 Hari	7 Hari	10 Hari	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,37	2,37	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1433,38	1410,14	1394,64	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,35	3,45	3,63	2-4
4	VMA (%)	18,26	18,01	17,95	17,92	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,66	4,58	4,54	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,15	74,49	74,65	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	427,73	407,84	385,91	Min 250

Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium

Tabel 4. 14 Hasil Uji Marshall KAO menggunakan filler abu bunga pinus 10% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.

No	Pemeriksaan	Penggunaan Filler A.B Pinus 10%				Spesifikasi 2018
		KAO 6,8 %				
		Perendaman Berulang				
		KAO Normal	3 Hari	7 Hari	10 Hari	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,36	2,36	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1425,63	1402,39	1394,64	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,45	3,59	3,88	2-4
4	VMA (%)	18,26	17,84	18,10	18,14	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,46	4,75	4,80	3-5
6	VFB (%)	73,63	75,03	73,75	73,51	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	413,18	400,05	360,97	Min 250

Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium

Tabel 4. 15 Hasil Uji Marshall KAO menggunakan filler abu bunga pinus 15% dengan perendaman berulang kemudian di rendam selama 30 menit pada suhu 60°C.

No	Pemeriksaan	Penggunaan Filler A.B Pinus 15%				Spesifikasi 2018
		KAO 6,8 %				
		Perendaman Berulang				
		KAO Normal	3 Hari	7 Hari	10 Hari	
1	Kepadatan	2,36	2,36	2,35	2,34	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1410,14	1386,89	1379,14	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,73	3,78	4,18	2-4
4	VMA (%)	18,26	18,21	18,68	18,80	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,88	5,43	5,57	3-5
6	VFB (%)	73,63	73,19	70,94	70,41	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	383,74	368,40	332,70	Min 250

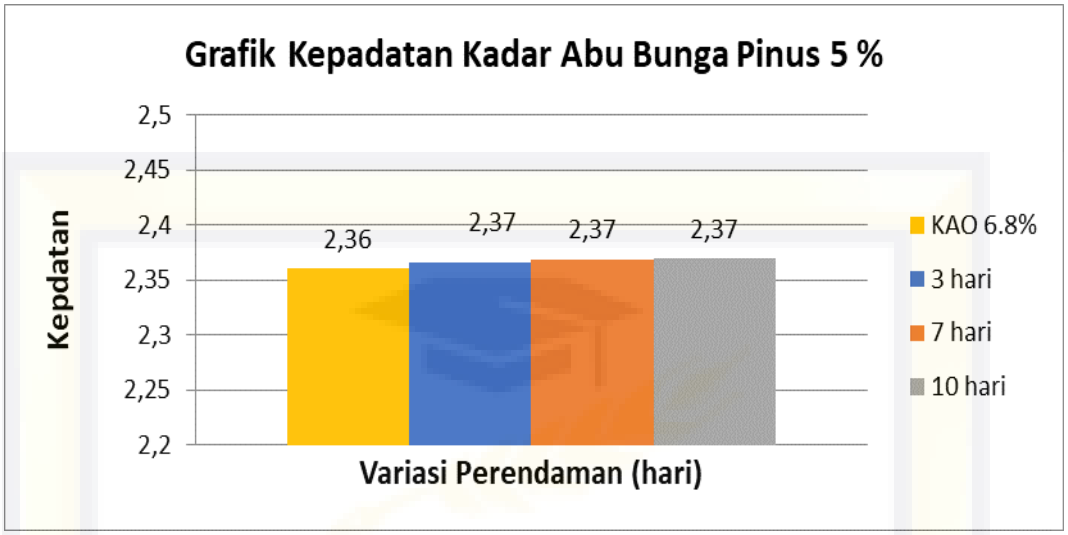
Sumber: Hasil Penelitian Laboratorium

4.4.3. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus 5% Pada Campuran Beton Aspal Panas *AC-WC.*

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

a. Kepadatan

Nilai *density* (kepadatan) menunjukkan besarnya kerapatan suatu campuran yang sudah dipadatkan. Campuran dengan *density* tinggi dalam batas tertentu akan lebih mampu menahan beban yang lebih berat dibandingkan dengan campuran yang mempunyai *density* yang rendah. Nilai *density* suatu campuran dipengaruhi oleh kualitas dan komposisi bahan susun serta cara pemadatan, suatu campuran akan memiliki *density* yang tinggi apabila mempunyai bentuk butir yang tidak seragam dan porositas butiran rendah. Nilai kepadatan campuran beton aspal lapis aus *AC-WC* dengan penambahan Abu Bunga Pinus 5%, dapat dilihat pada gambar 4.4 untuk campuran beton aspal lapis aus *AC-WC* pada kondisi kadar aspal optimum.

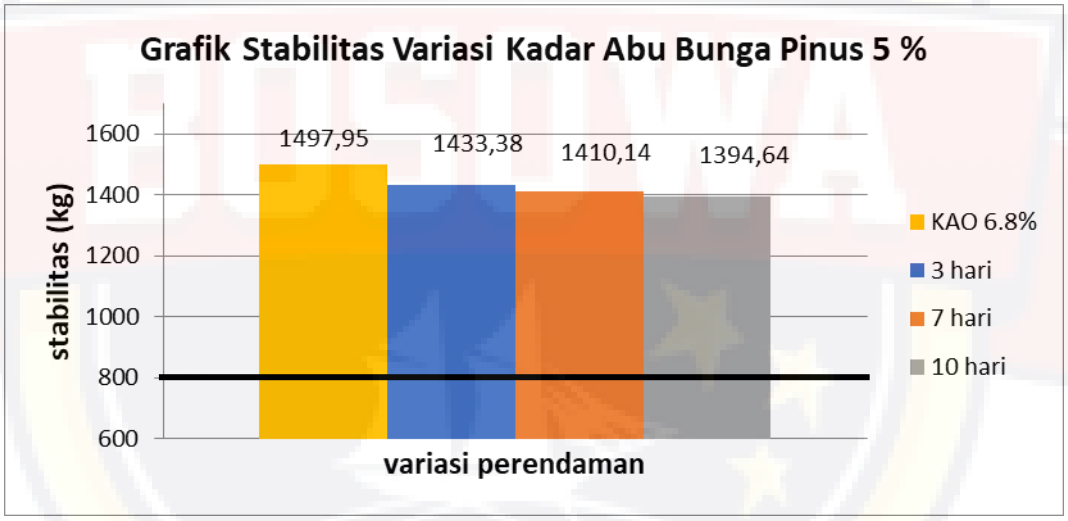


Gambar 4. 3 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.4 Dapat dilihat bahwa semakin perendaman yang dilakukan secara berulang tidak terlalu mempengaruhi nilai kepadatan (density) pada kao 6.8% yaitu 2.36, perendaman 3 hari yaitu 2.37, pada hari ke 7 yaitu 2.37 dan pada hari ke 10 yaitu 2.37 bisa dikatakan nilainya hampir sama hal utama yang menyebabkan demikian ialah kandungan mineral halus dalam hal ini filler abu bunga pinus pada campuran, yang membuat kerapatan antar agregat dengan bitumen menjadi tinggi dan menyebabkan sifat interlocking dari partikel-partikel agregat dengan aspal bertambah sehingga 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 abu bunga pinus pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.5.



Gambar 4. 4 Diagram hubungan variasi Abu Bunga Pinus 5% terhadap stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

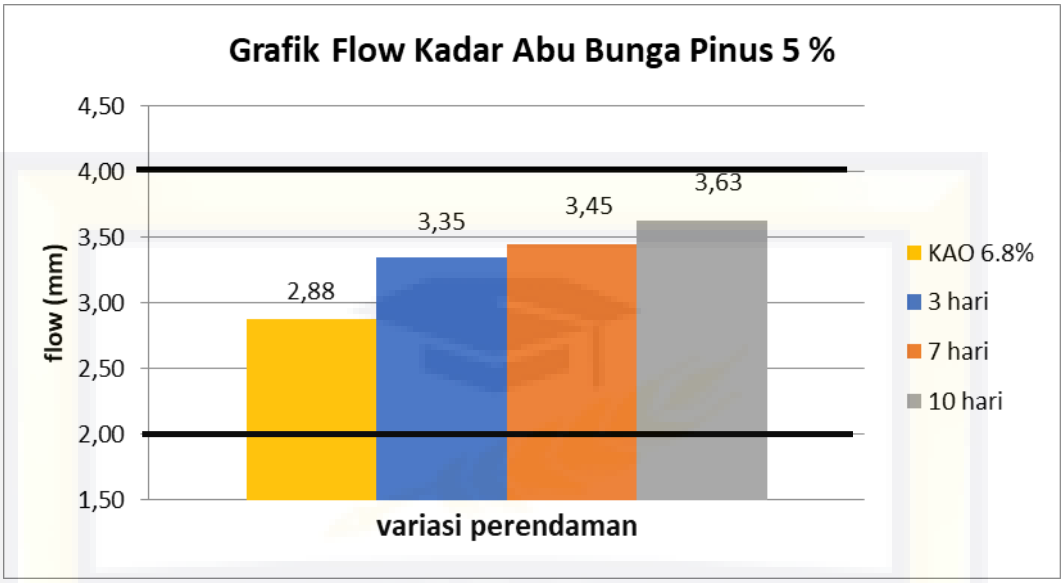
Dari gambar 4.5. menunjukkan bahwa nilai Stabilitas campuran mengalami penurunan namun tidak signifikan. Nilai pada KAO 6,8% 1497.95 Kg, hari ke 3 hari yaitu 1433.38 Kg, pada hari ke 7 yaitu 1410.14 Kg dan hari ke 10 yaitu 1394.64 Kg . Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman daya lekat dalam aspal juga menurun. Ketika campuran

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

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

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

Grafik nilai *Flow* campuran AC-WC untuk berbagai variasi abu bunga pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.6.

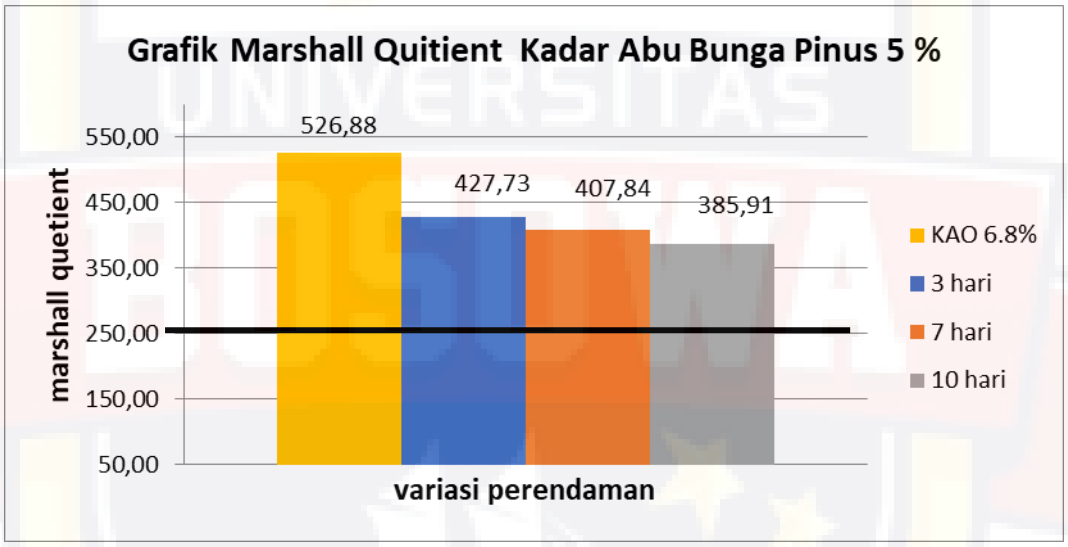


Gambar 4. 5 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.6. menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan Abu Bunga Pinus yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* pada 3 hari yaitu 3.35 mm, pada hari ke 7 yaitu 3.45 mm, dan pada hari ke 10 yaitu 3.63 mm terlihat bahwa nilai flow meningkat hal ini dikarenakan semakin lama perendaman nilai viskositas semakin meningkat. Kelelehan campuran semakin meningkat seiring dengan lamanya perendaman. Semakin lama perendaman membuat campuran menjadi fleksibel atau bersifat plastis. Kondisi ini terjadi karena rongga udara dalam campuran yang terisi aspal semakin banyak sehingga ruang udara dalam campuran semakin kecil. Ini berarti pada kadar filler yang tepat dapat menghasilkan fleksibilitas yang cukup pada campuran.

d. Marshall Questient

Hasil bagi Marshall atau Marshall Questient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelehan 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 4.7



Gambar 4. 6 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% pada terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

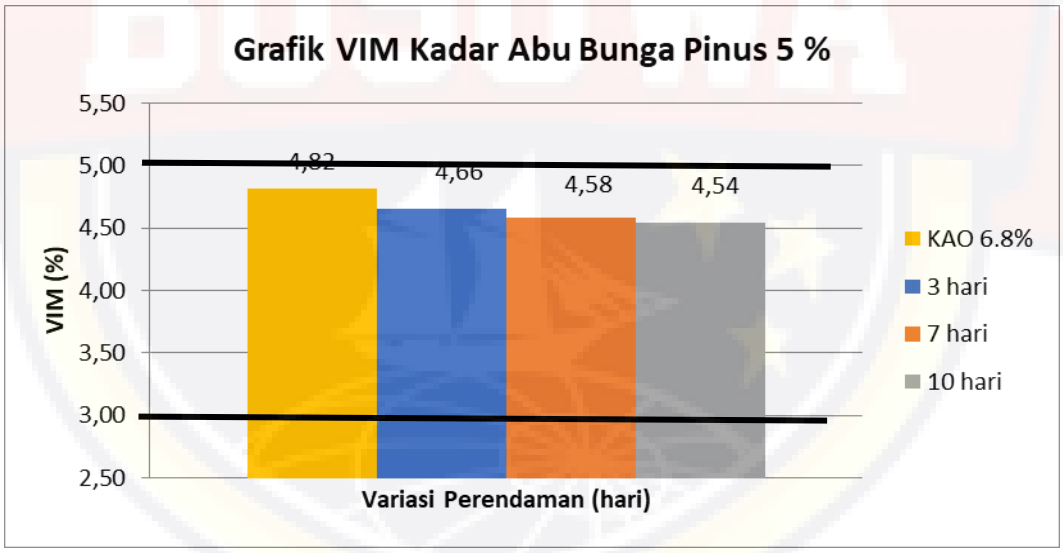
Dari gambar 4.7 menunjukkan bahwa nilai Marshall Quetient mengalami penurunan seiring dangan lamanya perendaman. Pada 3 hari yaitu 427.73 Kg/mm, pada perendaman 7 hari yaitu 407.84 Kg/mm sedangkan pada peredaman yang ke 10 hari yaitu 385.91 kg/mm. Hal ini disebabkan karena campuran tidak cukup kaku sehingga mudah mengalami deformasi, sebaliknya bila campuran terlalu kaku maka akan menjadi getas dan mudah retak. Nilai Marshall Quotient sangat dipengaruhi

oleh nilai Stabilitas maupun Flow (kelelehan). Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi Spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

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 kadar abu bunga pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.8.



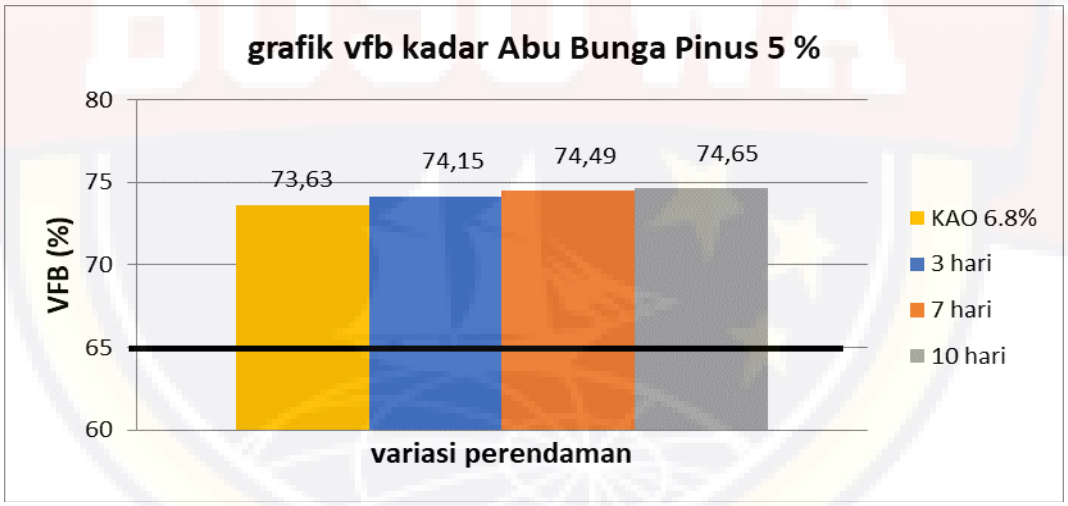
Gambar 4. 7 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.8. menunjukkan bahwa semakin lama durasi perendaman menyebabkan nilai VIM semakin menurun. Dari hasil pengujian menunjukan bahwa penambahan kadar filler abu bunga pinus

kedalam campuran cenderung menyebabkan nilai VIM menurun. Hal ini disebabkan karena rongga yang terisi oleh filler lebih banyak. Sehingga air perendaman yang berusaha untuk masuk memenuhi rongga campuran lebih kecil dan campuran cenderung bersifat kedap air.

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

Nilai *VFB* memperlihatkan presentase rongga terisi aspal. Apabila *VFB* besar maka banyak rongga yang terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tnggi. 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. 8 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°c.

Dari gambar 4.9. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB cenderung meningkat seiring dengan lama perendaman. Hal ini disebabkan karena kadar filler abu bunga pinus yang ada menyerap aspal dan mengisi rongga lebih banyak sehingga volume pori yang terisi oleh aspal semakin

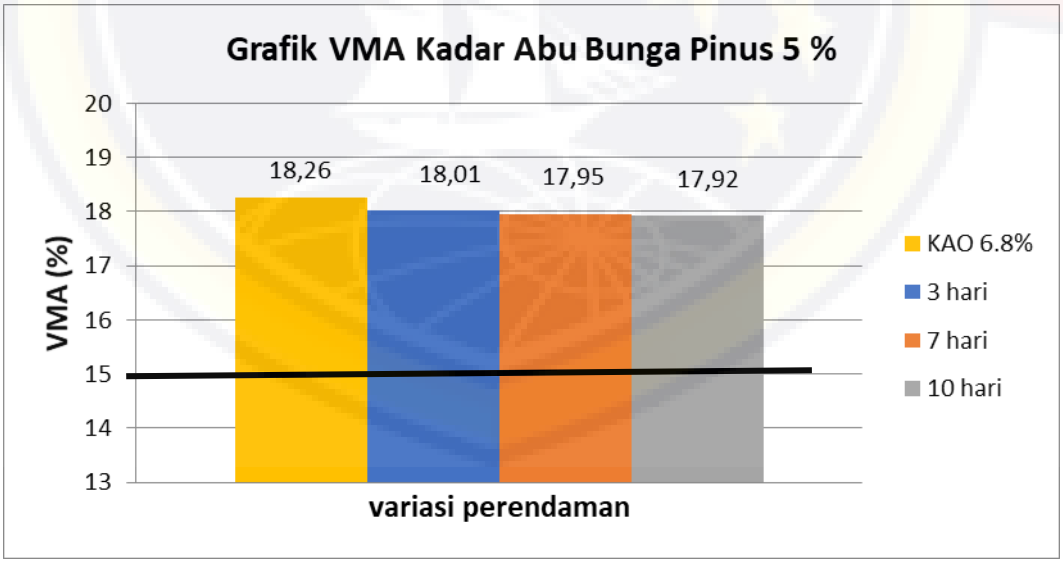
meningkat akibat lamanya perendaman. Nilai VFB pada grafik memenuhi syarat spesifikasi Binamarga 2018.

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 bunga pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.10.



Gambar 4. 9 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 5% pada terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

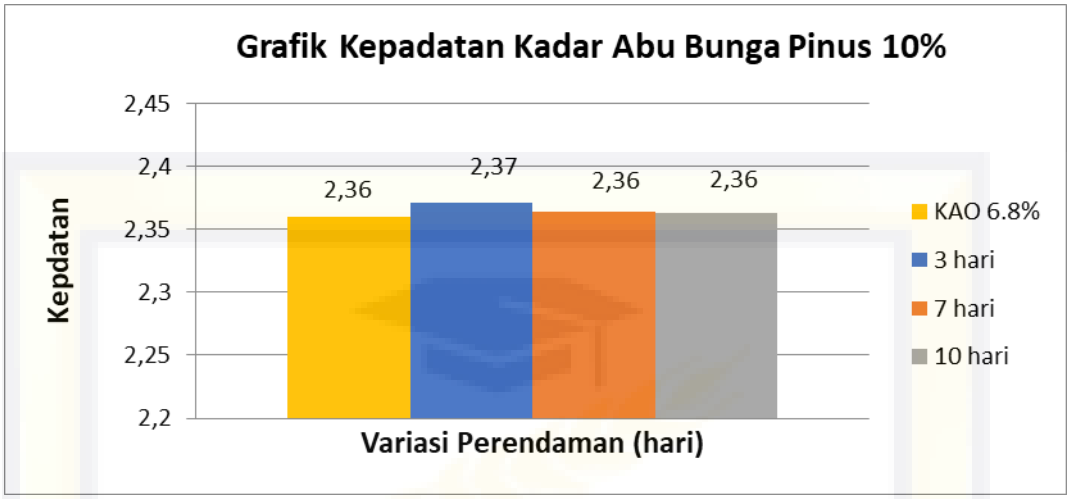
Dari gambar 4.10. menunjukkan bahwa nilai VMA semakin menurun seiring dengan lama perendaman. Hal ini disebabkan oleh banyak rongga yang telah terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Perandaman yang semakin lama membuat campuran bersifat plastis membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara ataupun air yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit. Berdasarkan spesifikasi semua nilai VMA memenuhi persyaratan.

4.4.4. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus 10% Pada Campuran Beton Aspal Panas *AC-WC.*

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

a. Kepadatan

Nilai kepadatan campuran beton aspal lapis aus *AC-WC* dengan penambahan Abu Bunga Pinus 10%, dapat dilihat pada gambar 4.11. untuk campuran beton aspal lapis aus *AC-WC* pada kondisi kadar aspal optimum.

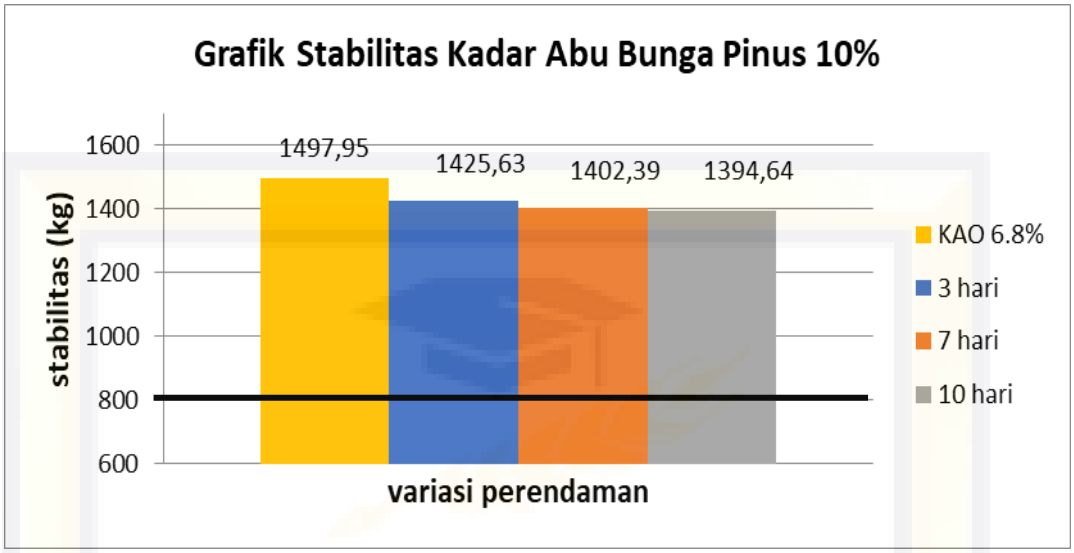


Gambar 4. 10 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.11. menunjukkan bahwa penambahan Abu Bunga Pinus 10% yang dilakukan dengan perendaman berulang tidak begitu mengalami perubahan nilai. Hal utama yang menyebabkan kepadatan tidak mengalami perubahan signifikan ialah kandungan mineral halus dalam hal ini filler abu bunga pinus pada campuran, yang membuat kerapatan antar agregat dengan bitumen menjadi tinggi dan menyebabkan sifat interlocking dari partikel-partikel agregat dengan aspal bertambah.

b. Stabilitas Minimum 800 (Kg)

Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi kadar abu bunga pinus pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.12.



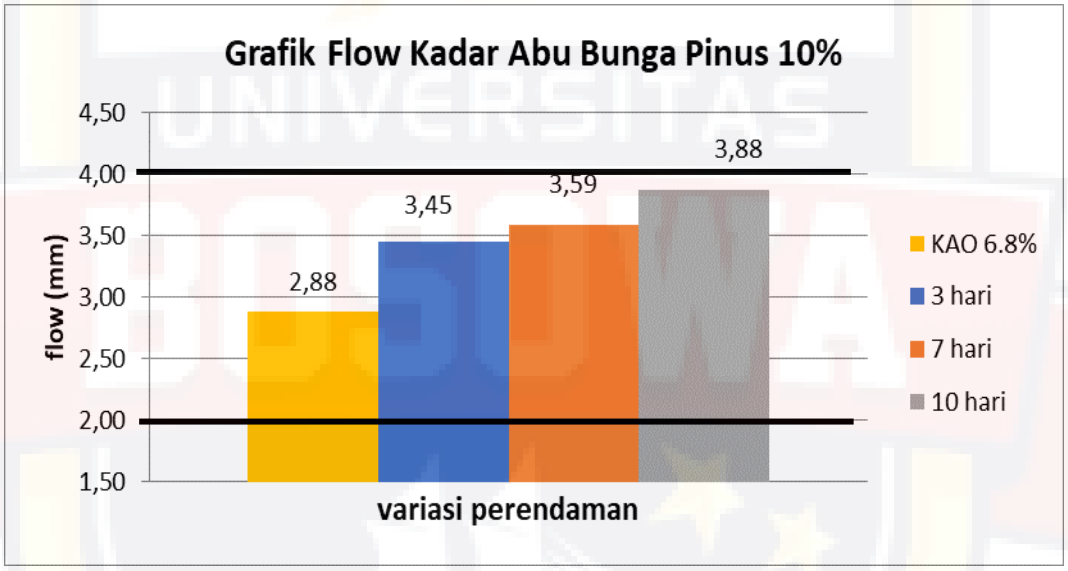
Gambar 4. 11 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.12 diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi penambahan Abu Bunga Pinus 10% yang dilakukan perendaman berulang cenderung mengalami penurunan. Nilai stabilitas mengalami penurunan pada perendaman 3 hari nilainya yaitu 1425.63 Kg, pada perendaman 7 yaitu 1402.39 Kg dan pada perendaman 10 hari yaitu 1394.64 Kg. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman daya lekat dalam aspal juga menurun. Ketika campuran aspal direndam dalam air dalam waktu yang lama, air akan berusaha untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Dengan demikian ternyata semakin lama campuran terendam dalam air, maka adhesi

campuran akan berkurang dan peluang terjadinya kehilangan durabilitas atau keawetan campuran juga semakin besar.

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

Grafik nilai *Flow* campuran *AC-WC* untuk berbagai variasi bunga pinus yang ditambahkan pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.13.



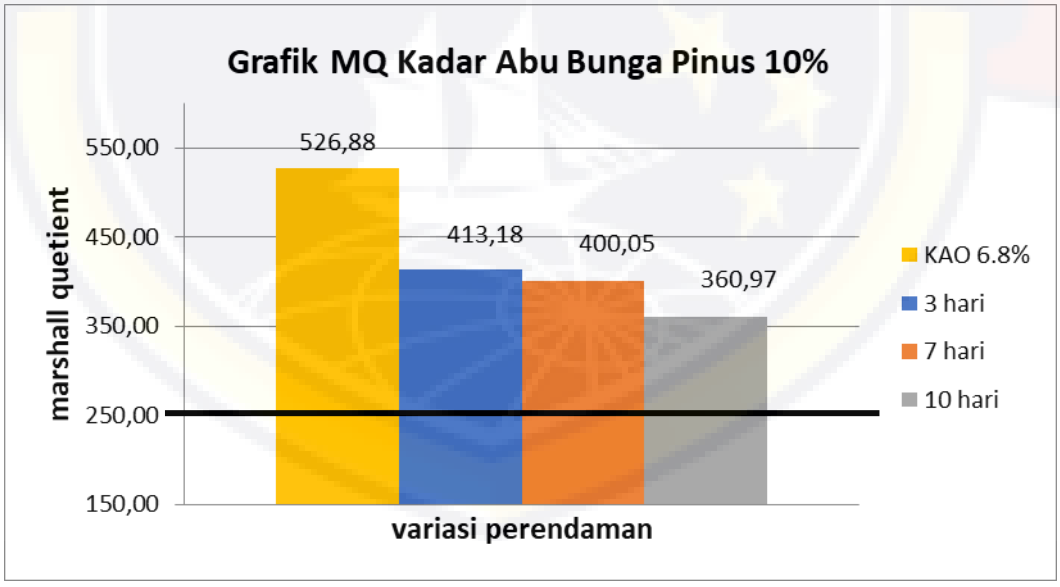
Gambar 4. 12 Diagram hubungan Variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.13 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan Abu Bunga Pinus 10% kedalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* meningkat hal ini dikarenakan abu bunga pinus yang ditambahkan ke dalam campuran yang direndam secara berulang mempengaruhi aspal sehingga campuran lunak dan titik lembek meningkat. Kelelehan campuran semakin meningkat seiring dengan lamanya perendaman. Semakin lama perendaman membuat campuran

menjadi fleksibel atau bersifat plastis. Kondisi ini terjadi karena rongga udara dalam campuran yang terisi aspal semakin banyak sehingga ruang udara dalam campuran semakin kecil. Ini berarti pada kadar filler yang tepat dapat menghasilkan fleksibilitas yang cukup pada campuran.

d. Marshall Questient

Marshall Questient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelehan yang juga merupakan indikator terhadap kekuatan campuran secara empiris. Semakin tinggi nilai *MQ* maka kemungkinan akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Namun nilai *MQ* juga tidak boleh terlalu rendah karena hal tersebut akan menyebabkan campuran rentan terhadap deformasi plastis. Nilai *MQ* pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.14

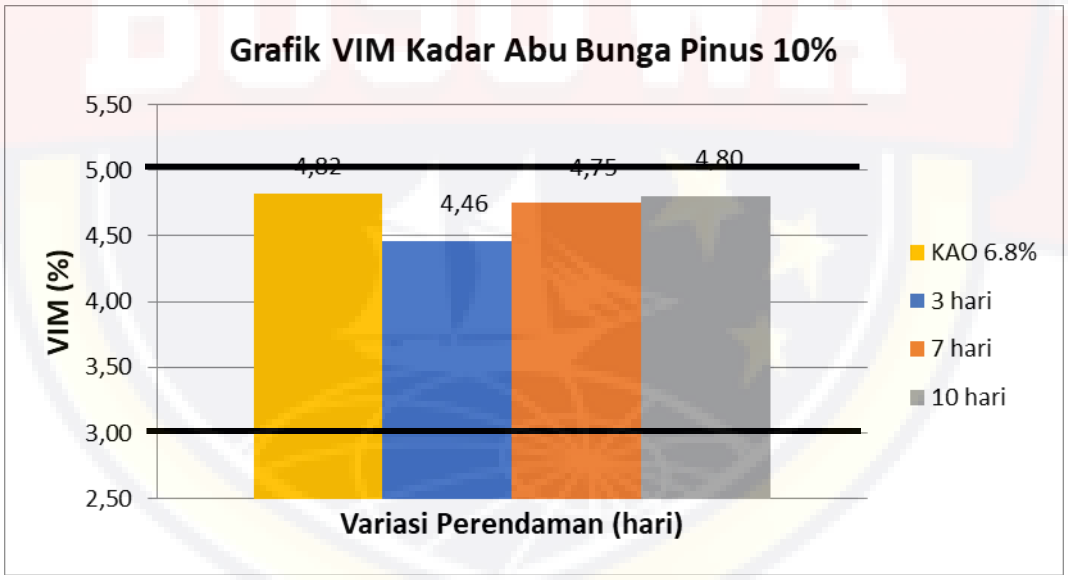


Gambar 4. 13 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dilihat dari tabel diatas bahwa penambahan Abu Bunga Pinus 10% dari kadar aspal yang direndam secara berulang mengalami penurunan namun tetap memenuhi batas spesifikasi *MQ*. Hal ini disebabkan karena campuran tidak cukup kaku sehingga mudah mengalami deformasi, sebaliknya bila campuran terlalu kaku maka akan menjadi getas dan mudah retak. Nilai Marshall Quotient sangat dipengaruhi oleh nilai Stabilitas maupun Flow (kelelehan). Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi Spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 3.0%– 5.0%

Grafik nilai *VIM* campuran AC-WC untuk berbagai variasi kadar abu bunga pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.15



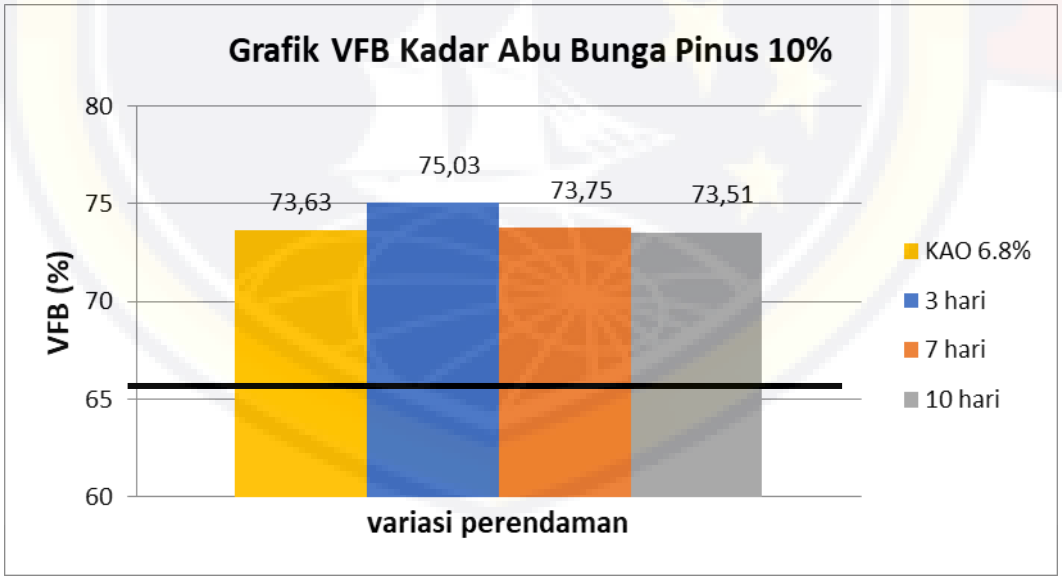
Gambar 4. 14 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.15 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan Abu Bunga Pinus 10% ke dalam campuran yang direndam 3

hari yaitu 4.46 % pada perendaman 7 hari yaitu 4.75 % dan pada hari ke 10 yaitu 4.80 %. Dari hasil pengujian menunjukan bahwa penambahan kadar filler abu bunga pinus kedalam campuran cenderung menyebabkan nilai VIM meningkat. Hal ini disebabkan karena rongga yang terisi oleh filler lebih banyak. Sehingga air perendaman yang berusaha untuk masuk memenuhi rongga campuran lebih kecil dan campuran cenderung bersifat kedap air.

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

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

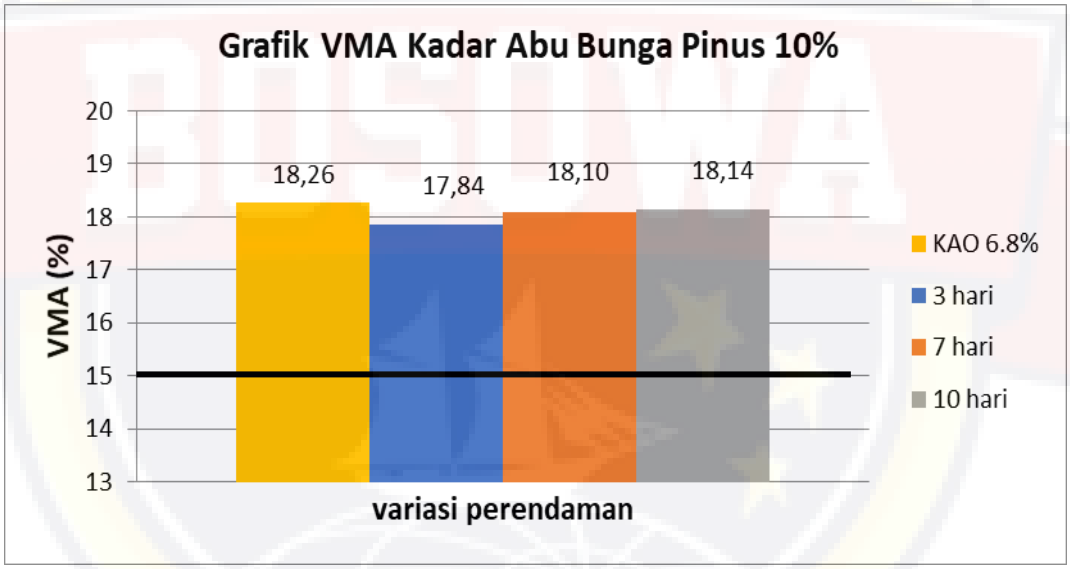


Gambar 4. 15 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.16 Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB cenderung menurun seiring dengan lama perendaman. Hal ini disebabkan karena kadar filler abu bunga pinus yang ada menyerap aspal dan mengisi rongga lebih banyak sehingga volume pori yang terisi oleh aspal semakin menurun akibat lamanya perendaman. Nilai VFB pada grafik memenuhi syarat spesifikasi Binamarga 2018.

g. Rongga Dalam Agregat (*VMA*) Min 10 %

Grafik nilai *VMA* campuran *AC-WC* untuk kadar Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada 4.17 sebagai berikut.



Gambar 4. 16 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 10% terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C.

Dari gambar 4.17 menunjukkan bahwa nilai VMA semakin meningkat seiring dengan lama perendaman. Hal ini disebabkan oleh banyak rongga yang telah terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Perandaman yang semakin lama membuat

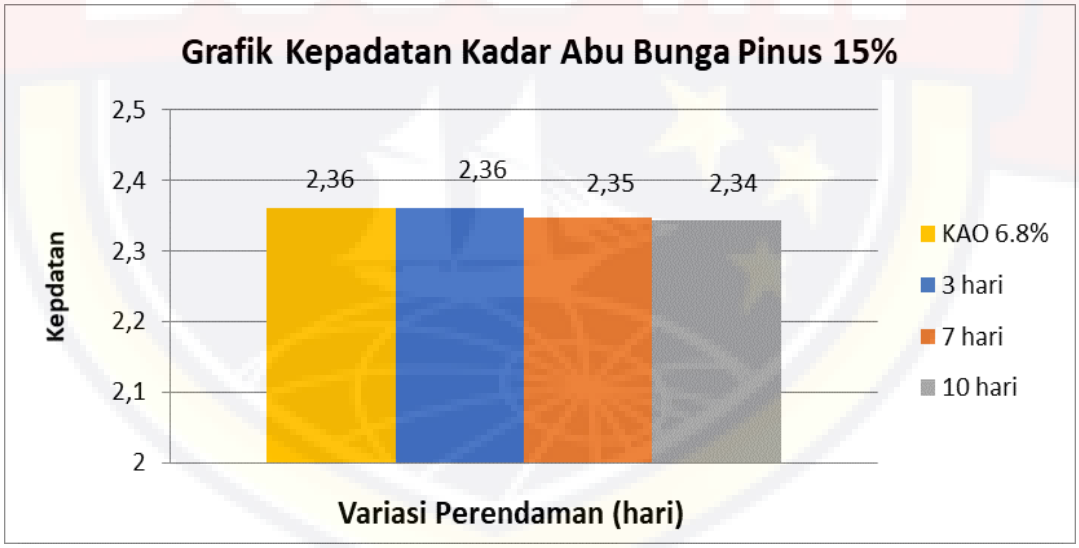
campurat bersifat plastis membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara ataupun air yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit. Berdasarkan spesifikasi semua nilai VMA memenuhi persyaratan.

4.4.5. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus 15% Pada Campuran Beton Aspal Panas *AC-WC*.

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

a. Kepadatan

Nilai kepadatan campuran beton aspal lapis aus *AC-WC* dengan penambahan Abu Bunga Pinus 15%, dapat dilihat pada gambar 4.18 untuk campuran beton aspal lapis aus *AC-WC* pada kondisi kadar aspal optimum.



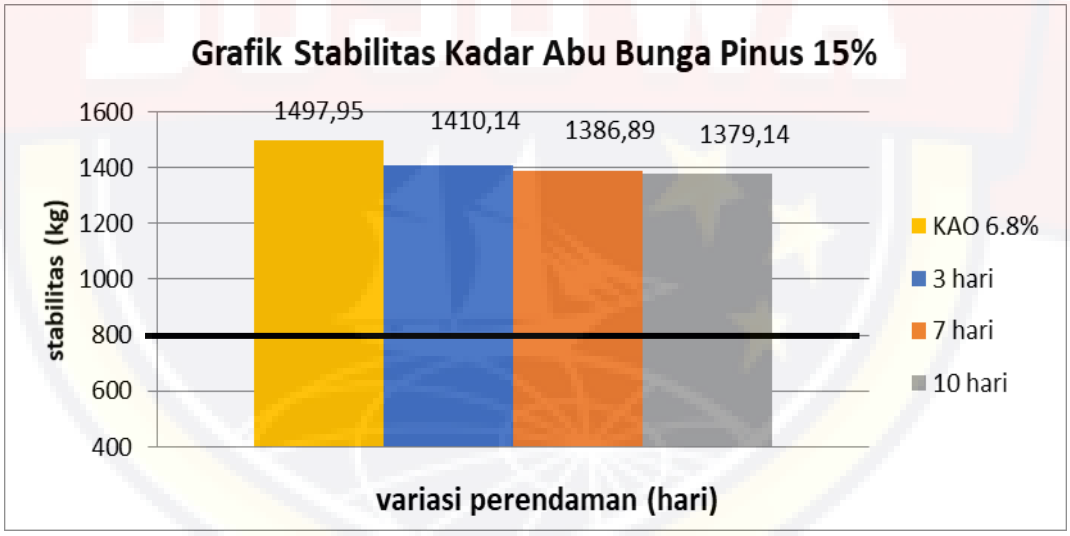
Gambar 4. 17 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.18 menunjukkan bahwa dengan menggunakan kadar Abu Bunga Pinus 15% dengan perendaman berulang menyebabkan nilai

kepadatan (*density)* mengalami penurunan. Hal utama yang menyebabkan demikian ialah kandungan mineral halus dalam hal ini filler abu bunga pinus pada campuran, yang membuat kerapatan antar agregat dengan bitumen menjadi tinggi dan menyebabkan sifat interlocking dari partikel-partikel agregat dengan aspal bertambah sehingga mempertahankan daya lekat aspal dengan demikian seluruh nilai masih berada pada batas spesifikasi Binamarga 2018.

b. Stabilitas Minimum 800 (Kg)

Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.19.



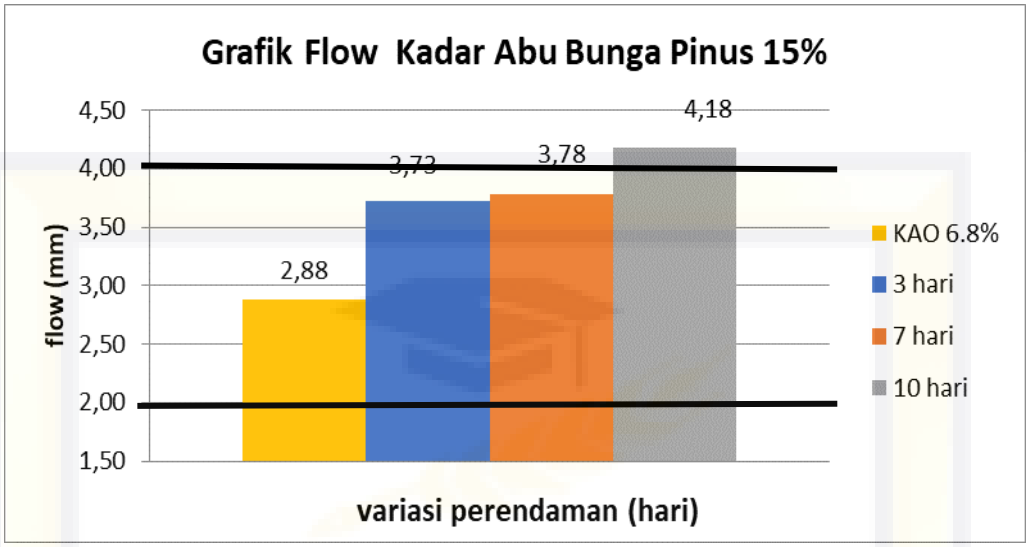
Gambar 4. 18 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.19 menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi Abu Bunga Pinus 15% dengan perendaman berulang mengkibatkan nilai stabilitas mengalami penurunan namun tidak signifikan,

yakni pada perendaman 3 hari 1410.14 Kg pada perendaman 7 hari 1386.89 Kg dan pada perendaman yang ke 10 hari nilainya 1379.14 Kg. Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman daya lekat dalam aspal juga menurun. Ketika campuran aspal direndam dalam air dalam waktu yang lama, air akan berusaha untuk mengisi rongga-rongga dalam campuran dan berinteraksi dengan material penyusun yaitu agregat dan aspal. Air yang berinteraksi dengan agregat akan terserap kedalamnya dan menyelimuti permukaan agregat pada bagian yang tidak terselimuti sempurna oleh aspal. Dengan demikian ternyata semakin lama campuran terendam dalam air, maka adhesi campuran akan berkurang dan peluang terjadinya kehilangan durabilitas atau keawetan campuran juga semakin besar.

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

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



Gambar 4. 19 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

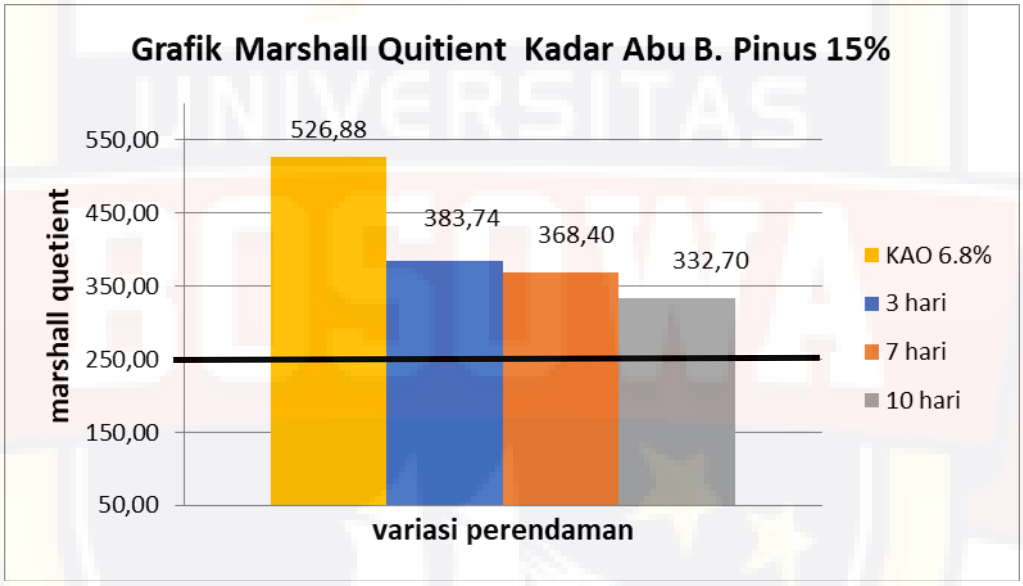
Dari gambar 4.20 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan Abu Bunga Pinus 15% kedalam campuran yang direndam secara berulang menyebabkan nilai *Flow* meningkat. Namun pada perendaman yang ke 10 hari meningkat menjadi 4.18 mm dan melewati batas spesifikasi yang telah ditentukan. Ini berkaitan dengan penambahan kadar filler yang meningkat pada campuran sehingga berpengaruh pada kelelehan. Penambahan kadar filler akan membuat aspal menjadi getas sehingga campuran yang dihasilkan akan menjadi semakin kaku.

Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman menyebabkan nilai viskositas meningkat dan titik lembek meningkat. Kelelehan campuran semakin meningkat seiring dengan lamanya perendaman. Semakin lama perendaman membuat campuran menjadi fleksibel atau bersifat plastis. Kondisi ini terjadi karena rongga udara dalam campuran yang terisi aspal

semakin banyak sehingga ruang udara dalam campuran semakin kecil. Ini berarti pada kadar filler yang tepat dapat menghasilkan fleksibilitas yang cukup pada campuran.

d. Marshall Questient

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



Gambar 4. 20 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

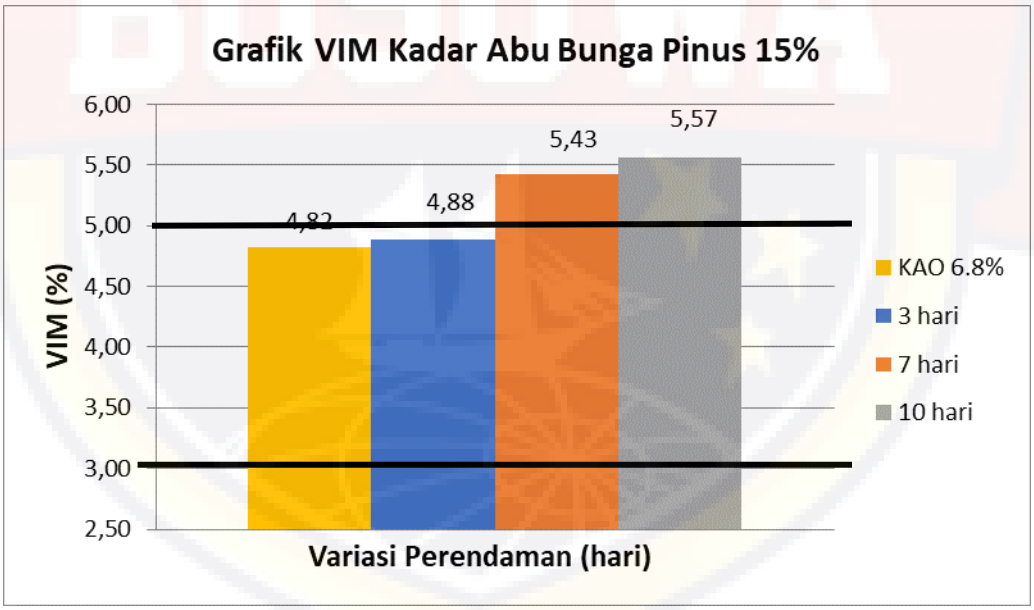
Gambar 4.21 diatas terlihat bahwa nilai Marshall Quetient menurun pada perendaman 3 hari yaitu 383.74 Kg/mm pada perendaman 7 hari yaitu 368.40 Kg/mm dan pada pada perendaman yang ke 10 hari yaitu 332.70 Kg/mm. Hal ini disebabkan karena campuran tidak cukup kaku sehingga mudah mengalami deformasi, sebaliknya bila campuran terlalu kaku maka akan menjadi getas dan mudah retak. Nilai Marshall Quotient

sangat dipengaruhi oleh nilai Stabilitas maupun Flow (kelelehan). Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi Spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 3.0% – 5.0%

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

Grafik nilai *VIM* campuran *AC-WC* untuk berbagai variasi kadar Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.22



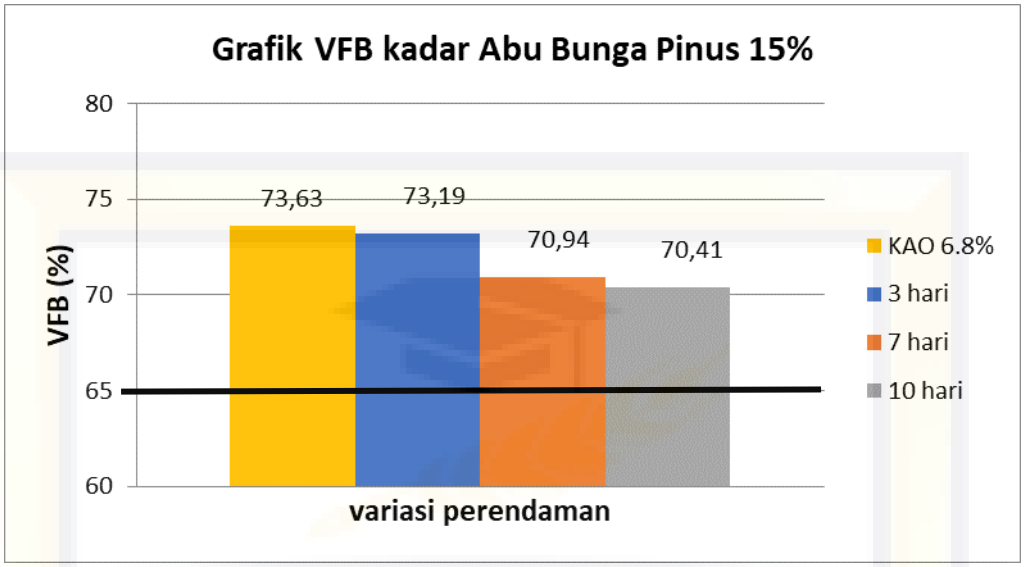
Gambar 4. 21 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.22 menunjukkan bahwa penambahan variasi Abu Bunga Pinus 15% ke dalam campuran yang direndam secara berulang

mengalami penurunan namun tetap berada dalam spesifikasi yang telah ditentukan. Pada perendaman 3 hari 4.88 % pada perendaman 7 hari yaitu 5.43 % dan pada perendaman yang ke 10 hari 5.57 %. Dari hasil pengujian menunjukan bahwa penambahan kadar filler abu bunga pinus kedalam campuran cenderung menyebabkan nilai VIM meningkat sering dengan lama durasi perendaman berulang. Hal ini disebabkan karena rongga yang terisi oleh filler lebih banyak. Sehingga air perendaman yang berusaha untuk masuk memenuhi rongga campuran lebih kecil dan campuran cenderung bersifat kedap air.

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

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

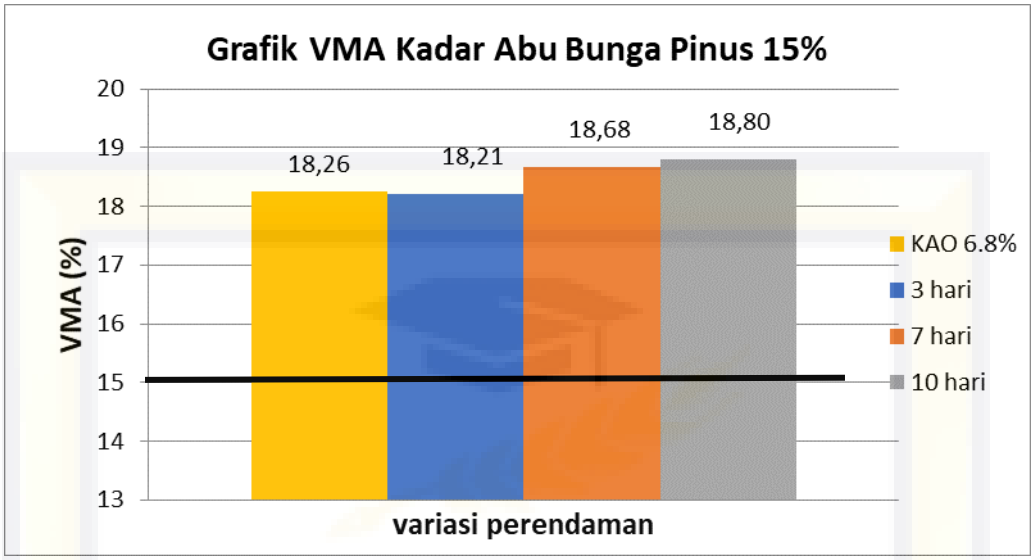


Gambar 4. 22 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.23 Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB cenderung menurun seiring dengan lama perendaman. Hal ini disebabkan karena kadar filler abu bunga pinus yang ada menyerap aspal dan mengisi rongga lebih banyak sehingga volume pori yang terisi oleh aspal semakin meningkat akibat lamanya perendaman. Nilai VFB pada grafik memenuhi syarat spesifikasi Binamarga 2018.

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

Grafik nilai *VMA* campuran *AC-WC* untuk berbagai variasi Abu Bunga Pinus di tambahkan pada campuran kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.24



Gambar 4. 23 Diagram hubungan variasi kadar Abu Bunga Pinus 15% terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C.

Dari gambar 4.24 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan Abu Bunga Pinus ke dalam campuran yang direndam secara berulang mengalami peningkatan. Pada perendaman ke 3 yaitu 18.21 %, pada perendaman hari ke 7 yaitu 18.68 %, dan pada perendaman hari ke 10 yaitu 18.80 %. menunjukkan bahwa nilai VMA semakin meningkat seiring dengan lama perendaman. Hal ini disebabkan oleh banyak rongga yang telah terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Perandaman yang semakin lama membuat campuran bersifat plastis membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara ataupun air yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit. Berdasarkan spesifikasi semua nilai VMA memenuhi persyaratan.

4.4.6. Perhitungan Berat Agregat Dan Berat Aspal Menggunakan Kadar Aspal Optimum Dengan menggunakan filler Abu Bunga Pinus

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

Untuk campuran AC - WC dengan variasi penambahan Abu Bunga Pinus pada perendaman 3 hari, 7 hari, dan 10 hari didapat kadar Aspal dan Agregat terhadap kadar Aspal optimum sebagai berikut :

Tabel 4. 16 Komposisi campuran dengan penambahan Abu Bunga Pinus perendaman 3 hari

No	Pemeriksaan	KAO 6,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 3 Hari				
		Kadar Abu Bunga Pinus				
		KAO Normal	5%	10%	15%	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,37	2,36	-
2	Stabilitas(Kg)	1497,95	1433,38	1425,63	1410,14	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,35	3,59	3,73	2-4
4	VMA (%)	18,26	18,01	18,10	18,21	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,66	4,80	4,88	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,15	73,75	73,19	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	427,73	400,05	383,74	Min 250

Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium

Tabel 4. 17 Komposisi campuran dengan penambahan Abu Bunga Pinus perendaman 7 hari

No	Pemeriksaan	KAO 6,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 7 Hari				
		Kadar Abu Bunga Pinus				
		KAO Normal	5%	10%	15%	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,36	2,35	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1410,14	1402,39	1386,89	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,45	3,59	3,78	2-4
4	VMA (%)	18,26	17,95	18,10	18,68	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,58	4,75	5,43	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,49	73,75	70,94	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	407,84	400,05	368,40	Min 250

Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium

Tabel 4. 18 Komposisi campuran dengan penambahan Abu Bunga Pinus perendaman 10 hari

No	Pemeriksaan	KAO 6,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 10 Hari				
		Kadar Abu Bunga Pinus				
		KAO Normal	5%	10%	15%	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,36	2,34	-
2	Stabilitas(Kg)	1497,95	1394,64	1394,64	1379,14	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,63	3,88	4,18	2-4
4	VMA (%)	18,26	17,92	18,14	18,80	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,54	4,80	5,57	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,65	73,51	70,41	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	385,91	360,97	332,70	Min 250

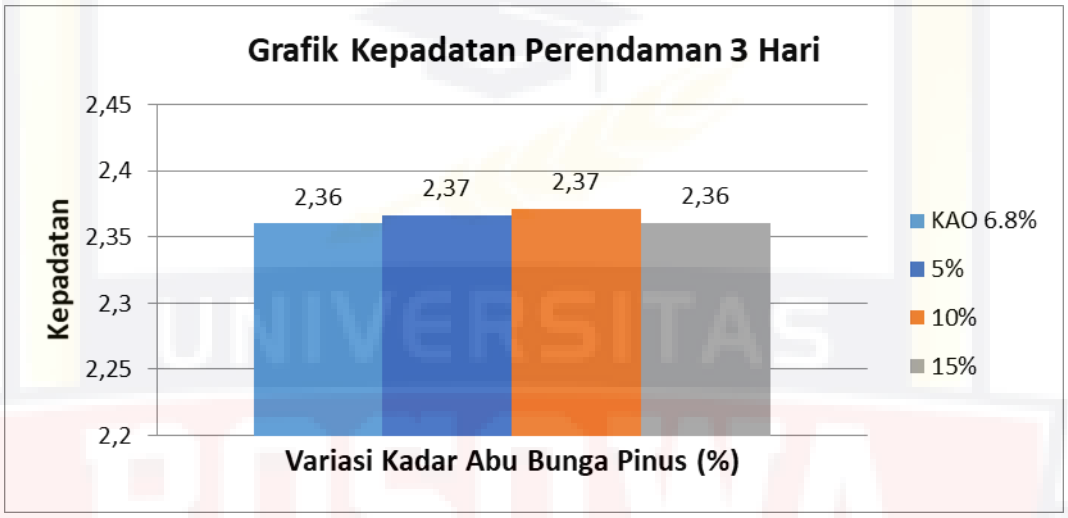
Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium

4.4.7. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Beton Aspal Panas *AC-WC* dengan Perendaman 3 Hari

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 perendaman 3 hari, dapat dilihat pada gambar 4.25 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum.

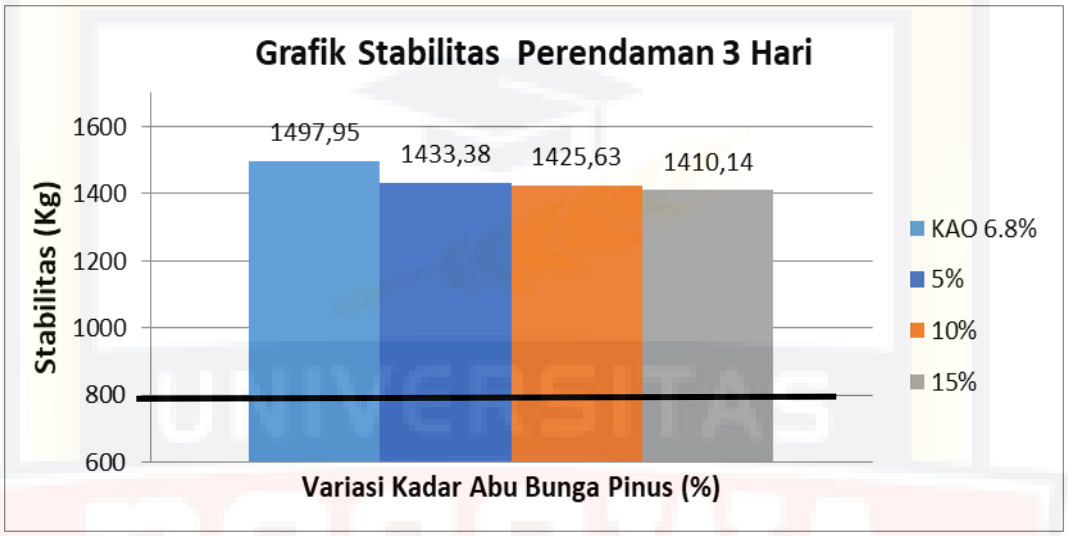


Gambar 4. 24 Diagram hubungan variasi Perendaman 3 hari terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.25 dapat dilihat bahwa variasi kadar abu bunga pinus kedalam campuran yang direndam selama 3 hari tidak terlalu mempengaruhi nilai kepadatan (*density)* pada kadar Abu Bunga Pinus 5% nilai kepadatan 2.37 pada Abu Bunga Pinus 10% nilai yang diperoleh 2.37 dan pada kadar Abu Bunga Pinus 15 % nilai kepadatan yang diperoleh yaitu 2.36. Hal ini dikarenakan rongga antar agregat pada campuran menjadi lebih kecil yang mengakibatkan campuran menjadi rapat akibat penambahan Abu Bunga Pinus.

b. Stabilitas Minimum 800 (Kg)

Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.26.

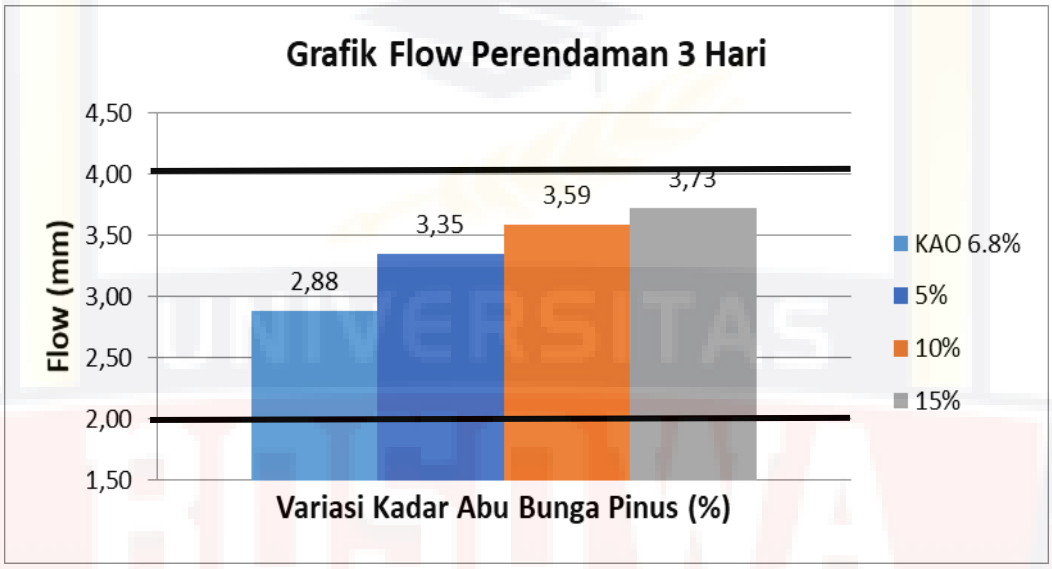


Gambar 4. 25 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.26 diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi Abu Bunga Pinus kedalam campuran yang direndam 3 hari mengalami penurunan. Nilai stabilitas pada kadar Abu Bunga Pinus 5% nilai stabilitas yang diperoleh 1433.38 Kg, nilai stabiltas mengalami penurunan pada kadar abu bunga pinus 10% nilainya 1425.63 Kg, dan nilai stabiltas terus mengalami penurunan pada kadar abu bunga pinus 15 % nilai yang dipeoreh adalah 1410.14 Kg. Namun masih berada dalam batas spesifikasi. Hal ini disebabkan karena penambahan kadar Abu bunga pinus dan mengurangi kadar aspal yang di tambahkan kedalam campuran ternyata tidak dapat mempertahankan daya rekat aspal.

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

Grafik nilai *Flow* campuran AC-WC untuk berbagai variasi Abu Bunga Pinus yang direndam 3 hari pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.27

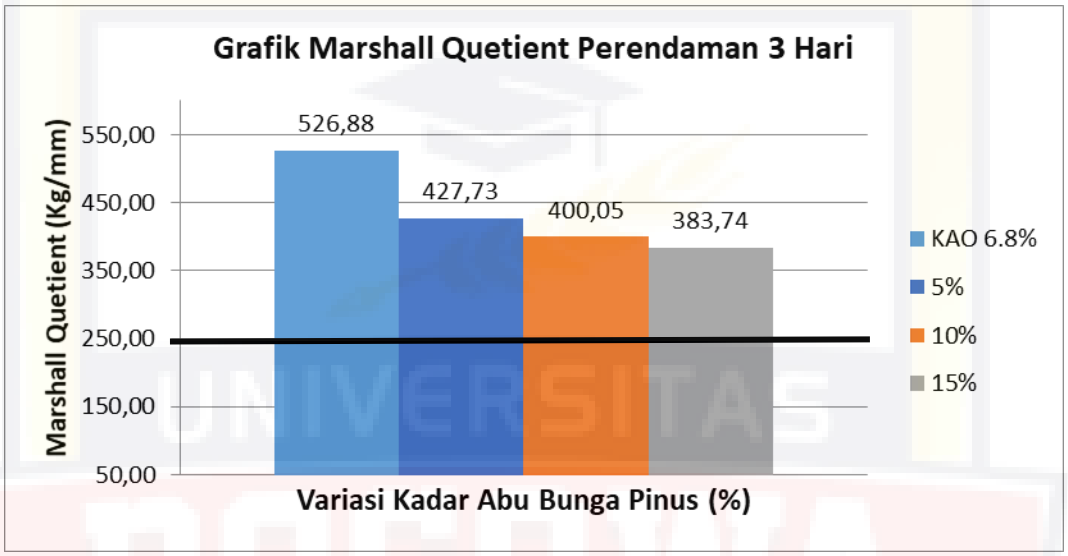


Gambar 4. 26 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.27 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan abu bunga pinus kedalam campuran yang direndam 3 hari terlihat pada kadar Abu Bunga Pinus 5 % nilai flow yang di peroleh 3.35 mm pada kadar Abu Bunga Pinus 10 % nilainya 3.59 mm dan pada kadar Abu Bunga Pinus 15 % nilai yang diperoleh adalah 3.73 mm. Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak kadar filler abu bunga pinus pada campuran beton aspal maka nilai kelelehan (flow) semakin besar. Hal ini disebabkan karena penambahan kadar filler abu bunga pinus membuat campuran memiliki daya rekat aspal bertambah.

d. Marshall Questient

Nilai MQ pada kadar aspal optimum yang direndam 3 hari dapat dilihat pada gambar 4.35



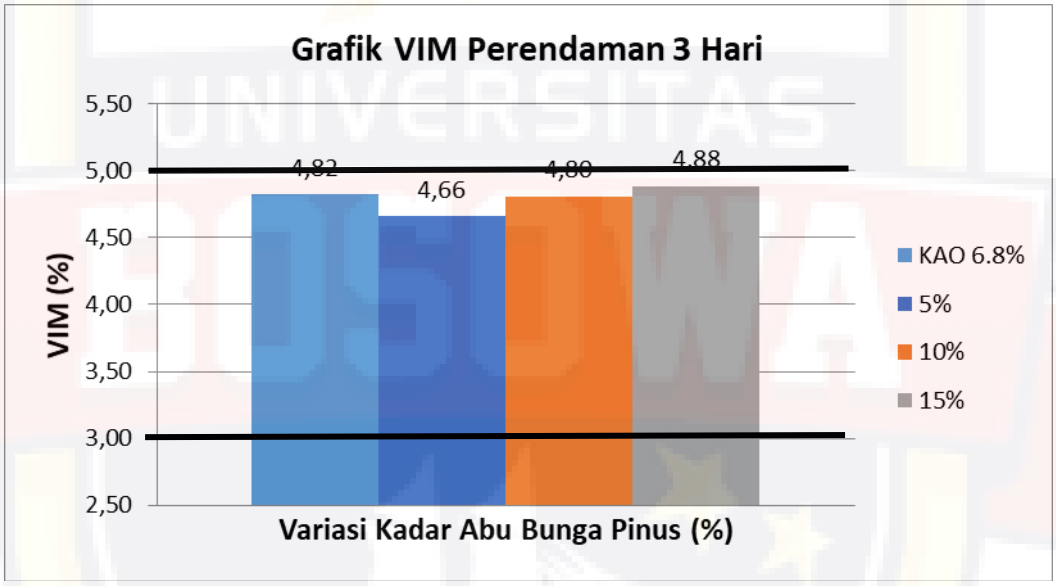
Gambar 4. 27 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar diatas terlihat bahwa variasi kadar Abu Bunga Pinus menyebabkan nilai Marshall Quotient mengalami penurunan. Pada Abu Bunga Pinus 5 % nilai *Marshall Quotient* adalah 427.73 Kg/mm pada kadar Abu Bunga Pinus 10 % nilainya 400.05 Kg/mm dan pada kadar Abu Bunga Pinus 15 % nilai yang diperoleh adalah 383,74 Kg/mm. Hal ini disebabkan karena campuran tidak cukup kaku seiring dengan penambahan kadar filler kedalam campuran sehingga mudah mengalami deformasi atau cenderung kurang stabil, sebaliknya bila campuran terlalu kaku maka akan menjadi getas dan mudah retak. Nilai Marshall Quotient sangat dipengaruhi oleh

nilai Stabilitas maupun Flow (kelelehan). Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi Spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

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

Grafik nilai *VIM* campuran *AC-WC* untuk berbagai variasi Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum yang direndam 3 hari dapat dilihat pada gambar 4.29



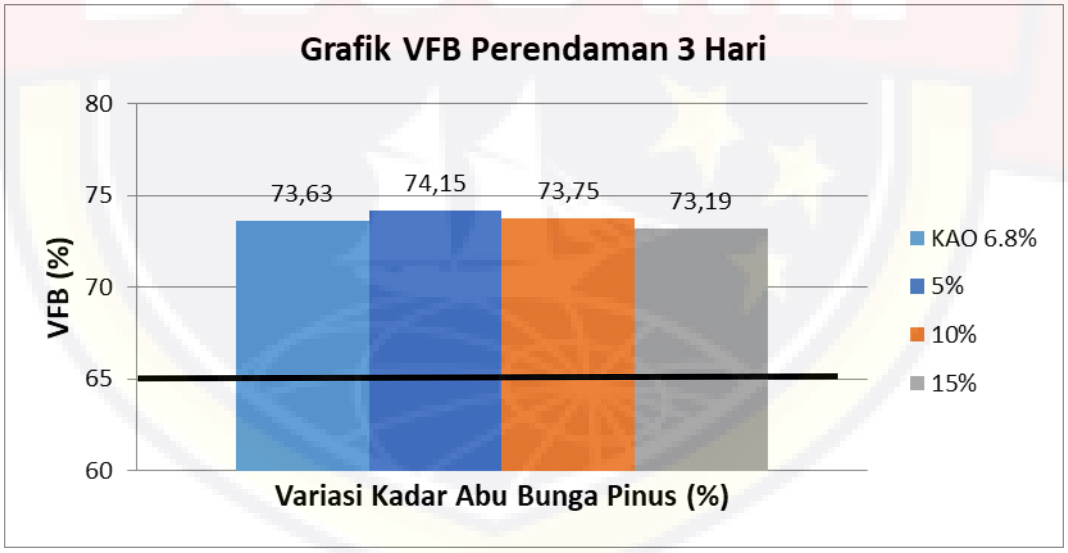
Gambar 4. 28 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.29 menunjukkan bahwa penambahan variasi Abu Bunga Pinus ke dalam campuran yang direndam selama 3 hari menyebabkan nilai *VIM* pada kadar Abu Bunga Pinus 5 % nilainya 4.66 % pada Abu Bunga Pinus 10 % nilainya adalah 4.80 % dan pada kadar Abu Bunga Pinus 15 % nilai yang didapatkan 4.88 %. Dari hasil pengujian menunjukan bahwa penambahan kadar filler abu bunga pinus kedalam

campuran cenderung menyebabkan nilai VIM meningkat. Hal ini disebabkan karena rongga yang terisi oleh filler lebih banyak. Sehingga air perendaman yang berusaha untuk masuk memenuhi rongga campuran lebih kecil dan campuran cenderung bersifat kedap air.

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

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



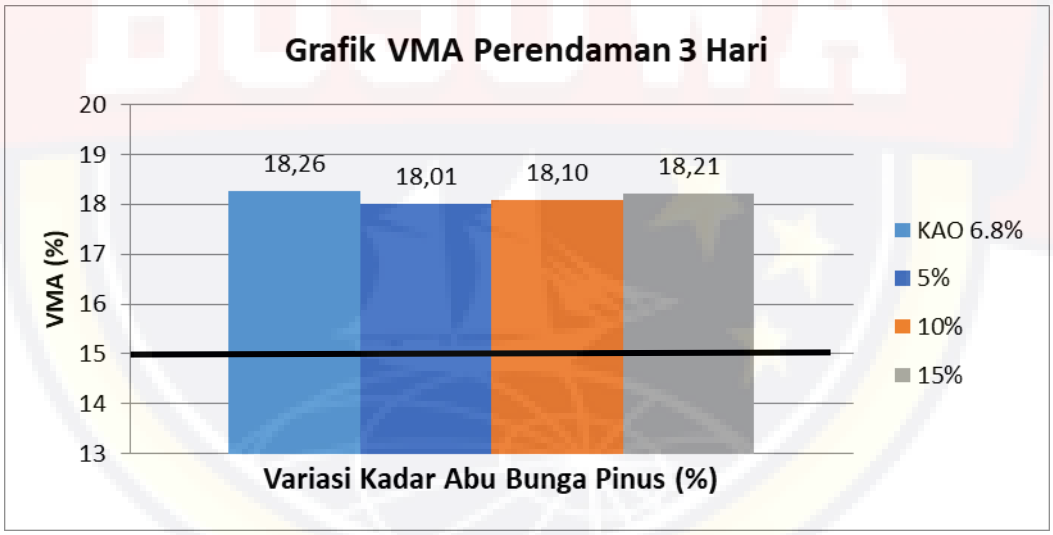
Gambar 4. 29 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.30 menunjukkan bahwa penambahan Abu Bunga Pinus ke dalam campuran yang direndam selama 3 hari bervariasi. Pada

penambahan Abu Bunga Pinus 5% nilainya adalah 74.15 % pada kadar Abu Bunga Pinus 10% nilainya 73.75 % dan pada Abu Bunga Pinus 15% nilai yang diperoleh adalah 73.19 %. Hal ini disebabkan karena kadar filler abu bunga pinus yang ada menyerap aspal dan mengisi rongga lebih banyak sehingga volume pori yang terisi oleh aspal semakin meningkat akibat lamanya perendaman. Nilai VFB pada grafik memenuhi syarat spesifikasi Binamarga 2018.

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

Grafik nilai *VMA* campuran *AC-WC* untuk berbagai variasi Abu Bunga Pinus kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.31



Gambar 4. 30 Diagram hubungan variasi perendaman 3 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C.

Dari gambar 4.31 menunjukkan bahwa penambahan variasi Abu Bunga Pinus ke dalam campuran yang direndam selama 3 hari tidak terlalu menyebabkan nilai peningkatan *VMA* yang signifikan. Hal ini disebabkan

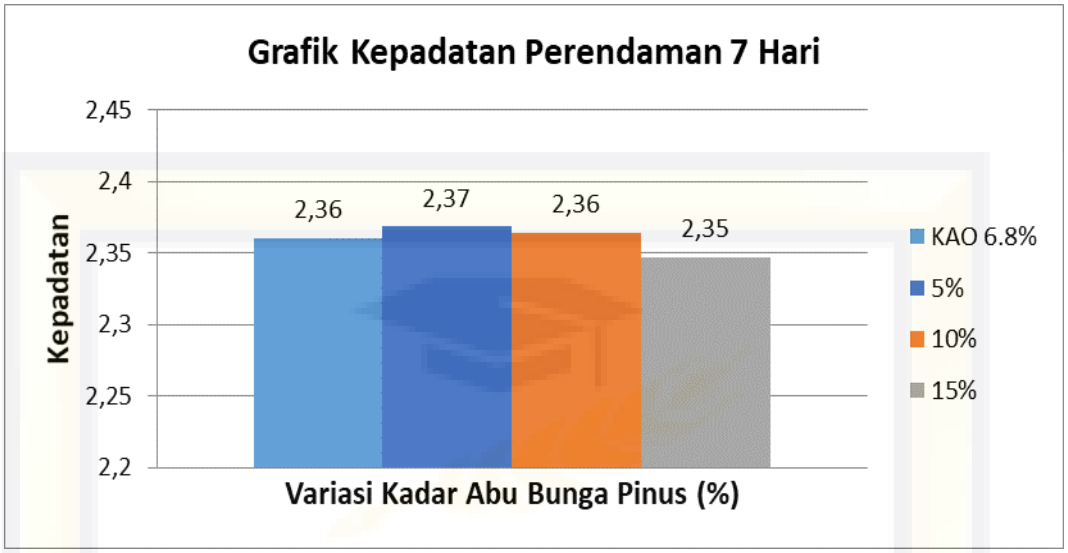
oleh banyak rongga yang telah terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Perandaman yang semakin lama membuat campurat bersifat plastis membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara ataupun air yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit. Berdasarkan spesifikasi semua nilai VMA memenuhi persyaratan.

4.4.8. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC dengan Perendaman 7 Hari

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 perendaman 7 hari, dapat dilihat pada gambar 4.32 untuk campuran beton aspal lapis aus AC-WC pada kondisi kadar aspal optimum.

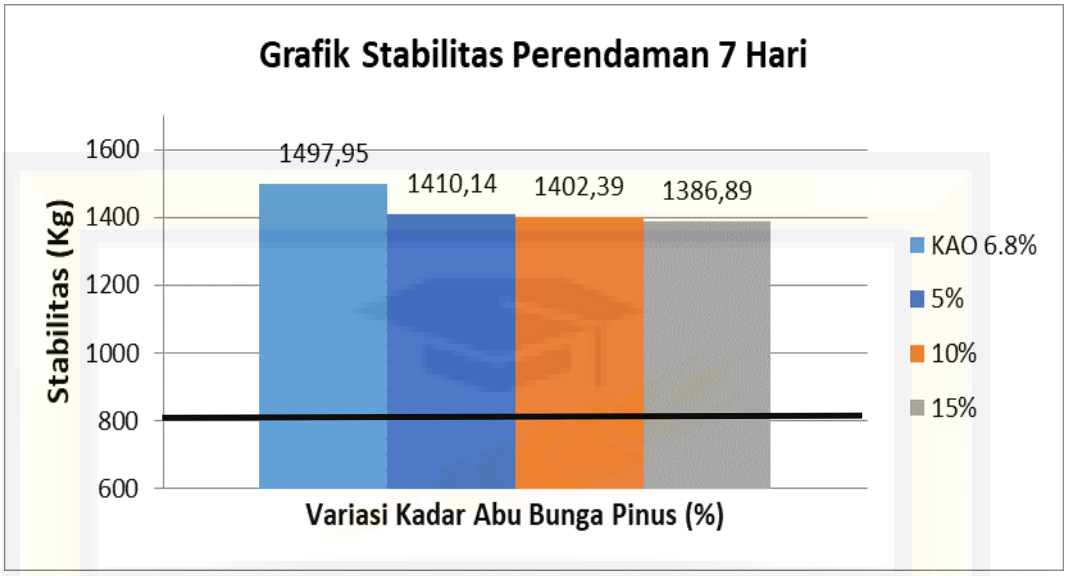


Gambar 4. 31 Diagram hubungan variasi Perendaman 7 hari terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.32 dapat dilihat bahwa variasi kadar Abu Bunga Pinus kedalam campuran yang direndam selama 7 hari nilai kepadatan (*density).* Hal utama yang menyebabkan kepadatan mengalam penurunan seiring dengan penambahan kadar variasi ialah kandungan mineral halus dalam hal ini filler abu bunga pinus pada campuran, yang membuat kerapatan antar agregat dengan bitumen terdeformasi dan menyebabkan sifat interlocking dari partikel-partikel agregat dengan aspal berkurang selama waktu perendaman berulang.

b. Stabilitas Minimum 800 (Kg)

Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.33.



Gambar 4. 32 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

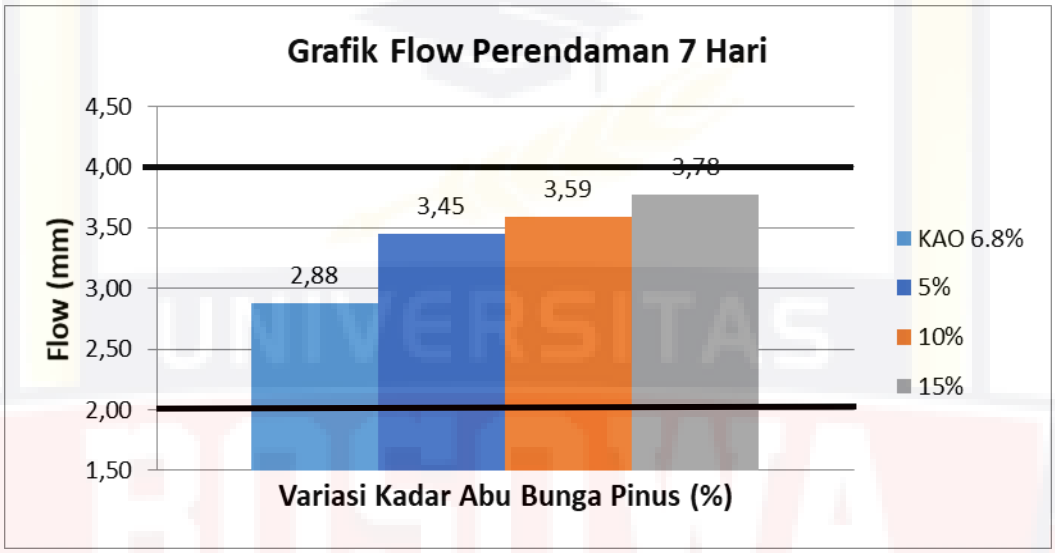
Dari gambar 4.33 diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi Abu Bunga Pinus kedalam campuran yang direndam 7 hari. Penambahan kadar Abu Bunga Pinus 5% dari kadar aspal di peroleh nilai stabilitas 1410.14 Kg, pada kadar Abu Bunga Pinus 10% nilianya mengalami penurunan 1402.39 Kg dan pada kadar Abu Bunga Pinus 15% nilainya mengalami penurunan 1386.89 Kg. Semuanya berada dalam batas spesifikasi.

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 Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.34

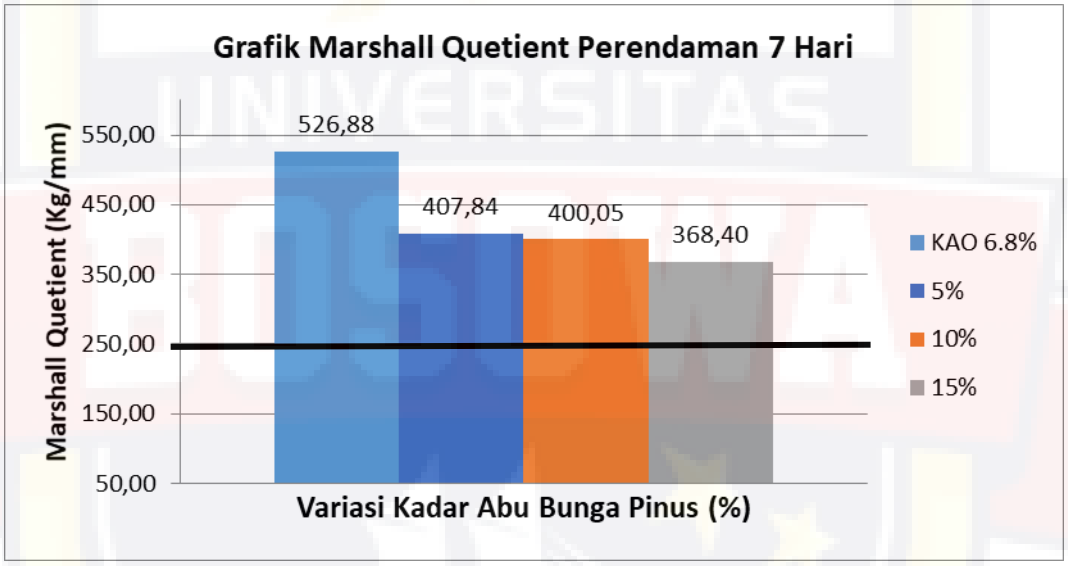


Gambar 4. 33 Diagram hubungan Variasi perendaman 7 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.34 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan Abu Bunga Pinus kedalam campuran yang direndam 7 hari menunjukkan kenaikan nilai pada flow. Nilai flow yang diperoleh pada kadar Abu Bunga Pinus 5% adalah 3.45 mm, pada kadar Abu Bunga Pinus 10% 3.59 mm dan pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 15 % adalah 3.78 mm. Hal ini dikarenakan semakin banyak kadar abu bunga pinus yang ditambahkan kedalam campuran maka semakin semakin meningkatkan fleksibilitas campuran sehingga menyebabkan daya rekat meningkat.

d. Marshall Questient

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 4.35.



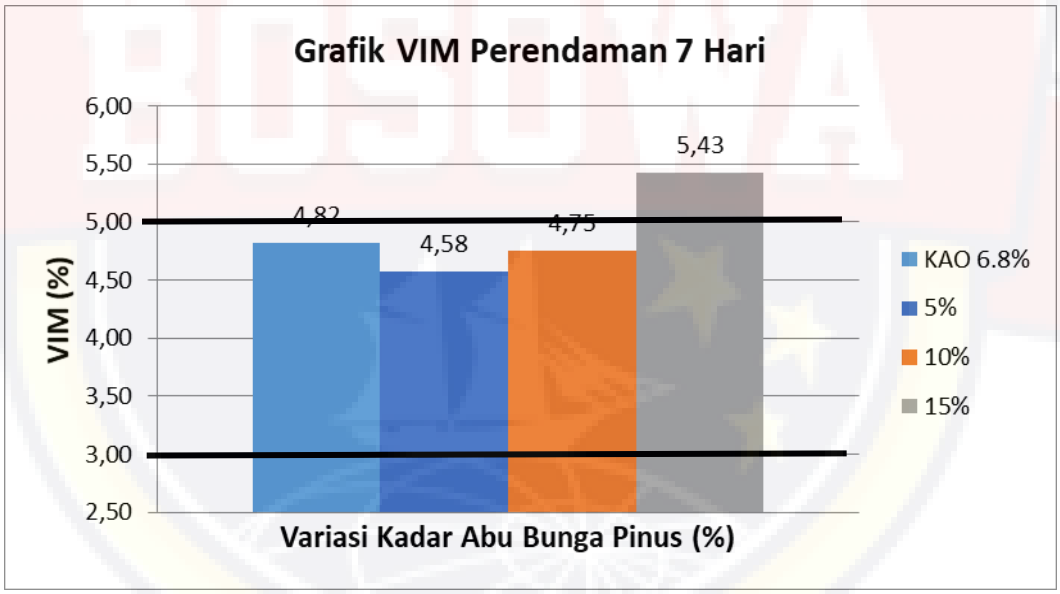
Gambar 4. 34 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Gambar diatas menunjukkan penurunan nilai *Marshall Quotient* pada campuran aspal dikarenakan nilai *MQ* sebanding dengan nilai stabilitas, dimana nilai stabilitas pada campuran aspal juga menurun dengan semakin lama terendam dalam air. Penurunan nilai *MQ* ini mengindikasikan kemampuan campuran aspal dalam merespon beban yang diberikan menurun. Hal ini disebabkan karena campuran tidak cukup kaku sehingga mudah mengalami deformasi, sebaliknya bila

campuran terlalu kaku maka akan menjadi getas dan mudah retak. Nilai Marshall Quotient sangat dipengaruhi oleh nilai Stabilitas maupun Flow (kelelehan). Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi Spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

e. Rongga Dalam Campuran (VIM) Minimum 3.0%– 5.0%

Namun nilai *VIM* yang terlalu kecil dapat mengakibatkan keluarnya aspal ke permukaan. Grafik nilai *VIM* campuran *AC-WC* untuk berbagai variasi kadar Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.36.



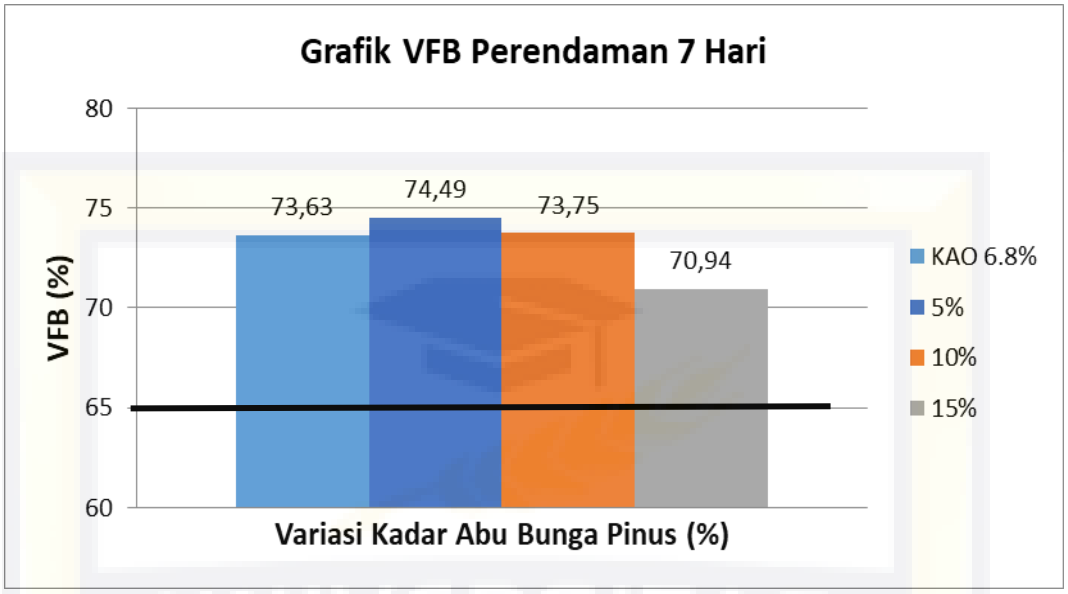
Gambar 4. 35 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.36 menunjukkan bahwa penambahan variasi Abu Bunga Pinus ke dalam campuran yang direndam selama 7 hari menyebabkan nilai *VIM* pada kadar Abu Bunga Pinus 5% yang

ditambahkan kedalam campuran adalah 4.58 %, pada kadar Abu Bunga Pinus 10% nilai VIM adalah 4.75 % dan pada kadar Abu Bunga Pinus 15% nilai yang diperoleh adalah 5.43 %. Dari hasil pengujian menunjukan bahwa penambahan kadar filler abu bunga pinus kedalam campuran tidak menyebabkan perubahan yang terbilang cukup signifikan pada nilai VIM. Hal ini disebabkan karena rongga yang terisi oleh filler lebih banyak. Sehingga air perendaman yang berusaha untuk masuk memenuhi rongga campuran lebih kecil dan campuran cenderung bersifat kedap air.

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

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



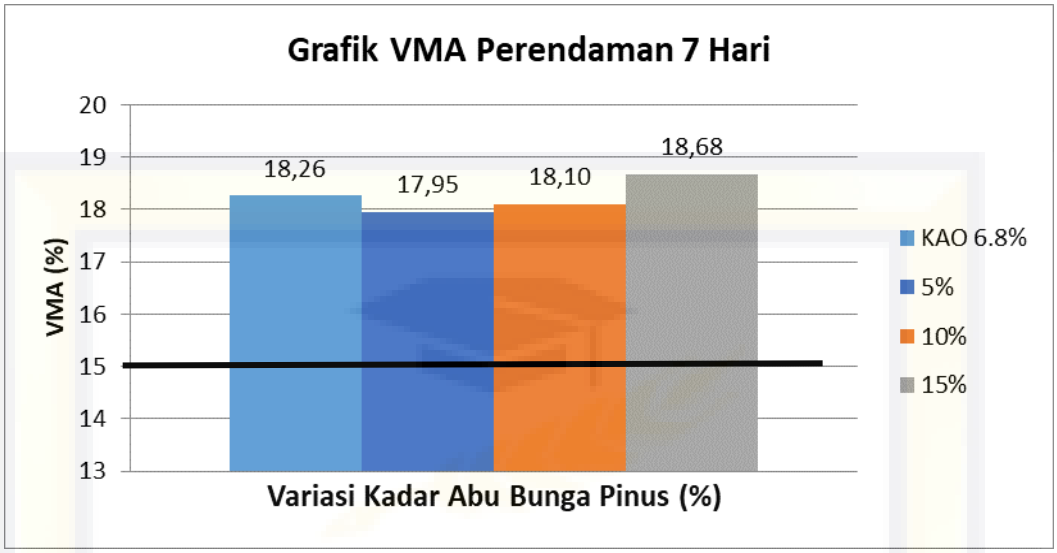
Gambar 4. 36 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.37 menunjukkan bahwa penambahan Abu Bunga Pinus ke dalam campuran yang direndam selama 7 hari nilai VFB mengalami penurunan. Hal ini di sebabkan volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal mengalami perubahan yang signifikan akibat penambahan Abu Bunga Pinus.

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

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 Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.38.



Gambar 4. 37 Diagram hubungan variasi perendaman 7 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C.

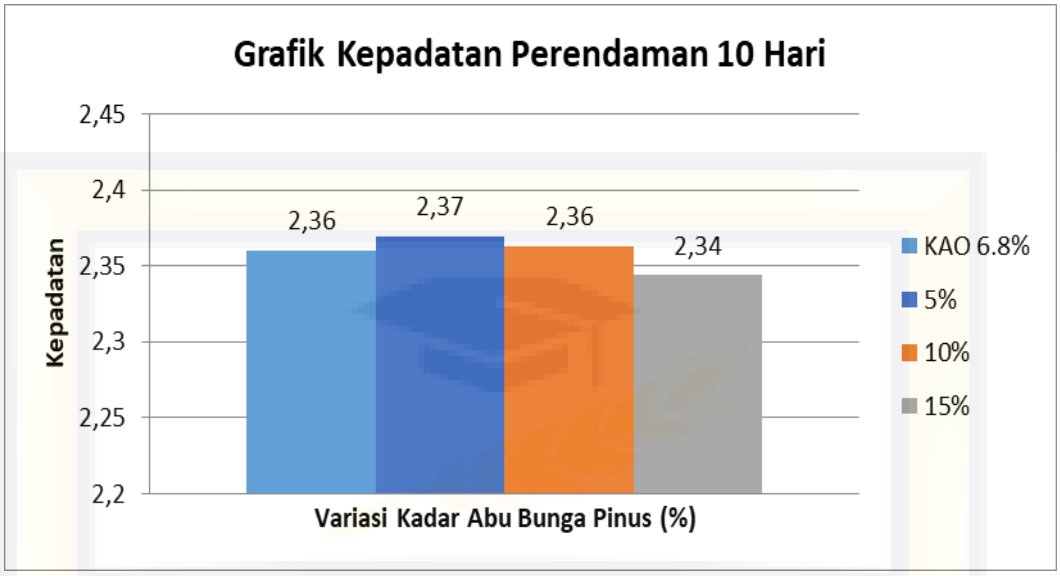
Gambar diatas menunjukkan bahwa nilai *VMA* cenderung meningkat pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 5% dari kadar aspal nilai yang diperoleh 17.95 % pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 10% nillai *VMA* 18.10 % dan pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 15% nilai yang diperoleh 18.68 %. Hal ini disebabkan oleh banyak rongga yang telah terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Perendaman yang semakin lama membuat campurat bersifat plastis membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara ataupun air yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit. Berdasarkan spesifikasi semua nilai VMA memenuhi persyaratan.

4.4.9. Analisis Hasil Pengujian Dengan Penambahan Abu Bunga Pinus Pada Campuran Beton Aspal Panas AC-WC dengan Perendaman 10 Hari

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 perendaman 10 hari, dapat dilihat pada gambar 4.39 untuk campuran beton aspal lapis aus *AC-WC* pada kondisi kadar aspal optimum.

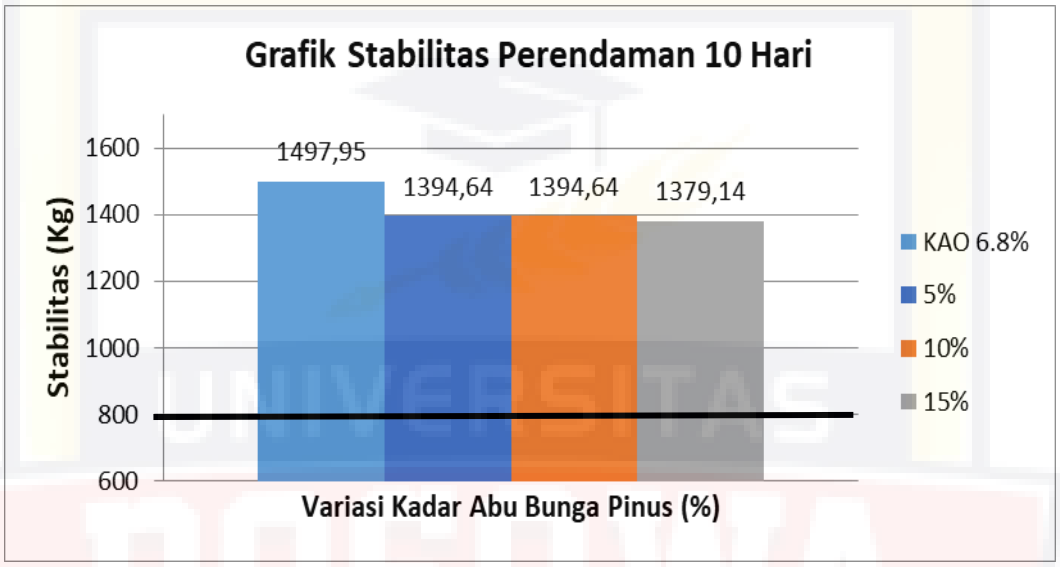


Gambar 4. 38 Diagram hubungan variasi Perendaman 10 hari terhadap kepadatan pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.39 dapat dilihat bahwa variasi kadar Abu Bunga Pinus kedalam campuran yang direndam selama 10 hari mempengaruhi nilai kepadatan (*density)*. Hal utama yang menyebabkan kepadatan mengalami penurunan ialah kandungan mineral halus dalam hal ini filler abu bunga pinus pada campuran, yang membuat kerapatan antar agregat dengan bitumen terdeformasi dan menyebabkan sifat interlocking dari partikel-partikel agregat dengan aspal berkurang selama waktu perendaman berulang.

b. Stabilitas Minimum 800 (Kg)

Hasil pengujian stabilitas dengan berbagai variasi Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum diperlihatkan pada gambar 4.40.

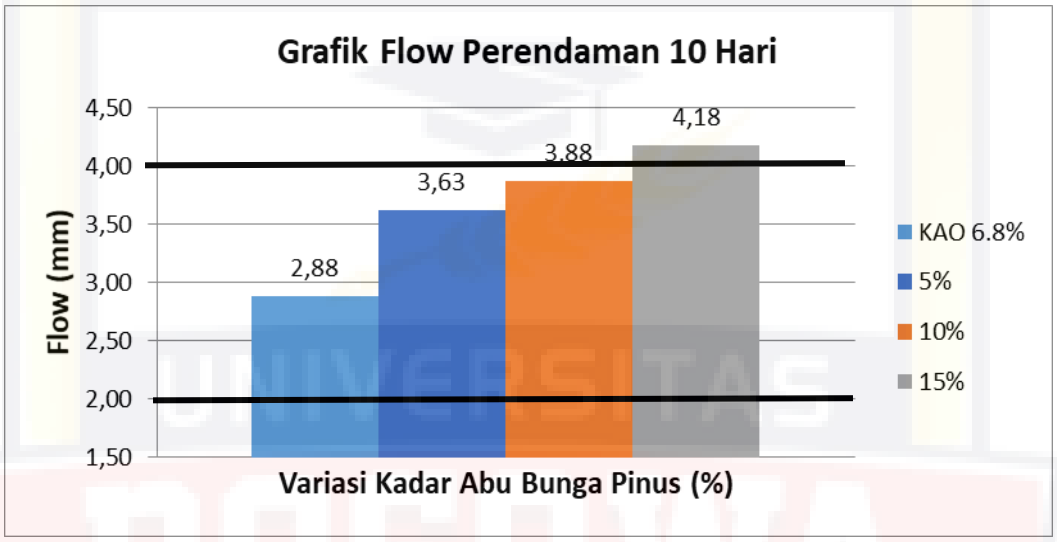


Gambar 4. 39 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap Stabilitas pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.40 diatas menunjukkan bahwa Stabilitas campuran yang menggunakan variasi Abu Bunga Pinus kedalam campuran yang direndam 10 hari mengalami penurunan namun tidak signifikan. Nilai stabilitas pada kadar Abu Bunga Pinus 5% nilai stabilitas yang diperoleh adalah 1394.64 Kg, pada kadar Abu Bunga Pinus 10% nilai stabiltas yang diperoleh 1394.64 Kg dan pada kadar Abu Bunga Pinus 15% nilai stabilitas yang yang diperoleh 1379.14 Kg semuanya berada dalam batas spesifikasi. Hal ini disebabkan karena penambahan kadar abu bunga pinus dan mengurangi kadar aspal yang di tambahkan kedalam campuran ternyata tidak dapat mempertahankan daya rekat aspal.

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

Grafik nilai *Flow* campuran AC-WC untuk berbagai variasi Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.41



Gambar 4. 40 Diagram hubungan Variasi perendaman 10 hari terhadap flow pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

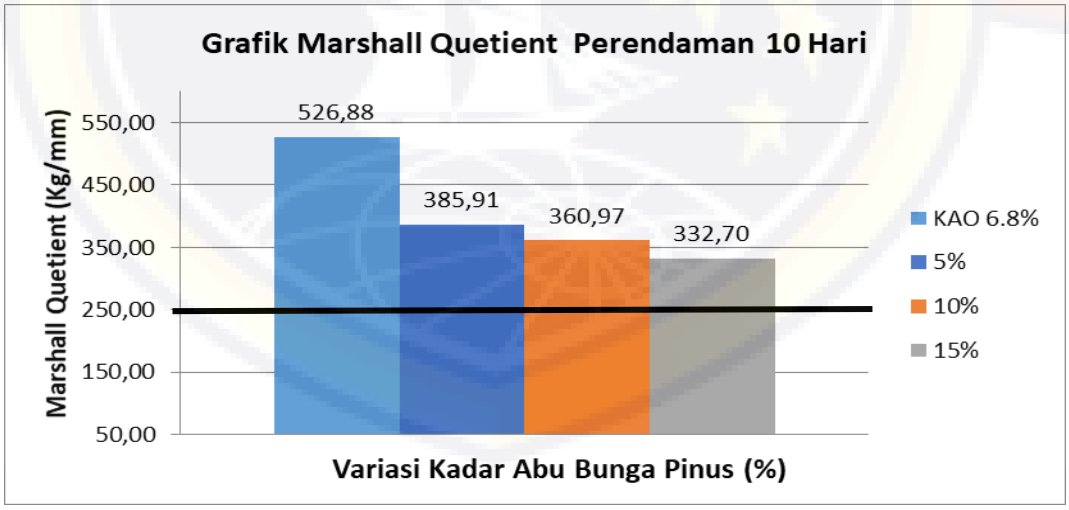
Dari gambar 4.41 menunjukkan bahwa penambahan variasi penambahan Abu Bunga Pinus kedalam campuran yang direndam 10 hari menyebabkan nilai *Flow* meningkat. Pada kadar filler 15% meningkat menjadi 4.18 mm dan melewati batas spesifikasi yang telah ditentukan. Ini berkaitan dengan penambahan kadar filler yang meningkat pada campuran sehingga berpengaruh pada kelelehan. Penambahan kadar filler akan membuat aspal menjadi getas sehingga campuran yang dihasilkan akan menjadi semakin kaku.

Hal ini disebabkan karena semakin lama perendaman menyebabkan nilai viskositas meningkat dan titik lembek meningkat. Kelelehan campuran

semakin meningkat seiring dengan lamanya perendaman. Semakin lama perendaman membuat campuran menjadi fleksibel atau bersifat plastis. Kondisi ini terjadi karena rongga udara dalam campuran yang terisi aspal semakin banyak sehingga ruang udara dalam campuran semakin kecil. Ini berarti pada kadar filler yang tepat dapat menghasilkan fleksibilitas yang cukup pada campuran.

d. Marshall Questient

Marshall Questient adalah perbandingan antara stabilitas dan kelelehan 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 4.42



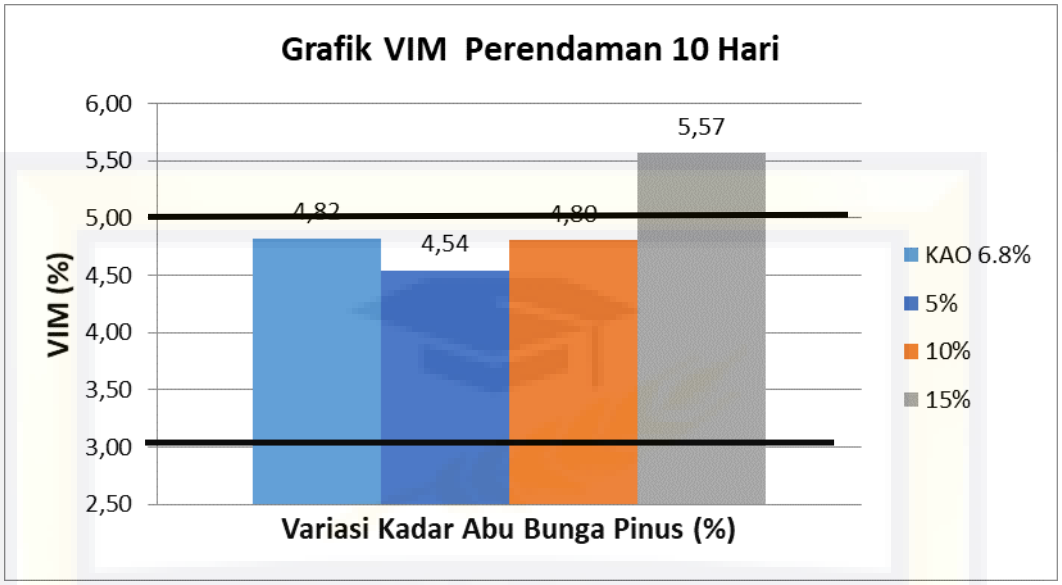
Gambar 4. 41 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap nilai MQ pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.42 terlihat bahwa variasi penambahan kadar Abu Bunga Pinus mengakibatkan nilai *Marshall Quotient* mengalami penurunan. Pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 5% dari kadar aspal diperoleh nilai *MQ* 385.91 Kg/mm, pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 10% nilai *MQ* 360.97 Kg/mm dan penambahan kadar Abu Bunga Pinus 15% nilai *MQ* 332.70 Kg/mm. Hal ini disebabkan karena campuran tidak cukup kaku sehingga mudah mengalami deformasi, sebaliknya bila campuran terlalu kaku maka akan menjadi getas dan mudah retak. Nilai Marshall Quotient sangat dipengaruhi oleh nilai Stabilitas maupun Flow (kelelehan). Grafik di atas menunjukkan bahwa semua nilai memenuhi Spesifikasi Bina Marga tahun 2018.

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 kadar Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.43.

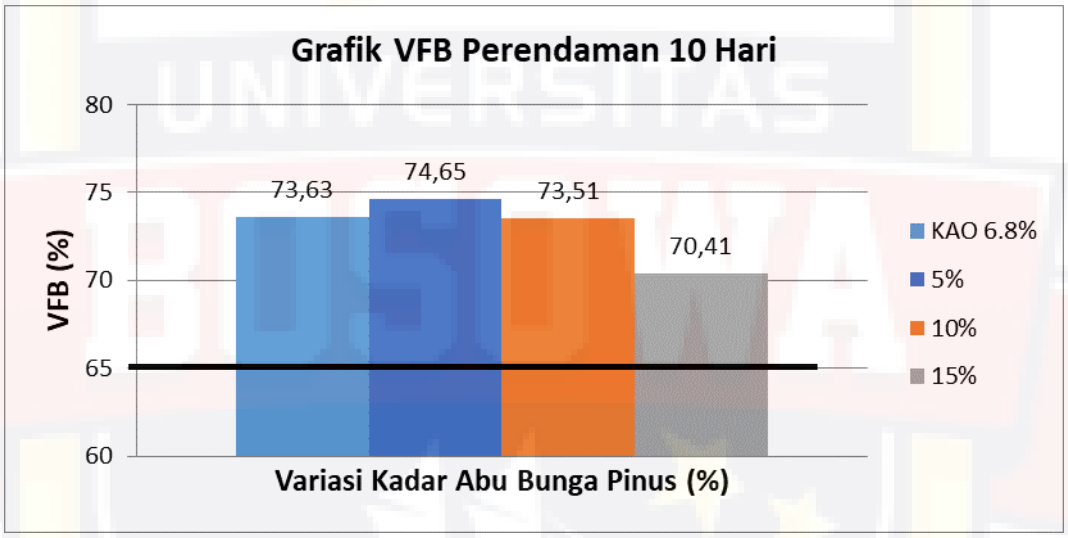


Gambar 4. 42 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap VIM pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.43 menunjukkan bahwa penambahan variasi Abu Bunga Pinus dalam campuran yang direndam selama 10 hari menyebabkan nilai *VIM* meningkat. Pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 5% mengalami penurunan dari nilai KAO, kadar aspal nilai yang diperoleh adalah 4.45 %, pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 10% meningkat dengan nilai *VIM* 4.80 % dan pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 15% nilai *VIM* 5,57% sehingga melewati batas spesifikasi yang telah ditentukan. Dari hasil pengujian menunjukan bahwa penambahan kadar filler abu bunga pinus kedalam campuran cenderung menyebabkan nilai VIM meningkat. Hal ini disebabkan karena rongga yang terisi oleh filler lebih banyak. Sehingga air perendaman yang berusaha untuk masuk memenuhi rongga campuran lebih kecil dan campuran cenderung bersifat kedap air.

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

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



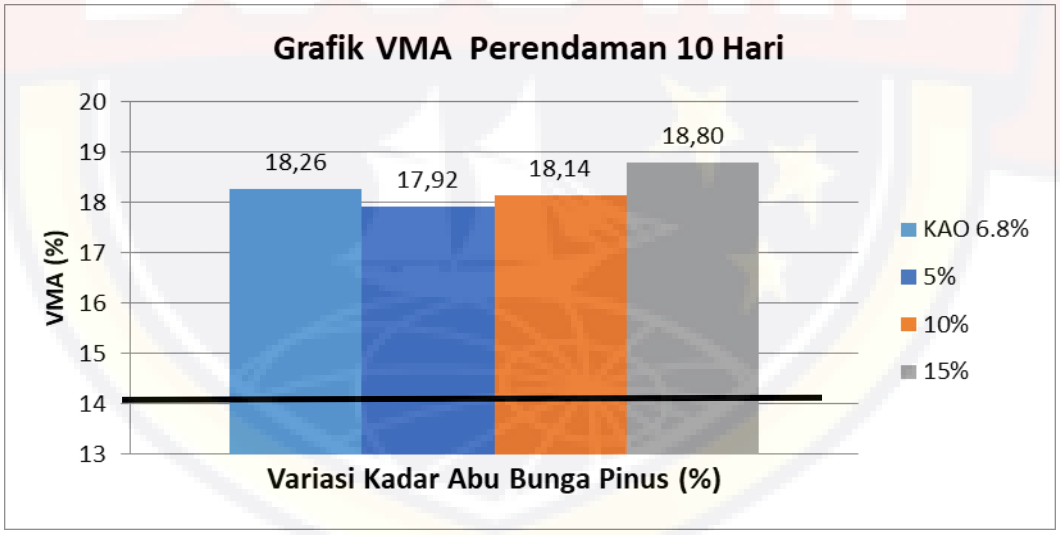
Gambar 4. 43 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap VFB pada kondisi kadar aspal optimum dengan waktu perendaman 30 menit dengan suhu 60°C.

Dari gambar 4.44 Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai VFB cenderung tidak mengalami penurunan seiring dengan lama perendaman dan penambahan kadar filler. Hal ini disebabkan karena kadar filler abu bunga pinus yang ada menyerap aspal dan mengisi rongga lebih banyak sehingga volume pori yang terisi oleh aspal semakin menurun akibat lamanya perendaman. Nilai VFB pada grafik memenuhi syarat spesifikasi Binamarga 2018.

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 Abu Bunga Pinus pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada gambar 4.45



Gambar 4. 44 Diagram hubungan variasi perendaman 10 hari terhadap VMA pada kondisi kadar aspal optimum Dengan Waktu Perendaman 30 Menit Dengan Suhu 60°C.

Dari gambar 4.45 terlihat bahwa nilai VMA cenderung meningkat seiring bertambahnya kadar Abu Bunga Pinus yang ditambahkan kedalam

campuran. Penambahan kadar kadar filler Abu Bunga Pinus 5% dari kadar aspal nilai VMA yang diperoleh yaitu 17.92 %, pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 10% nilai VMA 18.14 % dan pada penambahan kadar Abu Bunga Pinus 15% nilai VMA 18.80 %. Hal ini disebabkan oleh banyak rongga yang telah terisi aspal sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi lebih tinggi. Perandaman yang semakin lama membuat campurat bersifat plastis membuat ruang yang tersedia untuk menampung volume aspal dan volume rongga udara ataupun air yang diperlukan dalam campuran semakin sedikit. Berdasarkan spesifikasi semua nilai VMA memenuhi persyaratan.

4.5. Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS

Marshall sisa dilakukan setelah direndam selama 24 jam pada suhu 60º pada kondisi kadar aspal optimum. Jumlah tumbukan pada kondisi standar yaitu 75 tumbukan per sisi. Selanjutnya dibuat benda uji rendaman 30 menit pada kondisi kao tersebut. Kemudian dilakukan uji marshal sisa. Nilai marshall sisa diperoleh dari hasil stabilitas rendaman 24 jam dibagi dengan hasil stabilitas rendaman 30 menit kemudian dikalikan 100%. Hubungan antara kadar aspal optimum dengan persentase nilai indeks kekuatan sisa tabel 4.19.

Tabel 4. 19 Hubungan KAO Dengan Persentase Nilai IKS Beton Aspal AC – WC

KAO	Waktu Perendaman Suhu 60ºC		IKS	Spek. %
	30 Menit	24 Jam		
	1582.63	1497.95	94.64	90

Sumber : Hasil penelitian Laboratorium

Dari tabel 4.19 menunjukan bahwa nilai stabiltas untuk campuran AC-WC pada kadar aspal optimum terhadap perendaman 30 menit dan 24 jam pada suhu 60°C yang diperoleh untuk perendaman 24 jam mengalami penurunan terhadap nilai stabilitas yang diperoleh untuk perendaman 30 menit pada suhu yang sama.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

1. Nilai Stabilitas pada variasi semakin menurun seiring bertambahnya kadar abu bunga pinus juga disertai dengan lama perendaman. Sebaliknya, Nilai Flow mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar abu bunga pinus yang mengurangi fungsi aspal. Namun dari semua perlakuan masih dalam nilainya dalam batas-batas spesifikasi Binamarga 2018.
2. Berdasarkan hasil pengujian Marshall Test variasi yang terbaik adalah pada kadar abu bunga pinus 5% dengan lama perendaman 3 hari dengan Nilai Kepadatan 2.37, Stabilitas 1433.38 kg, Flow 3.35 mm, VMA 18.01%, VIM 4.66%, VFB 74.15%, dan MQ 427.73 kg/mm. Perlakuan tersebut merupakan kondisi ideal maksimum untuk diaplikasikan yang terdapat pada pengujian ini.

5.2. Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya disarankan agar menggunakan penumbuk listrik (*Electrik Compaction*), agar beban yg diterima pada benda uji tetap sama.
2. Peralatan yang digunakan dalam laboratorium sebaiknya dikalibrasi secara rutin, supaya hasil yang diperoleh lebih akurat.
3. Dengan hasil penelitian ini diharapkan mampu menjadi pedoman dalam perencanaan penggunaan abu bunga pinus sebagai filler dalam campuran beton aspal lapis aus AC-WC.

L A M P I R A N

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

Pemeriksaaan Karakteristik

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL
(SNI - 06-2441-1991)

Tanggal : 19 April 2021 **Material :** Aspal Penetrasi 60/70

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, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium
Aspal dan Bahan Jalan

Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT

Asisten Laboratorium
Aspal dan Bahan Jalan

Marlina Alwi, ST

Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

Material : **Abu Batu**
Tanggal :

Asisten : **Marlina Alwi, S.T**

	A	B	Rata - rata
Berat benda uji kering - permukaan jenuh (SSD)	500.00	500.20	500.10
Berat benda uji kering oven B_k	486.10	487.30	486.70
Berat Piknometer diisi air (25°C) B	688.40	687.40	687.90
Berat piknometer + benda uji (SSD) + air(25°C) B_t	999.80	1023.80	1011.80

	A	B	Rata - rata
Berat jenis (Bulk) $\frac{B_k}{(B + 500 - B_t)}$	2.58	2.98	2.78
Berat jenis kering - permukaan jenuh $\frac{500}{(B + 500 - B_t)}$	2.65	3.06	2.85
Berat jenis semu (Apparent) $\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$	2.78	3.23	3.01
Penyerapan (Absorption) $\frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\%$	2.88	2.63	2.75

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium
Aspal dan Bahan Jalan

Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT

Asisten Laboratorium
Aspal dan Bahan Jalan

Marlina Alwi, ST

Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR
(PB - 0202 - 76 / SNI 1969 : 2008)

Material : **Batu Pecah 0.5 - 1**
Tanggal :

		A	B	Rata - rata
Berat benda uji kering oven	B_k	2438.20	2429.10	2433.65
Berat benda uji kering - permukaan jenuh	Bj	2500.10	2500.20	2500.15
Berat benda uji didalam air	B_a	1576.20	1568.70	1572.45

		A	B	Rata - rata
Berat jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{B_j - B_a}$	2.64	2.61	2.62
Berat jenis kering - permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2.71	2.68	2.69
Berat jenis semu (Apparent)	$\frac{Bk}{B_k - B_a}$	2.83	2.82	2.83
Penyerapan (Absorption)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2.54	2.93	2.73

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

(PB - 0202 - 76 / SNI 1969 : 2008)

Material : **Batu Pecah 1 - 2**
Tanggal :

Asisten : **Marlina Alwi, S.T**

		A	B	Rata - rata
Berat benda uji kering oven	B_k	2435.20	2447.50	2441.35
Berat benda uji kering - permukaan jenuh	B_j	2500.10	2500.20	2500.15
Berat benda uji didalam air	B_a	1555.30	1560.40	1557.85

		A	B	Rata - rata
Berat jenis (Bulk)	$\frac{Bk}{B_j - B_a}$	2.58	2.60	2.59
Berat jenis kering - permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2.65	2.66	2.65
Berat jenis semu (Apparent)	$\frac{Bk}{B_k - B_a}$	2.77	2.76	2.76
Penyerapan (Absorption)	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	2.67	2.15	2.41

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

PENGUJIAN JUMLAH BAHAN DALAM AGREGAT YANG LOLOS SARINGAN NO. 200
(SNI 03-4142-1996)

Material : Batu Pecah 1 - 2
Tanggal : **Asisten : Marlina Alwi, ST**

No.	Uraian	I	II
1	Berat Kering contoh semula (A), gram	2500,3	2500,7
2	Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200 (B), gram	2479,1	2472,2
3	Persentase material lolos No. 200 (A-B/A) x 100%	0,85	1,14
4	Hasil Rata - rata	0,99	

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium
Aspal dan Bahan Jalan

Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT

Asisten Laboratorium
Aspal dan Bahan Jalan

Marlina Alwi, ST

Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

PENGUJIAN JUMLAH BAHAN DALAM AGREGAT YANG LOLOS SARINGAN NO. 200
(SNI 03-4142-1996)

Material : Batu Pecah 0.5 - 1
Tanggal :

Asisten : Marlina Alwi, ST

No.	Uraian	I	II
1	Berat Kering contoh semula (A), gram	2500,4	2500,7
2	Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200 (B), gram	2474,2	2476,9
3	Persentase material lolos No. 200 (A-B/A) x 100%	1,05	0,95
4	Hasil Rata - rata	1,00	

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium
Aspal dan Bahan Jalan

Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT

Asisten Laboratorium
Aspal dan Bahan Jalan

Marlina Alwi, ST

Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

PENGUJIAN JUMLAH BAHAN DALAM AGREGAT YANG LOLOS SARINGAN NO. 200
(SNI 03-4142-1996)

Material : Abu Batu
Tanggal : **Asisten : Marlina Alwi, ST**

No.	Uraian	I	II
1	Berat Kering contoh semula (A), gram	1500,2	1500
2	Berat kering contoh sesudah pencucian dengan saringan No. 200 (B), gram	1359	1362,9
3	Persentase material lolos No. 200 (A-B/A) x 100%	9,41	9,14
4	Hasil Rata - rata	9,28	

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

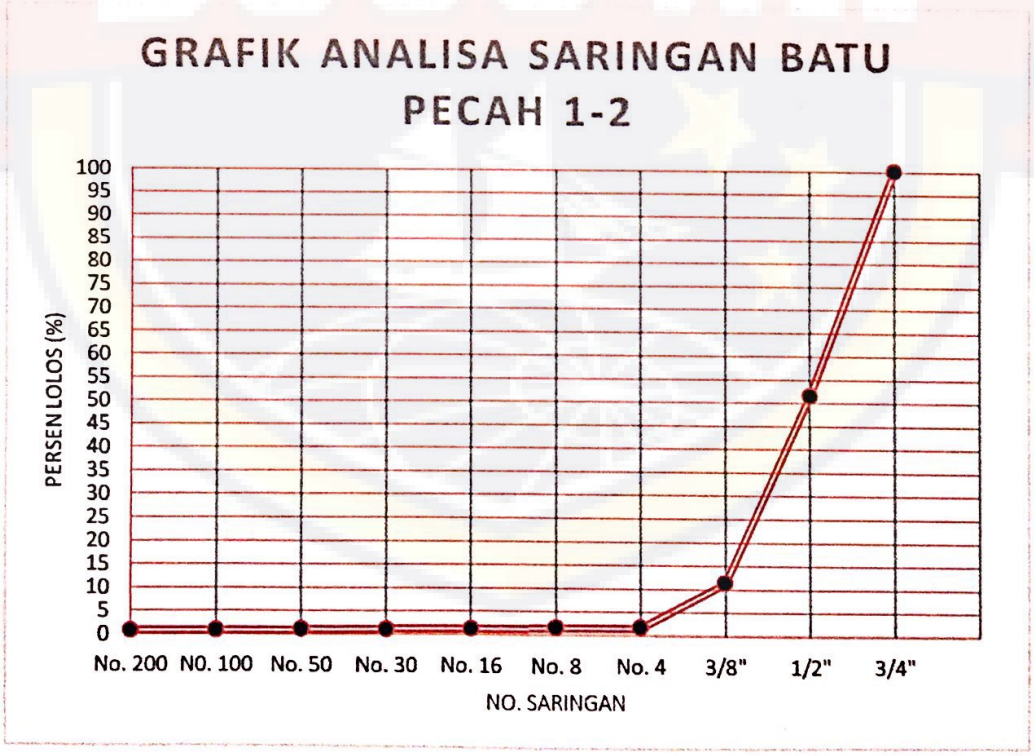
Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS DAN KASAR

Material : Batu Pecah 1-2
Tanggal :
Sumber : Laboratorium Aspal Dan Bahan Jalan

Saringan No	Total : Sampel Kumulatif Tertahan	2500,1 / 1 % Tertahan	% Lolos	Total : Sampel Kumulatif Tertahan	2500 / 2 % Tertahan	% Lolos	Rata - rata % Lolos
3/4"	0,00	0,00	100,00	0,00	0,00	100,00	100,00
1/2"	1079,40	43,17	56,83	1349,30	53,97	46,03	51,43
3/8"	2187,50	87,50	12,50	2252,50	90,10	9,90	11,20
No. 4	2453,60	98,14	1,86	2468,70	98,75	1,25	1,56
No. 8	2458,10	98,32	1,68	2469,10	98,76	1,24	1,46
No. 16	2474,30	98,97	1,03	2474,70	98,99	1,01	1,02
No. 30	2474,80	98,99	1,01	2475,90	99,04	0,96	0,99
No. 50	2476,60	99,06	0,94	2477,70	99,11	0,89	0,92
N0. 100	2485,90	99,43	0,57	2480,50	99,22	0,78	0,67
No. 200	2487,10	99,48	0,52	2482,50	99,30	0,70	0,61
Pan	2498,00	99,92	0,08	2497,80	99,91	0,09	0,09



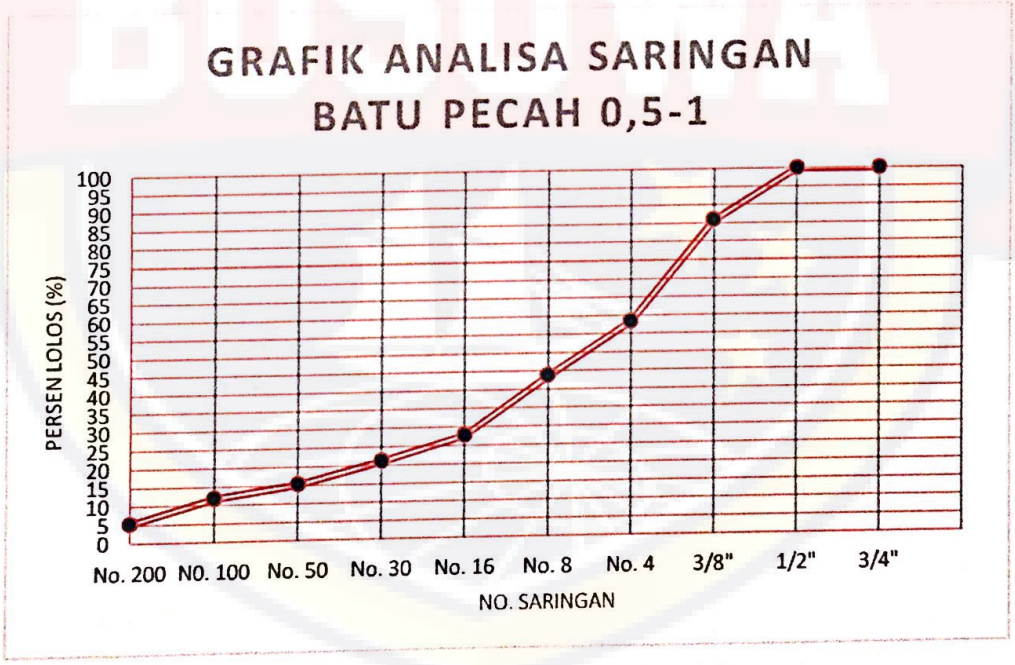
Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS DAN KASAR

Material : Batu Pecah 0.5-1
Tanggal :
Sumber : Laboratorium Aspal Dan Bahan Jalan

Saringan No	Total : Sampel	2500,2		Total : Sampel	2500		Rata - rata %
		1			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"	353,70	14,15	85,85	355,20	14,21	85,79	85,82
No. 4	1017,00	40,68	59,32	1073,40	42,94	57,06	58,19
No. 8	1400,90	56,03	43,97	1410,90	56,44	43,56	43,77
No. 16	1798,20	71,92	28,08	1818,60	72,74	27,26	27,67
No. 30	2002,60	80,10	19,90	1945,30	77,81	22,19	21,05
No. 50	2136,20	85,44	14,56	2105,00	84,20	15,80	15,18
N0. 100	2306,20	92,24	7,76	2111,70	84,47	15,53	11,65
No. 200	2408,20	96,32	3,68	2336,20	93,45	6,55	5,12
Pan	2496,30	99,84	0,16	2496,60	99,86	0,14	0,15



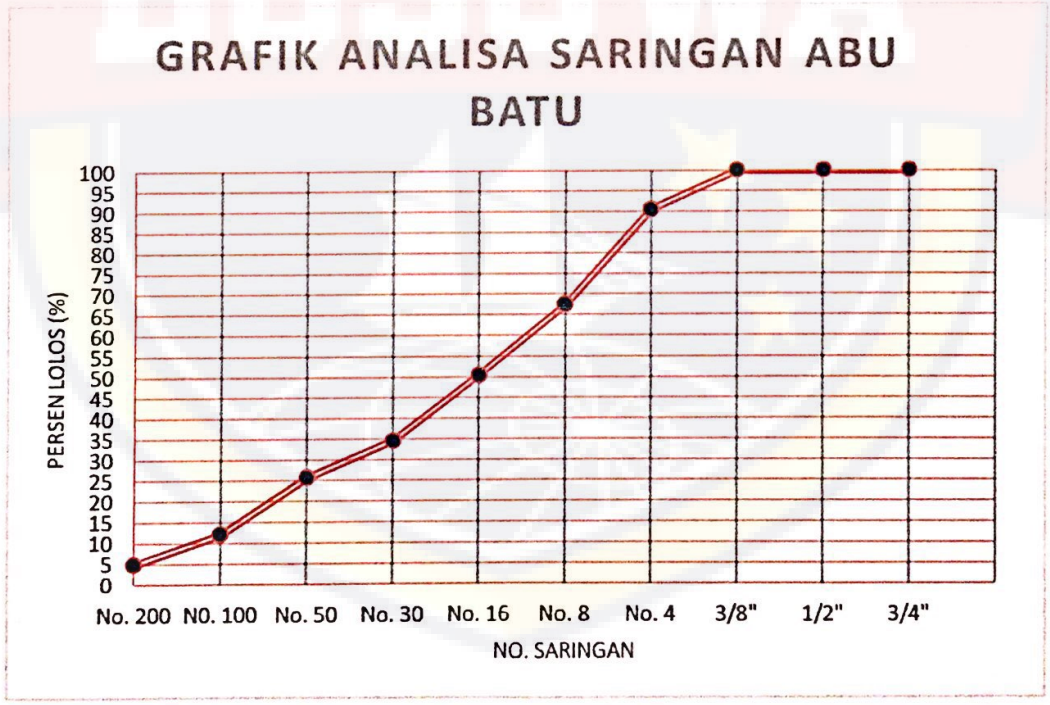
Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS DAN KASAR

Material : Abu Batu
Tanggal :
Sumber : Laboratorium Aspal Dan Bahan Jalan

Saringan No	Total :	2500,0		Total :	2500,2		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	229,40	9,18	90,82	247,30	9,89	90,11	90,47
No. 8	770,20	30,81	69,19	861,70	34,47	65,53	67,36
No. 16	1186,00	47,44	52,56	1297,00	51,88	48,12	50,34
No. 30	1611,70	64,47	35,53	1662,50	66,49	33,51	34,52
No. 50	1840,70	73,63	26,37	1879,80	75,19	24,81	25,59
N0. 100	2209,10	88,36	11,64	2192,40	87,69	12,31	11,97
No. 200	2381,20	95,25	4,75	2382,40	95,29	4,71	4,73
Pan	2493,40	99,74	0,26	2495,40	99,81	0,19	0,23



Scanned with CamScanner

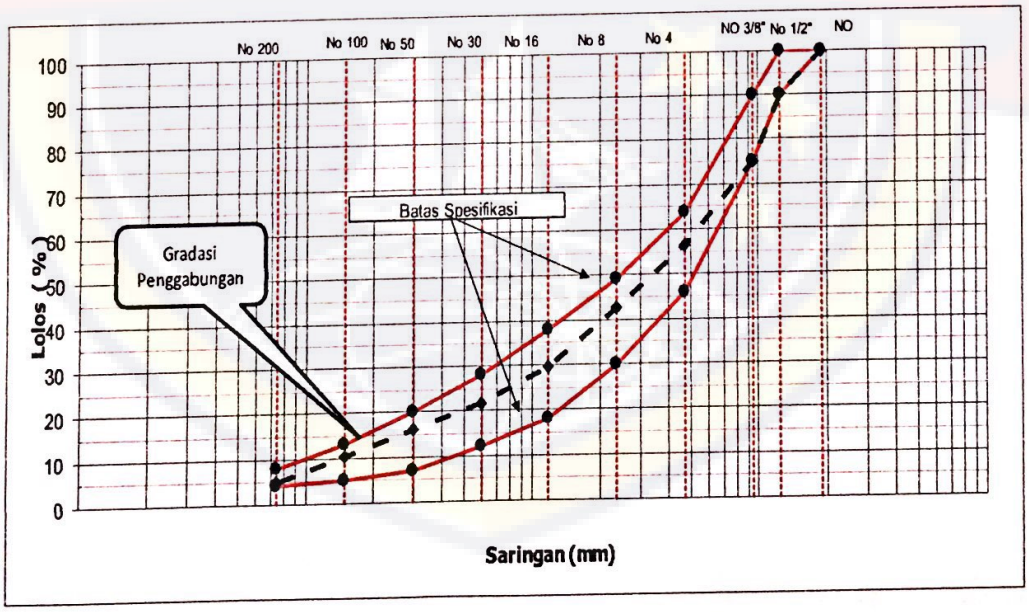
LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

GRADASI PENGGABUNGAN AGREGAT
(COMBINED)

Material
Tanggal
Sumber

No. Saringan	Gradasi Agregat Individu (Rata - rata)					Gradasi Penggabungan Agregat (Combined) AC - WC											Spesifikasi 2018	Faktor Luas Permukaan Agregat
	a	b	c	d	e	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI		
3/4"		100,00	100,00	100,00	100,00	100											100	0,41
1/2"		51,43	100,00	100,00	100,00	90,29											90 - 100	0,41
3/8"		11,20	85,82	100,00	100,00	75,15											75- 90	0,41
# 4		1,56	58,19	90,47	100,00	56,64											53 - 69	0,41
# 8		1,46	43,77	67,36	100,00	42,71											33 - 53	0,82
# 16		1,02	27,67	50,34	100,00	29,64											21 - 40	1,64
# 30		0,99	21,05	34,52	100,00	21,73											14 - 30	2,87
# 50		0,92	15,18	25,59	100,00	16,19											9 - 22	6,14
# 100		0,67	11,65	11,97	100,00	10,43											6 - 15	12,29
# 200		0,61	5,12	4,73	95,07	5,003											4 - 9	32,77

Rasio Komposisi Agregat (% terhadap Total Agregat)	b. Batu Pecah 1 - 2	20	
	c. Batu Pecah 0,5 - 1	50	
	d. Abu Batu	29	
	e. Filler	1	
		100	
Total Luas Permukaan Agregat (M2 / KG)		5,61	



Scanned with CamScanner

Pb = 0,035 x CA + 0,045 x FA + 0,18 x FF + K

Pb = 0,035 x 57,29 + 0,045 x 37,71 + 0,18 x 5,00 + 0,75
= 2,01 + 1,70 + 0,90 + 0,75
= **5,35** -

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

Scanned with CamScanner

Rumus untuk komposisi campuran AC – WC

Kadar Aspal	=	5	%				100	%	-	5	%	=	95,00
Hasil Combine													
BP 1- 2	20	%	x	95	%	=	0,19	x		1200		=	228,00
BP0,5 -1	50	%	x	95	%	=	0,48	x		1200		=	570,00
Abu Batu	29	%	x	95	%	=	0,28	x		1200		=	330,60
Filler	1	%	x	95	%	=	0,01	x		1200		=	11,40
Aspal	5	%				X				1200		=	60,00
													1200,00

Kadar Aspal	=	5,5	%				100	%	-	5,5	%	=	94,50
Hasil Combine													
BP 1- 2	20	%	x	94,5	%	=	0,19	x		1200		=	226,80
BP 0,5 -1	50	%	x	94,5	%	=	0,47	x		1200		=	567,00
Abu Batu	29	%	x	94,5	%	=	0,27	x		1200		=	328,86
Filler	1		x	94,5	%	=	0,01	x		1200		=	11,34
Aspal	5,5	%				X				1200		=	66,00
													1200,00

Kadar Aspal	=	6	%				100	%	-	6	%	=	94,00
Hasil Combine													
BP 1- 2	20	%	x	94	%	=	0,19	x		1200		=	225,60
BP 0,5 - 1	50	%	x	94	%	=	0,47	x		1200		=	564,00
Abu Batu	29	%	x	94	%	=	0,27	x		1200		=	327,12
Filler	1	%	x	94	%	=	0,01	x		1200		=	11,28
Aspal	6	%				X				1200		=	72,00
													1200,00

Scanned with CamScanner

Kadar Aspal	=	6,5	%			100	%	-	6,5	%	=	93,50

Hasil Combine

BP 1- 2	20	%	x	93,5	%	=	0,19	x	1200		=	224,40
BP 0,5 - 1	50	%	x	93,5	%	=	0,47	x	1200		=	561,00
Abu Batu	29	%	x	93,5	%	=	0,27	x	1200		=	325,38
Filler	1	%	x	93,5	%	=	0,01	x	1200		=	11,22
Aspal	6,5	%				X			1200		=	78,00
												1200,00

Kadar Aspal	=	7	%			100	%	-	7	%	=	93,00

Hasil Combine

BP 1- 2	20	%	x	93	%	=	0,19	x	1200		=	223,20
BP 0,5 - 1	50	%	x	93	%	=	0,47	x	1200		=	558,00
Abu Batu	29	%	x	93	%	=	0,27	x	1200		=	323,64
Filler	1	%	x	93	%	=	0,01	x	1200		=	11,16
Aspal	7	%				X			1200		=	84,00
												1200,00

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

Scanned with CamScanner

MARSHALL TEST
{ AASHTO T. 245 - 97 (2003) }

Penetrasi Aspal	: 60/70	
Berat Jenis Aspal	: 1,005	gr/cc
di Tes Oleh	: Gelombang II	

Campuran : AC - WC
Test : Kadar Aspal Optimum
Filler : Semen
Tanggal Tes : 19 April 2021

No	Agregat	Bj Bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2,59	2,76
b	Batu Pecah 0,5 - 1	2,62	2,83
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 Gabungan	Bj Efektif Gabungan	Bj Maksimum Campuran (GMM)	Berat (Gram) Di Udara (In Air)	Dalam Air (In Water)	Kering Permukaan (SSD)	Volume Benda Uji	Bj Bulk Campuran (Kepadatan)	% Rongga Dalam Campuran (VIM)	Stabilitas (Kg) Pembacaaan	Disesuaikan (Kalibrasi Alat & Angka Korelasi)	(mm) Peleleh an	(kg / mm) Marshall Quetient	Luas Permukaan Agregat	Absorsi Aspal Terhadap Berat Total Campuran	Tebal Film	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFB)
	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) x (100-A))	% terhadap total Campuran			100 / (100-A / C + A / T)				G - F	E / H	100 (D - I) / D		(Pembacaan x Kalibrasi Alat) x Angka Korelasi		L / M	Combined	T(100-A) / B / 100.T / D	1000(A - P) / TO (100 - A)	100 - (I / B) x (100 - A)	(R - J) / R
I	20	50	29	1	5,75	6,8	2,69	2,78	2,479	1176,8	670,7	1164,7	494,00	2,382	3,89	94	1418,1	2,70	525,2	5,61	1,13	10,79	17,33	77,56
II	20	50	29	1	5,75	6,8	2,69	2,78	2,479	1192,5	674,8	1166,6	491,80	2,425	2,17	118	1780,2	3,00	593,4	5,61	1,13	10,79	15,99	86,42
III	20	50	29	1	5,75	6,8	2,69	2,78	2,479	1192,8	669,4	1178,4	509,00	2,343	5,45	104	1549,6	2,90	534,3	5,61	1,13	10,79	18,81	71,01
Perendaman 30 Menit dengan Suhu 60°									**2,48**	**1187,4**	**671,6**	**1169,9**	**498,27**	**2,383**	**3,84**	**105,33**	**1582,6**	**2,87**	**551,0**	**5,61**	**1,13**	**10,79**	**17,28**	**77,79**
I	20	50	29	1	5,75	6,8	2,69	2,78	2,479	1190,2	680,9	1184,8	503,9	2,36	4,70	103	1596,1	3,20	498,8	5,61	1,13	10,79	18,16	74,10
II	20	50	29	1	5,75	6,8	2,69	2,78	2,479	1193	686,6	1189,6	503,0	2,37	4,31	87	1348,2	3,00	449,4	5,61	1,13	10,79	17,83	75,83
III	20	50	29	1	5,75	6,8	2,69	2,78	2,479	1190,2	680,3	1188,1	507,8	2,34	5,44	100	1549,6	2,45	632,5	5,61	1,13	10,79	18,79	71,08
Perendaman 24 Jam dengan Suhu 60°									**2,48**	**1191,1**	**682,6**	**1187,5**	**504,9**	**2,36**	**4,82**	**96,7**	**1497,9**	**2,88**	**526,88**	**5,61**	**1,13**	**10,79**	**18,26**	**73,63**
SPESIFIKASI															**Min 3-5**		**Min 800**	**Min 2-4**	**Min 250**				**Min 15**	**Min 65**

Stabilitas Sisa = $\frac{\text{Perendaman 24 jam}}{\text{Perendaman 30 menit}}$ = $\frac{1497,9}{1582,6}$ x 100% = 94,65 > 100

MARSHALL TEST

{ AASHTO T. 245 - 97 (2003) }

Penetrasi	:	60 / 70	
Berat Jeni Aspal (T)	:	1,005	gr/cc

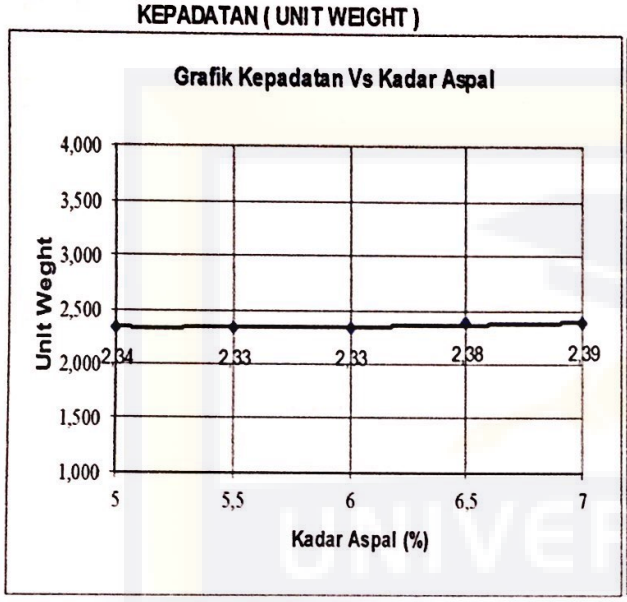
No	Agregat	Bj bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2,59	2,76
b	Batu Pecah 0.5 - 1	2,62	2,83
c	Abu Batu	2,78	3,01
d	filler	3,17	3,17

No	Proporsi Campuran (% Berat Total Agregat)				Kadar Aspal Efektif	Kadar Aspal	Bj Bulk Gab.	Bj Efektif Gab.	Bj Max Campuran (GMM)	Berat (gram) Di Udara (In Air)	Di Dalam Air (In Water)	Kering Permukaan Jenuh (SSD)	Volume Benda Uji	Bj Bulk Campuran (kepadatan)	Rongga Dalam Campuran (VIM)	Stabilitas (kg) Pembacaan	Disesuaikan (Kalibrasi Alat dan Angka Korelasi)	Pelelehan (mm)	Marshall Quotien (kg / mm)	Luas Permukaan Agregat	Absorbsi Aspal Thdp Berat Total Campuran	Tebal Film	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFB)
	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) x (100-A))	(%)	Note 1	Note 2	$\frac{100}{\frac{100-A}{C}+\frac{A}{T}}$				G - F	$\frac{E}{H}$	$\frac{100(D-I)}{D}$		(Pembacaan x Kalibrasi Alat) x (Angka Korelasi)		$\frac{L}{M}$	Combined	$A+\frac{T(100-A)}{B}-\frac{100.T}{D}$	$\frac{1000(A-P)}{T.O(100-A)}$	$100-(\frac{I}{B})x\frac{(100-A)}{}$	$\frac{(R-J)}{R}x100$
I	20	50	29	1	3,90	5	2,69	2,78	2,55	1164,3	652,2	1185,1	532,9	2,18	14,3	65,0	980,6	3,6	272,4	5,61	1,15	6,954	22,71	36,82
II	20	50	29	1	3,90	5	2,69	2,78	2,55	1173,7	686,2	1196,2	510,0	2,30	9,8	78,0	1176,7	3,2	367,7	5,61	1,15	6,954	18,59	47,39
III	20	50	29	1	3,90	5	2,69	2,78	2,55	1182,2	660,4	1206,1	545,7	2,17	15,1	85,0	1282,3	3,3	388,6	5,61	1,15	6,954	23,36	35,49
							2,69	**2,78**	**2,55**	**3520,2**	**1998,8**	**3587,4**	**529,53**	**2,22**	**13,1**	**76,0**	**1146,6**	**3,4**	**342,9**	**5,61**	**1,15**	**6,954**	**21,55**	**39,90**
I	20	50	29	1	4,36	5,5	2,69	2,78	2,53	1161,3	659,4	1184,4	525,0	2,21	12,7	104,0	1569,0	4,3	361,5	5,61	1,20	7,809	22,16	42,68
II	20	50	29	1	4,36	5,5	2,69	2,78	2,53	1172,9	664,2	1187,4	523,2	2,24	11,5	107,0	1614,2	3,1	515,7	5,61	1,20	7,809	21,11	45,40
III	20	50	29	1	4,36	5,5	2,69	2,78	2,53	1181,8	663,8	1202,2	538,4	2,20	13,4	91,0	1372,8	3,3	413,5	5,61	1,20	7,809	22,76	41,24
							2,69	**2,78**	**2,53**	**3516,00**	**1987,40**	**3574,00**	**528,87**	**2,22**	**12,5**	**100,7**	**1518,7**	**3,6**	**430,3**	**5,61**	**1,20**	**7,809**	**22,01**	**43,11**
I	20	50	29	1	4,88	6	2,69	2,78	2,51	1178,3	659,4	1175	515,6	2,29	9,1	102,0	1538,8	3,3	466,3	5,61	1,20	8,776	20,01	54,60
II	20	50	29	1	4,88	6	2,69	2,78	2,51	1188,2	699,9	1198,1	498,2	2,38	5,1	82,0	1237,1	3,5	358,6	5,61	1,20	8,776	16,52	69,02
III	20	50	29	1	4,88	6	2,69	2,78	2,51	1161,4	663,8	1204,9	541,1	2,15	14,6	85,0	1282,3	4,7	272,8	5,61	1,20	8,776	24,87	41,25
							2,69	2,78	**2,51**	**3527,90**	**2023,10**	**3578,00**	**518,30**	**2,27**	**9,6**	**89,7**	**1352,7**	**3,8**	**365,9**	**5,61**	**1,20**	**8,776**	**20,46**	**54,95**
I	20	50	29	1	5,39	6,5	2,69	2,78	2,49	1188,3	695,4	1189,9	494,5	2,40	3,6	84,0	1267,2	4,2	301,7	5,61	1,19	9,753	16,33	77,74
II	20	50	29	1	5,39	6,5	2,69	2,78	2,49	1191,4	687,3	1189,9	502,6	2,37	4,9	94,0	1418,1	3,8	373,2	5,61	1,19	9,753	17,47	71,71
III	20	50	29	1	5,39	6,5	2,69	2,78	2,49	1188,1	697,9	1200,5	502,6	2,36	5,2	93,0	1403,0	3,7	379,2	5,61	1,19	9,753	17,70	70,58
							2,69	2,78	**2,49**	**3567,80**	**2080,60**	**3580,30**	**499,90**	**2,38**	**4,6**	**90,3**	**1362,8**	**3,9**	**351,4**	**5,61**	**1,19**	**9,753**	**17,17**	**73,34**
I	20	50	29	1	5,90	7	2,69	2,78	2,47	1173,3	686,7	1180,8	494,1	2,37	4,0	99,0	1493,5	3,8	393,0	5,61	1,18	10,740	17,76	77,36
II	20	50	29	1	5,90	7	2,69	2,78	2,47	1173,6	688,6	1182,4	493,8	2,38	3,9	89,0	1342,7	3,8	353,3	5,61	1,18	10,740	17,69	77,74
III	20	50	29	1	5,90	7	2,69	2,78	2,47	1190,5	680,5	1201	520,5	2,29	7,6	102,0	1538,8	4,5	345,8	5,61	1,18	10,740	20,79	63,67
							2,69	**2,78**	**2,47**	**3537,40**	**2055,80**	**1188,07**	**502,80**	**2,35**	**5,2**	**96,7**	**1458,3**	**4,0**	**364,1**	**5,61**	**1,18**	**10,740**	**18,75**	**72,92**
SPESIFIKASI					**Min 4.3**										**Min 3,0 - 5,0**		**Min 800**	**2-4**	**Min 250**		**Max 1,2**		**Min 15**	**Min 65**

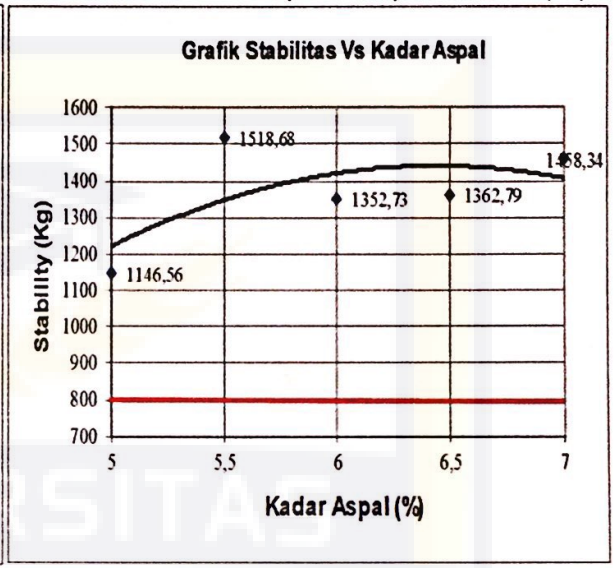
LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

Grafik Karakteristik Marshall Test

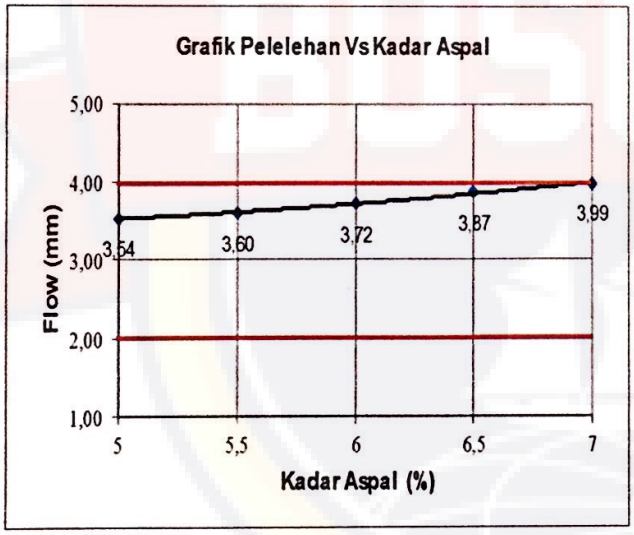
KEPADATAN (UNIT WEIGHT)



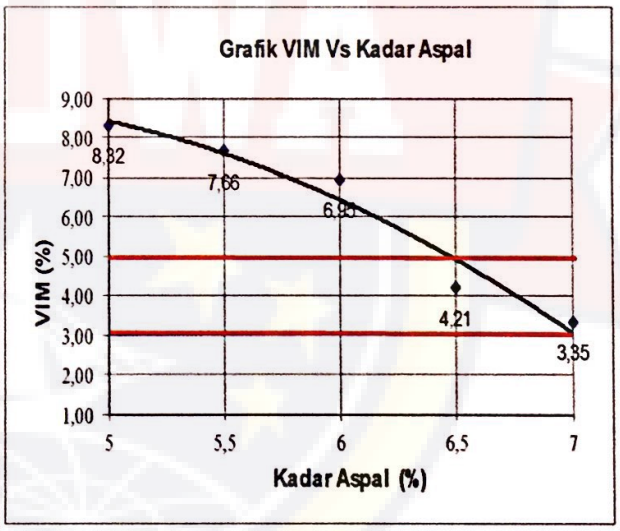
STABILITAS MARSHALL (STABILITY) Minimum 800 (KG)



PELELEHAN (FLOW) MINIMUM 3 (MM)

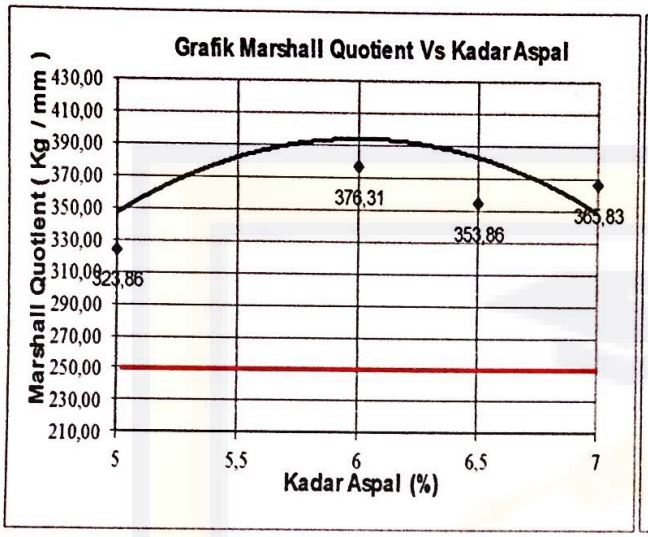


RONGGA DALAM CAMPURAN (VIM) 3,0 - 5,0 (%)

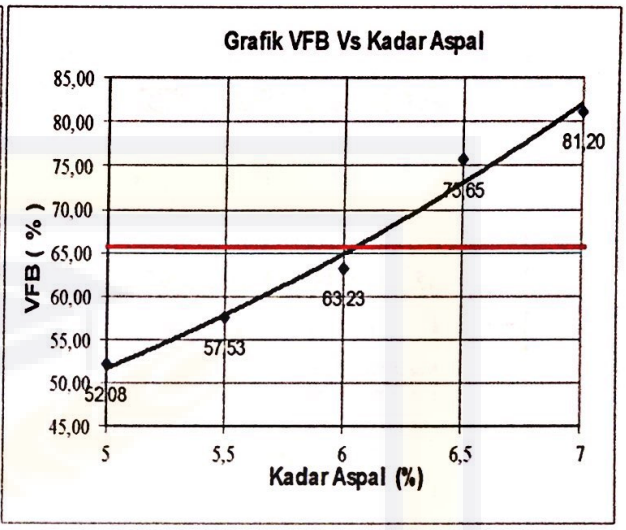


Scanned with CamScanner

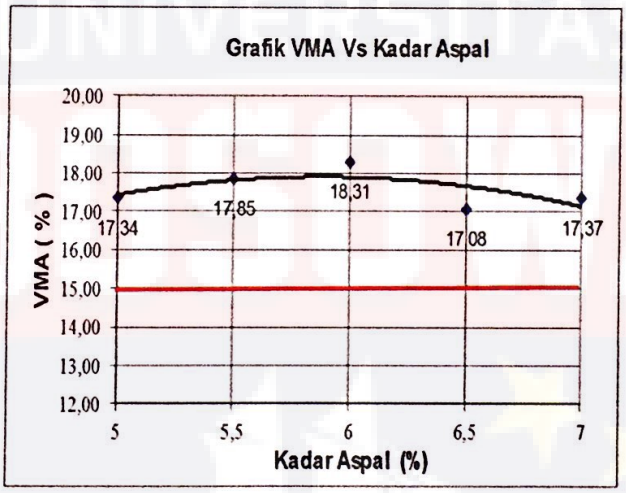
MARSHALL QUOTIENT MINIMUM 250 (Kg/MM)



RONGGA TERISI ASPAL (VFB) MINIMUM 65 (%)



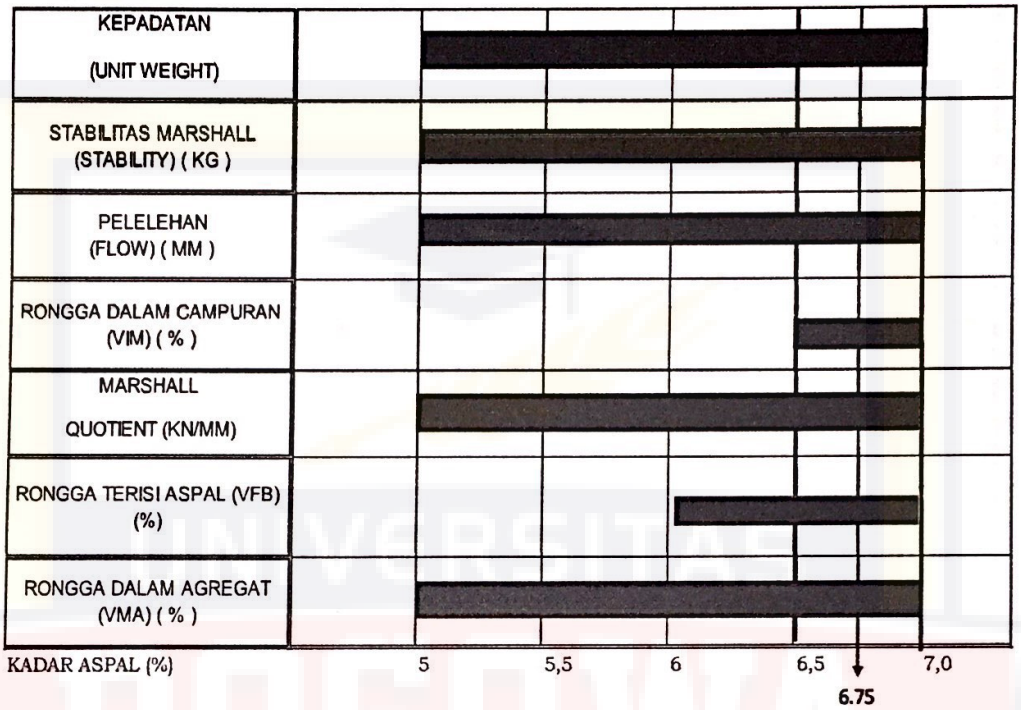
RONGGA DALAM AGREGAT (VMA) MINIMUM 15 (%)



Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

Diagram Penentuan Kadar Aspal Optimum



$$\text{KADAR ASPAL OPTIMUM} = \frac{6{,}5 + 7}{2}$$

$$= 6{,}75$$

KAO = 6,80%

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

Scanned with CamScanner

Rumus Campuran Variasi Bunga Pinus

Kadar Aspal	=	6,8	%			100	%	-	6,8	%	=	93,20	
Hasil Combine													
BP 1-2	20 %	x	93,2	%	=	0,186	x		1200		=	223,68	
BP 0,5 - 1	50 %	x	93,2	%	=	0,466	x		1200		=	559,20	
Abu Batu	29 %	x	93,2	%	=	0,27	x		1200		=	324,34	
Filler	1 %	x	93,2	%	=	0,009	x		1200		=	11,18	
serbuk bunga pinus			5	%	=	11,18	x		5				
					=	0,559							
semen			95	%	=	11,18	-	0,56					
					=	10,62							
Aspal	6,8 %				X				1200		=	81,60	
												1200,00	

Kadar Aspal	=	6,8	%			100	%	-	6,8	%	=	93,20	
Hasil Combine													
BP 1-2	20 %	x	93,2	%	=	0,186	x		1200		=	223,68	
BP 0,5 - 1	50 %	x	93,2	%	=	0,466	x		1200		=	559,20	
Abu Batu	29 %	x	93,2	%	=	0,27	x		1200		=	324,34	
Filler	1 %	x	93,2	%	=	0,009	x		1200		=	11,18	
serbuk bunga pinus			10	%	=	11,18	x		10				
					=	1,118							
semen			90	%	=	11,18	-	1,12					
					=	10,07							
Aspal	6,8 %				X				1200		=	81,60	
												1200,00	

Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

ASPAL KAO

Kadar Aspal	=	6,8	%			100	%	-	6,8	%	=	93,20
Hasil Combine												
BP 1-2	20	%	x	93,2	%	=	0,186	x	1200		=	223,68
BP 0,5 - 1	50	%	x	93,2	%	=	0,466	x	1200		=	559,20
Abu Batu	29	%	x	93,2	%	=	0,27	x	1200		=	324,34
Filler	1	%	x	93,2	%	=	0,009	x	1200		=	11,18
serbuk bunga pinus				15	%	=	11,18	x	15			
						=	1,678					
semen				85	%	=	11,18	-	1,68			
						=	9,51					
Aspal	6,8	%				X			1200		=	81,60
												1200,00

Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

Scanned with CamScanner

Analisa Data Variasi

K Kadar aspal efektif

Rumus :
kadar Aspal Efektif

$$A - \left(\left(\frac{P}{100}\right) \times \left(100 - A\right)\right)$$

Dimana :

A : Kadar aspal
P : Absorsi Aspal

Kadar Aspal 6.8 %
Sampel I (Satu)

$$6{,}8 - \left(\left(\frac{1{,}13}{100}\right) \times 100 - 6{,}80\right)\right) = 5{,}75$$

Absorbsi Aspal terhadap berat total campuran

Rumus :

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

Dimana :

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

Kadar Aspal 6.8 %

$$= 6{,}8 + \frac{1{,}005 \left(100 - 6{,}8\right)}{2{,}69} - \frac{100 \times 1{,}005}{2{,}48} = 1{,}13$$

A BJ Max Campuran

Rumus :

BJ Max Campuran :

$$\frac{100}{\frac{100 - A}{C} + \frac{A}{T}}$$

Dimana :

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

Kadar Aspal 6.8 %

Max Sg Combined Mix :

$$\frac{100}{\frac{100 - 6{,}8}{2{,}78} + \frac{6{,}8}{1{,}005}} = 2{,}482$$

Scanned with CamScanner

B Volume Benda Uji

Rumus :

Volume Benda uji = G - F

Dimana :

G : SSD
F : Berat Dalam Air

Abu Bunga Pinus 5% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

Volume Benda uji	:	1193,8	-	691,1	=	502,7

Sampel II (Dua)

Volume Benda uji	:	1195,1	-	693,3	=	501,8

Abu Bunga Pinus 10% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

Volume Benda uji	:	1187	-	689,9	=	497,1

Sampel II (Dua)

Volume Benda uji	:	1189,7	-	690,1	=	499,6

Abu Bunga Pinus 15% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

Volume Benda uji	:	1197,3	-	697,2	=	500,1

Sampel II (Dua)

Volume Benda uji	:	1198,1	-	698,9	=	499,2

Scanned with CamScanner

C BJ Bulk Campuran Pemadatan

Rumus :

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

Dimana :

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

Abu Bunga Pinus 5% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

BJ Bulk Campuran : $\frac{1188,6}{502,70}$ = 2,36

Sampel II (Dua)

BJ Bulk Campuran : $\frac{1188,4}{501,80}$ = 2,37

Abu Bunga Pinus 10% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

BJ Bulk Campuran : $\frac{1180,8}{497,10}$ = 2,38

Sampel II (Dua)

BJ Bulk Campuran : $\frac{1182,7}{499,60}$ = 2,37

Abu Bunga Pinus 15% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

BJ Bulk Campuran : $\frac{1180,2}{500,10}$ = 2,36

Sampel II (Dua)

BJ Bulk Campuran : $\frac{1178,9}{499,20}$ = 2,36

Scanned with CamScanner

D % VIM

Rumus :

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

Dimana :

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

Abu Bunga Pinus 5% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} \quad \frac{100 \quad (\quad 2{,}48 \quad - \quad 2{,}36 \quad)}{2{,}48} = 4{,}73 \ \%$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} \quad \frac{100 \quad (\quad 2{,}48 \quad - \quad 2{,}37 \quad)}{2{,}48} = 4{,}58 \ \%$$

Abu Bunga Pinus 10% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} \quad \frac{100 \quad (\quad 2{,}48 \quad - \quad 2{,}38 \quad)}{} = 4{,}29 \ \%$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} \quad \frac{100 \quad (\quad 2{,}48 \quad - \quad 2{,}37 \quad)}{2{,}48} = 4{,}62 \ \%$$

Abu Bunga Pinus 15% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

$$\% \text{ VIM} \quad \frac{100 \quad (\quad 2{,}48 \quad - \quad 2{,}36 \quad)}{2{,}48} = 4{,}92 \ \%$$

Sampel II (Dua)

$$\% \text{ VIM} \quad \frac{100 \quad (\quad 2{,}48 \quad - \quad 2{,}36 \quad)}{2{,}48} = 4{,}85 \ \%$$

Scanned with CamScanner

F Marshall Quotien (Kg/mm)

Rumus :

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

Dimana :

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

Abu Bunga Pinus 5% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

Marshall Quotien (Kg/mm) : $\frac{1379,14}{3,30}$ = 417,92 Kg/mm

Sampel II (Dua)

Marshall Quotien (Kg/mm) : $\frac{1487,62}{3,40}$ = 437,53 Kg/mm

Abu Bunga Pinus 10% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

Marshall Quotien (Kg/mm) : $\frac{1472,12}{3,55}$ = 414,68 Kg/mm

Sampel II (Dua)

Marshall Quotien (Kg/mm) : $\frac{1379,14}{3,35}$ = 411,68 Kg/mm

Abu Bunga Pinus 15% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

Marshall Quotien (Kg/mm) : $\frac{1379,14}{3,25}$ = 424,35 Kg/mm

Sampel II (Dua)

Marshall Quotien (Kg/mm) : $\frac{1441,13}{4,20}$ = 343,13 Kg/mm

Scanned with CamScanner

G VMA

Rumus :

$$VMA \quad 100 - \left(\frac{I}{B}\right) X \quad 100 - A$$

Dimana :

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

Abu Bunga Pinus 5% (3 Hari)

$$VMA : 100 - \left(\frac{2,36}{2,69}\right) X \quad 100 - 6,8 = 18,08 \%$$

Sampel II (Dua)

$$VMA : 100 - \left(\frac{2,37}{2,69}\right) X \quad 100 - 6,8 = 17,95 \%$$

Abu Bunga Pinus 10% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

$$VMA : 100 - \left(\frac{2,38}{2,69}\right) X \quad 100 - 6,8 = 17,7 \%$$

Sampel II (Dua)

$$VMA : 100 - \left(\frac{2,37}{2,69}\right) X \quad 100 - 6,8 = 17,98 \%$$

Abu Bunga Pinus 15% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

$$VMA : 100 - \left(\frac{2,36}{2,69}\right) X \quad 100 - 6,8 = 18,24 \%$$

Sampel II (Dua)

$$VMA : 100 - \left(\frac{2,36}{2,69}\right) X \quad 100 - 6,8 = 18,18 \%$$

Scanned with CamScanner

H VFB

Rumus :

$$VFB \quad \frac{(R - J)}{R} \times 100$$

Dimana :

R : Rongga dalam agregat
J : VIM

Abu Bunga Pinus 5% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

$$VFB : \frac{(18{,}08 - 4{,}73)}{18{,}08} \times 100 = 73{,}8 \ \%$$

Sampel II (Dua)

$$VFB : \frac{(17{,}95 - 4{,}58)}{17{,}95} \times 100 = 74{,}5 \ \%$$

Abu Bunga Pinus 10% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

$$VFB : \frac{(17{,}70 - 4{,}29)}{17{,}70} \times 100 = 75{,}7 \ \%$$

Sampel II (Dua)

$$VFB : \frac{(17{,}98 - 4{,}62)}{17{,}98} \times 100 = 74{,}3 \ \%$$

Abu Bunga Pinus 15% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

$$VFB : \frac{(18{,}24 - 4{,}92)}{18{,}24} \times 100 = 73{,}0 \ \%$$

Sampel II (Dua)

$$VFB : \frac{(18{,}18 - 4{,}85)}{18{,}18} \times 100 = 73{,}3 \ \%$$

Scanned with CamScanner

I Stabilitas

Stabilitas k x Angka koreksi x Angka kalibrasi

Dimana :

k : Pembacaan Stabilitas

Abu Bunga Pinus 5% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

89 x 1,04 x 14,9 = 1379,14 Kg

Sampel II (Dua)

96 x 1,04 x 14,9 = 1487,62 Kg

Abu Bunga Pinus 10% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

95 x 1,04 x 14,9 = 1472,12 Kg

Sampel II (Dua)

89 x 1,04 x 14,9 = 1379,14 Kg

Abu Bunga Pinus 15% (3 Hari)

Sampel I (Satu)

89 x 1,04 x 14,9 = 1379,14 Kg

Sampel II (Dua)

93 x 1,04 x 14,9 = 1441,13 Kg

Scanned with CamScanner

J tebal film

Rumus :

Tebal Film $\dfrac{1000\,(A - P)}{T.O\,(100 - A)}$

Dimana :

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

Kadar Aspal 6.8 %

Sampel I (Satu)

$$\frac{1000\,(6{,}8 - 1{,}13)}{1{,}005\;5{,}61\,(100 - 6{,}8)} = 10{,}79$$

Scanned with CamScanner

MARSHALL TEST

Nama	: Sally Patricia Sondakh	Penetrasi Aspal	: 60/70
		Berat Jenis Aspal (T)	: 1,005 gr/cc

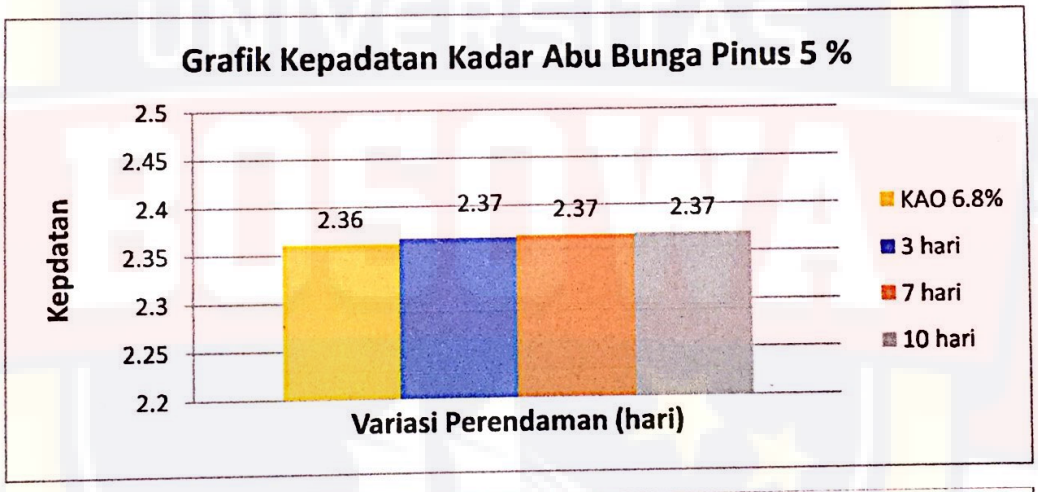
No	Agregat	Bj Bulk	Bj Semu
a	Batu Pecah 1 - 2	2,59	2,76
b	Batu Pecah 0,5 - 1	2,62	2,83
c	Abu Batu	2,78	3,01
d	Filler	3,17	3,17

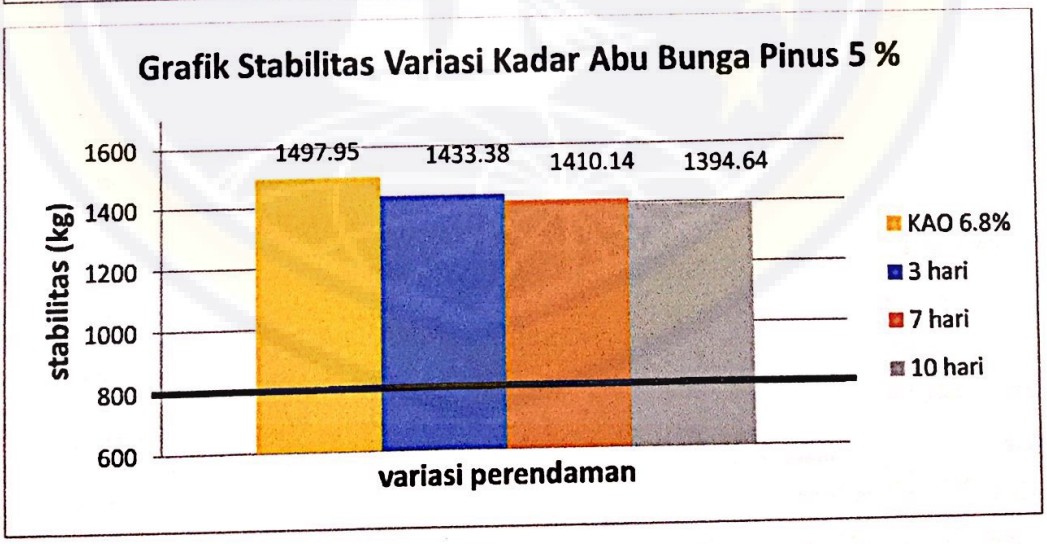
No	Proporsi Campuran (% Berat Total Agregat)				(%) Kadar Aspal Efektif	Kadar Aspal	Kadar Abu bunga pinus	Bj Bulk Gabungan	Bj Efektif Gabungan	Bj Maksimum Campuran (GMM)	Berat (Gram) Di Udara (In Air)	Dalam Air (In Water)	Kering Permukaan (SSD)	Volume Benda Uji	Bj Bulk Campuran (Kepadatan)	% Rongga Dalam Campuran (VIM)	Stabilitas (Kg) Pembacaan	Disesuaikan (Kalibrasi Alat &	(mm) Pelelehan	(kg / mm) Marshall Quetient	Luas Permukaan Agregat	Absorsi Aspal Terhadap Berat Total Campuran	Tebal Film	Rongga Dalam Agregat (VMA)	Rongga Terisi Aspal (VFB)
	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) x (100-A))	% terhadap total Campuran	% Terhadap Kadar Filler			100 / (100-A/C - A/T)				G - F	E / H	100 (D - I) / D		(Pembacaan x Kalibrasi Alat) x Angka		L / M	Combine	A + T(100-A)/B - 100.T/D	1000(A - P) / TO (100 - A)	100 - (I / B) x (100 - A)	(R - J) / R X 100
IA	20	50	29	1	5,75	6,8	5	2,69	2,78	2,482	1188,6	691,1	1193,8	502,70	2,36	4,7	89	1379,14	3,30	417,92	5,61	1,13	10,80	18,08	73,82
IIA	20	50	29	1	5,75	6,8	5	2,69	2,78	2,482	1188,4	693,3	1195,1	501,80	2,37	4,6	96	1487,616	3,40	437,53	5,61	1,13	10,80	17,95	74,49
	Perendaman 3 Hari 30 Menit Suhu 60^{0}C									2,482				502,25	2,37	4,7	92,50	1433,38	3,35	427,73	5,61	1,13	10,80	18,01	74,15
IB	20	50	29	1	5,75	6,8	5	2,69	2,78	2,482	1184,9	680,2	1181,2	501,00	2,37	4,7	106	1642,58	3,50	469,31	5,61	1,13	10,80	18,06	73,93
IIB	20	50	29	1	5,75	6,8	5	2,69	2,78	2,482	1187,9	692,4	1193,3	500,90	2,37	4,4	76	1177,70	3,40	346,38	5,61	1,13	10,80	17,83	75,06
	Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60^{0}C									2,482				500,95	2,37	4,6	91,00	1410,14	3,45	407,84	5,61	1,13	10,80	17,95	74,49
IC	20	50	29	1	5,75	6,8	5	2,69	2,78	2,482	1180,1	686,7	1183,8	497,10	2,37	4,3	85	1317,16	3,30	399,14	5,61	1,13	10,80	17,75	75,49
IIC	20	50	29	1	5,75	6,8	5	2,69	2,78	2,482	1179,8	685,9	1184,9	499,00	2,36	4,7	95	1472,12	3,95	372,69	5,61	1,13	10,80	18,08	73,80
	Perendaman 10 Hari 30 Menit Suhu 60^{0}C									2,482				498,05	2,37	4,5	90,00	1394,64	3,63	385,91	5,61	1,13	10,80	17,92	74,65
IA	20	50	29	1	5,75	6,8	10	2,69	2,78	2,482	1180,8	689,9	1187,0	497,10	2,38	4,3	95	1472,12	3,55	414,68	5,61	1,13	10,80	17,70	75,75
IIA	20	50	29	1	5,75	6,8	10	2,69	2,78	2,482	1182,7	690,1	1189,7	499,60	2,37	4,6	89	1379,14	3,35	411,68	5,61	1,13	10,80	17,98	74,31
	Perendaman 3 Hari 30 Menit Suhu 60^{0}C									Rata - rata				498,35	2,37	4,5	92,00	1425,63	3,45	413,18	5,61	1,13	10,80	17,84	75,03
IB	20	50	29	1	5,75	6,8	10	2,69	2,78	2,482	1179,4	687,5	1185,2	497,70	2,37	4,5	99	1534,104	3,18	482,42	5,61	1,13	10,80	17,90	74,74
IIB	20	50	29	1	5,75	6,8	10	2,69	2,78	2,482	1178,9	686,5	1186,4	499,90	2,36	5,0	82	1270,672	4,00	317,67	5,61	1,13	10,80	18,29	72,77
	Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60^{0}C									Rata - rata				498,80	2,36	4,8	90,50	1402,39	3,59	400,05	5,61	1,13	10,80	18,10	73,75
IC	20	50	29	1	5,75	6,8	10	2,69	2,78	2,482	1186,1	685	1186,9	501,90	2,36	4,8	96	1487,62	4,25	350,03	5,61	1,13	10,80	18,12	73,61
IIC	20	50	29	1	5,75	6,8	10	2,69	2,78	2,482	1183,9	683,9	1185,1	501,20	2,36	4,8	84	1301,66	3,50	371,90	5,61	1,13	10,80	18,16	73,42
	Perendaman 10 Hari 30 Menit Suhu 60^{0}C									Rata - rata				501,55	2,36	4,8	90,00	1394,64	3,88	360,97	5,61	1,13	10,80	18,14	73,51
IA	20	50	29	1	5,75	6,8	15	2,69	2,78	2,482	1180,2	697,2	1197,3	500,10	2,36	4,9	89	1379,14	3,25	424,35	5,61	1,13	10,80	18,24	73,05
IIA	20	50	29	1	5,75	6,8	15	2,69	2,78	2,482	1178,9	698,9	1198,1	499,20	2,36	4,8	93	1441,13	4,20	343,13	5,61	1,13	10,80	18,18	73,33
	Perendaman 3 Hari 30 Menit Suhu 60^{0}C									Rata - rata				499,65	2,36	4,9	91,00	1410,14	3,73	383,74	5,61	1,13	10,80	18,21	73,19
IB	20	50	29	1	5,75	6,8	15	2,69	2,78	2,482	1169,5	693,0	1190,9	497,90	2,35	5,4	94	1456,62	3,65	399,08	5,61	1,13	10,80	18,62	71,21
IIB	20	50	29	1	5,75	6,8	15	2,69	2,78	2,482	1171,4	696,9	1196,3	499,40	2,35	5,5	85	1317,16	3,90	337,73	5,61	1,13	10,80	18,73	70,68
	Perendaman 7 Hari 30 Menit Suhu 60^{0}C									Rata - rata				498,65	2,35	5,4	89,50	1386,89	3,78	368,40	5,61	1,13	10,80	18,68	70,94
IC	20	50	29	1	5,75	6,8	15	2,69	2,78	2,482	1174,3	687,6	1186,6	499,00	2,35	5,2	96	1487,616	3,95	376,61	5,61	1,13	10,80	18,47	71,94
IIC	20	50	29	1	5,75	6,8	15	2,69	2,78	2,482	1164,8	690,0	1189,0	499,00	2,33	5,9	82	1270,67	4,40	288,79	5,61	1,13	10,80	19,12	68,89
	Perendaman 10 Hari 30 Menit Suhu 60^{0}C									Rata - rata				499,00	2,34	5,6	89,00	1379,14	4,18	332,70	5,61	1,13	10,80	18,80	70,41
SPESIFIKASI																Min 3,0 - 5,0		Min 800	Min 2 - 4	min 250		max 1,2		Min 15	Min 65

Data dan Grafik Hasil Uji Variasi

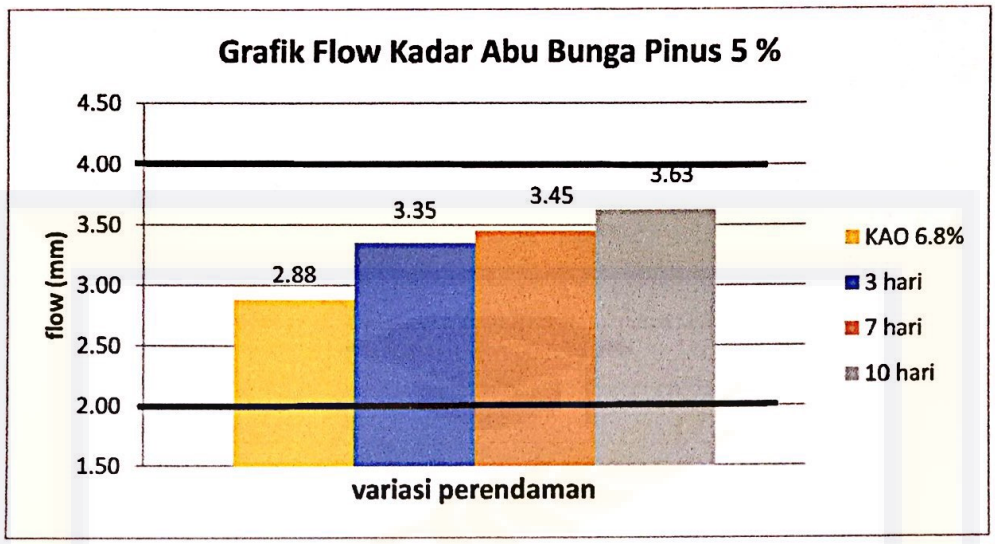
ABU BUNGA PINUS 5%

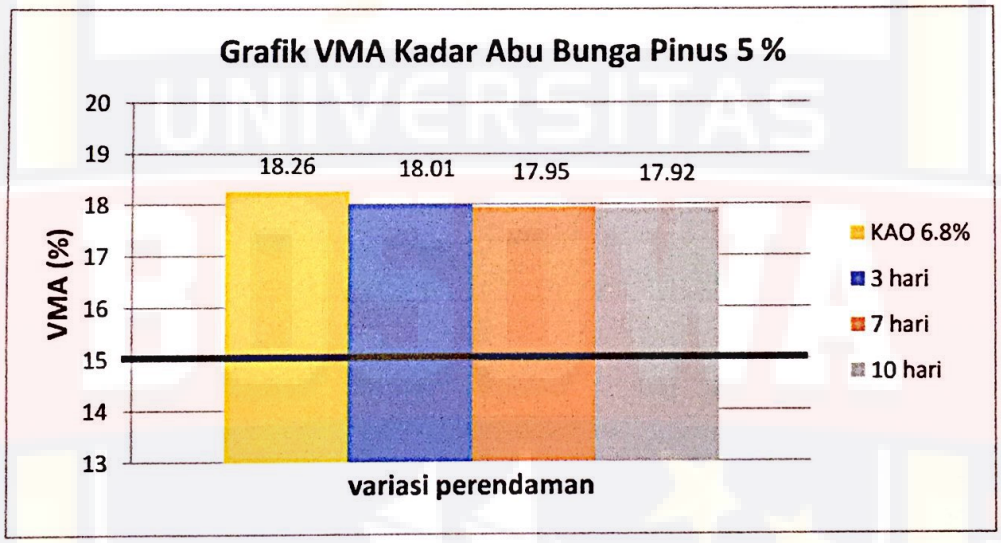
No	Pemeriksaan	Penggunaan Filler A.B Pinus 5%				Spesifikasi 2018
		KAO 6,8 %				
		Abu Bunga Pinus 5 %				
		KAO 6,8%	3 Hari	7 Hari	10 Hari	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,37	2,37	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1433,38	1410,14	1394,64	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,35	3,45	3,63	2-4
4	VMA (%)	18,26	18,01	17,95	17,92	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,66	4,58	4,54	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,15	74,49	74,65	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	427,73	407,84	385,91	Min 250

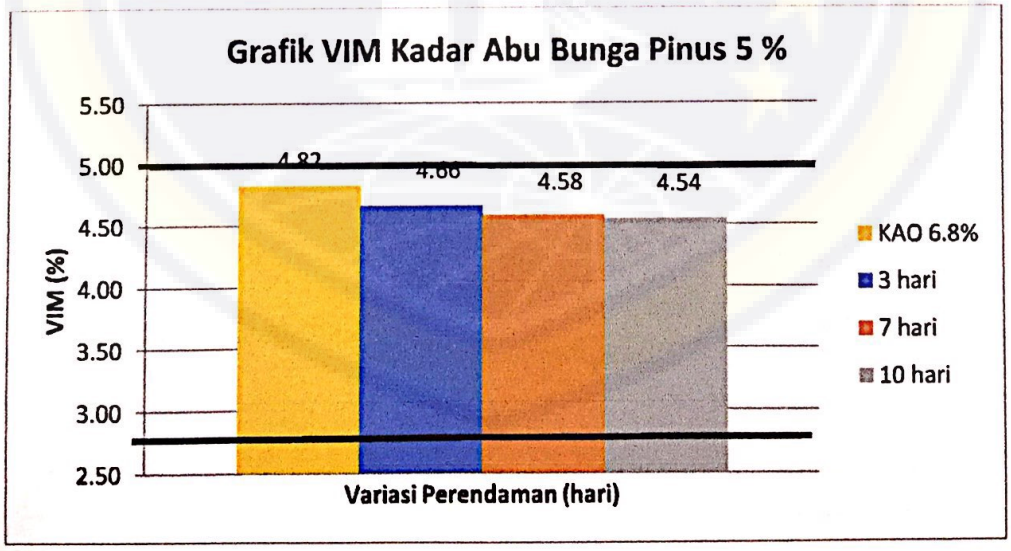




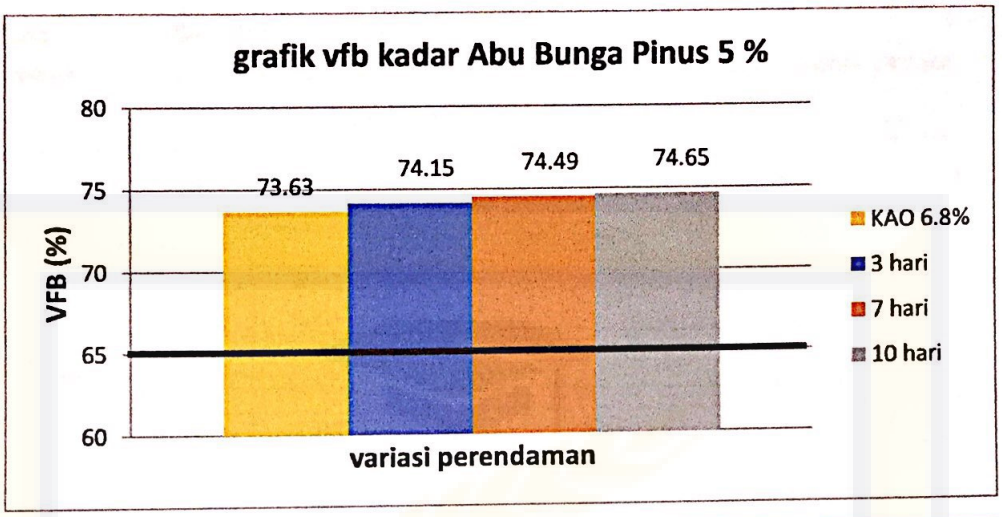
Scanned with CamScanner

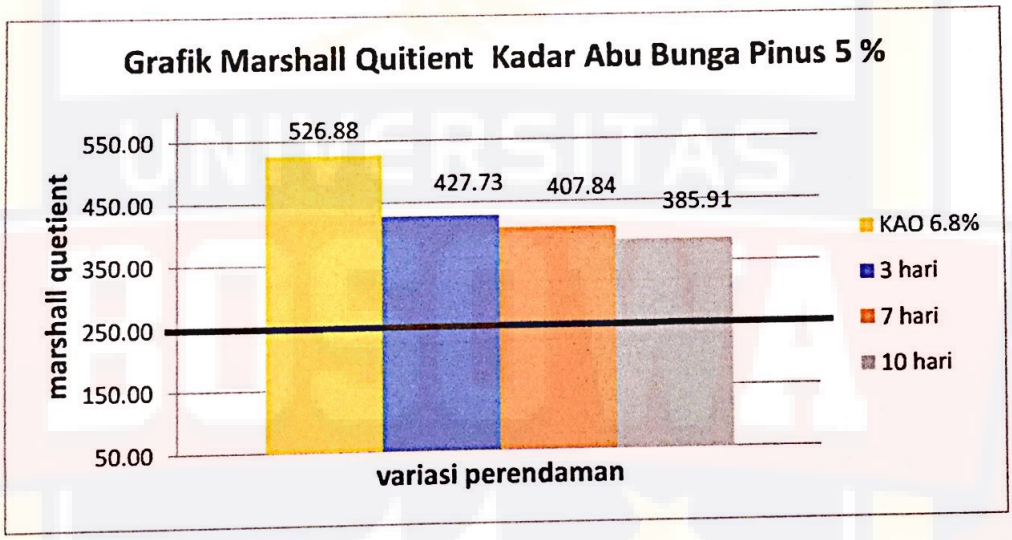






Scanned with CamScanner





Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

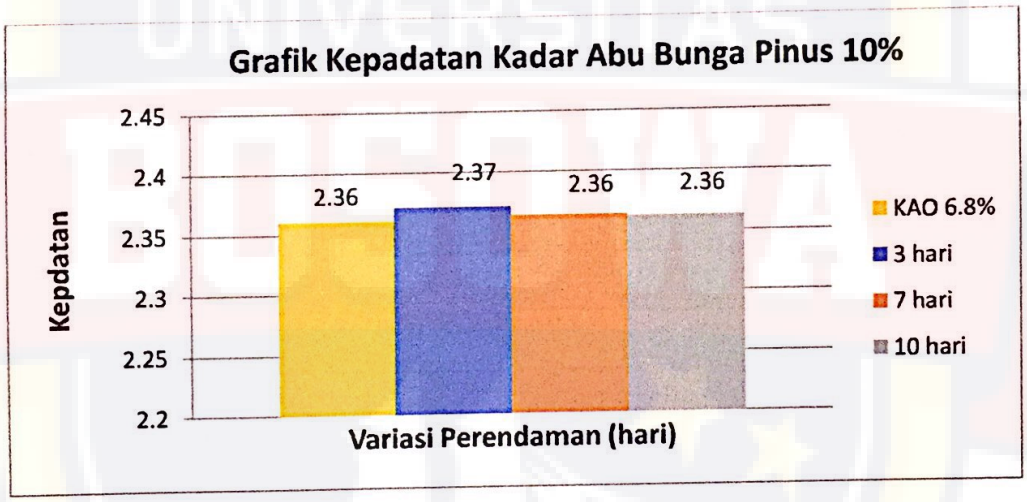
Scanned with CamScanner

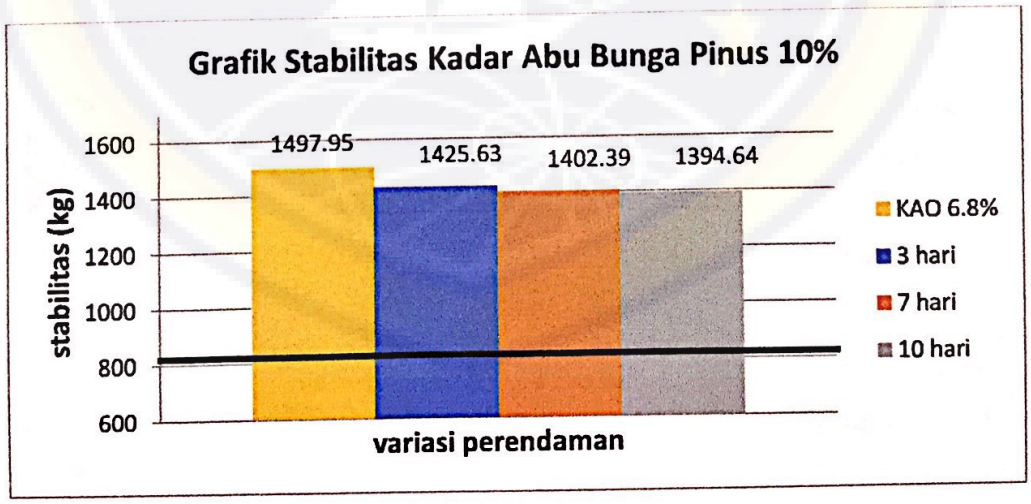
LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

Nama : Sally Patricia Sondakh
Sumber : Lab. Aspal dan Bahan Jalan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Unibos

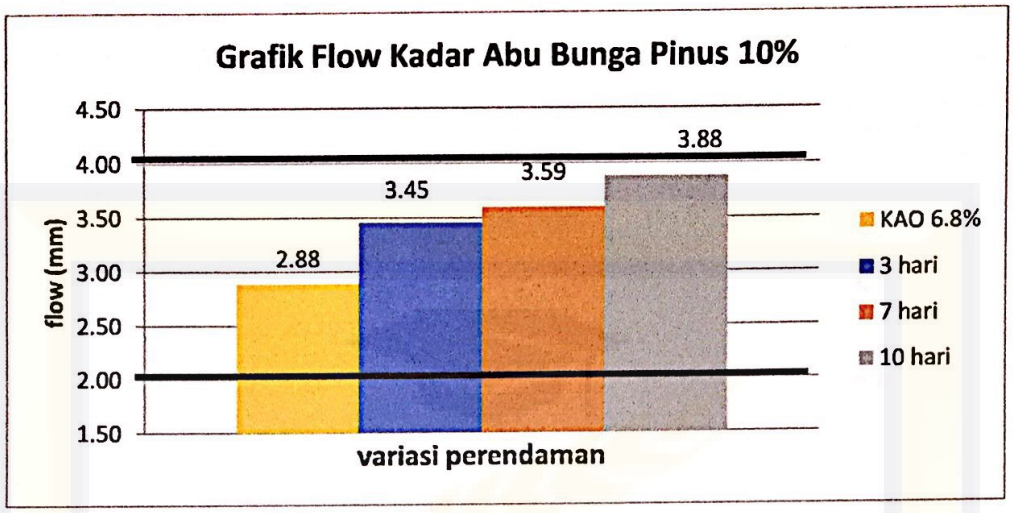
ABU BUNGA PINUS 10%

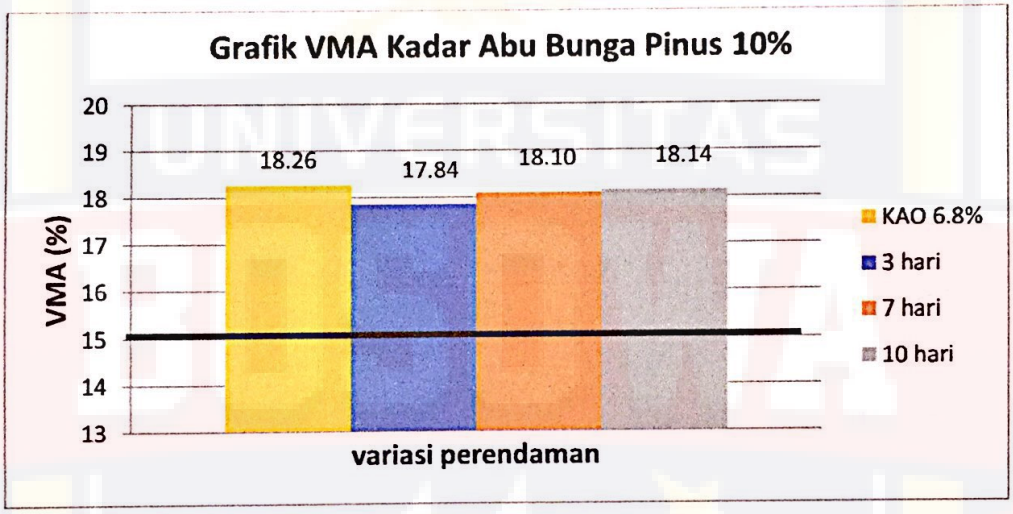
No	Pemeriksaan	Penggunaan Filler A.B Pinus 10%				Spesifikasi 2018
		KAO 6,8 %				
		Kadar A.B Pinus 10 %				
		KAO 6,8%	3 Hari	7 Hari	10 Hari	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,36	2,36	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1425,63	1402,39	1394,64	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,45	3,59	3,88	2-4
4	VMA (%)	18,26	17,84	18,10	18,14	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,46	4,75	4,80	3-5
6	VFB (%)	73,63	75,03	73,75	73,51	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	413,18	400,05	360,97	Min 250

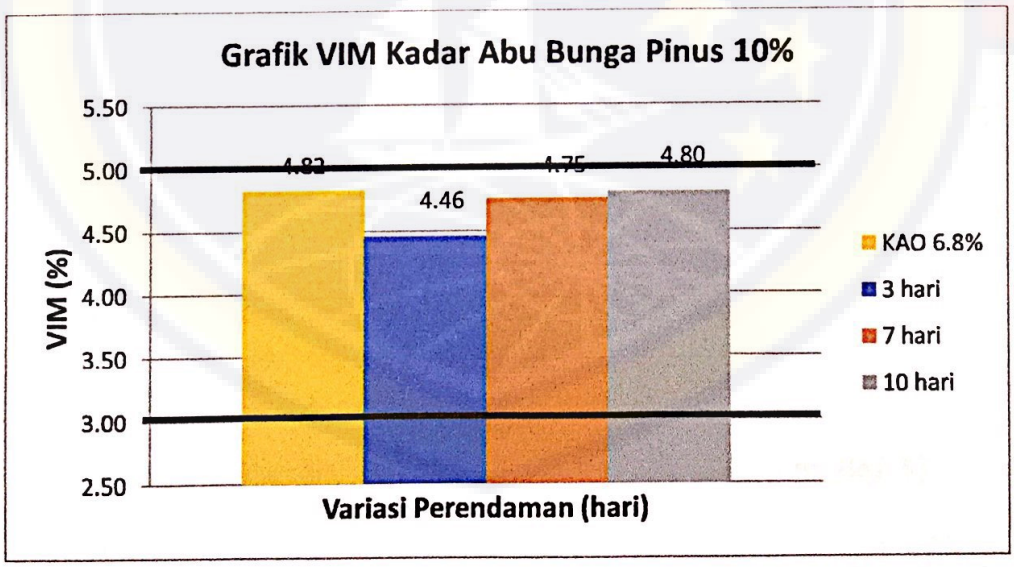




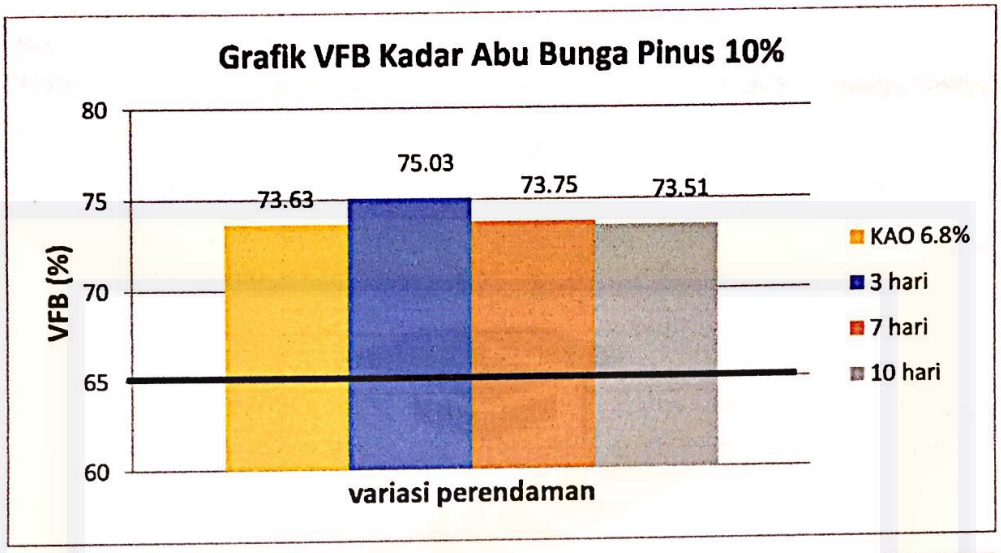
Scanned with CamScanner

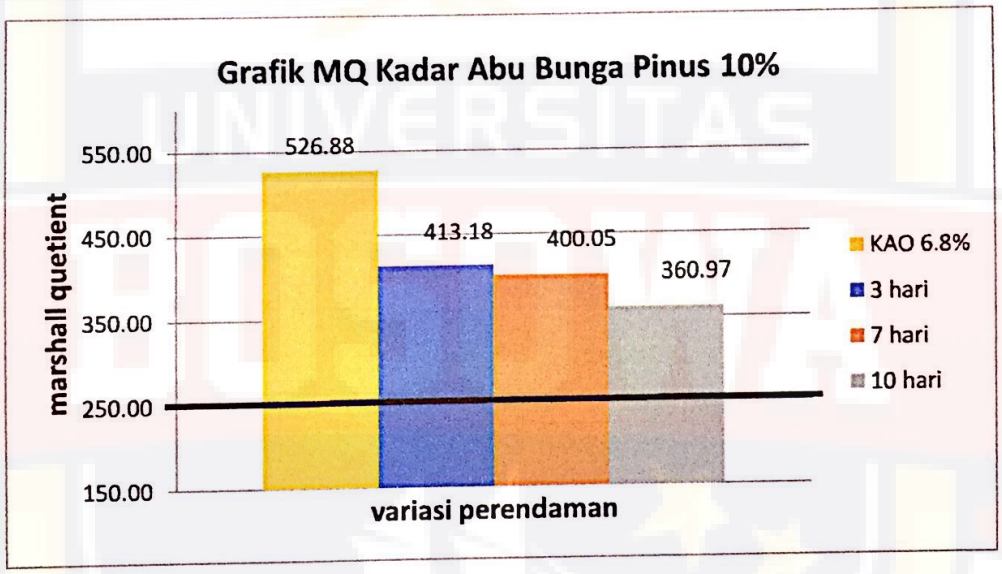






Scanned with CamScanner





Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

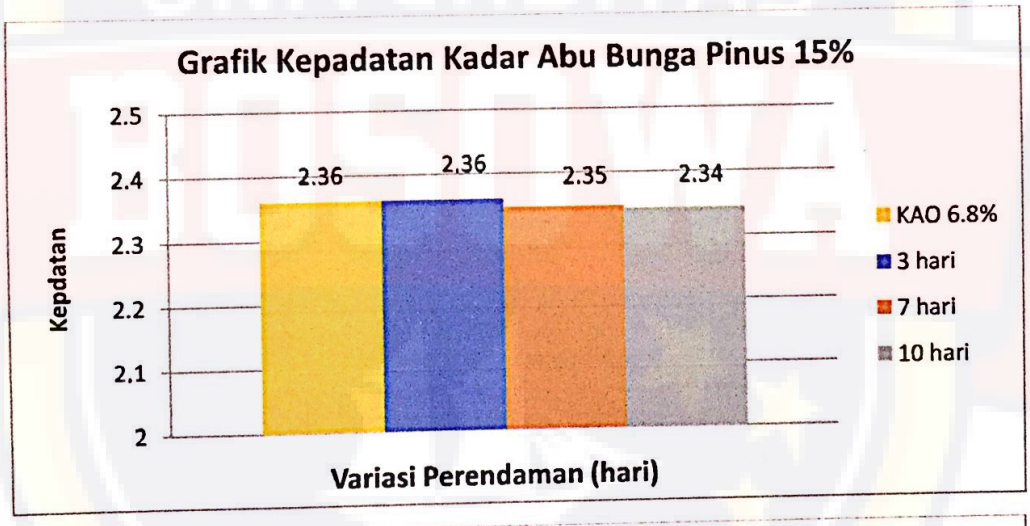
Scanned with CamScanner

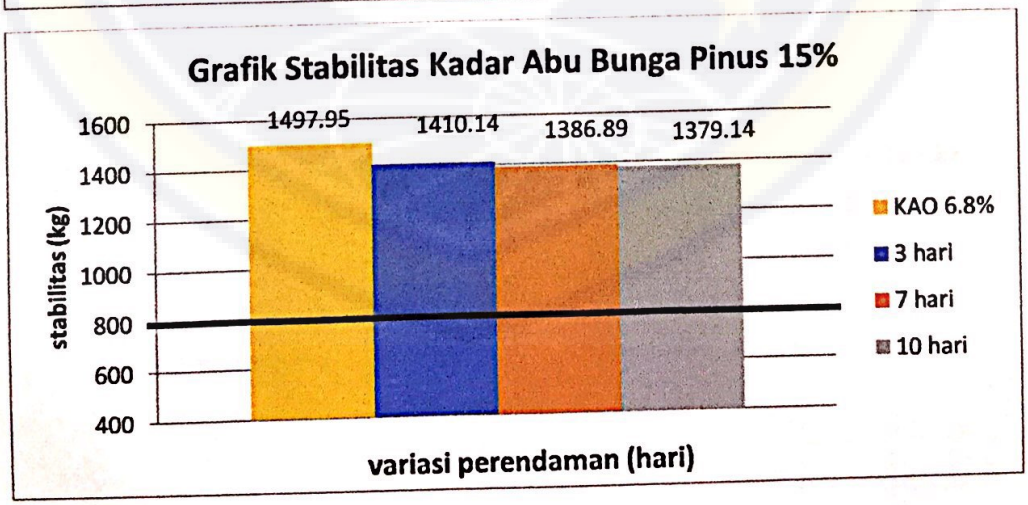
LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

Nama : Sally Patricia Sondakh
Sumber : Lab. Aspal dan Bahan Jalan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Unibos

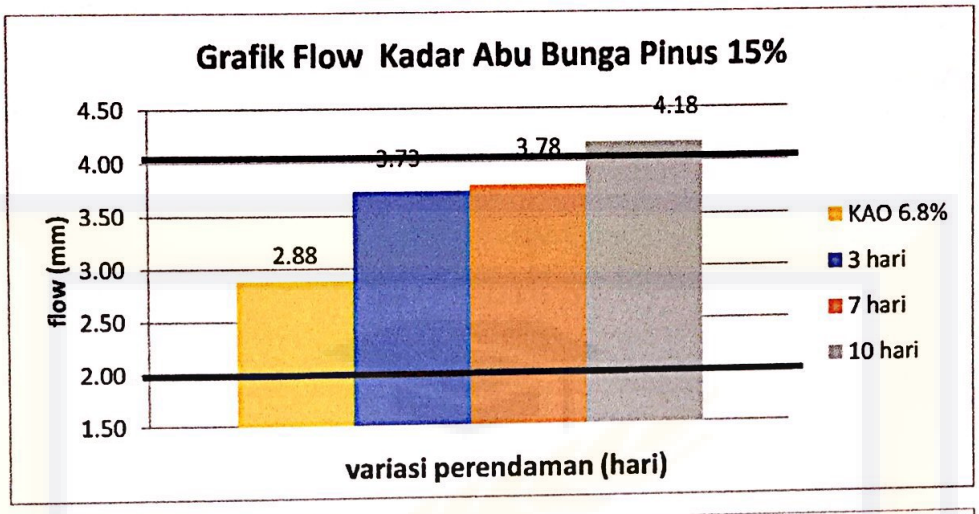
ABU BUNGA PINUS 15%

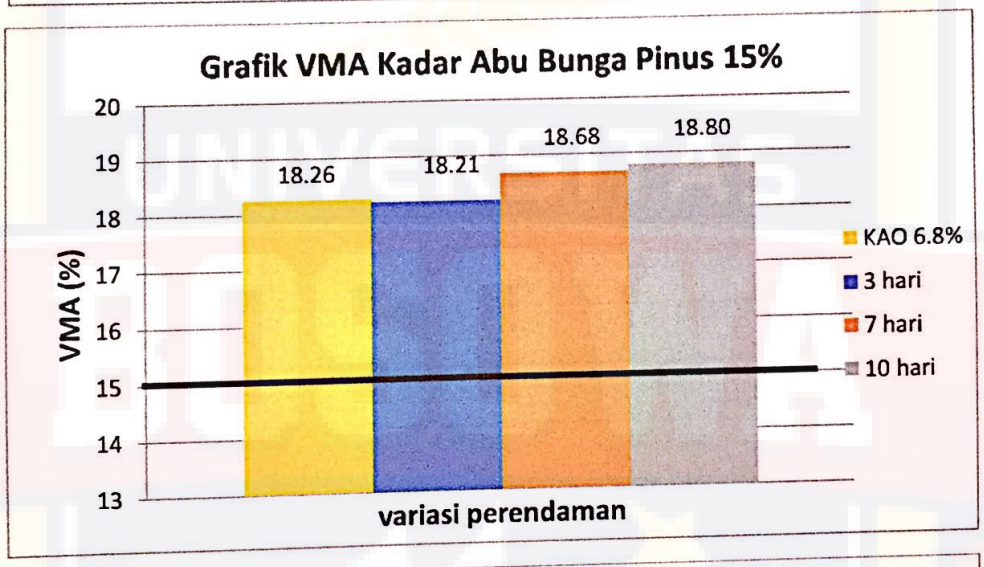
No	Pemeriksaan	Penggunaan Filler A.B Pinus 15%				Spesifikasi 2018
		KAO 6,8 %				
		Kadar Abu Bunga Pinus 15 %				
		KAO 6,8%	3 Hari	7 Hari	10 Hari	
1	Kepadatan	2,36	2,36	2,35	2,34	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1410,14	1386,89	1379,14	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,73	3,78	4,18	2-4
4	VMA (%)	18,26	18,21	18,68	18,80	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,88	5,43	5,57	3-5
6	VFB (%)	73,63	73,19	70,94	70,41	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	383,74	368,40	332,70	Min 250

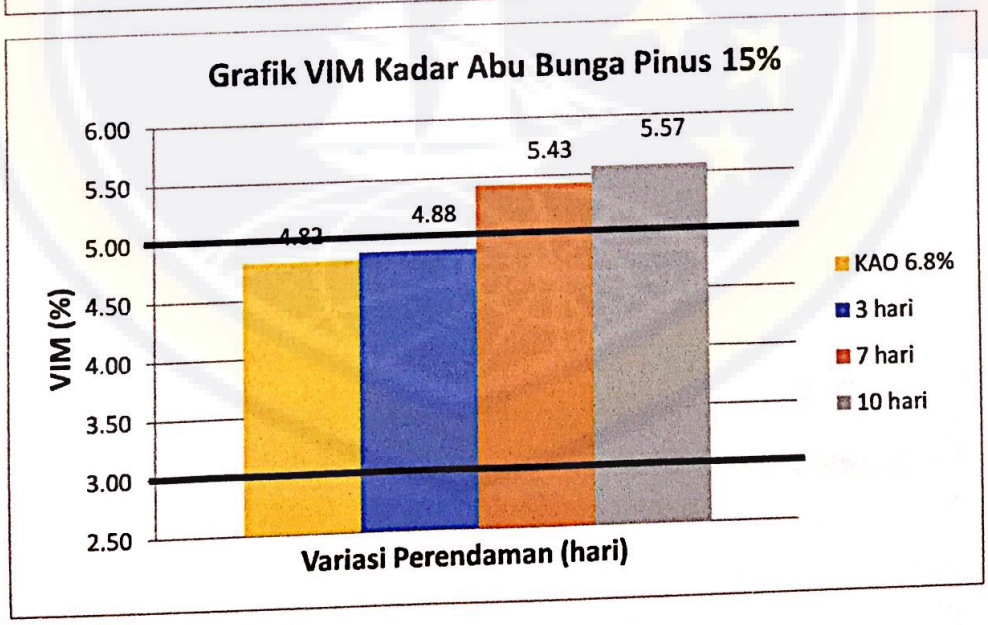




Scanned with CamScanner

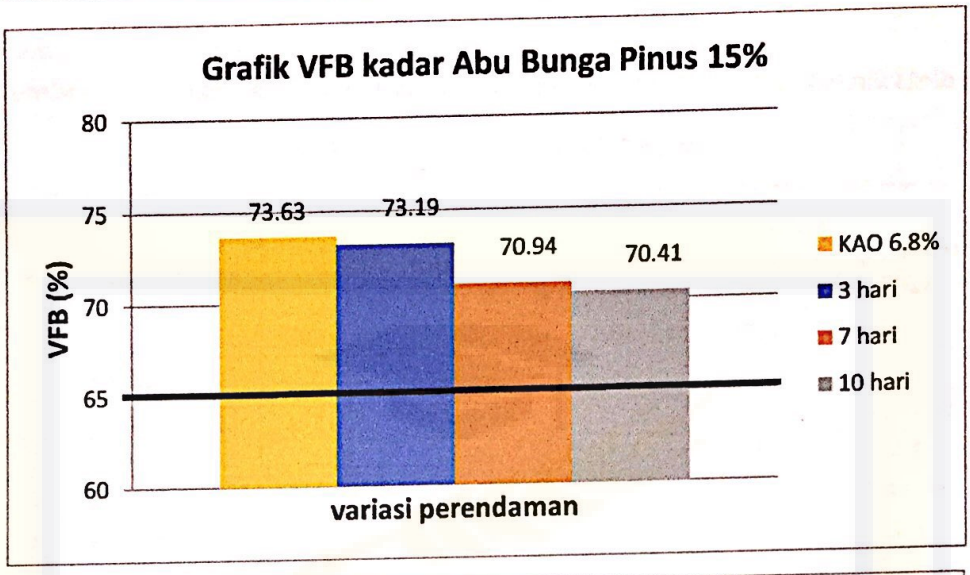


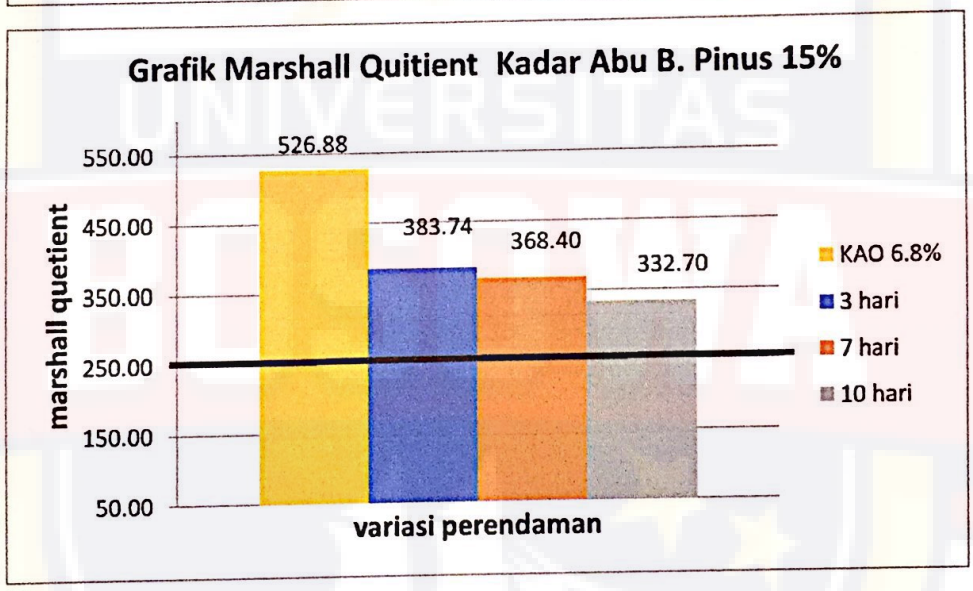




Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279





Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

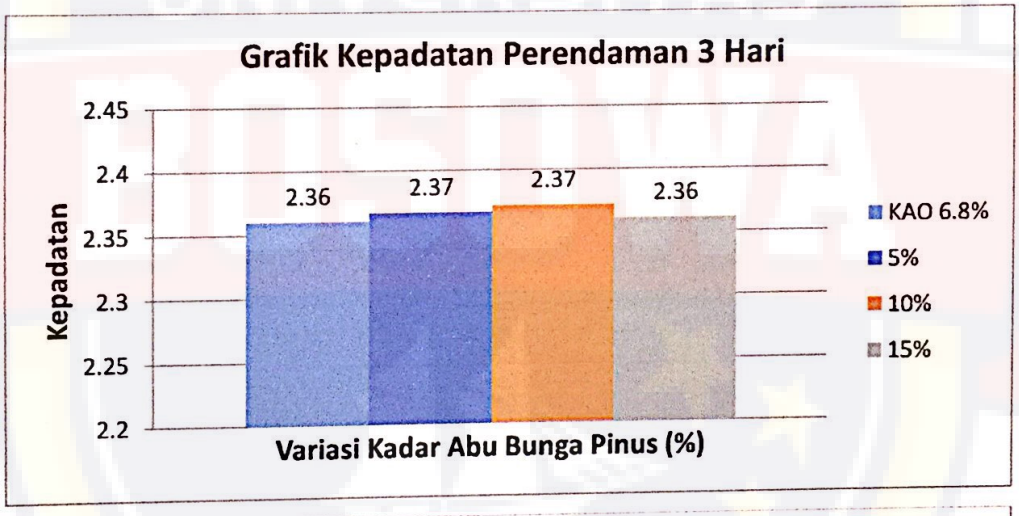
Scanned with CamScanner

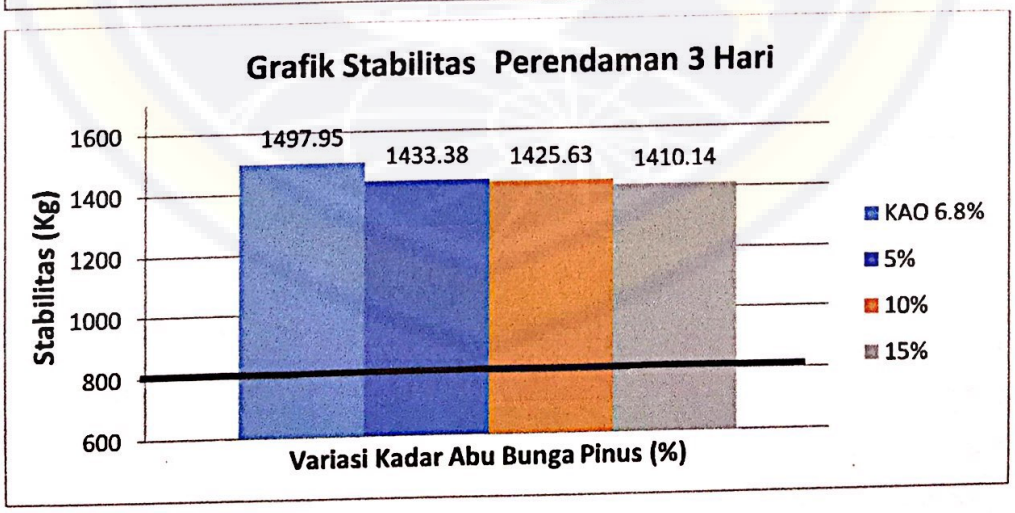
LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

Nama : Sally Patricia Sondakh
Sumber : Lab. Aspal dan Bahan Jalan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Unibos

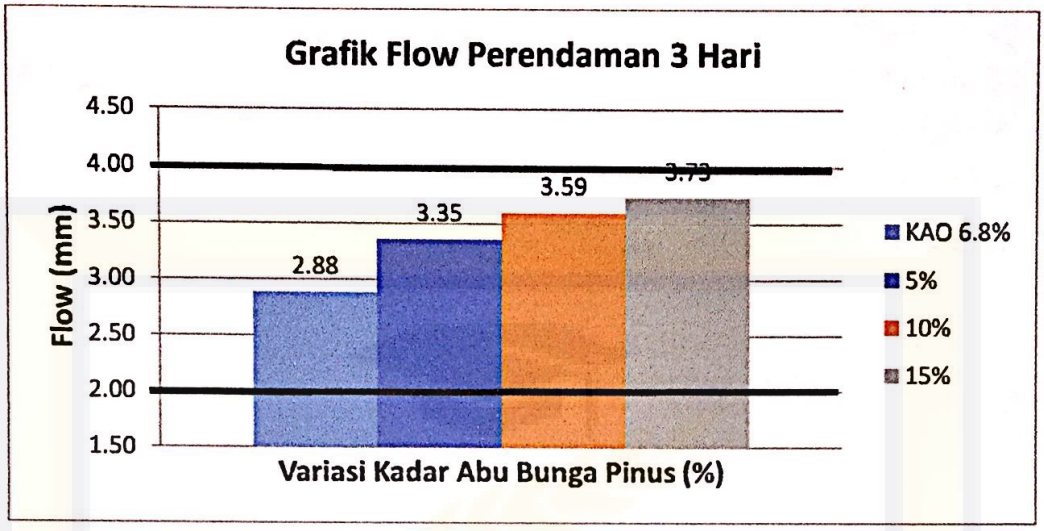
PERENDAMAN BERULANG 3 HARI

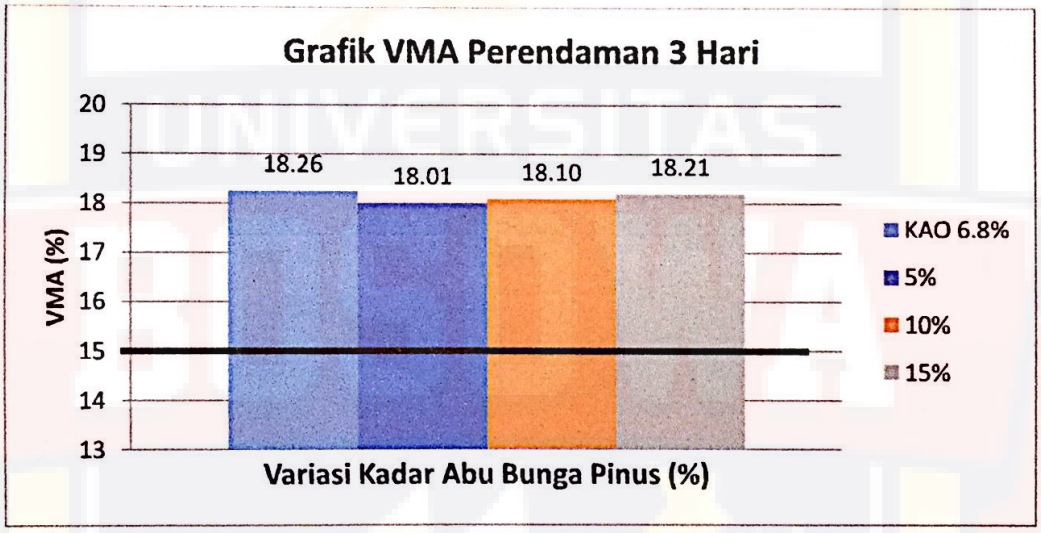
No	Pemeriksaan	KAO 6,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 3 Hari				
		Kadar Abu Bunga Pinus				
		KAO 6.8%	5%	10%	15%	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,37	2,36	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1433,38	1425,63	1410,14	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,35	3,59	3,73	2-4
4	VMA (%)	18,26	18,01	18,10	18,21	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,66	4,80	4,88	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,15	73,75	73,19	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	427,73	400,05	383,74	Min 250

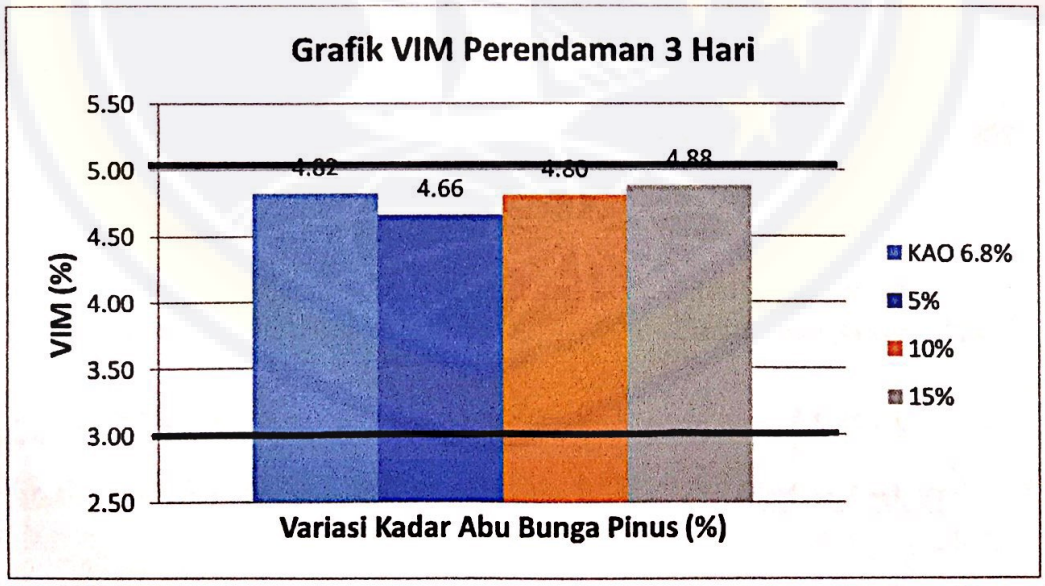




Scanned with CamScanner

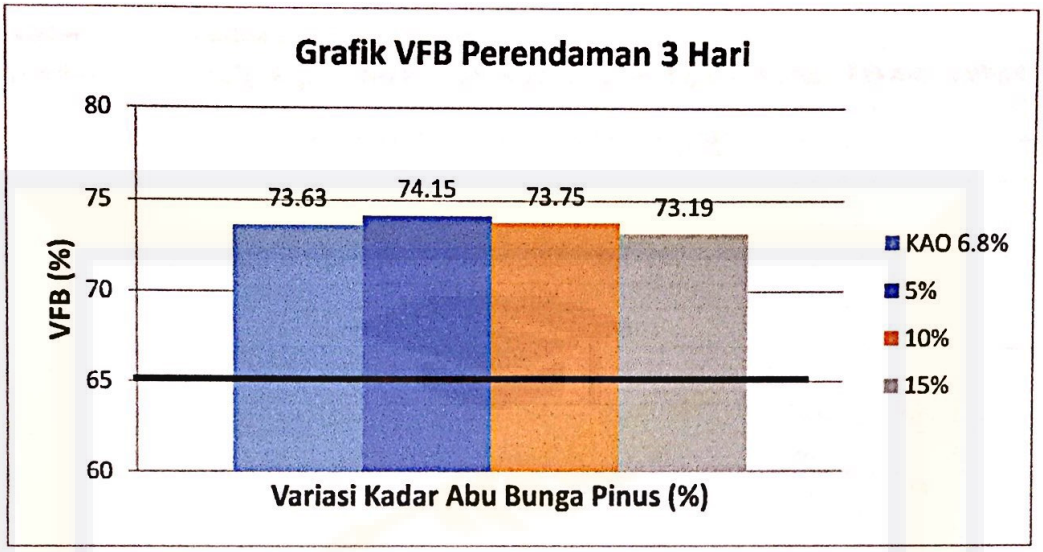


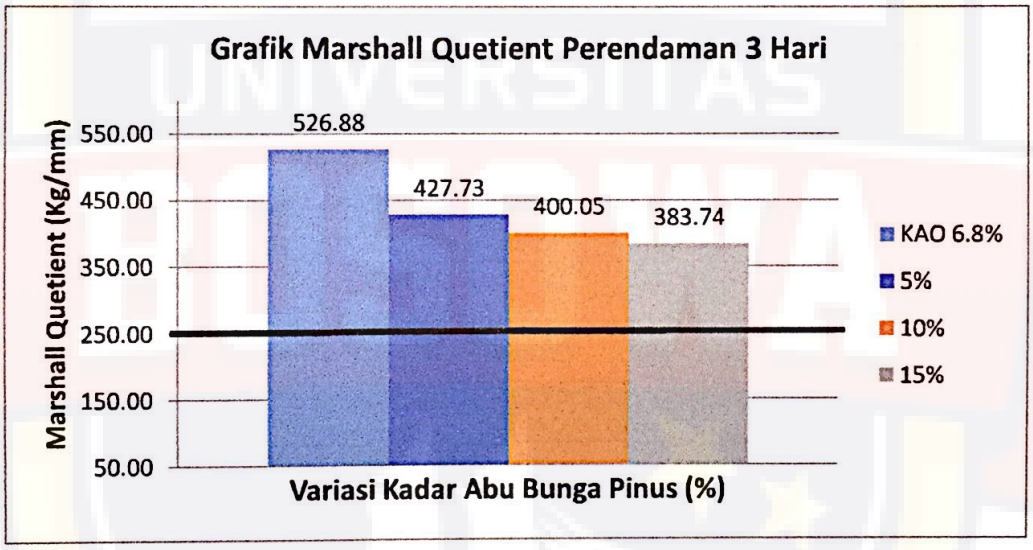




Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279





Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

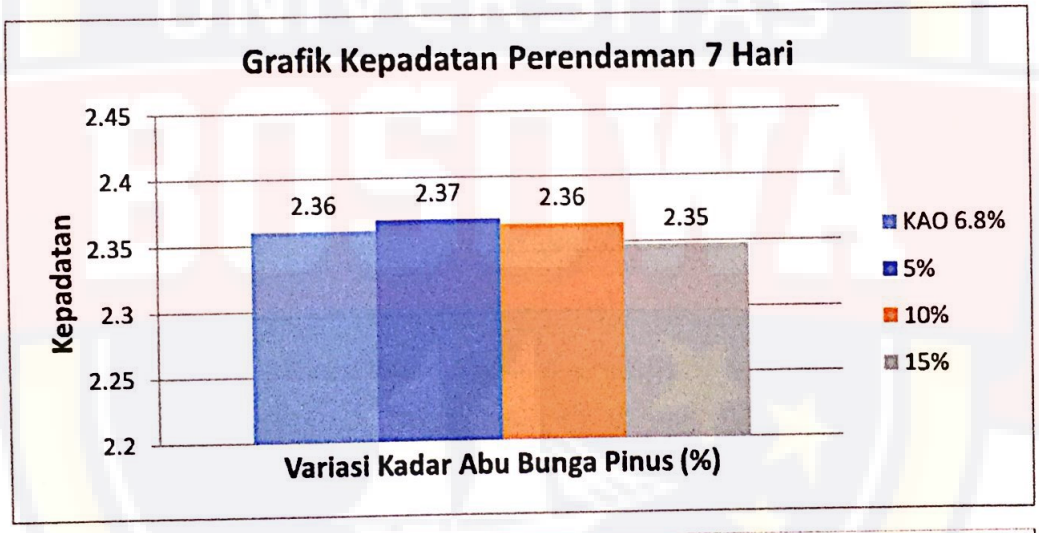
Scanned with CamScanner

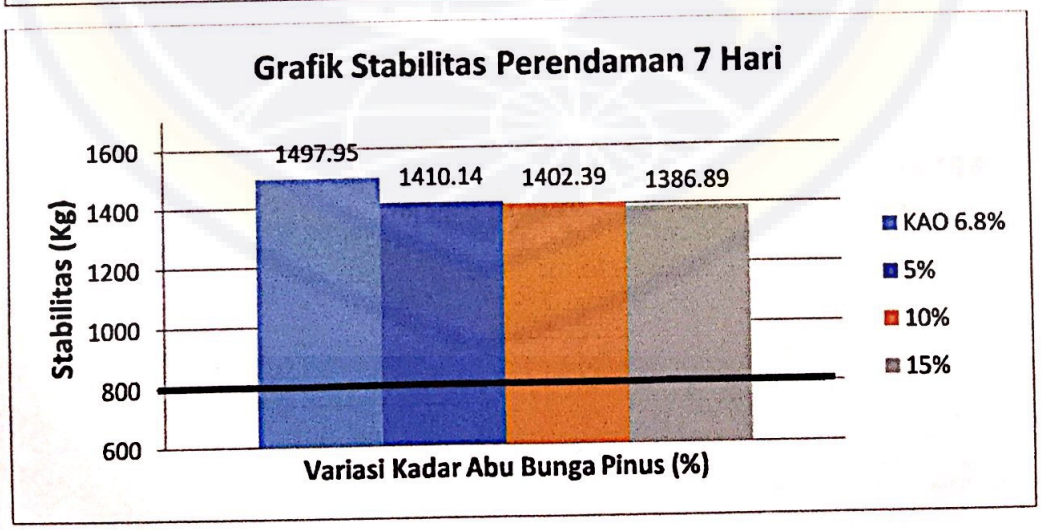
LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

Nama : Sally Patricia Sondakh
Sumber : Lab. Aspal dan Bahan Jalan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Unibos

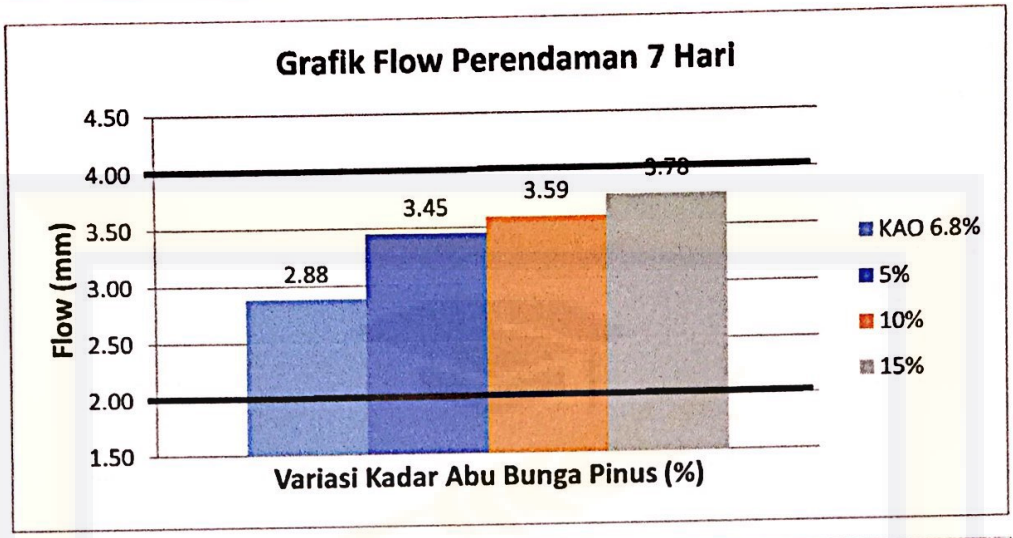
PERENDAMAN BERULANG 7 HARI

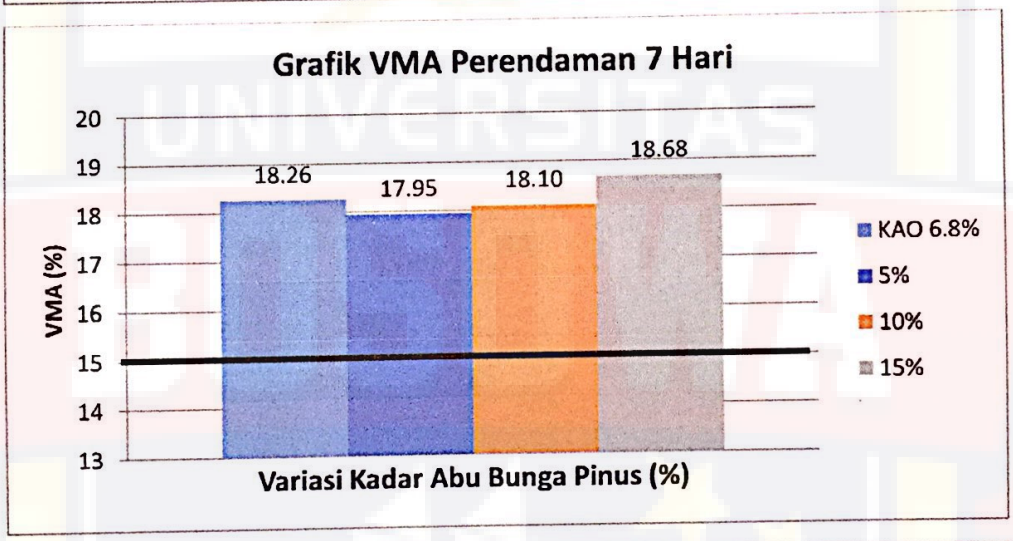
No	Pemeriksaan	KAO 6,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 7 Hari				
		Kadar Abu Bunga Pinus				
		KAO 6.8%	5%	10%	15%	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,36	2,35	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1410,14	1402,39	1386,89	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,45	3,59	3,78	2-4
4	VMA (%)	18,26	17,95	18,10	18,68	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,58	4,75	5,43	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,49	73,75	70,94	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	407,84	400,05	368,40	Min 250

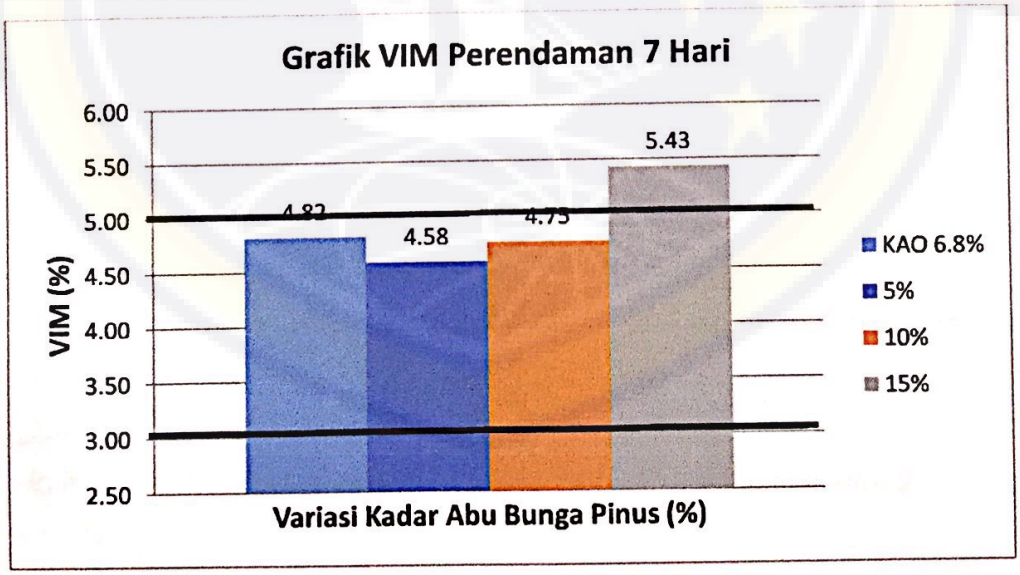




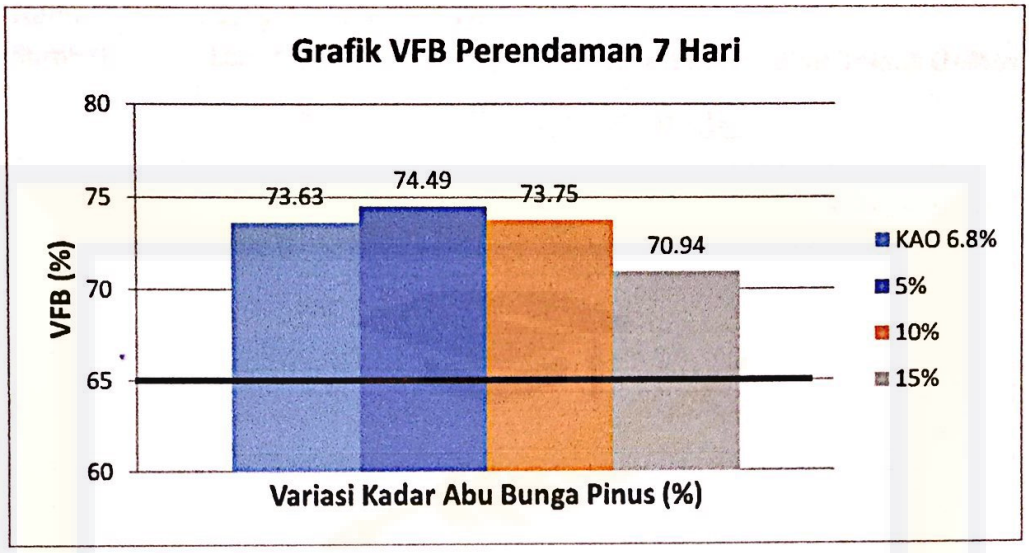
Scanned with CamScanner

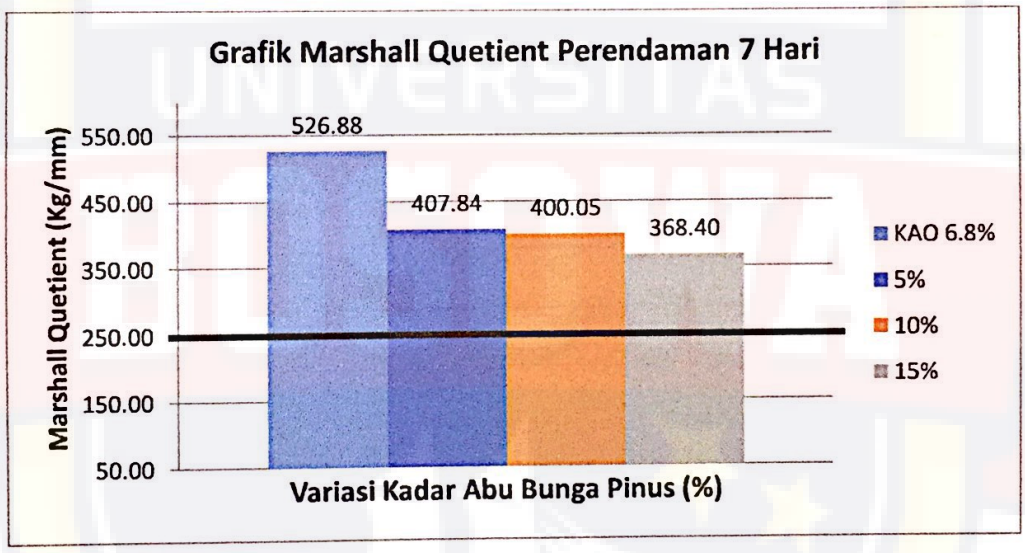






Scanned with CamScanner





Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

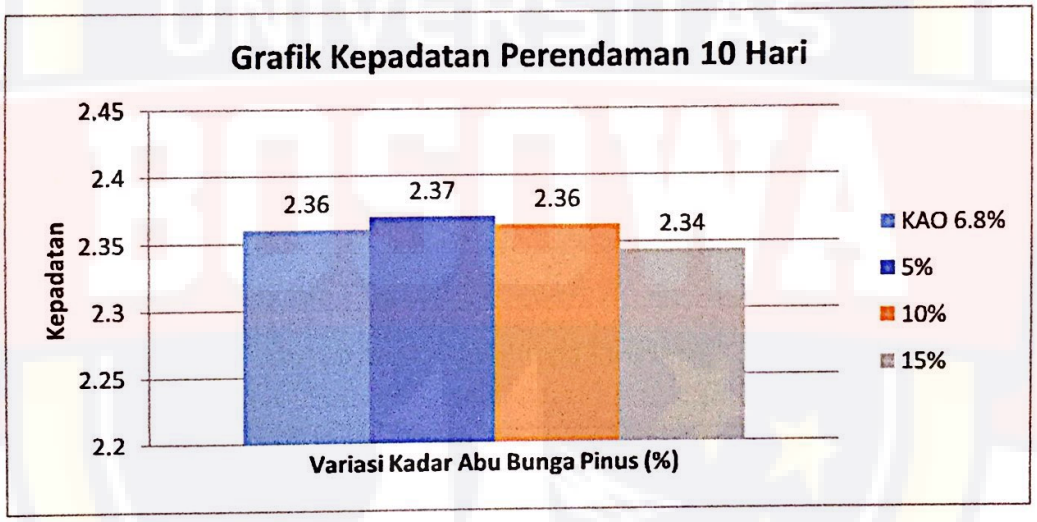
Scanned with CamScanner

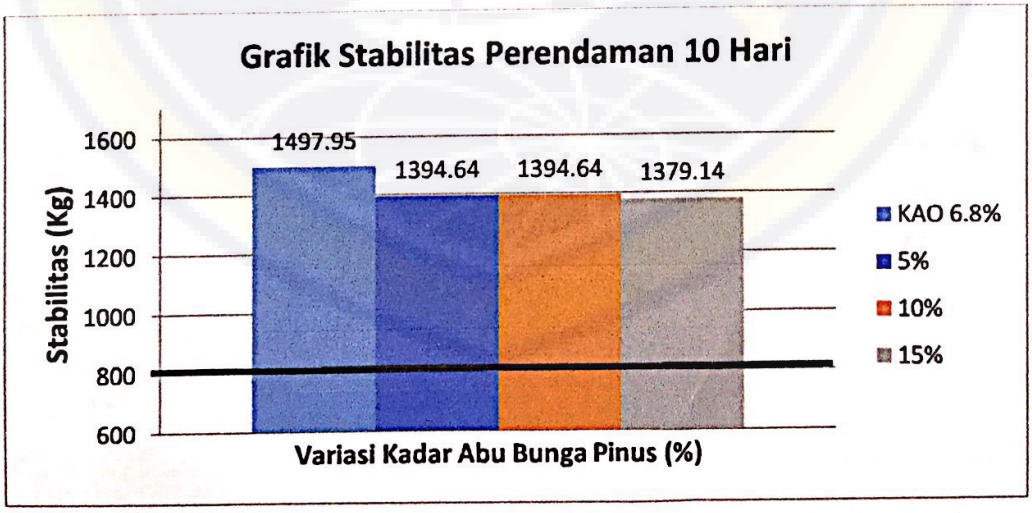
LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279

Nama : Sally Patricia Sondakh
Sumber : Lab. Aspal dan Bahan Jalan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Unibos

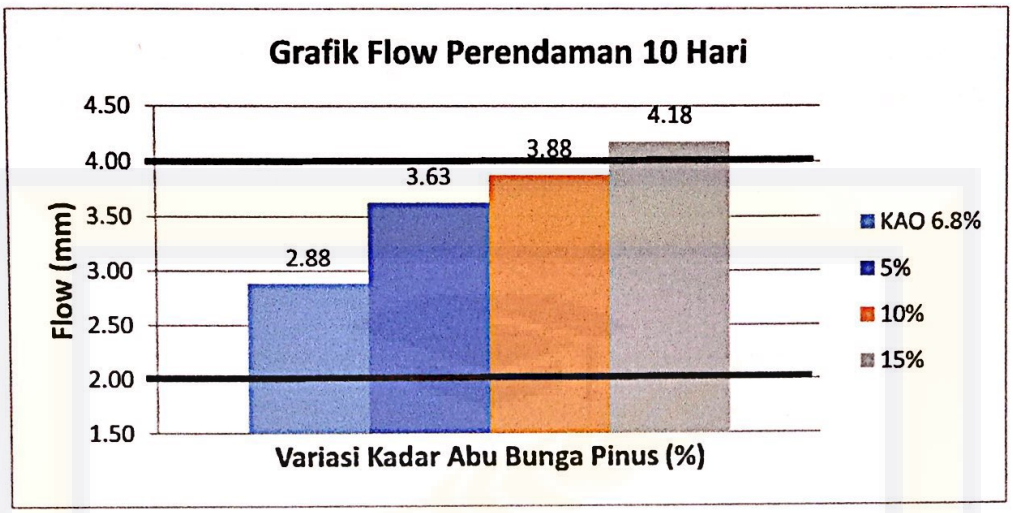
PERENDAMAN BERULANG 10 HARI

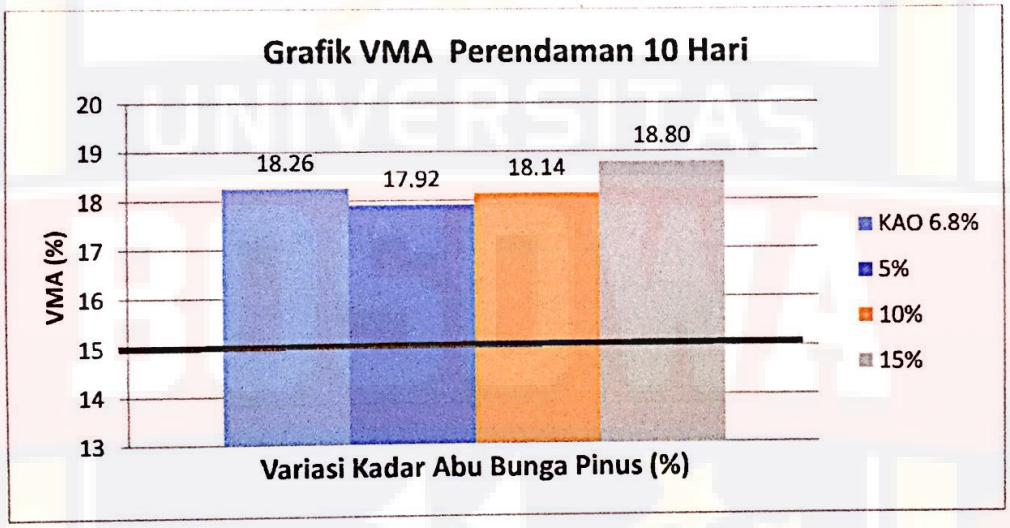
No	Pemeriksaan	KAO 6,8 % Perendaman 10 Hari Kadar Abu Bunga Pinus				Spesifikasi 2018
		KAO 6.8%	5%	10%	15%	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,36	2,34	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1394,64	1394,64	1379,14	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,63	3,88	4,18	2-4
4	VMA (%)	18,26	17,92	18,14	18,80	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,54	4,80	5,57	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,65	73,51	70,41	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	385,91	360,97	332,70	Min 250

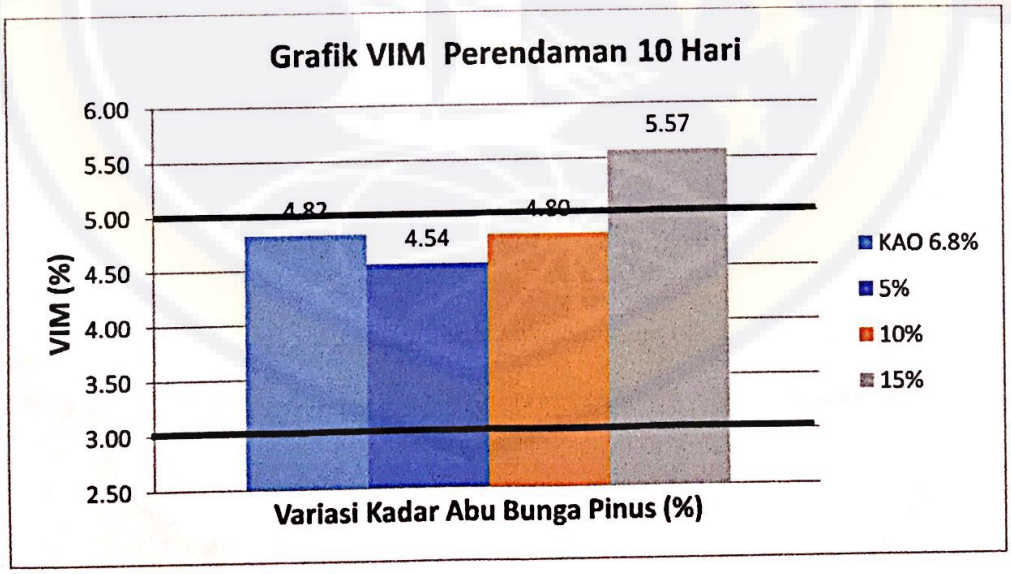




Scanned with CamScanner

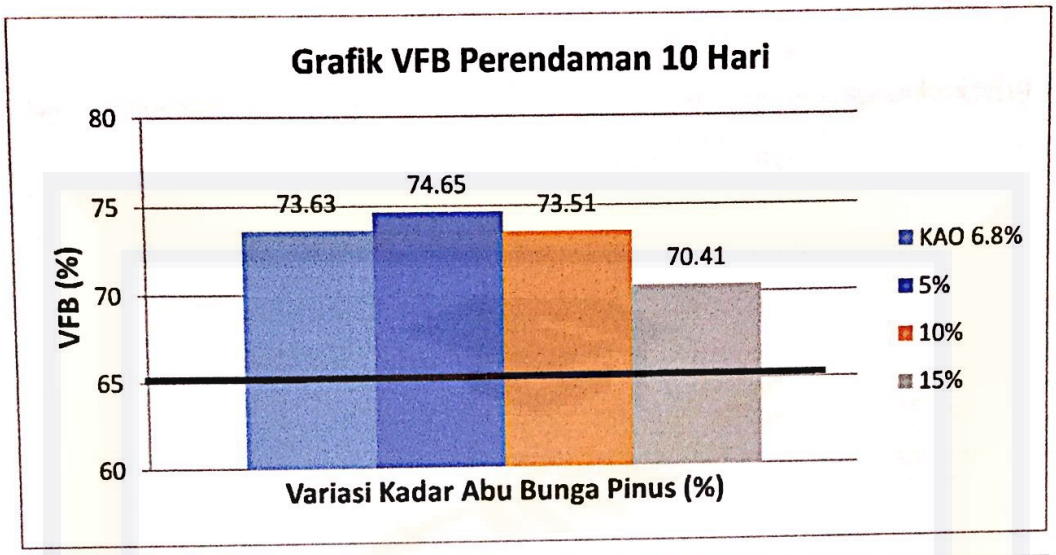


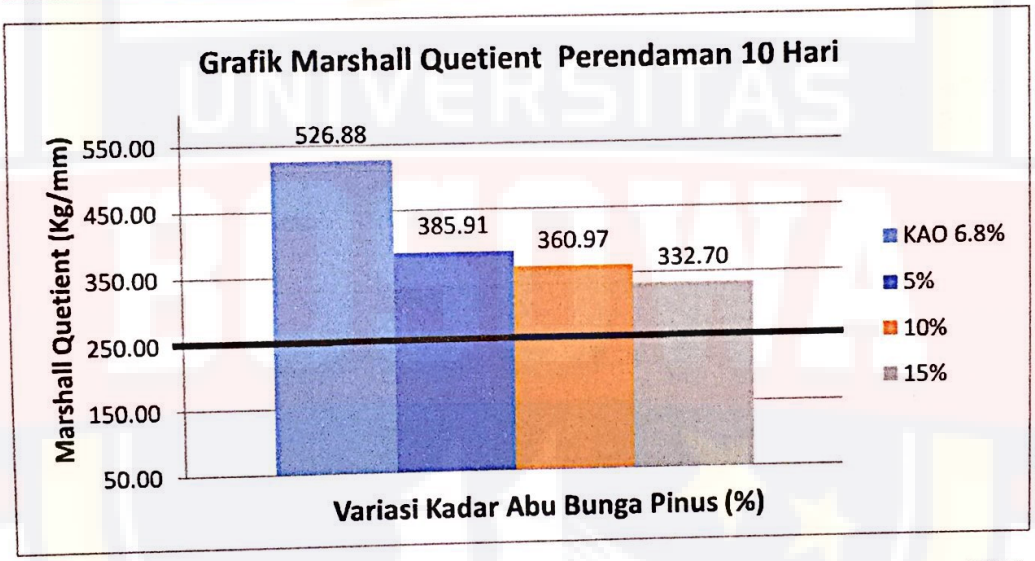




Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279





Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

Scanned with CamScanner

No	Pemeriksaan	Penggunaan Filler A.B Pinus 5%				Spesifikasi 2018
		KAO 6,8 %				
		Abu Bunga Pinus 5 %				
		KAO 6,8%	3 Hari	7 Hari	10 Hari	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,37	2,37	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1433,38	1410,14	1394,64	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,35	3,45	3,63	2-4
4	VMA (%)	18,26	18,01	17,95	17,92	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,66	4,58	4,54	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,15	74,49	74,65	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	427,73	407,84	385,91	Min 250

No	Pemeriksaan	Penggunaan Filler A.B Pinus 10%				Spesifikasi 2018
		KAO 6,8 %				
		Kadar A.B Pinus 10 %				
		KAO 6,8%	3 Hari	7 Hari	10 Hari	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,36	2,36	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1425,63	1402,39	1394,64	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,45	3,59	3,88	2-4
4	VMA (%)	18,26	17,84	18,10	18,14	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,46	4,75	4,80	3-5
6	VFB (%)	73,63	75,03	73,75	73,51	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	413,18	400,05	360,97	Min 250

No	Pemeriksaan	Penggunaan Filler A.B Pinus 15%				Spesifikasi 2018
		KAO 6,8 %				
		Kadar Abu Bunga Pinus 15 %				
		KAO 6,8%	3 Hari	7 Hari	10 Hari	
1	Kepadatan	2,36	2,36	2,35	2,34	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1410,14	1386,89	1379,14	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,73	3,78	4,18	2-4
4	VMA (%)	18,26	18,21	18,68	18,80	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,88	5,43	5,57	3-5
6	VFB (%)	73,63	73,19	70,94	70,41	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	383,74	368,40	332,70	Min 250

Scanned with CamScanner

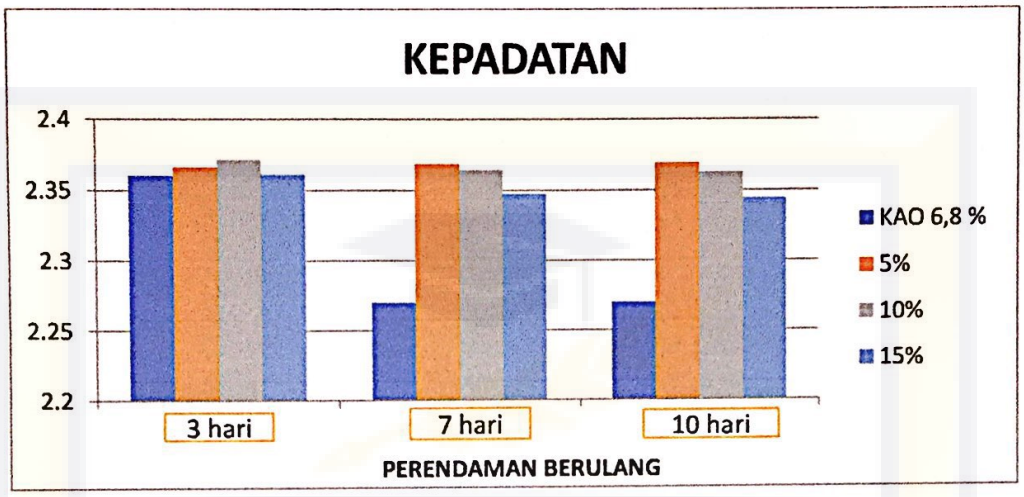
No	Pemeriksaan	KAO 6,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 3 Hari				
		Kadar Abu Bunga Pinus				
		KAO 6.8%	5%	10%	15%	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,37	2,36	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1433,38	1425,63	1410,14	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,35	3,59	3,73	2-4
4	VMA (%)	18,26	18,01	18,10	18,21	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,66	4,80	4,88	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,15	73,75	73,19	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	427,73	400,05	383,74	Min 250

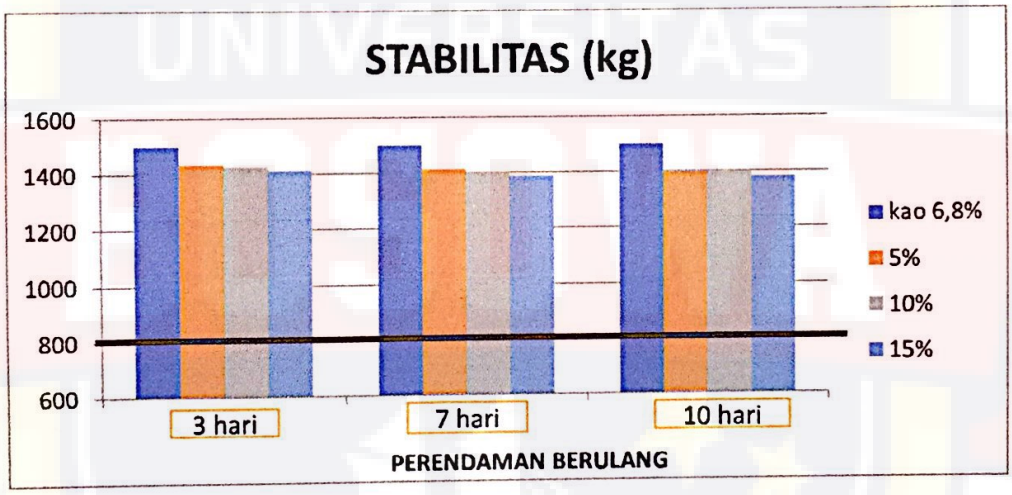
No	Pemeriksaan	KAO 6,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 7 Hari				
		Kadar Abu Bunga Pinus				
		KAO 6.8%	5%	10%	15%	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,36	2,35	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1410,14	1402,39	1386,89	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,45	3,59	3,78	2-4
4	VMA (%)	18,26	17,95	18,10	18,68	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,58	4,75	5,43	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,49	73,75	70,94	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	407,84	400,05	368,40	Min 250

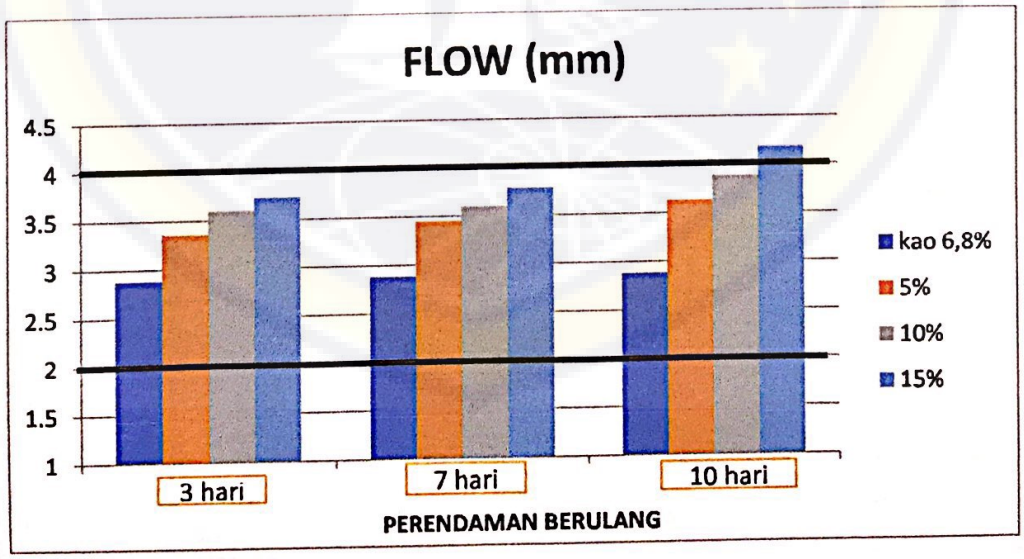
No	Pemeriksaan	KAO 6,8 %				Spesifikasi 2018
		Perendaman 10 Hari				
		Kadar Abu Bunga Pinus				
		KAO 6.8%	5%	10%	15%	
1	Kepadatan	2,36	2,37	2,36	2,34	-
2	Stabilitas (Kg)	1497,95	1394,64	1394,64	1379,14	Min 800
3	Flow (mm)	2,88	3,63	3,88	4,18	2-4
4	VMA (%)	18,26	17,92	18,14	18,80	Min 15
5	VIM (%)	4,82	4,54	4,80	5,57	3-5
6	VFB (%)	73,63	74,65	73,51	70,41	Min 65
7	MQ (Kg/mm)	526,88	385,91	360,97	332,70	Min 250

Scanned with CamScanner

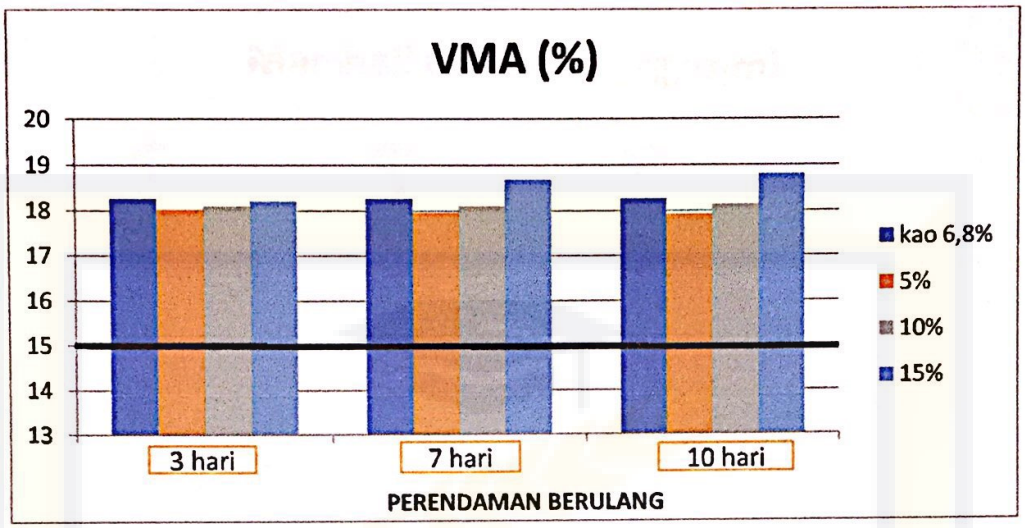
Grafik Gabungan KAO Dengan Kadar Abu Bunga Pinus

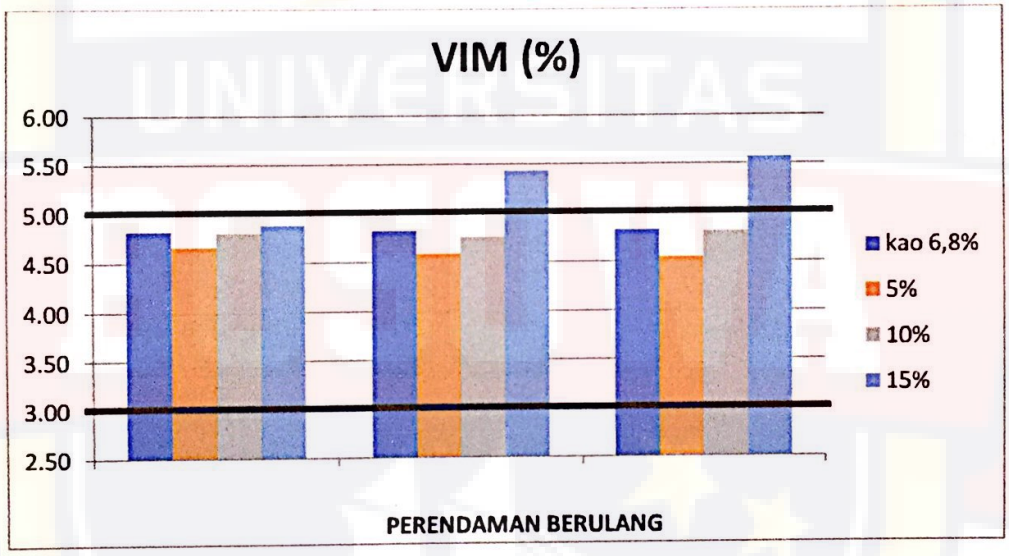


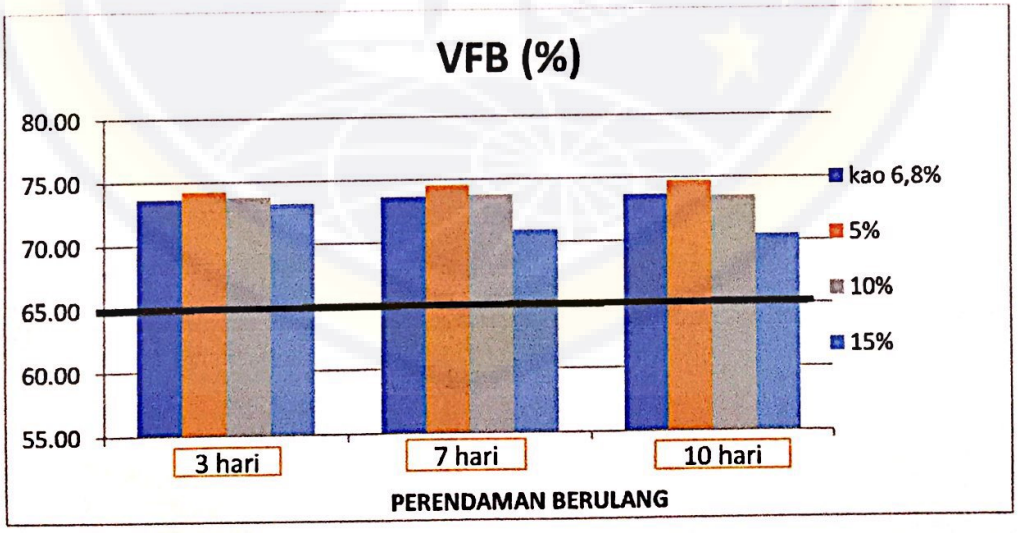




Scanned with CamScanner

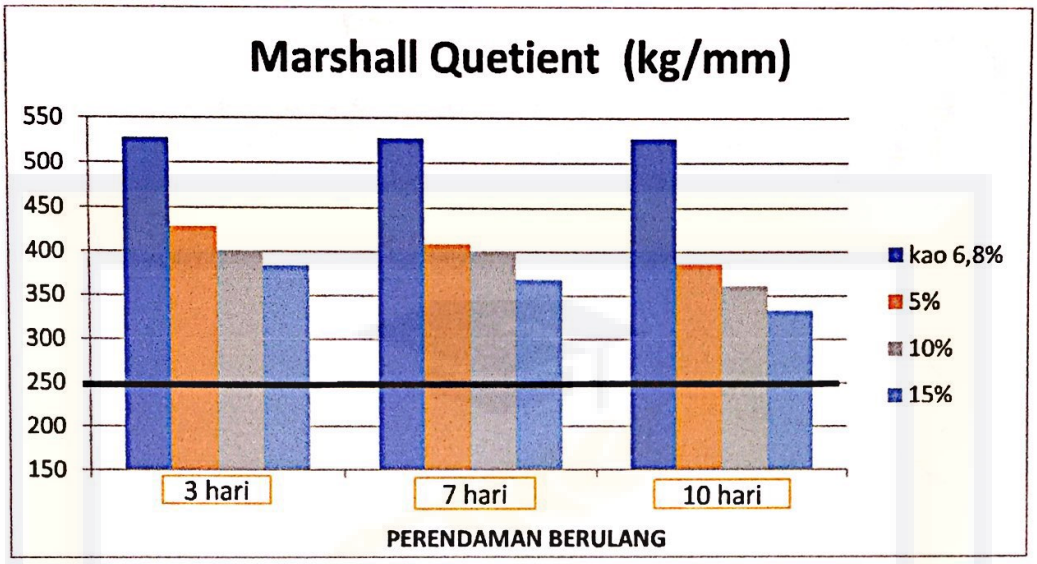






Scanned with CamScanner

LABORATORIUM ASPAL DAN BAHAN JALAN
UNIVERSITAS BOSOWA MAKASSAR
JL. URIP SUMOHARJO. KM.4
TELP. (0411)452991 – 45279



Makassar, 2021

Diperiksa oleh,

Kepala Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan	Asisten Laboratorium Aspal dan Bahan Jalan
Ir. H. Abd Rahim Nurdin, MT	**Marlina Alwi, ST**

Scanned with CamScanner

Dokumentasi Penelitian

Pengujian Analisa Saringan

Pengujian Berat Jenis Agregat

Dokumentasi Penelitian

Pengujian Berat Jenis Agregat (Berat Dalam Air)

Briket Normal

Dokumentasi Penelitian

Pengujian Berat Jenis Aspal

Proses Penambahan Aspal Kedalam Agregat dan Abu Bunga Pinus

Dokumentasi Penelitian

Filler Bunga Pinus

Proses Pembakaran Benda Uji Menjadi Abu

Dokumentasi Penelitian

Proses Pencampuran Agregat

Proses Pencampuran Agregat, Filler Dan Aspal (Hot Mix)

Dokumentasi Penelitian

Briket Setelah Proses Penumbukan

Proses Perendaman Briket

Dokumentasi Penelitian

Proses Penimbangan Briket (Dalam Air)

Proses Perendaman Briket Dalam Waterbath

Dokumentasi Penelitian

Pengujian Marshall Test

DAFTAR PUSTAKA

Anonim. 2014. *Bahan Kuliah Rekayasa Tanah Dan Perkerasan Jalan Raya.* Makassar, Universitas 45 Makassar.

Tahir, Anas. 2009. *Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara. Jurnal SMARTek, Vol. 7 No.4*

Anonim. *Buku Beton Aspal Campuran Panas, hal. 82*

BALITBANG-PU dan Direktorat Jenderal Bina Marga, 2007. Modul, *Training Of Trainer (TOT),* Jakarta.

Basri. 2019*. Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Pada Aspal Minyak Terhadap Karakteristik Laston AC-WC Pada Perendaman Berulang.* Makassar, Universitas Bosowa Makassar.

Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Granit, Jakarta

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

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

Spesifikasi Umum Bina Marga*.* 2018*. Divisi 6 Perkerasan Aspal.*