

SKRIPSI

DAYA TAHAN CAMPURAN PERKERASAN ASPAL DENGAN PENAMBAHAN GONDORUKEM (*RESINA COLOPHONIUM*) TERHADAP VARIASI PERENDAMAN AIR

Diajukan untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S-1
pada Program Studi Teknik Sipil



Disusun Oleh:

SILMI WIRDA FITRI

2019D1B111

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM

2024

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING

**DAYA TAHAN CAMPURAN PERKERASAN ASPAL DENGAN
PENAMBAHAN GONDORUKEM (*RESINA COLOPHONIUM*)
TERHADAP VARIASI PERENDAMAN AIR**

Disusun Oleh:

Silmi Wirda Fitri
2019D1B111

Mataram, 01 Februari 2024

Pembimbing I

Titik Wahyuningsih, ST.,MT
NIDN: 0828087201

Pembimbing II

Adryan Fitrayudha, ST.,MT
NIDN: 0823029401

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram

Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST.,M.,Sc
NIDN: 0806027101

HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI

**DAYA TAHAN CAMPURAN PERKERASAN ASPAL DENGAN
PENAMBAHAN GONDORUKEM (*RESINA COLOPHONIUM*)
TERHADAP VARIASI PERENDAMAN AIR**

Disusun Oleh:

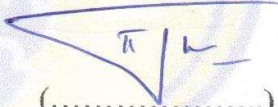
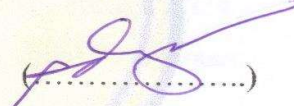
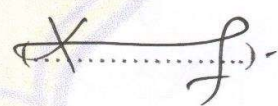
Silmi Wirda Fitri
2019D1B111

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji

Pada Hari/Tanggal : Mataram, 5 Februari 2024

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Susunan Tim Penguji

1. Penguji I : Titik Wahyuningsih, ST., MT. 
2. Penguji II : Adryan Fitrayudha, ST., MT. 
3. Penguji III : Muhammad Khalis Iلمي, ST., M.Eng. 

Mengetahui,
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Mataram


Dr. H. Aji Syallendra Ubaidillah, ST., M., Sc

NIDN: 0806027101

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda di bawah ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir/Skripsi dengan judul:

“DAYA TAHAN CAMPURAN PERKERASAN ASPAL DENGAN PENAMBAHAN GONDORUKEM TERHADAP VARIASI PERENDAMAN AIR”

Benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan hasil plagiasi dari karya orang lain. Ide dan hasil penelitian maupun kutipan baik langsung maupun tidak langsung yang bersumber dari tulisan atau ide orang lain dinyatakan secara tertulis dalam Tugas Akhir/Skripsi ini disebut dalam daftar Pustaka. Apabila terbukti di kemudian hari bahwa Tugas Akhir/Skripsi ini merupakan hasil plagiasi, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukuman yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat tanpa tekanan dari pihak manapun dan dengan kesadaran penuh terhadap tanggung jawab dan konsekuensi.

Mataram, 5 Februari 2024

Yang Membuat Pernyataan



SILMI WIRDA FITRI
NIM: 2019D1B111



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram
Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN BEBAS
PLAGIARISME

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Silmi Wirda Fitri
NIM : 201901B111
Tempat/Tgl Lahir : DSN. Beruk / 12 - 09 - 2000
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp : 087 757 757 884
Email : SilmiFirdaf@gmail.com

Dengan ini menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Skripsi/KTI/Tesis* saya yang berjudul :

DAYA TAHAN CAMPURAN PERKERASAN ASPAL DENGAN PENAMBAHAN GONDORUKEM
(RESINA COLOPHONIUM) TERHADAP VARIASI PERENDAMAN AIR

Bebas dari Plagiarisme dan bukan hasil karya orang lain. 49%

Apabila dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian dari Skripsi/KTI/Tesis* tersebut terdapat indikasi plagiarisme atau bagian dari karya ilmiah milih orang lain, kecuali yang secara tertulis disitasi dan disebutkan sumber secara lengkap dalam daftar pustaka, saya **bersedia menerima sanksi akademik dan/atau sanksi hukum** sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Muhammadiyah Mataram.

Demikain surat pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya tanpa ada paksaan dari siapapun dan untuk dipergunakan sebagai mana mestinya.

Mataram, Kamis, 14 Maret2024

Penulis



Silmi Wirda Fitri
NIM. 201901B111

Mengetahui,

Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT

Iskandar, S.Sos.,M.A.
NIDN. 0802048904

*pilih salah satu yang sesuai



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PENELITIAN DAN
PENGEMBANGAN PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MATARAM
UPT. PERPUSTAKAAN H. LALU MUDJITAHID UMMAT

Jl. K.H.A. Dahlan No.1 Telp.(0370)633723 Fax. (0370) 641906 Kotak Pos No. 108 Mataram

Website : <http://www.lib.ummat.ac.id> E-mail : perpustakaan@ummat.ac.id

SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN
PUBLIKASI KARYA ILMIAH

Sebagai sivitas akademika Universitas Muhammadiyah Mataram, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : SILMI WIRDA FITRI
NIM : 2019D1B111
Tempat/Tgl Lahir : Dsn. Beruk / 12 - 09 - 2000
Program Studi : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik
No. Hp/Email : 087 757 757 884 / silmifirdaf@gmail.com
Jenis Penelitian : Skripsi KTI Tesis

Menyatakan bahwa demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada UPT Perpustakaan Universitas Muhammadiyah Mataram hak menyimpan, mengalih-media/format, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (*database*), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Repository atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama *tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta* atas karya ilmiah saya berjudul:

DATA TAHAN CAMPURAN PERKERASAN ASPAL DENGAN PENAMBAHAN GONDORUKEM
(RESINA COLOPHONIUM) TERHADAP VARIASI PERENDAMAN AIR

Pernyataan ini saya buat dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari terbukti ada pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggungjawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya tanpa ada unsur paksaan dari pihak manapun.

Mataram, Kamis, 14 Maret2024

Penulis

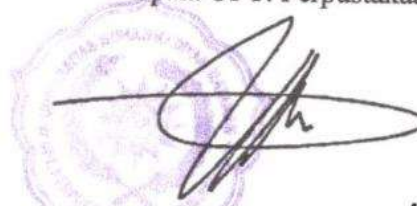


Silmi Winda Fitri

NIM. 2019D1B111

Mengetahui,

Kepala UPT. Perpustakaan UMMAT



Iskandar, S.Sos., M.A.

NIDN. 0802048904

MOTTO

“Wahai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalat sebagai penolongmu. Sungguh, Allah beserta orang-orang yang sabar.”

(QS. Al-Baqarah: 153)



PERSEMBAHAN

Ucapan persembahan ini merupakan salah satu bentuk rasa Syukur, hormat, dan terimakasih saya kepada beberapa pihak karena berkat dorongan dan bantuan baik moril maupun materil dari mereka, skripsi ini dapat terselesaikan tepat pada waktunya. Maka skripsi ini dipersembahkan untuk :

1. Allah Subhanahu Wa Ta'Ala atas nikmat segala Rahmat dan Karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Kepada kedua orang tua tercinta. Bapak Pathul Mubin dan Ibu Rusni yang selalu memberikan do'a, dukungan moral, materil, serta kasih sayang yang tiada hentinya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Serta adik saya Ulya Faedhiati yang selalu bertanya kapan kaya, sehingga memotivasi saya untuk cepat menyelesaikan skripsi ini.
3. Titik Wahyuningsih, ST., MT. selaku dosen pembimbing 1.
4. Adryan Fitrayudha, ST., MT. selaku dosen pembimbing 2 dan Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Mataram.
5. Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST.M.Sc, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
6. Untuk seluruh keluarga besar, kakek alm. Ahmad Rifa'i dan alm. Tuan Basri terimakasih telah memberikan begitu banyak dukungan bagi penulis. Bukde Sumiati, Hilmiati, Rusmini dan pakde Mahsun terimakasih sudah memberikan dukungan materil dan moril selama penulis duduk di bangku perkuliahan.
7. Teruntuk kakak Hidayatul Amri, ST., MT. terimakasih sudah merekomendasikan judul ini, kakak Ayu, kakak Diana dan semua sepupu tercinta yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu.
8. Teman seperjuangan Lathifatuzzahro' Ema Panida R, Mardianti, Sari lapat, Muh. Zulkarnaen, Hairul hadi
9. Semeton ngeropak (Nur Alivia AR, Rivaldi Umar, Rendi Sofiyan, Riki Martin, Sakir Ahda) terimakasih sudah banyak membantu penulis dalam segala hal selama penulis duduk di bangku perkuliahan.

10. Teman-teman kelas D Teknik sipil Angkatan 2019 serta rekan – rekan mahasiswa keluarga besar Teknik Sipil Angkatan 2019 terimakasih kawan semua atas bantuan dan dukungan selama masa perkuliahan. Serta masih banyak lagi yang tak bisa penulis sebutkan satu persatu.



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah hirobbil alamin, puja beserta syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan nikmat rahmat, taufik, dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini dengan judul **“Daya Tahan Campuran Perkerasan Aspal Dengan Penambahan Gondorukem Terhadap Variasi Perendaman”**. Skripsi ini diajukan untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana S-1 pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Mataram.

Menyelesaikan skripsi ini banyak pihak yang telah membantu, oleh karena itu penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus kepada :

1. Drs. Abdul Wahab, Ma., selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Mataram.
2. Dr. H. Aji Syailendra Ubaidillah, ST., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Mataram.
3. Adryan Fitrayudha, ST., MT., selaku Ketua Program Studi Universitas Muhammadiyah Mataram.
4. Titik Wahyuningsih, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Utama.
5. Adryan Fitrayudha, ST., MT., selaku Dosen Pembimbing Pendamping
6. Seluruh Civitas Akademik Fakultas Teknik.

Skripsi ini tentunya masih jauh dari kata kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang membangun untuk menjadi bahan pembelajaran penulis di masa depan. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca dan juga untuk penulis sendiri.

Mataram, 5 Februari 2024



Silmi Wirda Fitri
NIM: 2019D1B111

ABSTRAK

Campuran beraspal panas sebagai bahan yang digunakan untuk perkerasan lentur meliputi agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (filler) dan bahan pengikat aspal. Bahan pengikat aspal bersifat termoplastis, air adalah salah satu musuh terbesar perkerasan jalan. Jika terjadi suatu genangan air di lapangan akan menimbulkan dampak yang dapat mempengaruhi kinerja dan keawetan suatu campuran beraspal. Salah satu cara untuk meningkatkan lapisan perkerasan beraspal yaitu dengan menambahkan zat aditif berupa gondorukem.

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana daya tahan campuran beraspal dengan penambahan gondorukem dengan berbagai variasi perendaman di *water bath* dengan suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1$ tinjau dari nilai VIM, VMA, VFB, Stabilitas, *Flow*, dan *Marshall Quotient*. Penelitian ini menggunakan kadar aspal 6,1% dengan durasi perendaman standar, 1 hari, 2 hari dan 3 hari.

Hasil analisa menunjukkan durasi perendaman berpengaruh terhadap nilai stabilitas dan *flow*. Nilai stabilitas tertinggi ada pada perendaman standar yaitu 1132 kg dan terendah pada perendaman hari ke 3 yaitu 985 kg namun masih memenuhi syarat minimal stabilitas yaitu 800 kg. Nilai *flow* yang memenuhi syarat terdapat pada perendaman standar yaitu 3,80 mm sedangkan perendaman pada hari ke 1, 2, dan 3 tidak memenuhi syarat karena hasilnya melebihi standar *flow* yang sudah dipersyaratkan. Campuran perkerasan yang di modifikasi dengan penambahan 2% gondorukem memiliki stabilitas yang baik atau mampu menahan beban lalu lintas namun belum mampu menahan kelelahan saat terendam air pada durasi perendaman 1 sampai 3 hari artinya, campuran lapis perkerasan modifikasi dengan gondorukem ini mampu menahan beban yang di persyaratkan namun kemampuan elastisitas atau kembali ke bentuk semula saat di pengaruhi oleh beban dan perendaman masih kurang baik.

Kata kunci : variasi perendaman, campuran beraspal panas, AC-WC, gondorukem

ABSTRACT

For flexible pavement, hot asphalt mixtures with coarse, fine, and filler aggregates are combined with asphalt binder. One of the main enemies of road pavement is water, and asphalt binder is thermoplastic by nature. The presence of water puddles on an asphalt mixture might have an impact on its longevity and performance. Adding an additional material, such gondorukem (Resina Colophonium), is one method to enhance the asphalt pavement layer.

This research was conducted to determine the extent of resistance of asphalt mixtures with the addition of gondorukem (Resina Colophonium) with various soaking variations in a water bath at a temperature of $60^{\circ}\text{C} \pm 1$, focusing on VIM, VMA, VFB, Stability, Flow, and Marshall Quotient values. This study used an asphalt content of 6.1% with standard soaking durations, 1 day, 2 days, and 3 days.

The analysis results showed that soaking duration affected the stability and flow values. The highest stability value was found in the standard soaking which was 1132 kg, and the lowest was on the 3rd day soaking which was 985 kg, but still met the minimum stability requirement of 800 kg. The flow value that met the requirement was found in the standard soaking, which was 3.80 mm, while soaking on day 1, 2, and 3 did not meet the requirement as the results exceeded the required flow standard. Modified pavement mixtures with 2% gondorukem (Resina Colophonium) addition had good stability or could withstand traffic loads, but were not able to withstand rutting when submerged in water for soaking durations of 1 to 3 days. This means that the modified pavement layer mixture with gondorukem (Resina Colophonium) can withstand the required load but still lacks good elasticity or the ability to return to its original shape when influenced by loads and soaking.

Keywords: Soaking Variations, Hot Asphalt Mixtures, AC-WC, Gondorukem (Resina Colophonium)

MENGESAHKAN
SALINAN FOTO COPY SESUAPASLINYA
MATARAM



DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	v
SURAT PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	vi
MOTTO	vii
PERSEMBAHAN.....	viii
KATA PENGANTAR.....	x
ABSTRAK	xi
ABSTRACT	xii
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR NOTASI.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	3
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI.....	4
2.1. Tinjauan Pustaka	4
2.1.1. Penelitian Terdahulu	4

2.2. Landasan Teori	5
2.2.1. Perkerasan Jalan.....	5
2.2.2. Pengertian Agregat	8
2.2.3. Gondorukem	14
2.2.4. Aspal	16
2.2.5. Aspal modifikasi	20
2.2.6. Bahan pengisi (filler)	21
2.2.7. Campuran aspal panas	22
2.2.8. Pemeriksaan sifat fisik dan mekanis campuran aspal	27
BAB III METODE PENELITIAN	29
3.1. Lokasi Penelitian	29
3.1.1. Lokasi Pengambilan Sampel.....	29
3.1.2. Lokasi Pengujian.....	29
3.2. Alat dan Bahan Penelitian	30
3.2.1. Bahan	30
3.2.2. Alat.....	32
3.3. Pelaksanaan Penelitian	38
3.3.1. Tahap persiapan	38
3.3.2. Pembuatan benda uji.....	40
3.3.3. Proses perendaman benda uji.....	42
3.4. Pengujian Benda Uji.....	42
3.4.1. Pengujian volumetrik benda uji	42
3.4.2. Pengujian Dengan Alat <i>Marshall</i>	43
3.5. Analisa Data	43
3.6. Bagan Alir Penelitian	44

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	46
4.1. Umum.....	46
4.2. Properties Agregat.....	46
4.2.1. Agregat Kasar dan Agregat Halus	46
4.3. Pemeriksaan Berat Jenis	48
4.3.1. Gradasi Gabungan Campuran AC-WC.....	51
4.3.2. Penentuan KAO Dan Analisa Sifat sifat Campuran AC-WC.....	52
4.3.3. Pembuatan Benda Uji Campuran AC-WC <i>Modified</i> dengan Penambahan Gondorukem Terhadap Variasi Perendaman.....	61
4.3.4. Hasil Pengujian Berat Jenis Campuran Maksimum (GMM).....	65
4.4. Pembahasan Hasil.....	66
4.4.1. Analisa Sifat Volumetrik Campuran AC-WC	66
4.4.2. Analisa Daya Tahan Campuran AC-WC	68
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	76
5.1. Kesimpulan.....	76
5.2. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	80

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ketentuan agregat kasar	10
Tabel 2. 2 Ketentuan agregat halus	11
Tabel 2. 3 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal	13
Tabel 2. 4 Kualitas mutu gondorukem	15
Tabel 2. 5 Spesifikasi pengujian aspal	20
Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan (Ket.Replika 3 buah).....	39
Tabel 3. 2 Kekentalan aspal keras untuk pencampuran dan pemadatan	41
Tabel 4. 1 Analisa saringan pembagian butiran fraksi agregat (3/4)	46
Tabel 4. 2 Analisa saringan pembagian butiran fraksi agregat (3/8)	47
Tabel 4. 3 Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu.....	48
Tabel 4. 4 Berat jenis agregat 3/4.....	49
Tabel 4. 5 Berat jenis agregat 3/8.....	49
Tabel 4. 6 Berat jenis agregat abu batu	50
Tabel 4. 7 rekap pengujian properties aspal 60/70.....	50
Tabel 4. 8 Hasil pengujian <i>marshall</i>	56
Tabel 4. 9 Tabel komposisi benda uji	62
Tabel 4. 10 Tabel penambahan gondorukem terhadap aspal	62
Tabel 4. 11 Tabel hasil volumetrik	66
Tabel 4. 12 Analisa daya tahan campuran	68


DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Gondorukem.....	14
Gambar 2. 2 Destilasi minyak bumi.....	18
Gambar 3. 1 Lokasi pengambilan sampel agregat	29
Gambar 3. 2 Lokasi pengujian	30
Gambar 3. 3 Aspal penetrasi 60/70.....	30
Gambar 3. 4 Agregat 3/4 dan 3/8	31
Gambar 3. 5 Abu batu	31
Gambar 3. 6 Gondorukem.....	32
Gambar 3. 7 Wadah.....	32
Gambar 3. 8 Oven	33
Gambar 3. 9 Timbangan digital	33
Gambar 3. 10 Termometer	34
Gambar 3. 11 Cetakan <i> mold</i>	34
Gambar 3. 12 Alat penumbuk	35
Gambar 3. 13 Dongkrak hidrolik	35
Gambar 3. 14 Satu set alat <i>marshall</i>	36
Gambar 3. 15 Satu set <i>water bath</i>	36
Gambar 3. 16 Wajan	37
Gambar 3. 17 Panci.....	37
Gambar 3. 18 Sarung tangan.....	38
Gambar 3. 19 Bagan Alir Penelitian	45
Gambar 4. 1 Gambar 4. 1 Grafik persentase agregat campuran	52
Gambar 4. 2 Grafik hasil pengujian stabilitas.....	57
Gambar 4. 3 Grafik <i>Void Filled Bitumen</i>	58
Gambar 4. 4 Grafik <i>Void In Mineral Aggregate</i>	59
Gambar 4. 5 Grafik <i>Void In Mix</i>	60
Gambar 4. 6 Grafik KAO.....	60
Gambar 4. 7 Grafik nilai analisa daya tahan campuran	69
Gambar 4. 8 Grafik VIM.....	70
Gambar 4. 9 Grafik VMA	71

Gambar 4. 10 Grafik VFA	72
Gambar 4. 11 Grafik <i>Marshall Quotient</i>	73
Gambar 4. 12 Grafik Stabilitas.....	74
Gambar 4. 13 Grafik <i>Flow</i>	75



DAFTAR NOTASI



d	: ukuran saringan yang ditinjau
D	: ukuran agregat maksimum dari agregat tersebut
n	: 0,35 – 0,45
A	: Kadar aspal (%)
VFB	: Volume pori yang terisi aspal, persen dari VMA
VMA	: Volume pori di antara mineral agregat, persen dari volume bulk campuran
VIM	: Rongga di dalam campuran, persen total campuran
P	: <i>Marshall Quotient</i> (Kg/mm)
M	: Stabilitas (Kg)
N	: <i>Flow</i> (mm)
D	: Berat jenis maksimum campuran aspal
C	: Berat jenis efektif dari total agregat
T	: Berat jenis aspal
Gmb	: Berat jenis bulk campuran padat
Gsb	: Berat jenis bulk agregat
Gmm	: Berat jenis campuran maksimum
Ps	: Kandungan agregat, persen terhadap total campuran (%)
a,b,c,d	: Persentase masing-masing agregat
$(\gamma_{ov})_n$: Berat jenis bulk total campuran agregat
γ_B	: Berat jenis bulk total agregat
γ_C	: Berat jenis efektif dari total agregat

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran I Lembar Asistensi

Lampiran II Data Laboratorium

Lampiran III Dokumentasi



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia merupakan salah satu negara berkembang yang memiliki laju pertumbuhan yang cukup signifikan. Dengan kondisi tersebut, peranan transportasi sangat krusial dalam menopang berlangsungnya aktivitas pertumbuhan daerah. Oleh sebab itu, dibutuhkan sarana prasarana yang mampu mendorong kelancaran aktivitas transportasi. Jalan memiliki peranan penting dalam menyokong aktivitas sosial dan perekonomian pada suatu daerah. Rasa nyaman, aman, kuat, dan ekonomis merupakan suatu jalan yang didambakan manusia yang bertujuan pergerakan umat manusia dari suatu tempat ke tempat yang lain.

Pada umumnya di Indonesia pemanfaatan campuran aspal panas (*hot mix*) biasa digunakan pada lapis perkerasan, dimana menggunakan komposisi dari aspal dan agregat lalu dicampurkan secara merata. Pencampuran melalui pemanasan dengan suhu tertentu yang bertujuan untuk mencairkan aspal biasa disebut campuran aspal panas. Campuran aspal panas dinilai memberikan kenyamanan dalam berkendara, oleh sebab itu penggunaan campuran aspal panas dipilih karena perawatan yang cukup sederhana, ekonomis, angka stabilitas yang tinggi, maupun memiliki sifat fleksibel. Untuk meningkatkan ketahanan terhadap retak dan deformasi permanen, perencanaan campuran aspal harus mengestimasi genangan air, beban lalu lintas yang berlebihan (*overload*), dan temperatur yang tinggi. Keawetan suatu campuran aspal bergantung pada kemampuan untuk menahan kerusakan yang disebabkan oleh perendaman air dan suhu udara. Kegagalan perkerasan disebabkan oleh kehilangan keawetan.

Dengan mempertimbangkan masalah tersebut, dibutuhkan perlakuan dalam pelaksanaan untuk menambah daya tahan lapisan perkerasan lentur terhadap suhu, sinar matahari, maupun beban lalu lintas yang signifikan. Salah satu upaya yang dilakukan yaitu memodifikasi campuran aspal dengan menambahkan bahan tambahan ke dalam aspal. Hasil penelitian Siswanda (2013) menunjukkan bahwa, berdasarkan nilai stabilitas dan *flow* kadar gondorukem yang ideal dan optimum

untuk campuran perkerasan adalah 2%. Penambahan gondorukem 2% juga mempunyai nilai fleksibilitas (MQ) yang tinggi dari nilai regangan tarik tak langsung dan kekuatan arah horizontal dan vertikal yang lebih stabil. Oleh karena itu, proporsi ini lebih cocok untuk campuran ini.

Kualitas campuran beraspal yang baik dapat diperoleh dengan menambahkan bahan tambah (*additive*). Wiyono (2002) menjelaskan bahwa gondorukem memiliki sifat yang meningkatkan perekatan (*adhesion promoters*).

Sesuai pemaparan di atas, maka akan dilakukan penelitian dengan judul **“Daya Tahan Campuran Perkerasan Aspal Dengan Penambahan Gondorukem Terhadap Variasi Perendaman Air”**. Aspal dengan penambahan gondorukem pada tugas akhir ini selanjutnya disebut aspal modifikasi.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas, dapat dirumuskan permasalahan antara lain :

- a. Bagaimanakah daya tahan campuran beraspal yang dimodifikasi dengan tambahan gondorukem dalam pengujian sifat volumetrik terhadap variasi perendaman air?
- b. Bagaimanakah daya tahan campuran beraspal yang di modifikasi dengan tambahan gondorukem dalam pengujian *Marshall* terhadap variasi perendaman air?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah :

- a. Mengetahui daya tahan campuran beraspal yang dimodifikasi dengan tambahan gondorukem dalam pengujian sifat volumetrik terhadap variasi perendaman air .
- b. Mengetahui daya tahan campuran beraspal yang dimodifikasi dengan tambahan gondorukem dalam pengujian *Marshall* terhadap variasi perendaman air.

1.4. Batasan Masalah

Agar tidak terjadi perluasan pada lingkup pembahasan, maka perlu adanya batasan – batasan masalah sebagai berikut :

- a. Agregat kasar dan halus diperoleh dari hasil pemecah batu dari PT. Sinar Bali Binakarya.
- b. Bahan aspal menggunakan aspal penetrasi 60/70.
- c. Menggunakan air bersih pada variasi perendaman atau air PDAM.
- d. Dalam penelitian ini tidak membahas nilai ekonomisnya.
- e. Tidak melakukan penelitian aspal murni terhadap variasi perendaman.
- f. Tidak melakukan penelitian kandungan kimia untuk senyawa campuran beraspal dengan tambahan 2% gondrukem (modifikasi), hanya meneliti berdasarkan sifat-sifat fisiknya saja.
- g. Dalam penelitian ini hanya melakukan uji *Marshall*
- h. Campuran perkerasan yang digunakan adalah AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) dengan menggunakan spesifikasi umum Bina marga 2018.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan adanya penelitian ini, nantinya diharapkan dapat memberikan masukan pada ilmu pengetahuan antara lain :

- a. Memberikan informasi pada saat aspal terendam air sehingga pada pencampuran antara aspal dengan agregat dapat menghasilkan perkerasan lentur yang baik dan tahan terhadap pengaruh lingkungan sekitar.
- b. Memberikan alternatif suatu bahan tambah pada aspal yang ramah lingkungan, murah dan mudah didapatkan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

2.1.1. Penelitian Terdahulu

Salmannur (2022) melakukan penelitian tentang pengaruh lama perendaman terhadap durabilitas campuran beton aspal retona blend 55. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh waktu perendaman terhadap parameter Marshall dan durabilitas campuran aspal beton AC-WC. Dalam penelitian ini dilakukan beberapa variasi waktu perendaman dilakukan dengan menggunakan *Retona Blend 55* dengan variasi waktu perendaman dilakukan pada batas waktu 3 x 24 jam. Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, menunjukkan bahwa waktu perendaman berpengaruh terhadap parameter Marshall dan nilai durabilitas dari campuran AC-WC. Campuran AC-WC yang menggunakan Retona Blend 55 mengalami penurunan yang drastis dengan bertambahnya waktu perendaman. Nilai durabilitas pada perendaman 1 x 24 jam masih memenuhi persyaratan $\geq 90\%$ nilai stabilitas sisa, sedangkan nilai stabilitas sisa pada perendaman 2 x 24 jam dan perendaman 3 x 24 jam adalah $\leq 90\%$.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Siswanda (2013), yaitu pengujian aspal jenis AC-WC dengan penetrasi 60/70 dengan penambahan gondorukem variasi 1%, 2% , 3% dan 4% terhadap berat aspal. Hasil penelitian tersebut menunjukan penambahan 2% gondorukem yang paling optimum.

Idral (2016) melakukan penelitian yang berjudul Kinerja Perkerasan Aspal Dengan Penambahan Karet Gondorukem. Tujuan penelitian ini untuk melihat pengaruh aspal modifikasi dengan menambahkan karet gondorukem dengan variasi persentase berbeda ke dalam aspal tersebut dalam campuran aspal porus. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dari variasi persentase dipilih penambahan karet gondorukem 7% yang layak untuk di rekomendasikan karena nilai stabilitasnya paling maksimum yaitu sebesar 902,309 kg, dan nilai kelelahan di peroleh 4,55 mm dan nilai VIM (*Void In Mixture*) di peroleh 21,74 %. Sehingga apabila ini digunakan dalam perkerasan jalan akan menghasilkan kekuatan yang tinggi yang

dapat memikul beban lalu lintas yang berat sehingga tidak terjadi deformasi seperti gelombang dan alur.

Pramesti (2019) melakukan penelitian yang berjudul Pengaruh Penambahan Gondorukem Pada Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) yang bertujuan inovasi pada bahan tambah pekerasan jalan yang alami, mudah didapat, dan ramah lingkungan bagi konstruksi pekerasan jalan. Penelitian ini dilakukan dengan cara membuat sampel benda uji dengan variasi kadar gondorukem yaitu 0%, 1,5%, 2,0%, 2,5%, dan 3,0% dengan variasi kadar aspal 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5% yang masing-masing benda uji dibuat ganda. Dari hasil penelitian menunjukkan bahwa pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan penambahan gondorukem terhadap karakteristik *Marshall* yaitu cenderung menurunkan nilai *density* dan *Voids Filled Bitumen* (VFB) serta cenderung meningkatkan nilai *Voids in Mineral Agreggate* (VMA), *Voids in Mix* (VIM), dan *Marshall Quotient* (MQ), sedangkan dengan 1,5% dan 2,0% gondorukem cenderung menaikkan nilai stabilitas dan nilai flow dibandingkan dengan campuran beton aspal tanpa gondorukem. Berdasarkan spesifikasi umum Bina Marga 2018 kadar aspal optimum yang didapat dengan kadar gondorukem 0% adalah 6,015%, dengan kadar gondorukem 1,5% adalah 6,075%, dengan kadar gondorukem 2,0% adalah 6,300%, dengan kadar gondorukem 2,5% adalah 6,375%, sedangkan dengan penambahan kadar gondorukem 3,0% tidak didapat kadar aspal optimum.

2.2. Landasan Teori

2.2.1. Perkerasan Jalan

Suatu struktur yang berfungsi menjaga tanah dasar dari beban kendaraan yang melewati dengan terus menerus maupun berlebihan biasa disebut perkerasan jalan. Perkerasan (*pavement*) bertujuan guna mencegah tanah dasar maupun seluruh lapisan perkerasan menanggung tegangan dan regangan yang melebihi batas wajar disebabkan beban lalu lintas. (Sukirman, 1992) juga menjelaskan perkerasan jalan adalah suatu lapisan yang berada di atas tanah dasar yang sudah dipadatkan, dimana fungsi dari lapisan ini adalah memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke

tanah dasar agar beban yang diterima tanah dasar tidak melebihi daya dukung tanah yang diijinkan.

menurut Sukirman, (1992) dilihat dari bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan terdiri dari tiga macam sebagai berikut:

a. Perkerasan Lentur (*Flexible Pavements*)

Susunan lapis permukaan aspal yang terdapat pada lapis pondasi bawah maupun di atas lapis pondasi atas yang dihamparkan di atas tanah dasar biasa disebut dengan perkerasan lentur. Perkerasan lentur merupakan campuran agregat batu pecah, pasir, material pengisi, dan aspal, yang dihamparkan dan dipadatkan (Hardiyatmo, 2015) dan juga memiliki beberapa lapisan yaitu :

1) Lapisan tanah dasar (*subgrade*)

Lapisan permukaan yang bertujuan menjadi tempat penghamparan lapisan perkerasan yang membantu sistem perkerasan jalan yang berada di atasnya biasa disebut sebagai lapisan tanah dasar.

2) Lapisan tanah bawah (*subbase course*)

Lapisan tanah bawah adalah lapisan yang terletak diatas lapisan tanah dasar, dibuat dengan tujuan mempertebal lapisan sistem perkerasan dan menyebarkan beban lalu lintas yang diberikan dari lapis permukaan ke lapis tanah dasar supaya kuat menopang beban yang berlebih serta anggaran yang relatif ekonomis. Lapisan pondasi bawah diperlukan untuk lapisan tanah dasar yang buruk. Menurut Hardiyatmo (2015) adapun fungsi dari lapisan pondasi bawah sebagai berikut:

- a) Salah satu komponen struktur perkerasan yang berfungsi untuk mendistribusikan beban kendaraan
- b) Menjadi efektif dalam pemakaian material, yang bertujuan mengurangi ketebalan lapisan-lapisan yang dapat menghemat biaya
- c) Berkemampuan untuk mencegah material tanah dasar yang masuk ke dalam lapisan pondasi atas

3) Lapisan pondasi atas (*base course*)

Lapisan pondasi atas adalah lapisan yang berada di bawah lapisan permukaan dan diatas lapisan pondasi bawah dan biasanya lapisan pondasi atas terdiri dari beberapa material yaitu batu pecah, sirtu atau campuran-campuran material tersebut (Hardiyatmo, 2015).

Beberapa fungsi dari lapisan pondasi atas yaitu :

- a) Menyebarkan tekanan yang bersumber dari beban lalu lintas agar lapisan tanah dasar tidak mendapat beban yang berlebihan
- b) Meningkatkan daya dukung struktur perkerasan supaya beban lalu lintas yang diterima dapat disebarkan dengan baik

4) Lapisan pondasi bawah (*subbase course*)

Subbase course atau yang biasa disebut lapis pondasi bawah lapisan perkerasan yang dibawah lapis pondasi atas (Hadiwiyono, 2013). Lapis pondasi bawah ialah mempertebal lapisan dalam sistem perkerasan dengan tujuan untuk mendistribusikan beban lalu lintas yang diperoleh dari lapis permukaan ke lapis tanah dasar dengan baik agar tidak menopang beban yang berlebih tetapi dengan pengeluaran biaya yang ekonomis. Lapis pondasi bawah dimanfaatkan juga jika kualitas lapis tanah dasar kohesif.

5) Lapisan permukaan (*surface course*)

Surface course atau yang biasa disebut lapisan permukaan adalah lapisan paling atas dari perkerasan lentur yang berada di atas lapisan pondasi (Hardiyatmo, 2015).

Lapisan permukaan biasanya mempunyai lapisan penyusun yaitu :

- a) *Wearing course* atau yang biasa disebut lapisan aus adalah lapisan paling atas dari perkerasan itu sendiri dan juga lapisan aus biasanya berupa beton aspal yang bergradasi padat (Hardiyatmo, 2015). Lapisan aus berupa lapisan yang tahan air, daya dukung terhadap gelincir, dan tingkat kehalusan yang tinggi.

b) *Binder course* atau yang biasa disebut lapisan pengikat adalah lapisan campuran aspal panas yang berada dibawah lapisan aus (Hardiyatmo, 2015).

b. Perkerasan Kaku (*Rigid pavement*)

Susunan dari tanah dasar, lapis pondasi bawah, dan plat beton menggunakan tulangan maupun tidak menggunakan tulangan biasa disebut dengan perkerasan kaku. Pada umumnya pemanfaatan perkerasan kaku diaplikasikan pada jalan raya dengan beban maupun volume lalu lintas yang tinggi maupun berat dengan kecepatan tinggi. Bila dibandingkan dengan perkerasan lentur, perkerasan kaku memiliki kelebihan dalam beberapa segi seperti tidak membutuhkan penggunaan *overlay* dalam jangka waktu pendek dan juga perkerasan kaku lebih awet dalam menopang beban kendaraan yang tinggi. Jika sebelumnya berbicara tentang kelebihan dari perkerasan kaku, pasti memiliki kekurangan salah satunya biaya yang cukup mahal dalam pembangunan dan juga membutuhkan waktu yang cukup lama dalam proses pembuatannya ini disebabkan oleh proses menunggu waktu sehingga perkerasan memperoleh kekuatan yang diinginkan (Hardiyatmo, 2015).

c. Perkerasan komposit (*Composite pavement*)

Kombinasi dari perkerasan kaku dengan perkerasan lentur dimana penempatan perkerasan kaku di atas perkerasan lentur atau sebaliknya perkerasan lentur di atas perkerasan kaku.

2.2.2. Pengertian Agregat

Agregat adalah batuan pecah, kerikil, pasir ataupun komposisi lainnya baik dari hasil alam (*natural aggregate*), hasil pengolahan (*manufactured aggregate*) maupun agregat buatan (*synthetic aggregate*). Agregat digunakan sebagai bahan utama penyusun perkerasan jalan yang mengandung 90-95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume (Sukirman S, 2003).

a. Jenis agregat

Agregat dapat dibedakan berdasarkan kelompok terjadinya, pengolahan dan ukuran butirannya.

Berdasarkan proses terjadinya agregat dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

- 1) Agregat beku (*igneous rock*) adalah agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Agregat beku luar umumnya berbutir halus seperti batu apung, andesit, basalt, obsidian, pumice. Sedangkan agregat beku dalam bertekstur kasar seperti gabbro, diorite, syenit.
- 2) Agregat sedimen (*sedimentary rock*) adalah agregat yang berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Berdasarkan proses pembentukannya agregat sedimen dibedakan menjadi :
 - a) Agregat sedimen yang dibentuk dengan proses mekanik seperti : breksi, konglomerat, batu pasir, batu lempung.
 - b) Agregat sedimen yang dibentuk dengan proses organis, seperti : batu gamping, batu bara, opal.
 - c) Agregat sedimen yang dibentuk dengan proses kimiawi, seperti garam, gips, flint.
- 3) Agregat metamorfik (*metamorphic rock*) adalah agregat sedimen ataupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi. Berdasarkan pengolahannya agregat dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :
 - a) Agregat siap pakai (agregat alam) adalah agregat yang dipergunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana yang diperoleh di lokasi asalnya, atau dengan sedikit pengolahan. Agregat ini terbentuk dari proses erosi alamiah atau proses pemisahan akibat angin, air, pergeseran es dan reaksi kimia. Biasanya agregat ini berbentuk bulat dengan tekstur permukaan licin.
 - b) Agregat yang perlu diolah adalah agregat yang diperoleh di bukit-bukit, di gunung-gunung, ataupun di sungai yang ditemukan masih

dalam bentuk masif. Karena ukuran agregatnya besar, perlu dilakukan pengolahan terlebih dahulu di mesin pemecah batu sehingga menghasilkan agregat sesuai yang diinginkan dan memiliki tekstur agregat yang kasar.

Berdasarkan ukuran butirannya agregat dibedakan menjadi tiga, yaitu :

- 1) Agregat kasar (*coarse aggregate*) didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari saringan No.8 (2,36 mm) dengan muka bidang pecah satu atau lebih.

Tabel 2. 1 Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan untuk agregat Tahap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks 12%
	Magnesium sulfat		Maks 18%
Abrasi Dengan mesin Los angeles	Campuran AC modifikasi dan SMA (<i>stone mastic asphalt</i>)	100 putaran	Maks 6%
		500 putaran	Maks 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks 8%
		500 putaran	Maks 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/90
	Lainnya		95/90
Partikel pipih dan lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks 5%
	Lainnya		Maks 10%
Material lolos ayakan no.200		SNI ASTM C117:2012	Maks 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga, 2018

- 2) Agregat halus dari sumber bahan manapun harus terdiri atas pasir atau hasil pengayakan batu pecah, dan terdiri atas bahan yang lolos ayakan 2,36 mm (No. 8).

Tabel 2. 2 Ketentuan agregat halus

Pengujian	Metode pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pematatan	SNI 03-6877-2002	Min 45%
Gumpalan Lempung Dan Butir Butir Mudah Pecah Dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117 : 2012	Maks10%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga,

- 3) Bahan pengisi (*filler*) harus dari semen portland atau debu batu harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan penyaringan sesuai SNI 03-4142-1996 harus mengandung bahan yang lolos saringan No.200 (0.075 mm) tidak kurang dari 75%.

b. Gradasi agregat campuran

Gradasi adalah susunan butiran agregat sesuai ukurannya. Persentase rongga dalam campuran *workability* (sifat mudah dikerjakan) dan stabilitas campuran dipengaruhi oleh gradasi agregat. Upaya yang dilakukan untuk mengetahui suatu gradasi agregat mencapai spesifikasi atau tidak, diperlukan dalam memahami bagaimana ukuran partikel dan gradasi agregat diukur.

Analisa saringan adalah metode yang digunakan untuk menentukan gradasi agregat, dimana contoh agregat harus melalui satu set saringan. Nomor saringan menunjukkan banyaknya bukaan kawat per inci persegi saringan, dan ukuran saringan menunjukkan ukuran bukaan kawat. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing - masing contoh yang lolos

pada saringan tertentu. Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan. Gradasi agregat dapat dibedakan atas :

- 1) Gradasi seragam (*Uniform graded*) / Gradasi terbuka (*Open grade*) adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*Open graded*) karena jumlah agregat halus yang rendah menyebabkan gradasi seragam memiliki banyak ruang kosong dan rongga antar agregat. Campuran beraspal yang dapat dihasilkan dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas rendah dan memiliki berat isi yang kecil.
- 2) Gradasi Rapat (*Dense graded*) adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus sehingga disebut juga gradasi menerus atau gradasi baik (*Well graded*). Suatu campuran dikatakan bergradasi sangat rapat apabila persentase lolos dari masing – masing saringan memenuhi pada persamaan 2-1 berikut : (Puslitbang Jalan dan Jembatan, 2016)

$$P = 100 \left(\frac{d}{D} \right)^n \quad (2-1)$$

Dimana :

P : Persen lolos saringan

d : Ukuran saringan yang ditinjau

D : Ukuran agregat maksimum dari agregat tersebut

n : 0,45 (untuk campuran beraspal)

Untuk merancang proporsi agregat digunakan jenis campuran aspal panas yaitu *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan spesifikasi gradasi menurut Pedoman Perencanaan Beraspal dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak yang dikeluarkan melalui Keputusan Direktur Jenderal Bina Marga seperti pada table di bawah ini.

Tabel 2. 3 Amplop Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran ayakan		Persentase berat yang lolos laston (AC)		
(inch)	(mm)	AC-WC	AC-BC	AC-base
1 ½"	37,5	-	-	100
1"	25	-	100	90-100
¾"	19	100	90-100	76-90
½"	12,5	90-100	75-90	60-78
⅜"	9,5	77-90	66-82	52-71
no. 4	4,75	53-69	46-64	35-54
no. 8	2,36	33-53	30-49	23-41
no. 16	1,18	21-40	18-38	13-30
no. 30	0,6	14-30	12-28	10-22
no. 50	0,3	22-09	7-20	6-15
no. 100	0,15	6-15	5-13	4-10
no. 200	0,075	9-9	4-8	3-7

(Sumber : Bina Marga 2018 rev.2)

Catatan :

1. Untuk agregat HRS-WC dan HRS-Base, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) dan juga lolos ayakan No.30 (0,600 mm).
2. Untuk AC, digunakan titik kontrol gradasi agregat, berfungsi sebagai batas-batas rentang utama yang harus ditempati oleh gradasi-gradasi tersebut. Batas-batas gradasi ditentukan pada ayakan ukuran nominal maksimum, ayakan menengah No.8 (2,36 mm) dan ayakan terkecil No. 200 (0,075mm).
3. Gradasi senjang (*Gap graded*) adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali, oleh sebab itu gradasi ini disebut gradasi senjang (*Gap graded*). Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebutkan diatas. Bentuk gradasi agregat biasanya digambarkan dalam suatu grafik hubungan antara ukuran saringan dinyatakan pada sumbu

horizontal dan prosentase agregat yang lolos saringan tertentu dinyatakan pada sumbu vertikal.

2.2.3. Gondorukem

Menurut Heru Prastawa (dkk), 2010 gondorukem (*resina colophonium*) merupakan hasil pembersihan terhadap residu proses destilasi (penyulingan) uap terhadap getah tusam. Hasil destilasinya sendiri menjadi terpentin. Kegunaan gondorukem yang selama ini dikenal awam adalah sebagai bahan proses pembuatan batik dan bahan untuk melekatkan patri atau solder. Namun kenyataannya gondorukem mempunyai kegunaan lain yang bernilai ekonomis tinggi yaitu : Untuk pelapis kertas, bahan additif, tinta printing, industri ban, isolasi alat elektronik, cat, vernis, plastik, sabun, semir sepatu, kerami, lem dan lain lain.



Gambar 2. 1 Gondorukem

a. Proses pengolahan gondorukem

Dalam proses pengolahan Gondorukem di Pabrik Gondorukem & Terpentin (PGT) Perum Perhutani, bahan baku industri berupa Gondorukem (Pinus Merkusii) diproses melalui beberapa tahapan :

a. Penerimaan & pengujian bahan baku

- b. Pengenceran
- c. Pencucian dan penyaringan
- d. Pemanasan/pemasakan
- e. Pengujian dan pengemasan

Gondorukem dan Terpentin merupakan hasil distilasi/penyulingan dari getah Pinus. Gondorukem berupa padatan berwarna kuning jernih sampai kuning tua. Sedangkan Terpentin berbentuk cair berwarna jernih serta merupakan pelarut yang kuat. Proses pengolahan getah menjadi gondorukem pada umumnya meliputi 2 tahapan :

- a) Pemurnian getah dari kotoran-kotoran
- b) Pemisahan terpentin dari gondorukem dengan cara destilasi/penguapan.
- b. Proses pemurnian getah meliputi :
 - a. Pengenceran getah dengan terpentin
 - b. Pengambilan/penyaringan kotoran kasar
 - c. Pencucian & pemisahan kotoran halus dengan penyaringan maupun pengendapan.
- c. Proses pemisahan gondorukem dari terpentinnya meliputi :
 - a) Dilakukan dengan pemanasan langsung.
 - b) Dilakukan dengan pemanasan tidak langsung (menggunakan uap).

Gondorukem dibedakan berdasarkan kualitas/mutu yang berdasarkan warna, titik lunak dan kadar kotoran sesuai spesifikasi SNI 01-5009.12.2001 tersebut pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. 4 Kualitas mutu gondorukem

Spesifikasi	Standard			
	X	WW	WG	N
1. Titik lembek metode ring & Ball	$\geq 78 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\geq 78 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\geq 76 \text{ }^{\circ}\text{C}$	$\geq 74 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2. Uji Warna dengan Lovibond	Sesuai contoh	sesuai contoh	sesuai contoh	sesuai contoh
3. Kadar Kotoran	$\leq 0.02\%$	$\leq 0.05\%$	$\leq 0.07\%$	$\leq 0.10\%$

Spesifikasi	Standard			
	X	WW	WG	N
4. Bilangan Asam (<i>Acid Value</i>)	160 – 190			
5. Bilangan Penyambunan (<i>Saponification Value</i>)	170 – 220			
6. Bilangan Iod (<i>Iodine Value</i>)	5 – 25			
7. Kadar Abu (<i>Ash Content</i>)	≤ 0.01%	≤ 0.04%	≤ 0.05%	≤ 0.08%
8. Kadar Terpenting Tersisa (<i>Volatile Oil Content</i>)	≤ 2%	≤ 2%	≤ 2.5%	≤ 3%

Keterangan :

X (*Rex*) : Warna yang paling jernih

WW (*Water White*) : Warna yang beningnya seperti air

WG (*Window Glass*) : Warna bening seperti kaca jendela

N (*Nancy*) : Warna kuning-kecoklat coklatan

(Sumber : SNI 01-5009.12.2001)

Dalam penelitian (Rianung, 2007), melakukan pengujian aspal dengan jenis AC-BC menggunakan penetrasi 60/70 dengan penambahan gondorukem variasi 1%, 2%, 3% dan 5% terhadap berat aspal. Pengujian yang dilakukan memperoleh bahwa aspal dengan campuran gondorukem 2% merupakan campuran optimum di antara yang lainnya, oleh sebab itu campuran modifikasi dengan penambahan 2% gondorukem memenuhi semua parameter uji aspal dan mempunyai karakteristik *marshall* yang dianggap paling optimal jika dibandingkan dengan hanya menggunakan aspal murni.

Begitu juga dengan penelitian (Siswanda, 2013), pengujian yang dilakukan menggunakan aspal jenis AC-WC dengan penetrasi 60/70 dengan penambahan gondorukem variasi 1%, 2%, 3% dan 4% terhadap berat aspal. Hasil pengujian memperoleh bahwa penambahan gondorukem 2% adalah yang paling terbaik atau optimum.

2.2.4. Aspal

Aspal adalah material perekat (*cementitious*) berwarna hitam atau coklat tua yang terdiri dari bitumen dan diproduksi secara alami atau melalui proses destilasi.

Pada suhu ruang, aspal memiliki bentuk yang padat maupun agak padat dengan sifat termoplastis. Oleh karena itu, saat dipanaskan mencapai temperatur tertentu, aspal akan meleleh dan kembali solid ketika temperatur menurun. Perkerasan jalan disusun oleh campuran aspal maupun agregat sebagai material yang membentuknya. Aspal yang digunakan berkisar 4 sampai 10% pada berat campuran ataupun 10 sampai 15% dari volume campuran merupakan estimasi perkiraan total campuran aspal.

Komponen kimia utama yang terdapat di aspal ialah hidrokarbon, hasil eksplorasi dengan warna hitam bersifat plastis hingga cair, tidak larut dalam larutan asam encer dan alkali atau air, tapi larut sebagian besar dalam CS₂ bensol. (Sukirman, 2003)

a. Jenis aspal

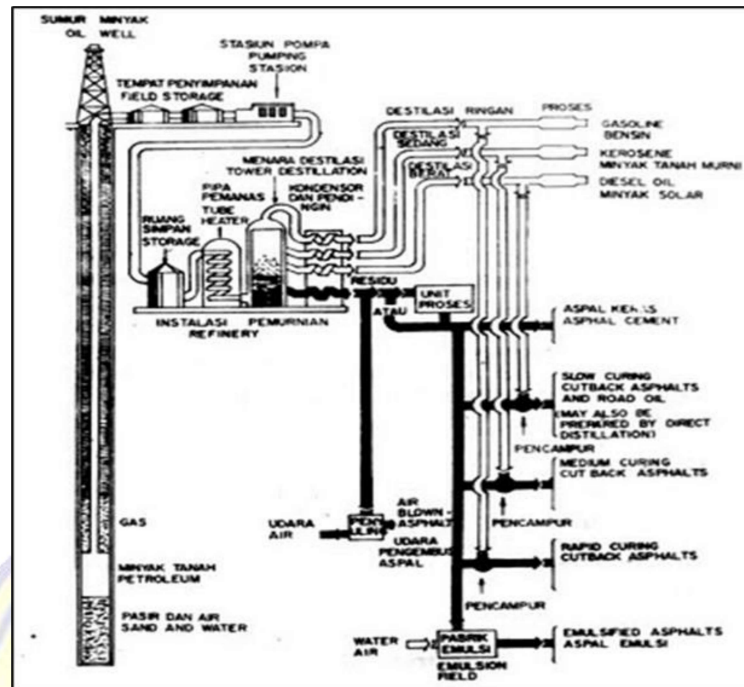
Aspal dibagi menjadi dua berdasarkan tempat diperolehnya, yaitu :

1) Aspal Alam (*Natural Asphalt*)

Aspal alam merupakan aspal yang berasal dari alam baik di gunung-gunung maupun di danau. Penggunaan aspal alam dalam campuran aspal biasanya setelah melalui proses pencampuran dengan bahan pelunak. Jenis aspal yang sering ditemukan yaitu asbuton (*rock asphalt*) dan aspal Trinidad (*lake asphalt*).

2) Aspal Minyak

Aspal minyak ialah sisa dari destilasi minyak bumi. Proses destilasi ini bersamaan dengan meningkatnya suhu pemanasan minyak mentah tersebut. Ketika mencapai suhu tertentu, maka proses destilasi menghasilkan produk-produk berbasis minyak yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



Gambar 2. 3 Destilasi minyak bumi

Residu aspal berbentuk padat, tetapi melalui pengolahan hasil residu ini dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperatur ruang. Menurut bentuknya pada temperatur ruang, aspal dibedakan menjadi tiga, yaitu :

- 1) Aspal padat yaitu aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruangan dan menjadi cair jika dipanaskan. Aspal padat dikenal dengan nama semen aspal (*asphalt cement*) yang harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.
- 2) Aspal cair yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruangan. Aspal cair merupakan aspal semen yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin atau solar.

Aspal emulsi yaitu campuran antara aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan di pabrik pencampuran. Aspal emulsi ini lebih cair dari aspal cair.

b. Sifat – sifat fisik aspal

Sifat-sifat fisik aspal yang mempengaruhi perencanaan, produksi dan kinerja campuran beraspal antara lain adalah daya tahan (*durability*), adhesi dan kohesi, kepekaan terhadap temperatur, pengerasan dan penuaan. (Sukirman S, 2003).

- Daya tahan (*durability*)

Kemampuan aspal dalam menjaga sifat aslinya yang disebabkan pengaruh cuaca pada saat masa pelayanan biasa disebut dengan daya tahan aspal. Sifat *durability* bergantung pada sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan dan lain sebagainya, karena merupakan sifat dari campuran aspal.

- Adhesi dan Kohesi

Adhesi adalah daya partikel aspal untuk mengikat agregat, supaya menghasilkan ikatan yang baik antara agregat dan aspal, sementara kohesi yaitu daya aspal untuk mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah berlaku pengikatan. Dalam pembuatan campuran beraspal sifat adhesi dan kohesi aspal sangat penting diketahui karena keduanya memengaruhi kinerja dan daya tahan campuran.

- Kepekaan terhadap temperatur

Dikarenakan aspal memiliki sifat termoplastik, melunak saat dipanaskan sampai suhu tertentu dan kembali mengeras saat suhu menurun. Kepekaan aspal terhadap temperatur adalah istilah yang digunakan untuk menggambarkan seberapa peka aspal terhadap perubahan suhu.

- 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 peleburan. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa perapuhan terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai. Jadi selama masa, aspal mengalami oksidasi dan

polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar pula tingkat kerapuhan yang terjadi.

Tabel 2. 5 Spesifikasi pengujian aspal

Jenis Pemeriksaan	Persyaratan				Satuan
	Penetrasi 60/70		Penetrasi 80/100		
	Min	Max	Min	Max	
Penetrasi (25°C 5 detik)	60	70	80	99	0,1 mm
Titik lembek (ring ball)	48	-	46	54	°C
Titik Nyala (clev.open cup)	232	-	225	-	°C
Kehilangan berat (163°C,5 jam)	-	0,8	-	0,1	% berat
Kelarutan (C ₂ HCL ₃)	99	-	99	-	% berat
Daktilitas (25°C,5cm/menit)	100	-	75	-	Cm
Penetrasi setelah kehilangan berat	54	-	50	-	% semula
Daktilitas setelah kehilangan berat	100	-	75	-	Cm
Berat jenis (25°C)	1	-	1	-	

(Sumber : Bina Marga, 2010)

2.2.5. Aspal modifikasi

Pada umumnya aspal memiliki sifat yang kurang baik seperti stabilitas yang rendah, kurangnya ketahanan terhadap suhu serta mudahnya mengikat atom bebas (Rianung, 2007). Karena aspal memiliki sifat-sifat yang tidak baik, jadi untuk memperbaiki sifatnya para ahli berupaya menemukan bahan. Dibutuhkan bahan tambah aspal yang memiliki nilai keawetan atau kekuatan yang lebih tinggi, terutama untuk menahan beban lalu lintas yang padat maupun berat. Bahan tambah ini dicampur dengan aspal dan disebut sebagai aspal modifikasi. Aspal modifikasi

adalah aspal yang dibuat dari campuran aspal keras dengan suatu bahan tambah berupa sejenis polimer, sehingga aspal modifikasi sering disebut juga sebagai aspal polimer dan aspal multigrade. Pada dasarnya aspal modifikasi polimer merupakan aspal yang dimodifikasi sehingga bahan-bahan pembuat aspal modifikasi polimer memiliki tambahan lain seperti polimer itu sendiri yaitu berupa plastomer dan elastomer. Bahan Plastomer (plastik) yaitu berupa *polypropylene* dan *polyethylene*, sedangkan bahan elastomer antara lain berupa karet alam, *styrene butadiene styrene* (SBS) (revisi SNI 03-6749-2002)

2.2.6. Bahan pengisi (filler)

Menurut Dinas pekerjaan umum (1983), *filler* adalah sekumpulan mineral agregat yang umumnya lolos saringan No. 200. *Filler* atau bahan pengisi ini akan mengisi rongga di antara partikel agregat kasar dalam rangka mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. Sukirman S., (2003), *filler* dapat menggunakan debu batu kapur, semen Portland, abu terbang, abu tanur atau material non plastis, asalkan bagian yang lolos saringan No. 200 sama atau lebih banyak dari 75 % terhadap beratnya.

Pada penelitian ini diteliti mengenai peran abu batu sebagai bahan *filler*, dalam penelitian ini komposisi *filler* yang digunakan dalam campuran adalah : 100% abu batu. Penelitian dilakukan dengan menggunakan metoda Marshall meliputi beberapa parameter Marshall yaitu : stabilitas, kelelahan, Marshall Quotient, VMA, VIM.

Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa bertambahnya kandungan abu batu dalam campuran akan menambah kadar aspal yaitu 6,65%. Stabilitas dan kelelahan/*flow* untuk *filler* 100% abu batu masing-masing sebesar 1150 kg dan 4,97 mm. Campuran dengan *filler* 100% abu batu mempunyai nilai kepadatan sebesar 2,378 gr/cc sedangkan pada pengujian marshall quotient sebesar 251,6 kg/mm. VIM dengan campuran abu batu memiliki nilai sebesar 5,383 % sedangkan nilai VMA dengan *filler* abu batu sebesar 18,04 %.(Marteano, Dedy :2003 dalam Mutmainah, 2013).

Nilai stabilitas campuran dengan *filler* abu batu pada pengujian Marshall Test yaitu untuk abu batu sebesar 1148,6 kg Nilai density campuran dengan *filler* abu batu pada pengujian Marshall Test yaitu untuk abu batu sebesar 2.358 T/m. Nilai *flow* dari campuran dengan *filler* abu batu adalah 3,79 mm. Nilai *flow* dipengaruhi oleh banyaknya kadar aspal dalam campuran, semakin tinggi kadar aspal dalam campuran berakibat semakin tinggi nilai *flow* pada campuran tersebut. Nilai *flow* campuran Laston dengan *filler* abu batu memenuhi spesifikasi nilai *flow* yang disyaratkan 2 – 4mm. Nilai Marshall Quotient pada campuran dengan *filler* abu batu sebesar 297.11 kg/m. Nilai Marshall Quotient untuk abu batu masuk dalam spesifikasi dari Bina Marga, yaitu 200-350 kg/mm. (Saputra, Satriotomo :2007 dalam Mutmainah, 2013).

2.2.7. Campuran aspal panas

a. Karakteristik campuran aspal panas

Campuran aspal panas diharapkan memiliki sifat kuat, lentur, awet dan aman. Secara umum karakteristik campuran aspal harus dimiliki campuran tersebut adalah sebagai berikut (Sukirman S, 2003) :

1) Kekuatan (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menopang beban lalu lintas tanpa berlangsungnya perubahan bentuk atau konsisten seperti gelombang, alur dan *bleeding*.

2) Keawetan (*Durability*)

Keawetan didefinisikan sebagai kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas yang berulang, seperti gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan, dan untuk menahan kerusakan yang disebabkan oleh faktor iklim dan cuaca.

3) Kelenturan (*Flexibility*)

Kemampuan lapisan untuk mempertahankan deformasi yang disebabkan oleh beban lalu lintas tanpa retak atau perubahan volume dikenal sebagai kelentur.

4) Kekesatan (*Skid resistance*)

Kekesatan adalah kemampuan lapisan untuk memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak mengalami slip baik di waktu hujan atau basah maupun di waktu kering.

5) Ketahanan terhadap Kelelahan (*Fatigue resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk menerima lendutan berulang akibat repetisi beban tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika menggunakan kadar aspal yang tinggi.

6) Kemudahan dalam proses Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan campuran untuk dipadatkan dan dihamparkan memungkinkan hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.

7) Kedap air (*Impermeability*)

Air merupakan musuh utama dari pada jalan, sehingga lapisan beraspal kedap air diharapkan mampu menjaga lapisan di bawahnya berupa dampak dari air dan udara, yang mampu mengurangi daya dukung maupun menurunnya nilai kekuatan. Selain itu, air menyebabkan pengelupasan aspal dari permukaan agregat, sehingga menimbulkan kerusakan jalan. Menggunakan kadar aspal yang lebih tinggi Ketika pencampuran merupakan upaya yang dilakukan untuk memperoleh lapisan yang kedap air. Tindakan ini diambil untuk memastikan bahwa lapisan dapat menopang tegangan permukaan yang dihasilkan dari tekanan air dan beban kendaraan yang melewatinya.

b. Pengaruh air terhadap perkerasan jalan

Jenis kerusakan yang disebabkan oleh kubangan air bervariasi, berawal dari pengelupasan aspal lubang kecil maupun lubang yang cukup besar. Karena aspal memiliki sifat yang mudah rusak ketika terkena air, kubangan air ini akan merusak lapisan aspal di jalan raya. Air yang menggenang di badan atau struktur jalan raya dapat berasal dari berbagai sumber. Air hujan yang jatuh langsung ke area badan jalan dan *seepage* dari area yang lebih

tinggi di sekitar perkerasan (terutama pada badan jalan tanah galian), beberapa sumbernya termasuk perubahan ketinggian muka air tanah, infiltrasi air melalui bahu jalan atau perkerasan, kapilaritas, dan rembesan air dari daerah yang lebih basah ke daerah yang lebih kering.

Keberadaan air di jalan raya memiliki banyak dampak negatif. Salah satu efeknya yaitu erosi permukaan jalan yang disebabkan oleh hubungan agregat, air, dan material permukaan jalan. Selain itu, beberapa kejadian yang dapat mengganggu daya dukung struktur jalan raya. Kejadian tersebut diantaranya seperti kejadian masuknya air sampai ke lapisan tanah dasar. Kejadian ini berlangsung menyebabkan meningkatnya tekanan pada permukaan jalan (Sifat volumetrik campuran panas).

Sifat-sifat volumetrik campuran aspal merupakan karakteristik fisik campuran yang digunakan untuk evaluasi awal rancangan campuran aspal (dalam bentuk benda uji) di laboratorium.

a) Berat jenis (*specific gravity*)

Berat jenis dapat dijadikan indikator untuk menentukan tingkat kepadatan suatu campuran aspal. Semakin tinggi berat jenis campuran aspal, maka derajat kepadatan campuran aspal semakin baik. Kepadatan yang tinggi akan meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran serta mengurangi pengaruh perubahan bentuk dari lapisan bawah roda kendaraan. Berat jenis dapat dihitung dengan menggunakan rumusan-rumusan berikut :

a) Berat jenis bulk campuran total agregat

Campuran total agregat terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi yang masing-masing mempunyai nominal berat jenis, maka berat jenis bulk total campuran agregat dapat dihitung dengan persamaan 2-2 :

$$\gamma_B = \frac{(a+b+c+d)}{\left[\frac{a}{(\gamma_{ov})a} + \frac{b}{(\gamma_{ov})b} + \frac{c}{(\gamma_{ov})c} + \frac{d}{(\gamma_{ov})d}\right]} \quad (2-2)$$

dengan :

γ_B : berat jenis bulk total agregat .

a,b,c,d : persentase masing-masing agregat
 $(\gamma_{ov})_n$: berat jenis bulk masing-masing agregat

b) Berat jenis efektif dari total campuran agregat

Merupakan perbandingan antara berat bahan di udara (tidak termasuk rongga yang menyerap air) pada satuan volume dan suhu tertentu, dengan berat air destilasi dengan volume yang sama pada suhu tertentu pula.

$$\gamma_C = \frac{\frac{(a + b + c)}{2}}{\left[\frac{a}{(\gamma_{App})a} + \frac{b}{(\gamma_{App})b} + \frac{c}{(\gamma_{App})c} \right]} + \frac{\gamma_B}{2} \quad (2-3)$$

dengan :

γ_B : berat jenis bulk total agregat.

γ_C : berat jenis efektif dari total agregat.

$(\gamma_{App})_n$: berat jenis apparent masing-masing 2x agregat.

c) Berat jenis maksimum campuran aspal

Berat jenis maksimum campuran aspal adalah berat jenis pada saat kondisi rongga pori udara dalam campuran adalah nol, dan berat jenis ini dapat ditentukan dengan metode pengujian AASHTO T-209-90 atau ASTM 2041.

$$D = \frac{100}{\frac{100 - A}{C} + T} \quad (2-4)$$

dengan :

D : berat jenis maksimum campuran aspal

A : kadar aspal (%)

C : berat jenis efektif dari total agregat

T : berat jenis aspal

b) Rongga udara (*air void*)

a) Rongga pori di antara mineral agregat (VMA)

Jika butir agregat terdapat volume rongga didalam campuran aspal dengan kondisi padat, biasanya disebut dengan VMA. VMA mencakup volume aspal efektif dalam campuran beraspal (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat) maupun volume rongga udara. VMA dapat dihitung menggunakan rumusan berikut :

$$VMA = 100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \quad (2-5)$$

dengan :

VMA : volume pori di antara agregat dalam campuran

Gsb : berat jenis bulk agregat.

Gmb : berat jenis bulk campuran padat .

Ps : kandungan agregat, persen terhadap total campuran (%)

b) Rongga pori dalam campuran beraspal (VIM)

VIM adalah kantong-kantong udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Persamaan yang digunakan dalam mencari nilai VIM dapat dilihat sebagai berikut :

$$VIM = 100 \left(\frac{Gmm - Gmb}{Gmm} \right) \quad (2-6)$$

dengan :

VIM : volume pori dalam campuran aspal padat .

Gmm : berat jenis maksimum dari campuran aspal yang belum dipadatkan.

Gmb : berat jenis bulk campuran padat.

c) Rongga pori yang terisi aspal (VFB)

VFB merupakan bagian rongga yang berada di antara mineral agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif dan dinyatakan dalam persen dengan rumusan sebagai berikut:

$$VFB = 100 \times \left(\frac{VMA - VIM}{VMA} \right) \quad (2-7)$$

dengan :

VFB : volume pori yang terisi aspal, persen dari VMA .

VMA : volume pori di antara mineral agregat, persen dari volume bulk campuran.

VIM : rongga di dalam campuran, persen total campuran.

c. Density (kepadatan)

Nilai berat volume atau *density* menunjukkan kepadatan campuran agregat aspal. Campuran dengan nilai density yang tinggi lebih baik dalam menopang beban karena rongga yang lebih kecil di dalamnya maupun bidang kontak yang lebih besar dari butiran agregat. Gaya gesek (friction) antara butiran akan meningkat, dan campuran akan lebih kedap terhadap udara dan air, sehingga sulit untuk teroksidasi.

2.2.8. Pemeriksaan sifat fisik dan mekanis campuran aspal

a) Pemeriksaan volumetrik benda uji

Pemeriksaan volumetrik yang dilakukan terhadap benda uji yaitu : pemeriksaan berat jenis campuran, pemeriksaan rongga pori dalam campuran (VIM), rongga pori antar agregat (VMA) dan Rongga yang terisi aspal (VFA).

b) Stabilitas campuran aspal

Kekuatan campuran kepada geser akibat beban luar yaitu sifat fundamental campuran aspal amat berpengaruh terhadap nilai stabilitas maupun tahanan geser dalam, hal ini sangat terikat dengan kualitas agregat. Pemakaian aspal bermutu tinggi mampu menambah stabilitas campuran yang bermula dari kontribusi tegangan kohesif aspal. Luas permukaan agregat, tingkat kekasaran agregat, kadar kelekatan aspal, dan kekentalan aspal dapat mempengaruhi nilai kekuatan kohesif. Tegangan kohesif aspal meningkat bersamaan dengan bertambah luasnya permukaan agregat yang dilapisi seluruhnya oleh aspal, stabilitas dapat juga dimaksimalkan dengan menambahkan bahan pengisi (*mineral filler*). Seusai pemadatan kandungan rongga pori juga mempengaruhi nilai stabilitas. ketika volume rongga pori

dalam campuran menurun maka nilai stabilitas menurun juga, sehingga rongga pori udara dibatasi minimum 3% dan maksimum 5% dari total volume.

c) Kelelahan (*flow*)

Kelelahan campuran aspal terjadi akibat repetisi beban lalu lintas selama masa layanan. Lendutan (regangan) plastis pada perkerasan sebagai akibat kombinasi beban berat dan faktor cuaca (temperatur tinggi), menimbulkan kerusakan retak kelelahan bahan dan deformasi permanen (*rutting*) yang notabene merupakan akumulasi dari regangan–regangan plastis akibat ulangan beban lalu lintas selama umur rencana jalan.

d) Marshall quotient

Tolak ukur dari nilai *Marshall Quotient* (MQ), dimanfaatkan sebagai evaluasi dini ketika suatu campuran aspal terus dipertahankan sebagai campuran rencana atau perlu direvisi dalam rangka pembuatan rancangan campuran aspal. Persamaan yang digunakan dalam menghitung nilai MQ sebagai berikut :

$$P = \frac{M}{N} \quad (2.8)$$

dengan:

P : *Marshall Quotient* (Kg/mm)

M : Stabilitas (Kg)

N : *Flow* (mm)

BAB III METODE PENELITIAN

3.1. Lokasi Penelitian

3.1.1. Lokasi Pengambilan Sampel

Lokasi pengambilan sampel agregat kasar, agregat kasar, dan *filler* pada AMP PT. Sinar Bali Binakarya yang terletak di Jalan Raya Praya – Mujur, Batunyala, Kecamatan Praya Timur, kabupaten Lombok Tengah, Provinsi Nusa Tenggara barat. Gambar 3.1 menampilkan lokasi pengambilan sampel penelitian.



(Sumber : Google earth, 2023)

Gambar 3. 1 Lokasi pengambilan sampel agregat

3.1.2. Lokasi Pengujian

Lokasi penelitian dilakukan di Balai Pengujian Material Konstruksi, PUPR provinsi yang terletak di Jalan Majapahit No.11, Kekalik Jaya, Kecamatan Sekarbela, Kota Mataram, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Gambar 3.2 menampilkan lokasi pengujian.



(Sumber : Google earth, 2023)

Gambar 3. 2 Lokasi pengujian

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Bahan

Bahan – bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

- a. Aspal minyak penetrasi 60/70.



Gambar 3. 3 Aspal penetrasi 60/70

- b. Material agregat dari PT. Sinar Bali Binakarya, Mujuur-Lombok Tengah.



Gambar 3. 4 Agregat 3/4 dan 3/8

- c. Abu batu sebagai mineral pengisi (filler) dari PT. Sinar Bali Binakarya, Mujuur-Lombok Tengah.



Gambar 3. 5 Abu batu

d. Gondorukem (*Water White*).



Gambar 3. 6 Gondorukem

3.2.2. Alat

Atan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Alat pemeriksaan agregat yang terdiri dari :
 - a. Wadah agregat



Gambar 3. 7 Wadah

b. Oven pengering dan pengatur temperatur



Gambar 3. 8 Oven

c. Timbangan



Gambar 3. 9 Timbangan digital

d. Thermometer



Gambar 3. 10 Termometer

2. Alat pembuat briket campuran aspal terdiri dari
 - a. Satu set cetakan (mold) berbentuk silinder dengan diameter 101,45



Gambar 3. 11 Cetakan mold

b. Alat penumbuk (*compactor*)



Gambar 3. 12 Alat penumbuk

c. Satu set alat pengangkat (dongkrak hidrolik)



Gambar 3. 13 Dongkrak hidrolik

3. Satu set alat marshall, terdiri dari
 - a. Kepala penekan yang memiliki bentuk lengkung.
 - b. Dongkrak pembebanan yang dioperasikan secara elektrik dengan kecepatan pergerakan vertical 50,8 mm/menit

- c. Cincin penguji berkemampuan 2500 kg dan atau 500 kg dilengkapi dengan arloji (dial).
- d. Arloji pengukuran air (flow) dengan ketelitian 0,25 mm beserta pelengkapannya.



Gambar 3. 14 Satu set alat *marshall*

4 .Satu set *water bath*



Gambar 3. 15 Satu set *water bath*

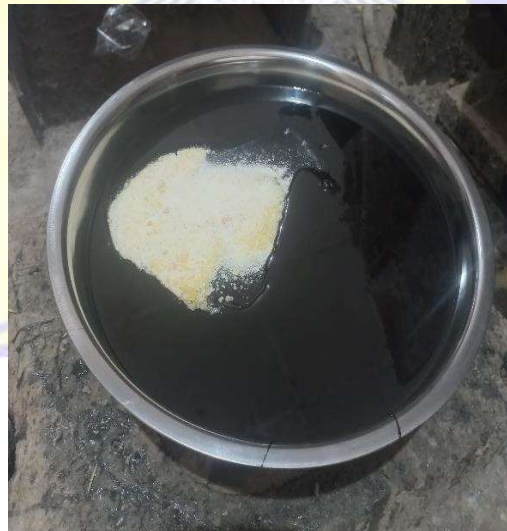
4. Alat tambahan

a. Wajan



Gambar 3. 16 Wajan

b. Panci



Gambar 3. 17 Panci

c. Sarung tangan



Gambar 3. 18 Sarung tangan

3.3. Pelaksanaan Penelitian

3.3.1. Tahap persiapan

a. Data primer

Data primer untuk penelitian ini menggunakan hasil uji, yang mencakup pengujian volumetrik benda uji, pengujian Marshall yang bertujuan memperoleh kadar aspal ideal maupun hasil uji Marshall untuk kadar aspal efektif.

b. Data Sekunder

Pengambilan data yang diperoleh dari hasil peneliti sebelumnya atau yang dilaksanakan maupun masih berkaitan pada penelitian biasanya disebut dengan data sekunder. Data sekunder yang dimanfaatkan penelitian ini yaitu data hasil pemeriksaan agregat yang diperoleh dari Laboratorium Pengujian Material Konstruksi Dinas Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang Provinsi Nusa Tenggara Barat maupun data hasil pemeriksaan karakteristik aspal dari Laboratorium Pengujian Material Konstruksi Dinas Pekerjaan Umum Dan Penataan Ruang Provinsi Nusa Tenggara Barat

Tabel 3. 1 Rancangan Percobaan (Ket.Replika 3 buah)

Jenis Pengujian	Variasi Perendaman				Jumlah
	0 hari	1 hari	2 hari	3 hari	
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	12
Jumlah Total					12

Tahap awal dari proses penelitian melibatkan penetapan desain penelitian, dimana segenap alat maupun bahan yang dibutuhkan lalu disiapkan terlebih dahulu. Memastikan ketersediaan alat dan bahan sangat penting karena berdampak signifikan terhadap proses penelitian. Alat dan bahan sudah dipersiapkan secara matang sejak awal.

Alat yang dipakai pada penelitian ini sebagai berikut :

1. Tiga buah cetakan benda uji yang berdiameter 10,16 dan tinggi 7,62 cm, lengkap dengan pelat alas dan leher sambung.
2. Mesin penumbuk manual atau otomatis lengkap dengan :
 - 1) Penumbuk memiliki permukaan tumbukan yang rata berbentuk silinder, dengan berat 4,536 kg maupun tinggi jatuh bebas 45,7 cm.
 - 2) Landasan pemadat tersusun oleh balok kayu (jati atau yang sejenis) berukuran 20,32 x 20,32 x 45,72 cm dilapisi dengan pelat baja berukuran 30,48 x 30,48 x 2,54 cm dan dijangkarkan pada lantai beton di keempat bagian sudutnya.
3. Alat pengeluaran benda uji :

Untuk mengeluarkan benda uji yang sudah dipadatkan dari dalam cetakan benda uji dipakai sebuah alat ekstruder yang berdiameter 10 cm.
4. Alat marshall lengkap dengan :
 - 1) Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung.
 - 2) Cincin penguji (*proving ring*) kapasitas 2500 kg dan atau 5000 kg, dilengkapi dengan arloji (*dial*) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm.

- 3) Arloji pengukur alir (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm beserta kelengkapannya.
5. Oven, yang dilengkapi dengan pengatur suhu yang mampu memanasi sampai 200°C derajat ($\pm 3^\circ\text{C}$).
6. Bak perendam (*water bath*) dilengkapi dengan pengatur suhu mulai 20 sampai 60°C ($\pm 1^\circ\text{C}$).
7. Timbangan yang dilengkapi dengan penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 g dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 g.
8. Pengukur suhu dari logam (metal thermometer) berkapasitas 250°C dan 100°C dengan ketelitian 1% dari kapasitas.
9. Perlengkapan lain :
 - 1) Panci untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran aspal.
 - 2) Sendok pengaduk dan spatula .
 - 3) Kompor atau pemanas (*hot plate*).
 - 4) Sarung tangan.

Dasar-dasar pengambilan waktu perendaman :

1. Waktu 30 menit merupakan standar dalam perendaman *Marshall Biasa*'
2. Waktu 1 hari (24 jam) merupakan standar dalam *Marshall Immersion*.

3.3.2. Pembuatan benda uji

Pembuatan benda uji dibagi menjadi beberapa tahapan prosedur sebagai berikut:

- a. Menghitung perkiraan awal kadar aspal (Pb), setelah mengetahui nilai kadar aspal, kemudian berat jenis maksimum (BJ Max) dihitung dengan perolehan data dari percobaan berat jenis agregat halus maupun agregat kasar.
- b. Menghitung berat aspal penetrasi 60/70, berat *filler* maupun berat agregat yang hendak dicampur menurut variasi kadar aspal. Berat total campuran 1200 gr digunakan untuk menentukan persentase. Kadar aspal diperoleh dengan menghitung komposisi agregat campuran.

- c. Panaskan agregat pada temperatur 28°C setelah itu panaskan aspal hingga memperoleh kekentalan (*viskositas*) yang dianjurkan pada pekerjaan pencampuran maupun pemadatan yang dapat ditunjukkan pada tabel 3.3 berikut:

Tabel 3. 2 Kekentalan aspal keras untuk pencampuran dan pemadatan

Alat uji	Kekentalan untuk		satuan
	pencampuran	pemadatan	
Viscometer Kinematik	170 ± 20	280 ± 30	Centistokes
Viscometer Saybolt Furol	85 ± 10	140 ± 15	Detik Saybolt Furol

- d. Pencampuran benda uji
- a) Semua benda uji memerlukan agregat sebanyak ± 1200 gram agar memperoleh tinggi benda uji sekitar 63,5 mm ± 1,27 mm.
 - b) Panaskan wadah pencampur kira-kira 28°C di atas temperatur pencampuran aspal keras.
 - c) Masukkan agregat yang telah dipanaskan ke dalam wadah pencampur
 - d) Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan seperti pada Tabel 3.2 sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan, kemudian aduk dengan cepat sampai agregat tercampur aspal secara merata.
- e. Pemadatan benda uji
- 1) Setelah aspal ditambahkan ke dalam agregat, campuran ini diaduk sampai merata, lalu didiamkan hingga mendapatkan temperatur pemadatan 120° C sampai 140° C.
 - 2) Letakkan kertas saring atau kertas penghisap dengan ukuran sesuai ukuran dasar cetakan
 - 3) Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali di sekeliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya

- 4) Letakkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan
 - 5) Padatkan campuran dengan temperatur yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan, setelah itu lakukan penumbukan sebanyak 75 kali di kedua sisi.
 - 6) Sesudah dilakukan pemadatan campuran, lepaskan pelat alas dan pasang alat pengeluar pada permukaan ujung benda uji,
 - 7) Keluarkan dan letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan diberi tanda pengenal serta biarkan selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang.
- f. Persiapan pengujian
- a. Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel
 - b. Ukur tinggi benda uji dengan ketelitian
 - c. Timbang benda uji (berat udara)
 - d. Rendam benda uji dalam air selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang
 - e. Timbang benda uji di dalam air untuk mendapatkan isi dari benda uji.
 - f. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh.

3.3.3. Proses perendaman benda uji

Benda uji yang sudah dipadatkan didiamkan dalam waktu 24 jam terlebih dahulu, kemudian benda uji tersebut direndam sampai terendam keseluruhannya di dalam *water bath* pada suhu $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, dengan durasi perendaman 30 menit, 1 hari, 2 hari dan 3 hari. Setelah direndam dalam *water bath* yang suhunya $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, benda uji baru bisa di uji.

3.4. Pengujian Benda Uji

3.4.1. Pengujian volumetrik benda uji

Dari hasil perhitungan berat jenis maksimum campuran (Gmm) pada kadar aspal yang telah ditetapkan dan dihitung dengan menggunakan persamaan yang

ada, kemudian dihitung besaran volumetrik dari campuran, seperti rongga antar mineral agregat (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM) dan rongga terisi aspal (VFB).

3.4.2. Pengujian Dengan Alat *Marshall*

Pengujian dengan alat *Marshall* ini dilakukan dengan tujuan memperoleh stabilitas, kelelahan dari benda uji campuran beraspal untuk perhitungan selanjutnya.

Pengujian yang berlangsung agar memperoleh nilai ketahanan (*stability*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari suatu campuran aspal biasa disebut pengujian *Marshall*. Ketika nilai stabilitas pada campuran semakin meningkat maka nilai *flow* juga akan meningkat. Nilai stabilitas yang lebih tinggi menunjukkan bahwa campuran perkerasan tersebut sanggup menopang beban yang lebih besar.

- a. Benda direndam selama kurang lebih 24 jam sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.
- b. Benda uji sebanyak 3 buah direndam dalam *Water Bath* (bak perendam) selama 30 – 40 menit untuk perendaman 0 hari, kemudian 3 buah untuk perendaman 1 hari, 3 buah untuk perendaman 2 hari, dan 3 buah untuk perendaman 3 hari dengan suhu $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- c. Keluarkan benda uji lalu pindahkan pada alat uji *Marshall* untuk dilakukan pengujian.
- d. Nilai kelelahan (*flow*) maupun stabilitas diperoleh dari pengujian *Marshall*
- e. Selanjutnya menghitung nilai stabilitas dan *Marshall quotient*

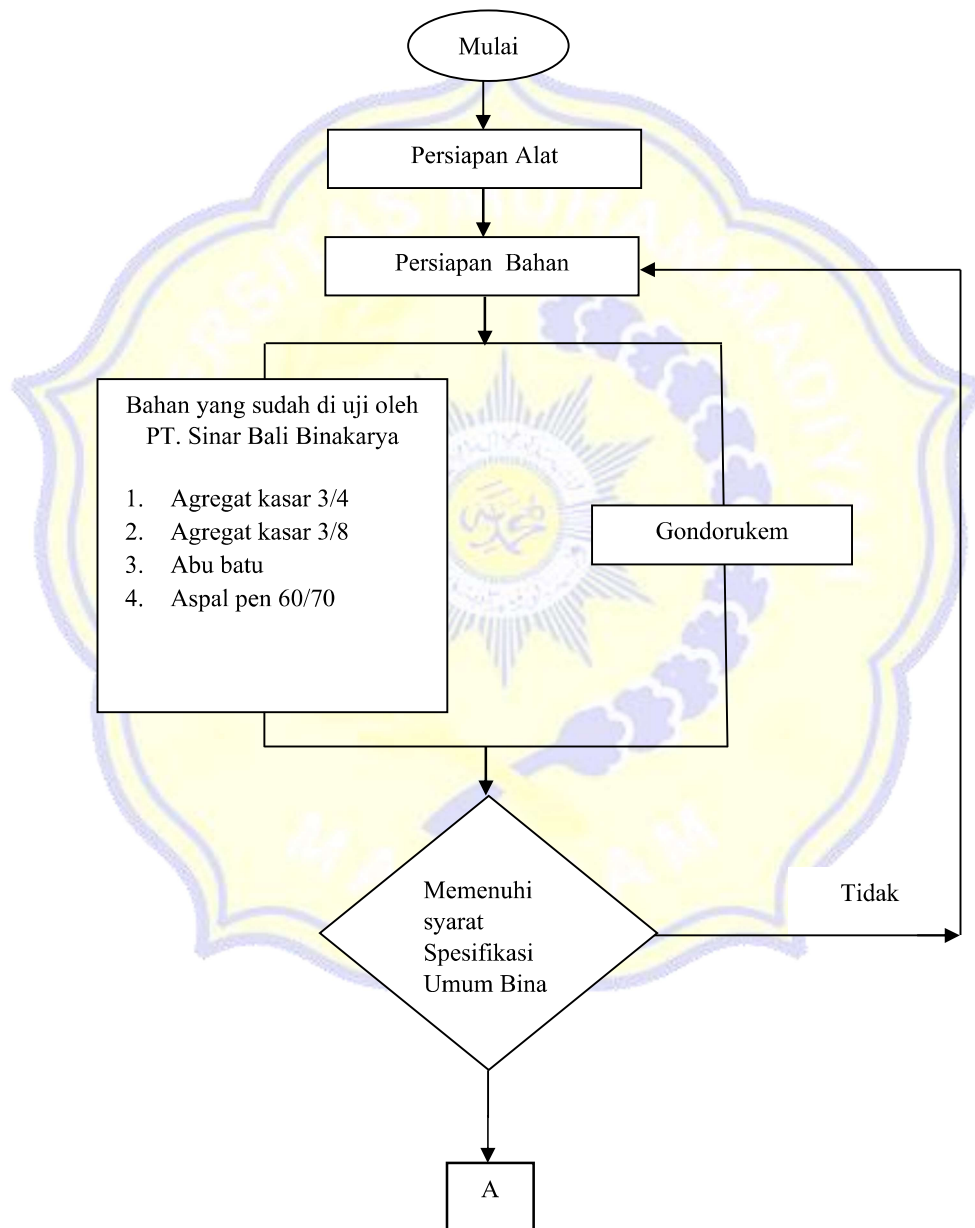
3.5. Analisa Data

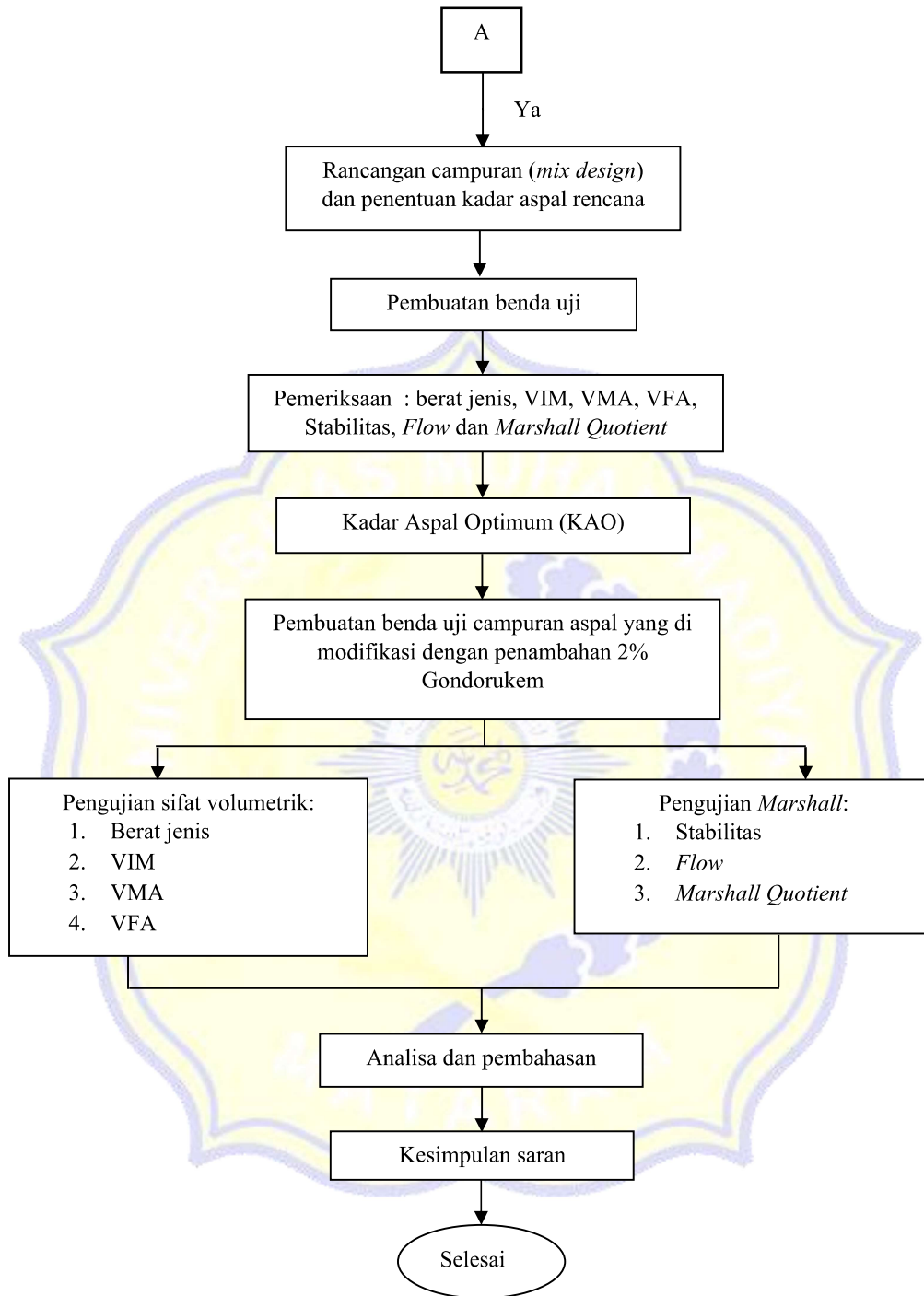
Adapun beberapa data yang dihasilkan dari hasil pengujian ini adalah :

1. Dari sifat – sifat fisik campuran beraspal didapatkan nilai volumetrik campuran beraspal seperti : berat jenis, rongga udara dalam campuran, rongga pori antar agregat, dan rongga yang terisi aspal.

2. Dari beberapa variasi waktu perendaman, sifat-sifat mekanis campuran beraspal didapatkan beberapa nilai seperti : stabilitas, *flow*, dan *marshall quotient*.

3.6. Bagan Alir Penelitian





Gambar 3. 19 Bagan Alir Penelitian