

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK *ASHPALT* *CONCRETE WEARING COARSE* MODIFIKASI PG 70 DAN ASPAL PENETRASI 60/70 DENGAN BAHAN TAMBAH ANTI STRIPPING AGENT

**Diajukan untuk Memenuhi Persyaratan dalam Menyelesaikan
Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung**



Disusun Oleh :

MOHAMMAD ARDY KUSUMA ANANTO
NIM. 30202300206

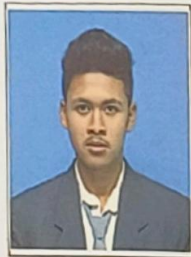
MUHAMMAD AGUS KURNIWAN
NIM. 30202300207

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG**

2025

LEMBAR PENGESAHAN

PERBANDINGAN KARAKTERISTIK *ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE* MODIFIKASI PG 70 DAN ASPAL PENETRASI 60/70 DENGAN BAHAN TAMBAH ANTI STRIPPING AGENT



MOHAMMAD ARDY K.A

NIM : 3020230026



MUHAMMAD AGUS K.

NIM : 30202300207

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Juli 2025

Tim Penguji

1. **Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.**

NIDN: 0611118903

2. **Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**

NIDN: 062505910

Tanda Tangan

Ketua Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Islam Sultan Agung

Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

NIDN: 062505910

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

11 / A2 / SA – T VII / 2025

Pada hari ini tanggal juli berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping:

1. Nama : Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama
2. Nama : Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing

Dengan ini menyatakan bahwa mahasiswa yang tersebut di bawah ini telah menyelesaikan bimbingan Tugas Akhir:

Mohammad Ardy Kusuma Ananto
NIM : 30202300206

Muhammad Agus Kurniawan
NIM : 30202300207

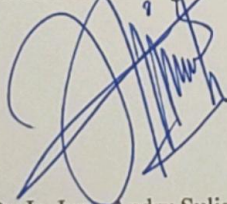
Judul : PERBANDINGAN KARAKTERISTIK *ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE* MODIFIKASI PG 70 DAN ASPAL PENETRASI 60/70 DENGAN BAHAN TAMBAH ANTI STRIPPING AGENT

Dengan tahapan sebagai berikut :

No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukan dosen pembimbing	13/05/2025	ACC
2	Seminar Proposal	21/06/2025	ACC
3	Pengumpulan data	22/06/2025	ACC
4	Analisis data	26/07/2025	ACC

Demikian Berita Acara Bimbingan Tugas Akhir / Skripsi ini dibuat untuk diketahui dan dipergunakan seperlunya oleh pihak-pihak yang berkepentingan

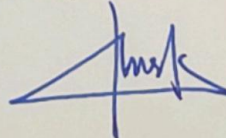
Dosen Pembimbing Utama



Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST MT

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Muhamad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Mohammad Ardy Kusuma Ananto
NIM : 30202300206
2. NAMA : Muhammad Agus Kurniawan
NIM : 30202300207

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : **PERBANDINGAN KARAKTERISTIK ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE MODIFIKASI PG 70 DAN ASPAL PENETRASI 60/70 DENGAN BAHAN TAMBAH ANTI STRIPPING AGENT.**

benar bebas dari plagiat, dan apabila pernyataan ini terbukti tidak benar maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat untuk dipergunakan sebagaimana mestinya.

Semarang, __/__/__

Yang membuat pernyataan 1

Yang membuat pernyataan 2

The image shows two handwritten signatures. The signature on the left is for Mohammad Ardy K.A. and the one on the right is for Muhammad Agus K. Between the two signatures is a yellow revenue stamp (Meterai Tempel) with a value of 1000. The stamp includes the text 'METERAI TEMPEL', the serial number 'FF20AAMX293878113', and the Indonesian national emblem.

Mohammad Ardy K.A.
NIM : 30202300206

Muhammad Agus K.
NIM : 30202300207

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

1. NAMA : Mohammad Ardy Kusuma Ananto
NIM : 30202300206
2. NAMA : Muhammad Agus Kurniawan
3. NIM : 30202300207

**JUDUL : PERBANDINGAN KARAKTERISTIK *ASPHALT CONCRETE*
WEARING COARSE MODIFIKASI PG 70 DAN ASPAL PENETRASI 60/70
DENGAN BAHAN TAMBAH ANTI STRIPPING AGENT.**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir ini merupakan hasil penelitian, pemikiran dan pemaparan asli saya sendiri. Saya tidak mencantumkan tanpa pengakuan bahan - bahan yang telah dipublikasikan sebelumnya atau ditulis oleh orang lain, atau sebagai bahan yang pernah diajukan untuk gelar atau ijazah pada Universitas Islam Sultan Agung Semarang atau perguruan tinggi lainnya.

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik sesuai dengan peraturan yang berlaku di Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Demikian pernyataan ini saya buat.

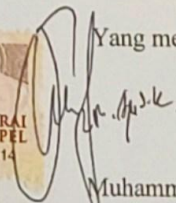
Semarang, __/__/__

Yang membuat pernyataan 1

A handwritten signature in black ink is placed over a yellow revenue stamp. The stamp features the Garuda Pancasila emblem and the text '10000', 'METERAI TEMPEL', and the serial number '92219AMX293878114'.

Mohammad Ardy Kusuma Ananto
NIM : 30202300206

Yang membuat pernyataan 2

A handwritten signature in black ink.

Muhammad Agus Kurniawan
NIM : 30202300207

MOTTO

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik. (Qs. Ali Imran :110)

.Jikalau penduduk negeri-negeri beriman dan bertaqwa. Pastilah kami akan melimpahkan kepada mereka berkah dari langit dan bumi, tetapi mereka mendustakan (ayat-ayat kami)itu, maka kami siksa mereka disebabkan perbuatannya (Qs. Al A'raf: 96)

Tidak ada kesuksesan melainkan dengan pertolongan Allah” (Qs. Huud : 88)

“Barang siapa yang bertaqwa kepada Allah, maka Allah memberikan jalan keluar kepadanya dan memberi rezeki dari arah yang tidak disangka-sangka. (Qs. Ath Thalaq : 2)

Janganlah kamu bersikap lemah dan janganlah pula kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi derajatnya jika kamu beriman. (Qs. Ali Imran :139)

Dan barang -siapa yang bertakwa kepada Allah, niscaya Allah menjadikan baginya kemudahan dalam urusannya.” — (Q.S At-Talaq: 4)

"Ketahuilah bahwa kemenangan bersama kesabaran, kelapangan Bersama kesempitan, dan kesulitan bersama kemudahan". (HR Tirmidzi)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua saya tercinta, Ayah Mintarto dan Ibu Anjar Rokhana yang selalu memberi semangat serta saran yang berguna dan selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Kakak saya Muhammad Fachurr Roza ,Sofia Martina ,Adik Nanda Rizky Yuliana dan Pasangan saya tercinta Agefia Aulita Permata Parandhina yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir, serta ponakan saya yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng. selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Dosen - dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikan ilmunya.
6. Muhammad Agus Kurniawan (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
7. Teman - teman semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Mohammad Ardy K.A

30202300206

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua saya tercinta, Ayah Muhammad Slamet Harjono dan Ibu Nurhayati dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Istri saya Inka Nurani, A.m.d Farm yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir, serta anak saya yang selalu menghibur saya selama saya merasa jenuh mengerjakan Tugas Akhir.
3. Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Muhammad Rusli Ahyar, ST., M. Eng. selaku dosen pembimbing yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Dosen - dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikan ilmunya.
6. Mohammad Ardy Kusuma Ananto (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
7. Bapak Surasa, ST., MT yang mendukung pembiayaan studi kuliah S1 teknik sipil.
8. Teman - teman Teknik Sipil Angkatan 2023 yang tidak bisa saya sebut satu – persatu.

Muhammad Agus Kurniawan
30202300207

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Dengan menyebut asma Allah Yang Maha Pengasih dan Maha Penyayang, segala puja dan puji syukur bagi Allah Subhanahu Wa ta'ala yang atas Rahmat, Taufiq, dan Hidayah Nya, kami telah apat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Perbandingan Karakteristik *Asphalt concrete Wearing Course* Modifikasi PG 70 dan Aspal Penentrasi 60/70 Dengan Bahan Tambah Anti Stripping Agent .

Penyusunan Laporan Tugas Akhir ini dapat terwujud atas pertolongan Allah Tuhan Yang Maha Penolong dan atas bantuan serta dukungan beberapa pihak. Untuk itu ingin mengucapkan terima kasih kepada kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Gunarto, SH., M. Hum selaku Rektor Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT selaku Dekan Fakultas Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Muhammad Rusli Ahyar, ST., MT. Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
4. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
5. Semua pihak yang membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak dapat kami sebutkan satu persatu

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunan dalam penulisan. Semoga Tugas Akhir dapat bermanfaat bagi kita semua dan tidak hanya bagi penulis saja.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

Semarang, Juli 2025

Mohammad Ardy K.A

Muhammad Agus K.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN	Error! Bookmark not defined.
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
ABSTRAK	xvi
BAB I PENDAHULUAN	18
1.1 Latar Belakang.....	18
1.2 Rumusan Masalah.....	19
1.3 Tujuan Penelitian.....	19
1.4 Batasan Masalah	20
1.5 Sistematika Penulisan.....	21
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	22
2.1 Aspal Penetrasi 60/70	22
2.2 Penyusun Perkerasan Jalan	24
2.3 Persyaratan Agregat.....	25
2.3.1 Jenis dan Fungsi Agregat dalam Campuran Aspal	26
2.3.2 Syarat Gradasi Agregat dan Pengaruhnya terhadap Campuran Aspal.....	27
2.3.2 Parameter Dan Formula Perhitungan	28
2.4 Laston Lapis Aus (AC-WC)	32
2.5 Fungsi Lapis Aus.....	32
2.6 Material Penyusun Perkerasan Jalan	33
2.7 Aspal.....	34
2.7.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall.....	35
2.7.2 Pengikat Bintument	36
2.7.3 Generally equivalent common graded of unmodified bitumen.....	38

2.8	Sifat Bahan Aggregate Aspal Wearing Coarse.....	38
2.8.1	Fraksi Agregat Kasar	38
2.8.2	Fraksi Agregat Halus	38
2.8.3	Sifat bahan yang disyaratkan	38
2.8.4	Pencampuran bahan	39
2.9	Lapis Pengikat	40
2.9.1	Cuaca yang diijinkan untuk bekerja	40
2.9.2	Kesiapan Pekerjaan.....	40
2.10	Penelitian Terdahulu yang Sejenis	41
2.11	Kerangka Pemikiran	44
BAB III		45
METODE PENELITIAN.....		45
3.1.	Tipe Penelitian	45
3.2.	Bahan dan Peralatan Penelitian	45
3.2.1	Bahan Penelitian	45
3.2.2	Peralatan Penelitian	46
3.3	Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian.....	50
3.4.	Bagan Alir Program Kerja 3.1.....	52
3.5.	Aspal.....	54
3.6.	Sifat – Sifat Campuran Aspal	54
3.6.1.	Stabilitas	54
3.6.2	Kelelahan Plastis (Flow)	54
3.6.3	Marshall Quotient	54
3.7	Laston Lapis Aus (AC – WC)	55
3.8	Metode Analisis	55
BAB IV		59
4.1	Persiapan Material	59
4.2	Pengujian Laboratorium	60
4.2.1	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70.....	60
4.3	Pengujian Agregat	61
4.3.1	Hasil Pengujian Hot Bin I.....	63
4.3.2	Hasil Pengujian Hot Bin II.....	64
4.3.3	Hasil Pengujian Hot Bin III	65
4.3.4	Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat.....	65
4.4	Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>)	67
4.5	Pembuatan Benda Uji Dengan Kadar Aspal.....	68
4.6	Pengujian Marshall	70
4.6.1	Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (ASSHTO-209s).....	71
4.6.2	Berat Jenis campuran AC-WC pen 60/70 dengan Anti Stripping Agent.....	71

4.6.3 4.7.1 Berat Jenis campuran AC-WC mod PG/70 dengan Anti Stripping Agent	72
4.6.4 Pengujian <i>Marshall</i> Untuk Menentukan KAO Aspal pen 60/70 di tambah <i>antistripping agent</i>	73
4.6.5 Ringkasan Hasil Test Pengujian AC-WC PEN 60/70	77
4.6.6 Pengujian <i>Marshall</i> Untuk Menentukan KAO Aspal PG 70 di tambah <i>antistripping agent</i>	78
4.6.7 Ringkasan Hasil Test Pengujian AC-WC PG 70	81
4.7 Pembuatan Benda Uji Dengan Kadar Aspal Optimum	82
4.7.1 Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (ASSHTO-209s).....	83
4.7.2 Berat Jenis campuran AC-WC pen 60/70 dengan Anti Stripping Agent.....	83
4.7.1 Berat Jenis campuran AC-WC mod PG/70 dengan Anti Stripping Agent.....	84
4.7.3 Hasil Uji Marshall Setelah KAO Aspal pen 60/70 di tambah antistripping agent	86
4.7.4 Hasil Uji Marshall Setelah KAO Aspal PG 70 di tambah antistripping agent	87
4.8 Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994).....	88
4.9 Rekapitulasi Dan Grafik Perbandingan Aspal Pen 60/70 Dan Aspal PG 70 Dengan Bahan Tambah Anti Stripping Setelah KAO	89
4.9.1 Grafik Perbandingan Aspal Pen 60/70 Antara Aspal Pg 70 Dengan Bahan Tambah Anti Stripping Agent berdasarkan <i>marshall</i> setelah di dapat KAO.	90
BAB V	94
KESIMPULAN DAN SARAN.....	94
5.1 Kesimpulan.....	94
5.2 Saran.....	95
DAFTAR PUSTAKA.....	96
DAFTAR GAMBAR.....	98
DAFTAR TABEL.....	99

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Karakteristik Fisik Aspal Pen 60/70	22
Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Kasar	25
Tabel 2. 3 Ketentuan Agregat halus	26
Tabel 2. 4 Spesifikasi Pengujian Aspal	35
Tabel 2. 5 Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk Wearing Coarse	39
Tabel 2. 6 Sifat -sifat Agregat untuk Wearing Coarse.....	39

Tabel 3. 1 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) dengan Aspal Mod PG 70 Normal....	47
Tabel 3. 2 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) dengan Aspal Pen 60/70 Normal	47
Tabel 3. 3 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah anti stripping agent 0,2 %	47
Tabel 3. 4 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah Anti Stripping Agent 0,2 %	48
Tabel 3. 5 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah anti stripping agent 0,2 %	48
Tabel 3. 6 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah anti stripping agent 0,2 %	48
Tabel 3. 7 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah anti stripping agent 0,2 %.....	49
Tabel 3. 8 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	53
Tabel 4. 1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Mod PG 70	60
Tabel 4. 2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pen 60/70.....	61
Tabel 4. 3 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat	62
Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	63
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	64
Tabel 4. 6 Hasil Analisa Pembagian Butiran.....	65
Tabel 4. 7 Perhitungan Kombinasi Agregat	66
Tabel 4. 8 Pembuatan Benda Uji.....	67
Tabel 4. 9 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)	68
Tabel 4. 10 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)	68
Tabel 4. 11 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)	69
Tabel 4. 12 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)	69
Tabel 4. 13 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)	69
Tabel 4. 14 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran AC-WC Pen 60/70 dengan Anti Stripping Agent	71
Tabel 4. 15 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran AC-WC Mod PG 70 dengan Anti Stripping Agent	72
Tabel 4. 16 Properties Of Asphalt Mixes Marshall Method	73
Tabel 4. 17 Komposisi Material AC - WC.....	77
Tabel 4. 18 Properties Of Asphalt Mixes Marshall Method	78

Tabel 4. 19 Komposisi Material AC - WC.....	82
Tabel 4. 20 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) dengan Aspal Mod PG 70.....	83
Tabel 4. 21 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design) dengan Aspal Pen 60/70	83
Tabel 4. 22 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran AC-WC Pen 60/70 dengan Anti Stripping Agent	84
Tabel 4. 23 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran AC-WC Mod PG 70 dengan Anti Stripping Agent.....	85
Tabel 4. 24 Properties Of Asphalt Mixes Marshall Method	86
Tabel 4. 25 Properties Of Asphalt Mixes Marshall Method	87
Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Kadar Aspal.....	88

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Pengujian Gradasi.....	101
Gambar 1. 2 Pengujian Variasi Kadar Aspal.....	101
 Gambar 2. 1 Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test	36
Gambar 2. 2 Kerangka Berfikir	44
Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian.....	51
 Gambar 4. 1 Pengambilan Agregat Material	59
Gambar 4. 2 Pengambilan Material Aspal dan Stripping Agent	59
Gambar 4. 3 VIM untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent	74
Gambar 4. 4 VMA untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent	74
Gambar 4. 5 VFB untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent	75
Gambar 4. 6 Stabilitas untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent	75
Gambar 4. 7 Flow untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent	76
Gambar 4. 8 Penentuan Kadar Aspal Optimum(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).	76
Gambar 4. 9 VIM untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent	79
Gambar 4. 10 VMA untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent	79
Gambar 4. 11 VFB untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent	80
Gambar 4. 12 Stabilitas untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent	80
Gambar 4. 13 Flow untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent	81

Gambar 4. 14 Penentuan Kadar Aspal Optimum (Sumber : Hasil Penelitian, 2024).	81
Gambar 4. 15 Rekap Hasil Uji <i>Marshall</i> Setelah Di Dapat KAO 5,7 %	89
Gambar 4. 16 Grafik perbandingan <i>VIM (Void In Mix)</i>	90
Gambar 4. 17 Grafik perbandingan <i>VMA (Void In Mineral Aggregate)</i>	90
Gambar 4. 18 Grafik perbandingan <i>VFB (Void Filled Bitumen)</i>	91
Gambar 4. 19 Grafik perbandingan <i>stabilitas</i>	92
Gambar 4. 20 Grafik perbandingan <i>flow</i>	92
Gambar 4. 21 Grafik perbandingan <i>Marshall Quotient (MQ)</i>	93



ABSTRAK

Perkerasan jalan berperan penting dalam mendukung konektivitas dan ekonomi, dengan lapisan aus sebagai penerima utama beban lalu lintas dan pengaruh cuaca. Di Indonesia, aspal Penetrasi 60/70 dan PG 70 merupakan jenis yang umum digunakan, di mana PG 70 memiliki keunggulan terhadap deformasi dan retak. Untuk mengatasi stripping akibat air, digunakan anti stripping agent (ASA) seperti hydrated lime yang meningkatkan daya ikat dan ketahanan campuran. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik campuran AC-WC dari kedua jenis aspal serta mengevaluasi pengaruh ASA terhadap peningkatan kinerja, guna memperoleh rekomendasi material yang optimal bagi perkerasan jalan.

Metodologi penelitian ini dilakukan melalui pendekatan eksperimental di laboratorium untuk menganalisis karakteristik campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) dengan menggunakan dua jenis aspal, yaitu aspal Penetrasi 60/70 dan aspal Modifikasi PG 70. Campuran diuji dengan penambahan anti stripping agent (ASA) berupa hydrated lime, untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap peningkatan daya ikat dan ketahanan terhadap stripping. Parameter yang diamati meliputi karakteristik volumetrik (VIM, VMA, VFB), stabilitas, flow, dan Marshall Quotient (MQ) guna memperoleh kesimpulan yang dapat mendukung pemilihan material yang optimal untuk perkerasan jalan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan aspal modifikasi PG 70 memberikan nilai stabilitas dan MQ yang lebih tinggi dibandingkan aspal Pen 60/70, serta menunjukkan ketahanan lebih baik terhadap pengaruh air. Penambahan ASA pada kedua jenis aspal juga secara signifikan meningkatkan daya rekat antara agregat dan aspal, serta meningkatkan ketahanan terhadap stripping. Berdasarkan hasil pengujian, campuran AC-WC dengan aspal PG 70 dan ASA direkomendasikan untuk digunakan pada perkerasan jalan di daerah beriklim tropis dengan lalu lintas tinggi.

Kata kunci: Aspal PG 70, Pen 60/70, AC-WC, Anti *Stripping Agent*, Marshall, Laston

ABSTRACT

Road pavement plays a crucial role in supporting connectivity and economic development, with the wearing course acting as the primary layer subjected to traffic loads and environmental exposure. In Indonesia, commonly used asphalt types include penetration grade 60/70 and PG 70 modified asphalt, the latter offering superior resistance to deformation and cracking. To mitigate moisture-induced stripping, anti-stripping agents (ASA) such as hydrated lime are applied to enhance adhesion and improve mixture durability. This study aims to analyze the characteristics of Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) mixtures utilizing both asphalt types, and to evaluate the influence of ASA on performance enhancement, in order to recommend optimal materials for pavement applications.

The research methodology involves laboratory-based experimental testing of AC-WC mixtures prepared with the two asphalt types, both with and without the addition of hydrated lime as an ASA. The evaluation focuses on volumetric properties (VIM, VMA, VFB), stability, flow, and Marshall Quotient (MQ) to determine the most suitable materials for pavement applications.

The findings indicate that PG 70 modified asphalt yields higher stability and MQ values than penetration grade 60/70 asphalt, and demonstrates better moisture resistance. Moreover, ASA addition significantly enhances the adhesive bond and stripping resistance in both asphalt types. Based on the test results, AC-WC mixtures incorporating PG 70 asphalt and ASA are recommended for road pavements in tropical regions with high traffic volumes.

Keywords: PG 70 Asphalt, Pen 60/70, AC-WC, *Anti-Stripping Agent*, *Marshall*, *Asphalt Concrete*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkerasan jalan memiliki peranan penting dalam menunjang konektivitas transportasi dan mendukung pertumbuhan ekonomi. Kinerja perkerasan jalan dipengaruhi oleh jenis material yang digunakan, khususnya pada lapisan aus (*wearing course*) yang menerima beban lalu lintas dan pengaruh cuaca secara langsung. Jenis aspal yang umum digunakan di Indonesia antara lain aspal penetrasi 60/70 dan aspal modifikasi PG 70.

Aspal penetrasi 60/70 merupakan aspal konvensional dengan rentang penetrasi 60-70 dmm pada suhu 25°C, yang cocok digunakan pada iklim tropis. Sedangkan aspal modifikasi PG 70 (*Performance Grade 70*) merupakan aspal yang telah ditingkatkan sifat kinerjanya melalui penambahan bahan polimer, sehingga tahan terhadap deformasi dan retak pada suhu tinggi. (*Asphalt Institute*,2023;PUPR, 2022).

Salah satu permasalahan utama dalam perkerasan fleksibel adalah terjadinya *stripping*, yaitu pengelupasan lapisan aspal dari agregat akibat keberadaan air. Untuk mengatasi masalah ini, digunakan bahan tambah anti *stripping agent* (ASA) yang bertujuan untuk meningkatkan daya lekat antara agregat dan aspal. ASA dapat berupa bahan kimia berbasis amina, silane, maupun bahan mineral seperti hydrated lime. Studi terbaru menunjukkan bahwa hydrated lime mampu meningkatkan ketahanan terhadap *stripping* serta memperbaiki kekuatan campuran secara umum. (Shuetal.,2022;MDPI*Materials*,2023).

Tes Marshall adalah metode laboratorium yang paling umum untuk memeriksa kinerja campuran panas menggunakan alat Marshall untuk menentukan nilai stabilitas dan kelelahan campuran aspal. Parameter yang disebut properti Marshall ditentukan dengan uji Marshall, yang terdiri dari densitas, stabilitas, *flow*, *Marshall quotient* (MQ), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga terisi aspal (VFA) dan persentase rongga. Tegangan maksimum yang dapat diambil sampel sebelum putus disebut konstanta Marshall, dan jumlah regangan dalam sampel sebelum putus disebut arus Marshall. Hubungan antara

stabilitas dan aliran Marshall disebut koefisien Marshall, yang merupakan ukuran ketahanan material terhadap deformasi tetap.

Laston adalah permukaan jalan dengan nilai struktural. Campuran ini terdiri dari agregat bergradasi kontinyu yang dicampurkan pada aspal keras, disebar dan dipadatkan panas pada temperatur tertentu. Laston adalah lapisan paving yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat butir menerus yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan pada suhu tertentu. (Rahim et al., n. d.) Ada berbagai jenis beton aspal panas, namun jenis beton aspal panas yang diteliti dalam penelitian ini adalah AC-WC. Dressing Course adalah lapisan yang dilekatkan langsung pada ban kendaraan, lapisan tahan air dan cuaca setebal minimal 4 cm. Lapisan ini menyerap beban lalu lintas dan mendistribusikannya kembali ke lapisan di bawahnya berupa beban kendaraan (gaya *vertikal*), gaya pengereman (gaya *horizontal*), dan roda kendaraan (getaran). Karena sifat distribusi beban, beban yang diserap oleh setiap lapisan berbeda, dan semakin kebawah semakin besar.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan karakteristik campuran AC-*Wearing Course* yang menggunakan dua jenis aspal, yaitu Pen 60/70 dan aspal Modifikasi PG 70, dengan tambahan anti *stripping agent*. penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pemilihan material perkerasan jalan yang memiliki daya tahan tinggi terhadap pengaruh lingkungan. memiliki karakteristik yang berbeda dan mempengaruhi kinerja perkerasan jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana perbandingan karakteristik campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) menggunakan aspal Penetrasi 60/70 dan aspal Modifikasi PG 70 ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan anti *stripping agent* (ASA) terhadap kinerja campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC dengan kedua jenis aspal tersebut ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian yang dilakukan ini adalah untuk :

1. Membandingkan performa campuran aspal Pen 60/70 dan aspal PG 70 yang dimodifikasi dengan Antistripping Agent berdasarkan parameter *stabilitas*, *flow*, *VIM*, *VMA*, *VFB*, dan *MQ* guna menilai potensi penggunaannya pada

struktur perkerasan jalan dengan beban lalu lintas sedang dan tuntutan deformasi plastis yang rendah.

2. Mengevaluasi pengaruh penambahan anti stripping agent terhadap kinerja campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* dari kedua jenis aspal tersebut.

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini harus dibatasi supaya menyimpang dari tujuan penelitiannya.

Adapun beberapa lingkup penelitian ini terbatas pada ketentuan sebagai berikut:

1. Fraksi agregat kasar dan halus berasal dari PT. Multi Bangun Indonesia, Surabaya, Jawa Timur.
2. Jenis aspal yang dianalisis hanya mencakup dua jenis, yaitu:
 - a) Aspal Penetrasi 60/70 (Aspal konvensional)
 - b) Aspal Modifikasi PG 70 (*Performance Grade*)
3. Penambahan bahan anti stripping agent (ASA) hanya menggunakan satu jenis sesuai rekomendasi dari laboratorium.
4. Penelitian ini tidak membahas dampak lingkungan, biaya ekonomis, atau efisiensi pelaksanaan di lapangan.
5. Kinerja yang diukur adalah stabilitas, ketahanan friksi, kelelahan, dan Marshall Quotient.
6. Pengujian dengan metode Marshall Test dilakukan dalam kondisi suhu ruangan serta menggunakan acuan spesifikasi Bina Marga Revisi III Divisi 6 2018.
7. Penelitian dititik beratkan pada hasil pengujian Marshall, tidak pada reaksi kimia yang terjadi pada saat penyampuran bahan.
8. Penelitian hanya dilakukan di Laboratorium *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Multi Bangun Indonesia, Surabaya, Jawa Timur. dan tidak melakukan penghamparan lapangan.

1.5 Sistematika Penulisan

Dalam melakukan penulisan penelitian ini akan digunakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I : PENDAHULUAN

Memberikan gambaran mengenai topik yang akan diteliti ke dalam latar belakang, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, batasan masalah serta sistematika penulisan penelitian.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Menguraikan mengenai beberapa aspek legalitas dan teknis yang berkenaan langsung dengan analisis dalam penelitian ini. Penjabaran dan penguraian teori yang digunakan pada penelitian ini, sebagai bahan dalam menyelesaikan permasalahan yang dihadapi dalam penelitian.

BAB III : METODE PENELITIAN

Menguraikan mengenai metode yang digunakan penelitian mulai dari tahapan penelitian, lokasi penelitian, materi penelitian, alat survei, waktu serta tata cara dan proses pengumpulan data lapangan.

BAB IV : HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Membahas mengenai hasil penelitian dan pembahasan tentang penelitian yang telah dilaksanakan.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Berisi kesimpulan hasil penelitian yang telah dilakukan serta mengemukakan beberapa saran yang mungkin untuk dilakukan dalam mendukung penelitian yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Aspal adalah bahan pengikat utama pada perkerasan jalan lentur yang berasal dari sisa penyulingan minyak bumi. Sifat dasar aspal meliputi adhesivitas (daya rekat), ketahanan terhadap air, *viskoelastisitas*, serta sifat termoplastik yang memungkinkannya berubah bentuk sesuai suhu. (Roberts et al., 1996). Dalam campuran perkerasan, aspal memiliki peran penting dalam mempertahankan stabilitas struktural dan durabilitas terhadap beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan.

2.1 Aspal Penetrasi 60/70

Aspal penetrasi 60/70 merupakan salah satu jenis aspal keras yang diperoleh dari hasil penyulingan minyak bumi dan diklasifikasikan berdasarkan tingkat penetrasi jarum standar pada suhu 25°C, dengan nilai antara 60 hingga 70 (0,1 mm). Nilai ini menunjukkan kekerasan dan viskositas aspal. Jenis aspal ini merupakan standar nasional (SNI 06-2456-1991) dan banyak digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan di Indonesia karena :

1. Stabil dalam kondisi iklim tropis
2. Cukup fleksibel terhadap perubahan suhu harian
3. Biaya produksi dan aplikasinya relatif rendah

Tabel 2. 1 Karakteristik Fisik Aspal Pen 60/70

Parameter Uji	Nilai Umum (Standar)	Sumber
Penetrasi (25°C, 100 g, 5 detik)	60–70 (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991
Titik Lembek (Softening Point)	49–56 °C	ASTM D36
Ductility (25°C, 5 cm/menit)	≥ 100 cm	ASTM D113
Berat Jenis	1,01 – 1,06	ASTM D70
Flash Point	≥ 232 °C	ASTM D92
Solubility dalam CS ₂	≥ 99 %	ASTM D2042

Aspal ini bersifat termoplastik, artinya dapat melunak saat dipanaskan dan mengeras saat mendingin. Namun, kelemahan utama aspal Pen 60/70 adalah kerentanan terhadap deformasi permanen (*rutting*) dan kerusakan akibat air, terutama pada lalu lintas berat dan suhu tinggi

Untuk meningkatkan performa teknis, khususnya terhadap suhu tinggi dan beban

lalu lintas berat, dikembangkan jenis aspal modifikasi seperti Performance Grade (PG). Salah satu jenis yang umum digunakan adalah PG 70, yaitu aspal yang mampu bekerja optimal pada suhu hingga 70°C. Aspal PG 70 umumnya dimodifikasi dari aspal Pen 60/70 dengan penambahan polimer elastomer, seperti Styrene Butadiene Styrene (SBS), yang berfungsi untuk meningkatkan elastisitas, kekakuan, dan ketahanan terhadap deformasi. Berdasarkan standar AASHTO M320-10, aspal PG 70 menunjukkan nilai softening point yang lebih tinggi serta kemampuan elastic recovery hingga 60–80%. Hal ini menjadikannya lebih stabil dan lebih tahan terhadap rutting dibandingkan aspal konvensional.

Dalam aplikasinya, performa aspal modifikasi seperti PG 70 juga dapat ditingkatkan dengan penambahan Anti *Stripping Agent* (ASA). ASA merupakan bahan kimia aditif yang bertujuan untuk meningkatkan adhesi antara agregat dan aspal serta mengurangi risiko stripping akibat pengaruh air. Stripping merupakan salah satu bentuk kerusakan dini pada perkerasan lentur akibat lepasnya aspal dari agregat karena adanya kelembaban. Berdasarkan penelitian Saputra (2018), penambahan ASA sebesar 0,2% - 0,4% dari berat aspal mampu meningkatkan stabilitas campuran dari 1417 kg menjadi 1814 kg dan meningkatkan ketahanan terhadap pengaruh air.

Penerapan teknologi aspal modifikasi dan ASA sangat relevan terutama pada lapisan perkerasan permukaan seperti *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Lapisan ini merupakan lapis aus yang bersentuhan langsung dengan roda kendaraan dan harus memiliki karakteristik stabil, tidak mudah berubah bentuk, dan memiliki daya rekat tinggi. Penggunaan aspal mod PG 70 dan ASA bertujuan untuk meningkatkan daya tahan AC-WC terhadap beban lalu lintas berat dan kondisi iklim tropis Indonesia yang ekstrem.

Untuk mengevaluasi kualitas campuran beraspal seperti AC-WC, digunakan metode uji Marshall. Uji ini mengukur beberapa parameter penting, yaitu stabilitas (kemampuan menahan beban), *flow* (deformasi plastis), VIM (rongga udara), VMA (rongga antar agregat), VFB (proporsi VMA yang diisi aspal), dan Marshall Quotient (rasio antara stabilitas dan flow). Menurut Widhiatmoko dan Hadi (2025), penggunaan aspal PG 70 memberikan nilai *Marshall Quotient* yang lebih tinggi dibandingkan Pen 60/70, yang menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih kaku dan memiliki stabilitas struktural yang lebih baik.

Dengan demikian, pemilihan jenis aspal dan bahan tambah seperti ASA menjadi

faktor penting dalam mendesain campuran perkerasan yang memiliki kinerja tinggi, umur rencana yang lebih panjang, dan ketahanan terhadap kerusakan akibat beban serta kondisi lingkungan.

2.2 Penyusun Perkerasan Jalan

Agregat adalah batu pecah, kerikil, pasir atau bahan galian alam dan buatan lainnya yang berupa mineral padat dalam ukuran besar atau kecil atau pecahan. Agregat merupakan komponen utama struktur perkerasan jalan, menjadi 90-95% agregat berat atau 75-85% agregat volume (Djalante, 2011). Oleh karena itu, kualitas perkerasan juga ditentukan oleh sifat-sifat agregat dan hasil pencampuran agregat dengan material lain. Sifat-sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu daya dukung dan ketahanan cuaca permukaan jalan. Kualitas agregat sebagai bahan paving ditentukan oleh: Kerak, kebersihan, kekerasan, kekuatan agregat, bentuk butir, struktur permukaan, porositas, daya serap air, berat jenis dan daya lekat aspal. Aspal menipis. Jumlah pori ditentukan oleh jumlah air yang diserap tergantung pada agregat. (Kurniawan et al., 2012). Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering, yang didapat dengan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$BJ_{abs} = \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \quad (2.6)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$BJ_{abs} = \frac{B_s}{B + B_s - B_t} \times 10\% \quad (2.7)$$

Keterangan :

B : Berat piknometer berisi air, (gram)

Bt : Berat piknometer berisi benda uji dan air, (gram)

Bs : Berat sample, (gram)

Bj : Berat sample kering permukaan jenuh

Bk: Berat sample kering oven

2.3 Persyaratan Agregat

Berdasarkan jenis dan ukuran butirannya agregat dibedakan menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (filler).

- Agregat Kasar

Agregat kasar rencana adalah yang tertinggal pada saringan No. #4 (4,75 mm) dan harus bersih, sehat dan bebas dari tanah liat atau bahan lain yang tidak diinginkan dan memenuhi persyaratan tabel 2.3. Agregat kasar yang digunakan dalam pengujian harus dihancurkan atau kerikil dan disediakan dalam ukuran standar. Agregat kasar ini memberi permukaan lebih stabil dan memiliki tingkat ketahanan slip yang tinggi untuk memastikan keselamatan lalu lintas. Agregat kasar dengan bentuk butiran bulat memudahkan proses pemadatan tetapi memiliki stabilitas yang rendah, sedangkan agregat sudut sulit untuk dipadatkan tetapi memiliki stabilitas yang tinggi. Bila digunakan sebagai campuran lapisan aus, agregat kasar harus memiliki ketahanan abrasi; untuk itu, nilai abrasi test of the loss angle harus diperhatikan. (Spesifikasi Bina Marga, 2018)

Tabel 2. 2 Persyaratan Agregat Kasar

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekekatan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12 %
		magnesium sulfat		Maks.18 %
Abrasi dengan mesin Los Angeles ¹⁾	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	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 Divisi 6 Perkerasan Aspal)

- Stone Matrix Asphalt (SMA)

Stone Matrix Asphalt selanjutnya disebut SMA, terdiri dari tiga jenis : SMA Tipis, SMA Halus dan SMA Kasar, dengan ukuran partikel agregat maksimum dari setiap campuran adalah 12,5mm, 19mm, 25mm. Setiap campuran SMA dari bahan aspal polimer disebut sebagai SMA tipis modifikasi, SMA halus modifikasi, dan SMA kasar modifikasi.

- Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat dengan ukuran butir lebih kecil dari saringan No.8 (2,36 mm). Agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan menempel di antara butiran. Agregat halus juga mengisi ruang antar butir. Bahan ini dapat terdiri dari kerikil atau pasir alam atau campuran keduanya. Persyaratan umum agregat halus sesuai ketentuan Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6.

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117: 2012	Maks. 10%

Tabel 2. 3 Ketentuan Agregat halus

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal

- Filler (Bahan Pengisi)

Bahan Pengisi adalah bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075 mm) dan membentuk setidaknya 75% berat. Fungsi filler adalah untuk mengisi lubang-lubang udara pada material, sehingga mengeraskan lapisan aspal. Abu batu atau semen portland dapat digunakan sebagai bahan pengisi.

2.3.1 Jenis dan Fungsi Agregat dalam Campuran Aspal

Agregat dalam campuran beraspal dibedakan menjadi dua kelompok utama, yaitu agregat kasar dan agregat halus, serta filler mineral.

Agregat kasar adalah butiran dengan ukuran lebih besar dari 4,75 mm (saringan No. 4). Fungsinya sebagai kerangka utama campuran yang memberikan kekuatan dan stabilitas struktural. Bentuk agregat kasar yang ideal adalah bersudut dan bertekstur kasar agar menghasilkan ikatan yang baik dengan aspal.

Agregat halus memiliki ukuran butir antara 0,075 mm sampai 4,75 mm. Perannya adalah mengisi rongga antara agregat kasar dan meningkatkan kompaksi serta kohesi campuran. Agregat halus sebaiknya memiliki bentuk butir kubikal dan permukaan kasar agar berkontribusi terhadap kekuatan geser campuran.

Filler adalah partikel halus dengan ukuran kurang dari 0,075 mm, seperti semen, abu batu, atau fly ash. Fungsinya adalah:

- Menambah kepadatan campuran
- Meningkatkan viskositas aspal
- Memperbaiki daya rekat antara aspal dan agregat

Filler juga memengaruhi sifat Marshall Quotient (MQ) dan durabilitas campuran aspal. Dalam praktik di lapangan, pemilihan filler sangat penting terutama untuk campuran yang menggunakan aspal modifikasi seperti PG 70.

2.3.2 Syarat Gradasi Agregat dan Pengaruhnya terhadap Campuran Aspal

Gradasi merupakan hal yang penting untuk menentukan stabilitas jalan. Ukuran agregat umumnya mempengaruhi ukuran rongga intergranular, yang menentukan stabilitas dan kemudahan implementasi. Gradasi agregat dibedakan atas (Jenderal & Marga, 2018) :

a. Gradasi seragam (*uniform graded*)

Gradasi Skala seragam adalah skala agregat dengan ukuran yang hampir sama. Grade seragam disebut juga open grade karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga atau rongga antar agregat. Campuran aspal yang dihasilkan pada skala ini berpori atau memiliki permeabilitas tinggi, stabilitas rendah, dan berat satuan rendah.

b. Gradasi rapat (*Dense graded*)

Gradasi rapat adalah skala agregat di mana butiran dari agregat kasar hingga halus hadir dalam proporsi yang sama. Oleh karena itu sering disebut sebagai continuous grading atau well graded. Agregat dianggap bergradasi baik bila persentase yang menembus setiap lapisan ayakan meningkat memenuhi:

$$P = 100 (d/D)^{0.45} \dots \dots \dots (2.8)$$

Dimana:

P = Persen lolos saringan dengan bukaan d mm
d = Ukuran agregat yang sedang diperhitungkan

D = Ukuran maksimum partikel dalam gradasi terbuka

Agregat dengan skala padat membentuk lapisan perkerasan yang sangat stabil dan kurang permeabel, memiliki sifat drainase yang buruk dan memiliki berat satuan yang tinggi.

c. Gradasi senjang (*Gap graded*)

Gradasi senjang adalah skala agregat di mana ukuran agregat tidak lengkap atau tidak memiliki. Agregat berukuran sedang membentuk lapisan jalan

dengan kualitas antara agregat seragam dan agregat bergradasi rapat.

2.3.2 Parameter Dan Formula Perhitungan

Parameter dan formula untuk menganalisa campuran aspal panas adalah sebagai berikut :

a. Kadar Aspal Rencana

$$Pb = 0,035 (\%CA) + (\%FA) + 0 + 0,18(\%FF) + konstanta \dots\dots\dots (2.1)$$

Pb = Perkiraan Kadar Aspal Rencana Awal

CA = Agregat Kasar

FA = Agregat Halus

FF = Bahan Pengisi

Konstanta = Kira-kira 0,5-1 untuk Laston dan 1-2 untuk Lataston

b. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis maksimum campuran (G_{mm}) diukur dengan AASHTO T.209-1990, maka berat jenis efektif campuran (G_{se}), kecuali rongga udara dalam partikel agregat yang menyerap aspal dapat dihitung dengan rumus berikut yang biasanya digunakan berdasarkan hasil pengujian kepadatan maksimum teoritis.

$$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm} - P_b}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}{\dots\dots\dots} \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

G_{se} : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)

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

P_{mm} : Persen berat total campuran (=100)

P_b : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)

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

G_b : Berat jenis aspal

c. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, G_{mm} pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Berat jenis maksimum dapat ditentukan dengan AASHTO T.209-1990. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaliknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat). Selanjutnya Berat Jenis Maksimum (G_{mm}) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}} \dots \dots \dots (2.3)$$

Keterangan:

- Gmm : Berat jenis maksimum campuran, (gr/cc)
- Pmm : Persen berat total campuran (=100)
- Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)
- Pb : Prosentase kadar aspal terhadap total campuran, (%)
- Gse : Berat jenis efektif/ *efektive spesific gravity*, (gr/cc)
- Gb : Berat jenis aspal, (gr/cc)

d. Berat Jenis Agregat Curah

Perhitungan berat jenis Agregat Curah dengan rumus sebagai berikut :

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}} \dots \dots \dots (2.4)$$

Keterangan:

- Gsb : Berat jenis Agregat Curah
- P1, P2, Pn : Presentase masing-masing fraksi Agregat
- G1, G2, Gn : Berat Jenis masing-masing fraksi Agregat

e. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (Pba) adalah sebagai berikut:

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{se} \times G_{sb}} \dots \dots \dots (2.5)$$

Keterangan:

- Pba : Penyerapan aspal, persen total agregat (%)
- Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
- Gse : Berat jenis efektif agregat, (gr/cc)
- Gb : Berat jenis aspal, (gr/cc)

f. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (Pbe) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan

menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus Kadar aspal efektif adalah :

$$Pbe = Pb - \frac{Pba}{100} Ps \dots\dots\dots(2.6)$$

Keterangan:

- Pbe : Kadar aspal efektif, persen total campuran, (%)
- Pb : Kadar aspal, persen total campuran, (%)
- Pba : Penyerapan aspal, persen total agregat, (%)
- Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

g. Rongga di antara mineral agregat (VMA)

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 (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total. Perhitungan VMA terhadap campuran adalah dengan rumus berikut :

$$VMA = 100 - \left[\frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right] \dots\dots\dots(2.7)$$

Keterangan:

- VMA : Rongga udara pada mineral agregat, prosentase dari volume total, (%)
- Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)
- Gsb : Berat jenis *bulk* agregat, (gr/cc)
- Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran, (%)

h. Rongga di dalam campuran (VIM)

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

$$VIM = 100 - \left[\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right] \dots\dots\dots (2.8)$$

Keterangan:

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

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

Gmm : Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

i. Rongga Udara Yang Terisi Aspal (VFA)

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

$$VFA = 100 \times \frac{(VMA - VIM)}{VMA} \dots\dots\dots(2.9)$$

Keterangan:

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

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

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

j. Marshall / Marshall Quotient (MQ)

Hasil bagi Marshall / Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelehan. Sifat Marshall tersebut dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$MQ = \frac{MS}{MF} \dots\dots\dots(2.10)$$

keterangan:

MQ : Marshall Quotient, (kg/mm)

MS : Marshall Stability (kg)

MF : Flow Marshall, (mm)

k. Stabilitas Sisa

Nilai Stabilitas Sisa diperoleh berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Untuk nilai stabilitas, nilai yang ditunjukkan pada jarum dial perlu dikonversikan terhadap alat Marshall untuk benda uji yang telah direndam pada suhu 60 °C selama 24 jam.

2.4 Laston Lapis Aus (AC-WC)

Laston (Lapisan Aspal Beton) Lapis Aus atau *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) merupakan lapisan teratas dari struktur perkerasan jalan lentur yang bersentuhan langsung dengan kendaraan. Fungsi utama dari lapisan ini adalah untuk menahan beban lalu lintas, memberikan permukaan berkendara yang halus, aman terhadap gesekan (anti-selip), serta melindungi lapisan di bawahnya dari kerusakan akibat cuaca dan air.

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 3 (Divisi 6), AC-WC harus dirancang dengan menggunakan agregat dan aspal berkualitas tinggi serta memenuhi ketentuan gradasi, kadar aspal, dan karakteristik campuran yang telah ditetapkan.

Karakteristik Umum AC-WC Berdasarkan penelitian oleh Fauzi et al. (2023) dan Wibowo & Anggono (2022), AC-WC memiliki ciri khas:

1. Menggunakan aspal keras Pen 60/70 atau aspal modifikasi seperti PG 70.
2. Agregat memiliki kekuatan dan ketahanan aus tinggi (Abrasi LA $\leq 25\%$).
3. Komposisi gradasi agregat bersifat dense graded (gradasi rapat), untuk meningkatkan stabilitas dan mengurangi rongga udara.
4. Dirancang dengan kadar aspal efektif dan filler mineral yang optimal agar menghasilkan kekakuan dan kelenturan yang seimbang.

2.5 Fungsi Lapis Aus

Menurut Yulianti & Suseno (2023), lapis aus AC-WC berfungsi untuk:

1. Menyediakan permukaan mengemudi yang halus dan aman.
2. Meningkatkan daya tahan struktural terhadap beban sumbu kendaraan berat.
3. Menghindari infiltrasi air ke lapisan bawah melalui pori-pori.
4. Menahan deformasi plastis (*rutting*) dan kerusakan akibat kelelahan (*fatigue*).

Penggunaan Aspal Modifikasi dan ASA

Tren terbaru menunjukkan penggunaan aspal modifikasi PG 70 dan Anti Stripping Agent (ASA) pada AC-WC untuk meningkatkan performa lapis aus, khususnya di daerah beriklim tropis seperti Indonesia. Studi oleh Sutrisno et al. (2024) menunjukkan bahwa:

- Aspal PG 70 meningkatkan Marshall Stability sebesar 20–25% dibanding

aspal konvensional.

- Penambahan ASA sebanyak 0,2% dari berat aspal dapat mengurangi potensi kerusakan stripping lebih dari 40%.
- Penggunaan filler aktif seperti fly ash atau abu batu membantu mengisi rongga VMA dan meningkatkan MQ (*Marshall Quotient*).

Spesifikasi Teknis AC-WC (Bina Marga, 2018)

- Ketebalan minimum : 4 cm
- Stabilitas Marshall : ≥ 800 kg
- Flow : 2 – 4 mm
- VIM : 3 – 5%
- VMA : $\geq 14\%$
- VFB : 65 – 75%

2.6 Material Penyusun Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan struktur berlapis yang berfungsi untuk menahan beban lalu lintas dan mendistribusikannya ke tanah dasar. Kinerja perkerasan jalan sangat bergantung pada material penyusunnya, baik dari sisi kekuatan, daya tahan, maupun kemampuan bekerja sama antar lapisan. Material utama penyusun perkerasan terdiri atas agregat kasar dan halus, filler, dan bahan pengikat berupa aspal.

Agregat berfungsi sebagai kerangka utama dari campuran perkerasan. Agregat kasar memberikan kekuatan struktural dan tahan terhadap deformasi, sedangkan agregat halus berfungsi mengisi rongga antar agregat kasar dan meningkatkan workability.

Menurut SNI 1969:2008 dan penelitian oleh Rachman et al. (2023), agregat yang digunakan dalam perkerasan jalan harus memenuhi persyaratan berikut:

1. Kuat tekan tinggi dan tahan aus (*Abrasi LA* $\leq 40\%$)
2. Tidak mengandung partikel halus lempung (nilai *sand equivalent* $\geq 45\%$)
3. Stabil terhadap air (tidak reaktif terhadap alkali dalam aspal)

Bahan pengisi (*Filler*) adalah material halus (ukuran lolos saringan No. 200) yang mengisi rongga antar partikel agregat. Filler meningkatkan kohesi campuran dan membantu pembentukan film aspal yang menyelimuti agregat.

Jenis filler umum meliputi:

1. Abu batu

2. *Fly ash*
3. Semen portland
4. Pozzolan

Studi oleh Suryaningsih & Maulana (2023) menunjukkan bahwa penggunaan filler aktif seperti *fly ash* atau semen dapat meningkatkan stabilitas campuran hingga 15–20% dibandingkan abu batu biasa, karena meningkatkan reaktivitas dan adhesi terhadap aspal.

Aspal sebagai Bahan Pengikat

Aspal berfungsi sebagai bahan pengikat antara agregat, memberikan fleksibilitas dan daya tahan terhadap beban lalu lintas serta kondisi cuaca. Jenis aspal yang digunakan meliputi:

1. Aspal Penetrasi (Pen 60/70): banyak digunakan di Indonesia karena sesuai untuk iklim tropis (SNI 06-2456-1991).
2. Aspal Modifikasi PG (*Performance Grade*): seperti PG 70 yang digunakan untuk kondisi lalu lintas berat dan suhu tinggi. (AASHTO M320-10)

Aspal juga dapat dimodifikasi dengan polimer (SBS, EVA) atau bahan tambahan (*Anti Stripping Agent*) untuk meningkatkan daya tahan terhadap air dan deformasi plastis.

Anti Stripping Agent (ASA) adalah bahan aditif yang ditambahkan untuk meningkatkan daya lekat antara agregat dan aspal, serta mencegah *stripping* atau lepasnya film aspal akibat pengaruh air.

Menurut penelitian oleh Putra & Ningsih (2024), penambahan ASA sebesar 0,2% dari berat aspal dapat meningkatkan nilai Retained Stability hingga 90% dan menurunkan nilai *loss due to water* pada uji *Indirect Tensile Strength Ratio* (ITSR).

2.7 Aspal

Aspal pada umumnya harus memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan sesuai dengan ketentuan yang ada, seperti tertera dalam Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Spesifikasi Pengujian Aspal

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi, 25° C, 100 gr, 5	SNI 06-2456-1991	50 – 80
2.	Titik lembek	SNI 06-2434-1991	≥ 54
3.	Indeks penetrasi	-	$\geq - 1,0$
4.	Daktalitas pada 25° C (cm)	SNI 06-2432-1991	≥ 150
5.	Titik nyala	SNI 06-2433-1991	≥ 232
6.	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	$\geq 1,0$
7.	Berat yang hilang	SNI 06-2440-1991	$\geq 0,8$

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

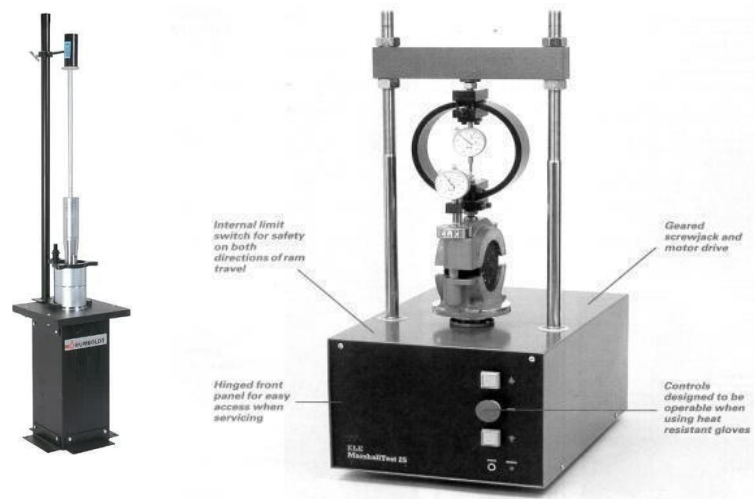
Aspal, atau bitumen, adalah bahan berwarna coklat kehitaman yang bersifat viskoelastis, artinya melunak dan meleleh. Berkat sifat viskoelastik ini, aspal mampu menutupi dan menahan agregat selama produksi dan umur konstruksi jalan. Intinya, aspal terdiri dari rantai hidrokarbon, yang disebut bitumen.

2.7.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Metode Marshall

Metode Marshall merupakan salah satu metode desain campuran aspal beton (hot mix asphalt/HMA) yang paling umum digunakan di Indonesia. Metode ini dikembangkan oleh Bruce Marshall pada tahun 1940-an dan diadopsi secara luas karena kesederhanaannya serta kemampuannya mengukur stabilitas dan kelekatan campuran aspal terhadap agregat. Untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) bertujuan untuk memperoleh kadar aspal yang memberikan performa terbaik berdasarkan kriteria stabilitas, *flow*, dan karakteristik volumetrik seperti VIM (*void in mix*), VMA (*voids in mineral aggregate*), dan VFB (*voids filled with bitumen*).

Untuk pencampuran, agregat dan aspal dipanaskan pada suhu yang memiliki nilai kekentalan aspal 170 ± 20 centistokes (cst) dan dipadatkan pada suhu yang memiliki nilai kekentalan aspal 280 ± 30 cst. Alat yang digunakan dalam proses pemadatan adalah palu pemadatan Marshall (Gambar 2.1). Spesimen silinder dengan tinggi 64 mm dan diameter 102 mm diuji gagal pada suhu $60 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$ dan laju pemuatan konstan 51 mm/menit. Beban maksimum yang dapat diambil benda uji sebelum dihancurkan disebut stabilitas Marshall. Besarnya regangan yang terjadi pada benda uji sebelum pecah adalah arus Marshall. Perbandingan antar stabilitas dan aliran Marshall. Yang disebut koefisien Marshall adalah ukuran ketahanan material terhadap deformasi. Alat yang digunakan terdiri dari mesin uji *Marshall* seperti

terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2. 1 Marshall Compaction Hammer & Alat Marshall Test

Dari pengujian *Marshall* diperoleh parameter-parameter yang disebut dengan *Marshall Properties*, yang terdiri dari kepadatan (*density*), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), persentase rongga dalam campuran (VIM), persentase rongga terisi aspal (VFB), dan persentase rongga dalam agregat (VMA).

2.7.2 Pengikat *Bitument*

Bitumen atau aspal merupakan bahan pengikat utama dalam campuran perkerasan jalan lentur. Fungsi utama bitumen adalah menyatukan agregat, memberikan fleksibilitas, serta melindungi struktur perkerasan dari kerusakan akibat beban lalu lintas, suhu ekstrem, dan air. Bitumen memiliki sifat termoplastik dan viskoelastik, artinya sifatnya dapat berubah tergantung suhu dan waktu pembebanan.

Bitumen sendiri adalah produk rumahan dari pemurnian minyak mentah untuk produksi gas minyak bumi, bahan bakar minyak bumi, bahan bakar diesel dan minyak pelumas. Residu dari yang kedua penyulingan minyak mentah termasuk aspal, yang kemudian dipisahkan dan diproses untuk dijual di industri konstruksi trotoar jalan, bandara, dan pelabuhan, serta produksi herpes zoster atap dan produk lainnya.

Jenis Bitumen Berdasarkan Penggunaan Menurut AASHTO M320 (2019) dan Bina Marga (2018), jenis-jenis bitumen yang umum digunakan dalam campuran perkerasan jalan antara lain :

1. Aspal Penetrasi (Conventional Bitumen) merupakan aspal keras yang

diklasifikasikan berdasarkan nilai penetrasinya (jarak penetrasi jarum pada suhu dan waktu tertentu). Contoh: Pen 60/70, yang banyak digunakan di Indonesia . Keunggulan: mudah diperoleh, sesuai untuk iklim tropis. Kelemahan: kurang tahan terhadap deformasi pada suhu tinggi dan beban berat.

2. Aspal Modifikasi (*Modified Bitumen*) Aspal yang telah ditambah bahan aditif seperti polimer (contoh: SBS, EVA) untuk meningkatkan performa.
 - a. Contoh umum: PG 70-22 (tahan hingga suhu 70°C).
 - b. Lebih tahan terhadap *rutting*, *fatigue cracking*, dan *thermal cracking*.
 - c. Sesuai untuk lalu lintas berat dan kondisi ekstrem.
3. Emulsi Aspal (*Asphalt Emulsion*) merupakan bitumen yang dicampur dengan air dan emulsifier, digunakan dalam kondisi dingin atau suhu rendah.
 - a. Digunakan pada pemeliharaan jalan (seal coat, prime coat).
 - b. Jenis: *Cationic* (KAT) dan *Anionic* (ANT).
4. *Cutback Asphalt* merupakan aspal keras yang dilarutkan dengan pelarut seperti kerosin atau bensin. Saat pelarut menguap, aspal mengeras kembali.

Secara tradisional, produksi aspal menggunakan aspal yang tidak dimodifikasi, biasanya dinilai sesuai dengan viskositas atau ketahanan terhadap penetrasi beban pada suhu tertentu. Namun, sebagaimana diperlukan Seperti banyak negara, baik Australia dan Inggris terutama menggunakan aspal atau polimer yang tidak dimodifikasi aspal yang dimodifikasi sebagai pengikat dalam campuran aspal. Inggris mempertahankan penilaian penetrasi sistem untuk aspal yang tidak dimodifikasi sementara Australia menggunakan penilaian berbasis viskositas. Namun viskositas dan penetrasi umumnya terkait secara terbalik dan nilai yang biasanya setara adalah dirangkum dalam Tabel 2.6, meskipun ada tumpang tindih yang signifikan antara nilai Grafik 2.6 dengan hubungan bervariasi di antara sumber. Penilaian aspal modifikasi polimer (PMB) lebih banyak kompleks dan banyak negara beralih ke sistem Performance Grading (GP) dikembangkan di Amerika Serikat (FHA 2011). Namun, Australia mempertahankan sistem nilai PMB berdasarkan properti produksi yang menunjukkan jenis dan persentase polimer (Putih 2017). Bagi aplikasi berkinerja tinggi, A10E dan A35P adalah PMB elastomerik dan plastomerik umum untuk produksi aspal di Australia. Meskipun

kandungan aspal biasanya hanya 5- 6%, pengikat mencerminkan sekitar 60% dari biaya bahan baku di aspal dan penggantian aspal parsial dengan produk by-products dan limbah menghadirkan manfaat biaya yang signifikan (White, 2019) di mana kinerja campuran tidak terpengaruh secara merugikan.

2.7.3 *Generally equivalent common graded of unmodified bitumen*

Viscosity Grade (Pa.s at 60°C)	Generally equivalent Penetration Grade (/0.1 mm at 25°C)
C170 (140-180)	70/100
C320 (260-360)	40/60
C600 (500-700)	30/45

2.8 Sifat Bahan Aggregate Aspal Wearing Coarse

Aspal Wearing Coarse adalah Aspal Wearing dengan gradasi senjang dengan Agregat lolos saringan No.16

2.8.1 *Fraksi Agregat Kasar*

Agregat kasar yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel atau pecahan batu keras dan awet. Bahan Pecah apabila berulang-ulang dibasahi dan dikeringkan tidak boleh digunakan.

2.8.2 *Fraksi Agregat Halus*

Agregat halus yang tertahan pada ayakan 4,75 mm harus terdiri dari partikel pasir alami atau batu pecah halus dan partikel halus lainnya yang memenuhi persyaratan

2.8.3 *Sifat bahan yang disyaratkan*

Seluruh bahan agregat harus terlepas dari bahan organik dan atau gumpalan lempung atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki dan setelah dipadatkan harus memenuhi ketentuan gradasi (menggunakan ayakan secara basah) dan memenuhi syarat-syarat yang telah ditentukan berdasarkan tabel dibawah ini.

Tabel 2. 5 Gradasi Agregat Lapis Drainase untuk *Wearing Coarse*

Ukuran Ayakan		Persen Berat Yang Lolos			
		Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
ASTM	(mm)	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
2"	50		100		
1½"	37,5	100	88 - 95	100	100
1"	25,0	79 - 85	70 - 85	77 - 89	71 - 87
¾"	19,0				58 - 74
½"	12,5				44 - 60
3/8"	9,50	44 - 58	30 - 65	41 - 66	34 - 50
No.4	4,75	29 - 44	25 - 55	26 - 54	19 - 31
No.8	2,36				8 - 16
No.10	2,0	17 - 30	15 - 40	15 - 42	
No.16	1,18				0 - 4
No.40	0,425	7 - 17	8 - 20	7 - 26	
No.200	0,075	2 - 8	2 - 8	4 - 16	

Sumber ; Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 5

Tabel 2. 6 Sifat -sifat Agregat untuk *Wearing Coarse*

Sifat – sifat	Lapis Fondasi Agregat			Lapis Drainase
	Kelas A	Kelas B	Kelas S	
Abrasi dari Agregat Kasar (SNI 2417:2008)	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %	0 - 40 %
Butiran pecah, tertahan ayakan No.4 (SNI 7619:2012)	95/90 ¹⁾	55/50 ²⁾	55/50 ²⁾	80/75 ³⁾
Batas Cair (SNI 1967:2008)	0 - 25	0 - 35	0 - 35	-
Indek Plastisitas (SNI 1966:2008)	0 - 6	4 - 10	4 - 15	-
Hasil kali Indek Plastisitas dengan % Lolos Ayakan No.200	maks.25	-	-	-
Gumpalan Lempung dan Butiran-butiran Mudah Pecah (SNI 4141:2015)	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %	0 - 5 %
CBR rendaman (SNI 1744:2012)	min.90 %	min.60 %	min.50 %	-
Perbandingan Persen Lolos Ayakan No.200 dan No.40	maks.2/3	maks.2/3	-	-
Koefisien Keseragaman : $C_v = D_{60}/D_{10}$	-	-	-	> 3,5

Sumber ; Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 2 Divisi 5 Hal 6

2.8.4 Pencampuran bahan

Pencampuran bahan untuk memenuhi ketentuan yang telah disyaratkan harus dikerjakan dilokasi *stone crusher* (pemecah batu) yang telah memiliki standart pemecahan dengan menggunakan pemasok mekanis (*mechanical Feeder*) yang telah dikalibrasi untuk memperoleh aliran yang menerus dari komponen campuran dengan proporsi yang benar dan dalam keadaan apapun tidak dibenarkan melakukan pencampuran dilapangan.

2.9 Lapis Pengikat

Lapis Pengikat mencakup penyediaan dan penghamparan bahan aspal pada permukaan yang telah disiapkan. Lapis pengikat dihampar diatas permukaan pondasi tanpa bahan pengikat lapispondasi agregat.

2.9.1 Cuaca yang diijinkan untuk bekerja

Lapis Pengikat harus dilaksanakan pada permukaan yang kering dan benar – benar kering. Pelaksanaan Lapis pengikat tidak boleh dilaksanakan saat angin kencang, hujan atau akan turun hujan.

2.9.2 Kesiapan Pekerjaan

Kesiapan pekerjaan lapis pengikat sebagai berikut ;

- a. Lima liter contoh dari setiap bahan yang diusulkan dalam pekerjaan dilengkapi dengan sertifikat dari pembuatnya dan hasil pengujian yang disyaratkan
- b. Catatan kalibrasi dari semua instrument dan meteran ukur serta tongkat celup ukur untuk aspal distributor. Tongkat celup ukur, alat intrumen dan harus dikalibrasi memenuhi akurasi, toleransi ketelitian memenuhi Spesifikasi serta tanggal pelaksanaan kalibrasi harus tidak melebihi satu tahun sebelum pelaksanaan dilakukan.
- c. Laporan harian untuk pekerjaan yang lakukan dan takaran pemakaian bahan harus memenuhi spesifikasi.

2.10 Penelitian Terdahulu yang Sejenis

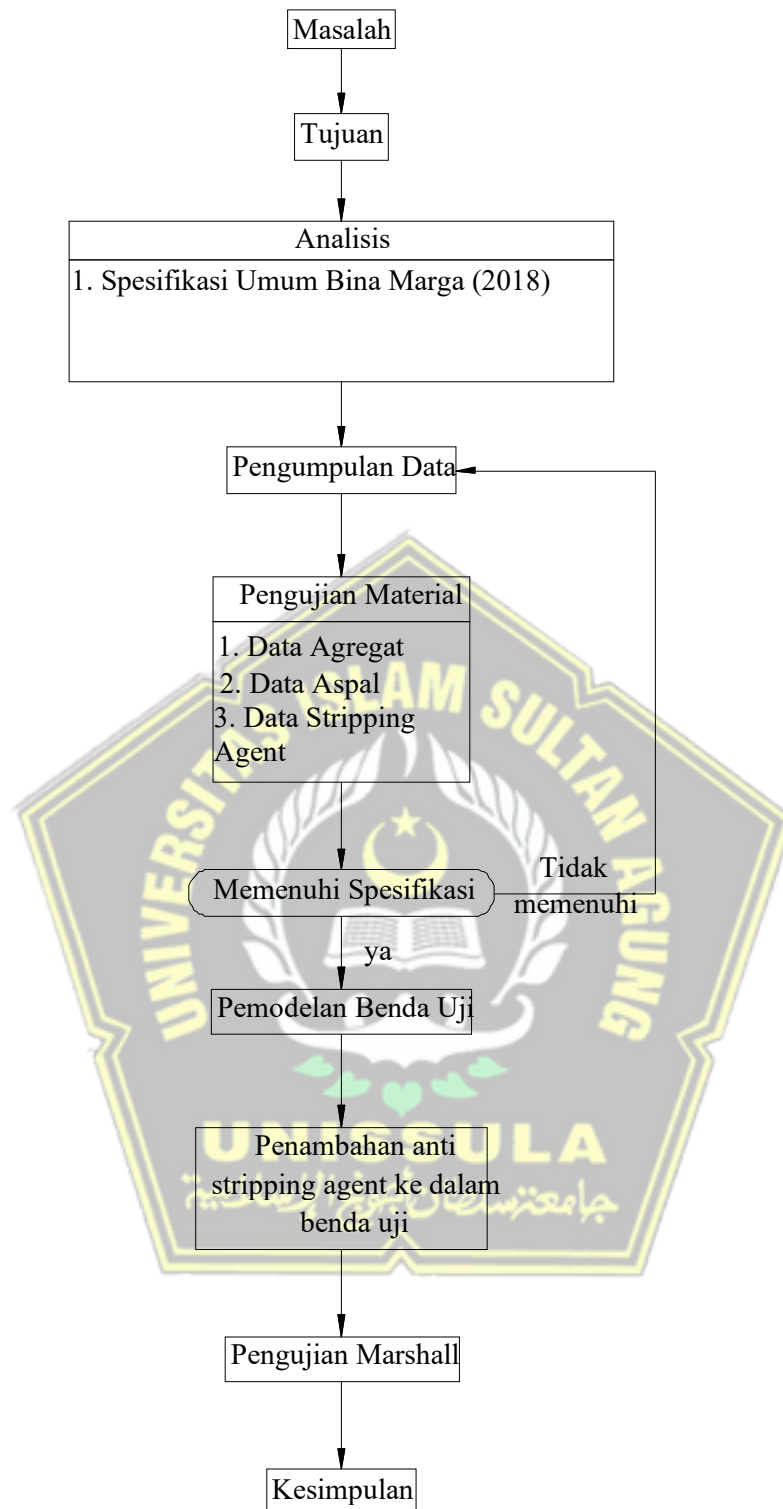
PENELITI	JUDUL	METODE	VARIABEL	HASIL
Sagita, D. C. (2022).	Perbandingan Karakteristik Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG 76.	Membandingkan Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG 76.	Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG 76.	Pengujian campuran AC-WC di Laboratorium Sipil Politeknik Negeri Padang menunjukkan bahwa semua jenis aspal—PEN 60/70, campuran PEN 60/70 + PG 76, dan PG 76 murni—telah memenuhi Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 Divisi 6. Nilai kadar aspal optimum (KAO) meningkat dari 6,37% untuk PEN 60/70, menjadi 6,5% untuk campuran, dan 6,6% untuk PG 76, mencerminkan kebutuhan viskositas yang lebih tinggi pada aspal berkinerja tinggi. Secara teknis, penggunaan PG 76 memberikan ikatan agregat lebih stabil dan meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis.
Marbun, R. F., Sarwono, D., & Sumarsono, A. (n.d.).	perbandingan karakteristik Marshall pada campuran AC-WC menggunakan aspal PEN 60/70 dimodifikasi dengan penambahan 1,5% styrofoam.	Analisis Aspal Modifikasi AS PEN 60/70 dengan Penambahan 1,5% Styrofoam terhadap Campuran AC-WC.	Aspal Modifikasi AS PEN 60/70 dengan Penambahan 1,5% Styrofoam terhadap Campuran AC-WC.	Penambahan 1,5% styrofoam pada aspal penetrasi 60/70 menghasilkan campuran yang memenuhi standar sebagai aspal modifikasi dengan peningkatan stabilitas, densitas, dan kedekatan terhadap udara dan air. Pengujian Marshall menunjukkan KAO optimal sebesar 6,0% untuk campuran modifikasi, lebih tinggi dari aspal reguler 5,54%, sekaligus menandakan efisiensi pengikat dan fleksibilitas campuran. Namun, kadar aspal di atas 6% perlu dibatasi karena dapat menurunkan nilai stabilitas campuran secara signifikan.
Thanaya, I. N. A., Puranto, I. G. R., & Nugraha, I. N. S. (2016)	Studi Karakteristik Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks.	analisis pengujian Campuran Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dengan Penambahan Lateks.	Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 Lateks.	Penambahan lateks ke dalam campuran AC-WC terbukti meningkatkan performa Marshall, terutama stabilitas, kekakuan, dan Marshall Quotient, sekaligus menurunkan VIM dan VMA secara signifikan. Stabilitas tertinggi tercapai pada kadar lateks 8%, yaitu sebesar 1658,00 kg. Namun, kadar optimal yang dipilih adalah 4% karena telah memenuhi spesifikasi teknis dan memberikan peningkatan ketahanan terhadap deformasi sebesar 11,9% serta kekakuan sebesar 14,2%. Campuran dengan dan tanpa lateks juga menunjukkan kemiringan tes creep dinamik yang sesuai untuk lalu lintas berat, menegaskan bahwa modifikasi ini layak diterapkan secara praktis.

M.Iqbal Batubara, Zurkanain A.Nuis, Adina SariLubi (2016)	Studi Pengaruh Penambahan Buton Granular Asphalt 5/20 terhadap karakteristik Marshall Campuran Asphalt Panas AC-WC	Presentase Buton Granular Asphalt (BGA) 0%, 3%, and 5% Dari Campuran desain dengan kadar bahan pengikat rencana (4,5 % - 6,5 %)	Sifat campuran aspal yang mengandung Buton Granular aspal (BGA)	Hasil menunjukkan bahwa campuran dengan kadar aspal optimum (KAO) digunakan kadar dapat yang memenuhi semua parameter Marshall, sehingga berdasarkan hasil pengujian diperoleh nilai KAO dengan BGA sebesar 0%. 3%, 5%. 5,85%, 5,9% dan 6%. Hasil ini dinilai memuaskan karena nilainya lebih tinggi dari kadar aspal (Pb) optimal. Ditemukan bahwa semakin banyak BGA yang digunakan, semakin besar pula kebutuhan aspal untuk mencapai kadar optimum.
Kurniawan Eka Yunanto, Purwo Mahardi, yogie Risdianto (2018)	Analisa Campuran AC-WC dengan Agregat Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan filler Fly Ash sebagai Campuran Induk untuk Penambahan Styrofoam (Polystyrene)	Analisis pengujian AC-WC dilakukan dengan substitusi RAP sebagai agregat, penggunaan fly ash sebagai filler, dan penambahan styrofoam melalui metode pencampuran kering.	Agregat Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan filler Fly Ash	Campuran AC-WC yang menggunakan 21% agregat RAP dan fly ash sebagai filler menunjukkan kadar aspal optimum sebesar 5,25%. Karakteristik Marshall-nya meliputi stabilitas 1256,64 kg, flow 3,25 mm, VIM 4,51%, VMA 15,12%, dan VFA 70,20%, serta koefisien Marshall sebesar 387,67 kg/mm. Hasil ini dinilai lebih baik dibandingkan campuran acuan (varian 1), dan memenuhi standar umum Bina Marga 2010.
Mohamad Yusup Awang Ma'ruf, Yogie Risdianto (2018)	Pengaruh Penggunaan BGA (Buton Granular Asphalt) pada Perencanaan aspal Beton AC-WC pen 60/70 dengan menggunakan Fly Ash sebagai Filler	uji AC-WC hotmix dengan Asbuton butir tipe BGA dilakukan menggunakan alat Marshall untuk menilai karakteristik campuran berbahan aspal, agregat halus dan kasar, filler.	Buton Granular Asphalt (BGA) dan filler Fly Ash	Kadar aspal optimum pada campuran AC-WC tercatat sebesar 5,55% untuk aspal PG 70 dan 4,55% untuk aspal 60/70 dengan BGA tipe Asbuton. Lapisan aspal dengan jenis PG 70 menunjukkan stabilitas sebesar 1244 kg dan flow 3,4 mm, dengan VIM 3,55%, VMA 15,9%, VFB 77,6%, serta koefisien Marshall 369,37 kg/mm. Aspal 60/70 tipe Buton menunjukkan performa Marshall lebih tinggi, yaitu stabilitas 1724 kg dan flow 3,1 mm, meskipun VFB-nya lebih rendah di angka 66,19%.

A. Martha K.(2012)	Analisis Kinerja Campuran Aspal Panas dengan Menggunakan Variasi Komposisi BGA (<i>Buton Granular Asphalt</i>) dan Penambahan Aditif Jenis Polimer	Pengujian campuran aspal dengan menggunakan material BGA dan polimer SBS	Campuran aspal panas, BGA, Aditif SBS	Campuran aspal modifikasi polimer P4-B5 menunjukkan nilai stabilitas tertinggi yaitu sebesar 1333,181 kg. Namun, campuran P2-B7 dipilih sebagai opsi terbaik untuk diterapkan karena lebih ekonomis dan nilai stabilitasnya tidak jauh berbeda, yakni sebesar 1280,471 kg.
-----------------------	--	--	---------------------------------------	--



2.11 Kerangka Pemikiran



Gambar 2. 2 Kerangka Berfikir

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Tipe Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian eksperimental laboratorium, yaitu penelitian yang dilakukan dengan memberikan perlakuan tertentu terhadap objek penelitian dalam kondisi yang terkendali. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan kinerja campuran aspal beton lapis aus (AC-WC) menggunakan dua jenis aspal berbeda, yaitu aspal penetrasi 60/70 dan aspal modifikasi PG 70, masing-masing dengan penambahan bahan tambah Anti *Stripping Agent* (ASA).

Penelitian eksperimental ini menggunakan metode desain campuran Marshall, yang mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 3 dan standar ASTM D6927 sebagai acuan untuk evaluasi stabilitas dan parameter kinerja campuran aspal.

Penelitian ini dilakukan di laboratorium pengujian bahan bangunan untuk memastikan kondisi uji yang terkontrol, dan data hasil uji digunakan untuk menganalisis karakteristik Marshall dari masing-masing campuran. Hasil dari kedua jenis campuran tersebut akan dibandingkan untuk menentukan performa terbaik dari segi stabilitas, flow, VIM, VMA, VFB, dan *Marshall Quotient* (MQ).

Adapun pendekatan penelitian yang digunakan bersifat kuantitatif komparatif, karena membandingkan dua perlakuan berbeda terhadap objek yang sama berdasarkan hasil pengukuran laboratorium yang bersifat numerik.

3.2. Bahan dan Peralatan Penelitian

3.2.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain;

- a) Agregat kasar, halus, filler diperoleh dari hasil pemecahan batu (*stonecrusher*) di AMP (*Asphalt Mixing Plant*) PT. Multi Bangun Indonesia, Surabaya, Jawa Timur.
- b) Bahan aspal menggunakan Aspal Penetrasi 60/70 dan Aspal Mod PG 70

Anti *Stripping Agent* Bahan tambah berupa aditif kimia cair yang dicampurkan ke dalam aspal dengan dosis $\pm 0,2\%$ dari berat aspal. ASA berfungsi untuk meningkatkan daya rekat antara aspal dan agregat serta mengurangi potensi stripping akibat kelembaban atau air.

3.2.2 Peralatan Penelitian

a. Alat penguji agregat dan *filler*

Mesin *Los Angeles* (untuk uji abrasi), saringan standar (untuk penilaian agregat), pengering (untuk oven), timbangan berat, alat ujiberat jenis (piknometer, timbangan, pemanas), dan bak perendamandan tabung (Setara Pasir) adalah beberapa alat yang digunakan untuk pengujian agregat.

b. Alat penguji aspal

Peralatan pengujian aspal meliputi; alat uji kelarutan, alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), alat uji titik nyala dan titik bakar, alat uji titik lembek, dan alat uji kelarutan.

c. Alat pengujian campuran metode *Marshall*

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*, meliputi;

- 1) Alat tekan *Marshall* yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 3000 kg (6000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur kelelahan plastis (*flow meter*).
- 2) Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 10,2 cm (4 inci) dengan tinggi 7,5 cm (3 inci) untuk *Marshall* standar dan diameter 15,24 cm (6 inci) dengan tinggi 9,52 cm untuk *Marshall* modifikasidan dilengkapi dengan plat dan leher sambung.
- 3) Penumbuk manual yang mempunyai permukaan rata berbentuk silinder dengan diameter 9,8 cm (3,86 inci), berat 4,5 kg (10 lbs), dengan tinggi jatuhbebas 45,7 cm (18 inci) untuk *Marshall* standar.
- 4) *Ejektor* untuk mengeluarkan benda uji setelah dipadatkan.
- 5) Bak perendaman (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.

3.2.3 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Rancangan campuran aspal atau *Job Mix Design* (JMD) adalah tahapan penting dalam penelitian campuran aspal beton, yang bertujuan untuk menentukan proporsi optimum antara agregat, filler, dan aspal sehingga diperoleh campuran yang memenuhi persyaratan teknis serta performa lapangan yang baik. Pada penelitian ini, metode desain campuran yang digunakan adalah Metode Marshall yang mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 3 Divisi 6, serta standar ASTM D6927 untuk pengujian stabilitas dan *flow*.

Tabel 3. 1 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Aspal Mod PG 70 Normal

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Coarse Agregat (10/15)	34 %	320,6 kg
2	Medium Agregat (5/10)	46 %	433,8 kg
3	Fine Agregat (0-5)	20 %	188,6 kg
4	Aspal	5,7 %	57 kg
		100,0 %	1000 kg

Tabel 3. 2 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Aspal Pen 60/70 Normal

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Coarse Agregat (10/15)	34 %	320,6 kg
2	Medium Agregat (5/10)	46 %	433,8 kg
3	Fine Agregat (0-5)	20 %	188,6 kg
4	Aspal	5,7 %	57 kg
		100,0 %	1000 kg

Tabel 3. 3 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah anti stripping agent 0,2 %
Kadar Aspal 4,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Coarse Agregat (10/15)	34 %	320,6 kg
2	Medium Agregat (5/10)	46 %	433,8 kg
3	Fine Agregat (0-5)	20 %	188,6 kg
4	Aspal	4,5 %	45 kg
		99 %	988 kg
Keterangan :			
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,094 kg

Tabel 3. 4 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah *Anti Stripping Agent* 0,2 %
Kadar Aspal 5,0 %

No.	Komposisi	%	Hasil
1	<i>Coarse Agregat (10/15)</i>	34 %	320,6 kg
2	<i>Medium Agregat (5/10)</i>	46 %	433,8 kg
3	<i>Fine Agregat (0-5)</i>	20 %	188,6 kg
4	Aspal	5,0 %	50 kg
		99 %	993 kg
Keterangan :			
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,104 kg

Tabel 3. 5 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah anti stripping agent 0,2 %
Kadar Aspal 5,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Coarse Agregat (10/15)	34 %	320,6 kg
2	Medium Agregat (5/10)	46 %	433,8 kg
3	Fine Agregat (0-5)	20 %	188,6 kg
4	Aspal	5,5 %	55 kg
		100,0 %	998 kg
Keterangan :			
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,114 kg

Tabel 3. 6 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah anti stripping agent 0,2 %
Kadar Aspal 6,0%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	<i>Coarse Agregat(10/15)</i>	34 %	320,6 kg
2	<i>Medium Agregat(5/10)</i>	46 %	433,8 kg
3	<i>Fine Agregat (0-5)</i>	20 %	188,6 kg
4	Aspal	6,0 %	60 kg
		100,0 %	1003 kg
Keterangan Aspal :			
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,125 kg

Tabel 3. 7 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70 dengan bahan tambah anti stripping agent 0,2 %
Kadar Aspal 6,5%

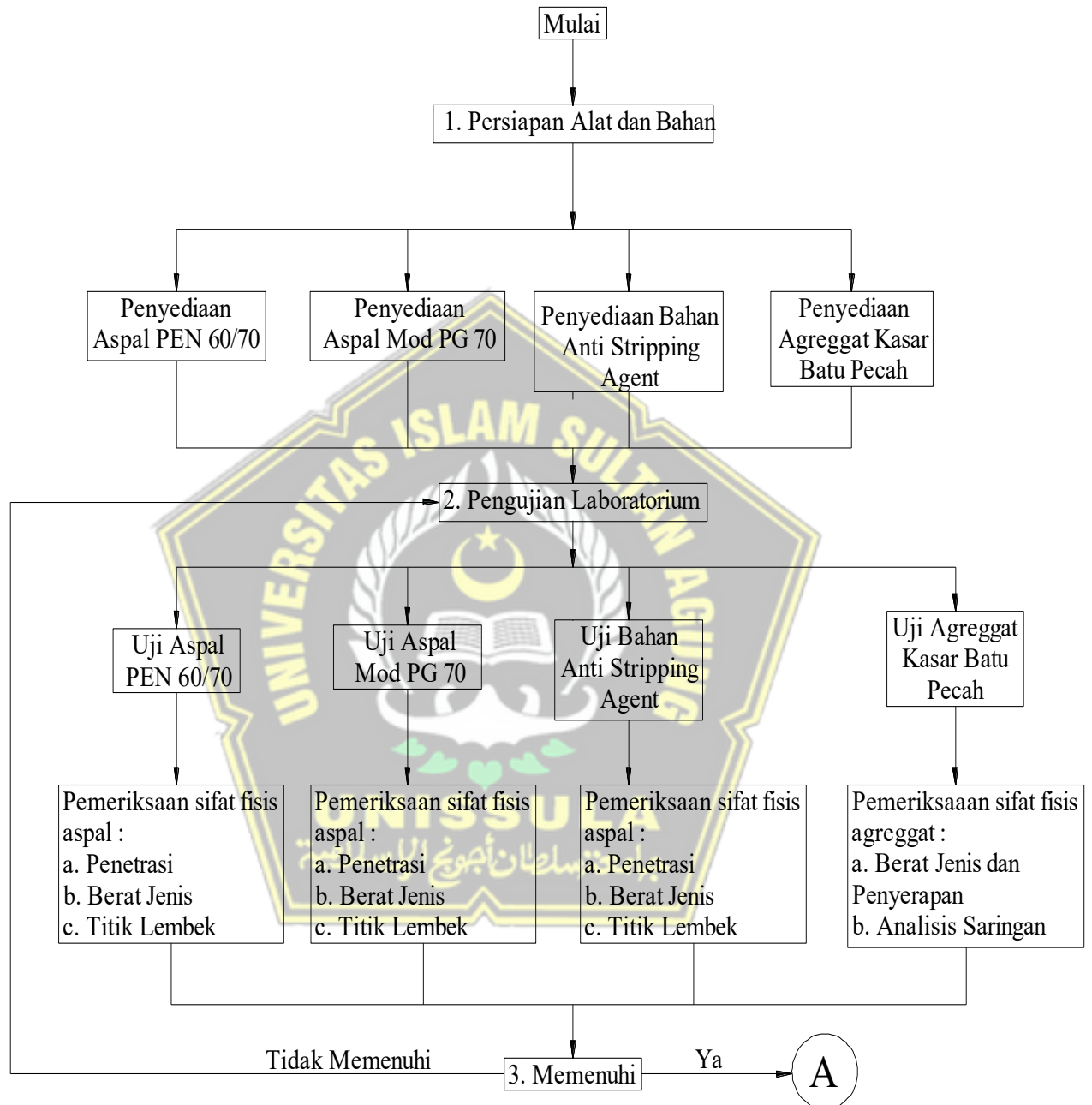
No.	Komposisi	%	Hasil
1	<i>Coarse Agregat(10/15)</i>	34 %	320,6 kg
2	<i>Medium Agregat(5/10)</i>	46 %	433,8 kg
3	<i>Fine Agregat (0-5)</i>	20 %	188,6 kg
4	Aspal	6,5 %	65 kg
		101 %	1008 kg
Keterangan Aspal :			
	Anti Stripping Agent	0,2 %	0,135 kg

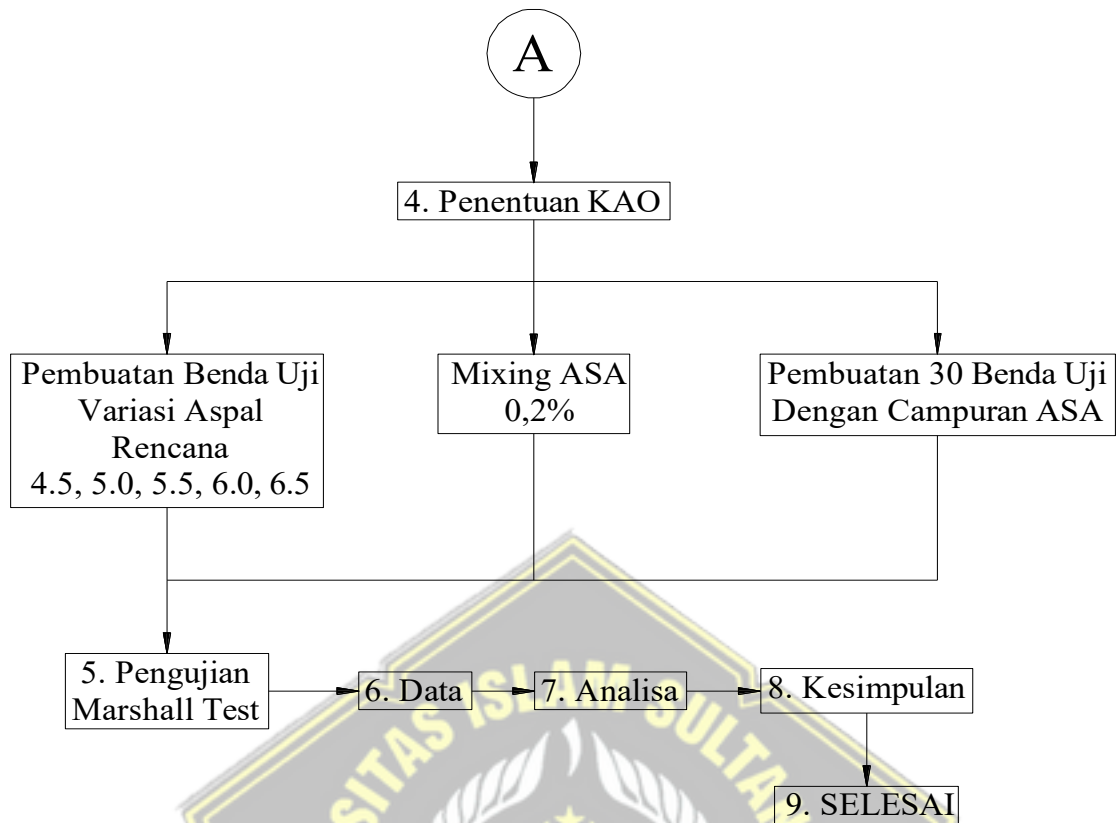
Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan masing-masing benda uji dimana jika salah satu benda uji ada yang tidak sesuai dengan spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 3 dan 3 benda uji lainnya sesuai spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 3 maka benda uji dapat dibandingkan hasilnya.



3.3 Rancangan dan Pelaksanaan Penelitian

Bagan alir penelitian berupa tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan selama penelitian ini dijelaskan pada Gambar 3.1.





Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

3.4. Bagan Alir Program Kerja 3.1.

Pada tahap awal dilakukan penelitian literatur dan pengolahan alat dan bahan yang digunakan. Riset sesuai standar Laboratorium Riset AMP PT.Multi Bangun Indonesia.

Bahan campuran aspal diperiksa untuk memastikan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Society for Testing Materials* (ASTM) menjadi acuan standar pengujian yang dipatuhi oleh semua pengujian. Pemeriksaan agregat kasar dan halus meliputi hal-hal berikut:

- a. Berat Jenis Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008) dan Penyerapan Agregat Kasar (berdasarkan SNI 1969:2008).
- b. Tingkat Keausan Agregat Kasar (berdasarkan SNI 2417:2008).
- c. Partikel Pipih dan Lonjong (berdasarkan ASTM D 4791-95).
- d. Daya Lekat Agregat terhadap Aspal (berdasarkan SNI-06-2439-1991).
- e. *Soundness* atau Uji Sifat Kekekalan Bentuk agregat (berdasarkan SNI 3407:2008).
- f. Berat Jenis Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:2008) dan Penyerapan Agregat Halus (berdasarkan SNI 1970:).
- g. Analisis Butiran (berdasarkan SNI-M-02-1994-03).
- h. Untuk pengujian bahan bitumen atau aspal yang digunakan dalam penelitian ini yaitu aspal MOD PG 70 dan aspal PEN 60/70. Pemeriksaan sifat fisik aspal yang dilakukan antara lain:
 - 1) Pemeriksaan penetrasi aspal (berdasarkan SNI 06-2456-1991).
 - 2) Pemeriksaan titik lembek (berdasarkan SNI 06-2434-1991).
 - 3) Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar (berdasarkan SNI 06-2433-1991).
 - 4) Pemeriksaan daktilitas (berdasarkan SNI 06-2432-1991).
 - 5) Pemeriksaan berat jenis bitumen (berdasarkan SNI 06-2441-1991).

Langkah selanjutnya adalah dengan merancang dan memproduksi sampel yang akan digunakan untuk penelitian dengan metode Marshall setelah semua bahan penyusun campuran aspal, termasuk agregat dan Asphalt Mod PG 70 dan Asphalt Pen 60/70, telah diuji dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. . Pengujian spesimen standar Marshall sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T- 44-81, dan ASTM D-2042-76). Memanfaatkan variasi kadar aspal, desain dan produksi benda uji atau campuran aspal. Berdasarkan perhitungan

dengan persamaan tersebut didapatkan P_b (kadar aspal tengah/ ideal). masing-masing menggunakan 3 sampel, penjelasan pada **Tabel 3.8**

Tabel 3. 8 Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

Benda Uji	Kadar ASA	Kadar Aspal	Benda Uji	Jumlah
AC-WC Mod PG 70	0,2 %	4,5 %	3	15
		5,0 %	3	
		5,5 %	3	
		6,0 %	3	
		6,5 %	3	
AC-WC Pen 60/70	0,2 %	4,5 %	3	15
		5,0 %	3	
		5,5 %	3	
		6,0 %	3	
		6,5 %	3	

Pengambilan sampel benda uji dilakukan setelah ditentukan komposisi campuran aspal. Temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 170/20 centistokes adalah temperatur campurannya dengan agregat, dan temperatur pemadatan aspal adalah temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 280/30 centistokes.

Menurut penelitian Prabowo (2003) dan Riyadi sebelumnya, suhu pencampuran umumnya ditemukan antara 145 dan 155 derajat Celcius, dan suhu pemadatan ditemukan antara 110 dan 135 derajat Celcius. Hal ini dikarenakan tidak dilakukannya pengujian viskositas kinematis aspal, menggunakan Palu Pemadatan Marshall, pemadatan dilakukan dua kali untuk setiap 75 ton beban lalu lintas. Spesimen dipadatkan dan disimpan pada suhu ruangan selama 24 jam sebelum ditimbang kering dan diukur tingginya. Untuk mendapatkan data volumetrik bituminous (densitas, VIM, VMA, dan VFA), spesimen direndam dalam air selama 24 jam sebelum ditimbang baik dalam air maupun dalam kondisi kering permukaan jenuh. Setelah itu, sampel direndam selama 30 menit dalam penangas air pada suhu 60 °C, dan stabilitas, leleh, dan Marshall Quotient diukur menggunakan alat Marshall. Setelah didapatkan data hasil uji *Marshall* berupa stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*, kemudian dianalisis untuk mendapatkan komposisi campuran aspal ideal.

Setelah dilakukan serangkaian penelitian dan didapatkan data, maka tahapan selanjutnya adalah sebagai berikut :

a. Menganalisis hasil pemeriksaan material campuran aspal yaitu agregat dan aspal,

apakah sesuai dengan spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018.

- b. Menampilkan data nilai stabilitas (*stability*); kelelahan (*flow*); *Marshall Quotient* (MQ); *void in mix* (VIM); *void in mineral aggregate* (VMA); *void filled with asphalt* (VFA);

3.5. Aspal

Aromat, Napathen, dan Alkan merupakan senyawa yang paling banyak terdapat pada aspal yang merupakan senyawa hidrokarbon. Persyaratan spesifikasi didasarkan pada karakteristik aspal. Untuk menjamin tercapainya karakteristik aspal yang dipersyaratkan, digunakan ketentuan dan pengujian aspal sebagai berikut:

1. Pengambilan sampel aspal untuk bahan uji
2. Pengujian penetrasi
3. Pengujian titik lembek
4. Pengujian daktilitas
5. Pengujian titik nyala dan titik bakar

Metode atau prosedur pengujian – pengujian yang disebutkan diatas, diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) untuk tiap jenis pengujian.

3.6. Sifat – Sifat Campuran Aspal

3.6.1. Stabilitas

Faktor terpenting dalam aspal adalah stabilitas yang dapat menahan deformasi dan peleburan plastis yang disebabkan oleh beban lalu lintas statis dan dinamis, mencegah bekas roda, keriting, dan perubahan permukaan perkerasan jalan. Jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang akan melaju di jalan menentukan spesifikasi stabilitas perkerasan. Gesekan butiran, penguncian antar partikel, dan daya rekat yang unggul pada aspal semuanya berkontribusi pada stabilitas. Nilai stabilitas dalam kg atau KN.

3.6.2 Kelelahan Plastis (*Flow*)

Keadaan perubahan bentuk campuran yang disebabkan oleh beban hingga batas keruntuhan, yang dinyatakan dalam mm atau inci, dikenal sebagai pelelehan (aliran) plastis. Karena kandungan aspal yang tinggi, nilai hasil yang tinggi menyerupai campuran plastik. Sementara itu, karena kadar aspal yang rendah, campuran dengan nilai leleh yang sangat rendah akan menunjukkan sifat campuran yang kaku.

3.6.3 *Marshall Quotient*

Marshall Quotient membandingkan peleburan plastik dan *stabilitas* dalam kilogram per milimeter. Campuran dengan kestabilan yang tinggi dan pelelehan plastik yang

rendah memiliki nilai MQ yang tinggi, menandakan bahwa campuran tersebut bersifat kaku. Hal ini memudahkan perkerasan untuk berubah bentuk saat dibebani oleh lalu lintas, yang dapat menyebabkan retak. Namun, campuran plastisitas tinggi dan stabilitas rendah menghasilkan MQ rendah dan lebih cenderung plastis dan tidak stabil.

3.7 Laston Lapis Aus (AC – WC)

Laston adalah lapisan penutup dengan nilai struktural yang digunakan untuk membangun perkerasan jalan. Agregat bergradasi kontinu dan aspal keras dicampur, disebarkan, dan dipadatkan pada suhu tertentu untuk membuat campuran ini. Pada konstruksi jalan, lapisan laston merupakan campuran aspal keras dan agregat dengan gradasi menerus yang dicampur, dihampar, dan dipadatkan pada temperatur tertentu. Ada banyak jenis beton aspal campuran panas (Silvia Sukirman, 2012), tetapi jenis AC-WC menjadi subjek penelitian ini. Lapisan di bawah lapisan keausan adalah Laston sebagai lapisan pengikat (*Binder Course*). Meski tidak dipengaruhi cuaca secara langsung, roda kendaraan harus memiliki ketebalan nominal minimal 5 sentimeter agar dapat menopang beban lalu lintas.

Sebaliknya, Laston sebagai lapisan keausan (*Wearing Course*) merupakan lapisan perkerasan yang memiliki kekasaran yang dipersyaratkan dan tebal nominal minimal 4 cm. Ini tahan air, tahan cuaca, dan terkait dengan ban kendaraan. Berupa beban kendaraan (gaya vertikal), gaya rem (gaya horizontal), dan hembusan roda kendaraan (getaran), lapisan-lapisan ini berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan-lapisan di bawahnya. Setiap lapisan menerima beban yang berbeda karena bagaimana beban didistribusikan, dan semakin besar bebannya, semakin rendah bebannya. Lapisan atas, juga dikenal sebagai lapisan permukaan, harus mampu menangani segala jenis beban kerja.

3.8 Metode Analisis

Pada penelitian ini digunakan metode eksperimen di laboratorium pekerasan yaitu melakukan percobaan terhadap bahan baku aspal dan agregat dari proses penelitian. dilaksanakan dalam 6 (Enam) tahap sebagai berikut (Indriani Santoso, 2013) :

Tahap I

Persiapan Beberapa hal yang dilakukan dalam persiapan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan bahan seperti agregat, aspal, granular, fly ash.
2. Menyiapkan peralatan.
3. Menyiapkan form-form pengujian dan mengolah hasil pengujian

Tahap II

Pemeriksaan bahan pemeriksaan agregat yang dilakukan meliputi:

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus
- b. Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus.
- c. Pemeriksaan berat jenis aspal.
- d. Pemeriksaan penetrasi
- e. Pemeriksaan titik lembek.
- f. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar
- g. Pemeriksaan daktilitas

Tahap III

1. Perancangan menggunakan anti stripping agent dengan kadar yang dibutuhkan untuk campuran (Mix Design) adalah 0,2% untuk masing-masing benda uji
2. Perancangan campuran (Mix Design) Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (mix design) dan pembuatan benda uji dengan kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0% dan 6,5%, untuk menentukan kadar aspal Optimum

Tahap IV

Tes Marshall untuk menemukan jumlah aspal terbaik (KAO). Uji Marshall dilakukan pada benda uji dengan kadar aspal yang bervariasi pada titik ini untuk mendapatkan data kestabilan dan aliran. Sebelum ini, spesimen telah ditimbang berat kering, berat SSD, dan berat sampel dalam air.

Tahap V

Kemudian dilakukan pengujian dan analisa Marshall untuk mengetahui stabilitas Marshall, Flow (kelelehan Plastis), Rongga dalam campuran, Rongga dalam mineral dan Stabilitas Marshall sisa.

Tabel 3. 9 Ketentuan Syarat-Syarat Bahan untuk Campuran Beraspal Panas
(Spesifikasi Umum 2018, Seksi 6.3. Campuran Beraspal Panas)

Pasal 6.3.3.

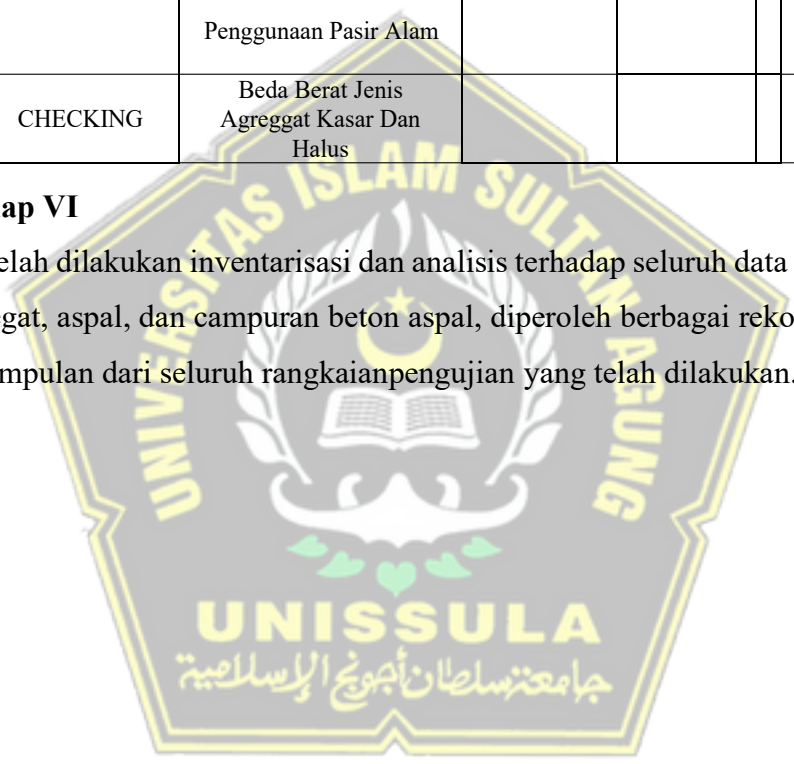
Parameter Uji	Satuan	Aspal Pen 60/70 (Bina Marga 2018)	Aspal PG 70- (AASHTO M320)	Metode Uji
Penetrasi (25°C, 100 g, 5 detik)	0,1 mm	60 – 70	-	ASTM D5 / SNI 06-2456
Titik Lembek (Softening Point)	°C	Min. 48	> 70	ASTM D36
Ductility (25°C, 5 cm/menit)	cm	Min. 100	Tidak disyaratkan	ASTM D113
Berat Jenis	-	1,01 – 1,06	≈ 1,02 – 1,05	ASTM D70
Flash Point (Cleveland Open Cup)	°C	Min. 232	Min. 230	ASTM D92
Solubility dalam CS ₂	%	Min. 99,0	Min. 99,0	ASTM D2042
Dynamic Shear Rheometer (G*/sin δ)	kPa	-	Min. 1,0 (Unaged), Min. 2,2 (RTFO)	AASHTO T315
Bending Beam Rheometer (Stiffness)	MPa	-	≤ 300	AASHTO T313
Multiple Stress Creep Recovery (Jnr)	1/kPa	-	< 4,5 (3.2 kPa)	AASHTO T350

2	AGREGAT KASAR	KETENTUAN AGREGAT			NILAI	YA/TIDAK	
	Sumber Asal	Abrasi Dengan Mesin Los Angeles	AC Mod Dan SMA	100 Ptr :	SNI 2417:2000		Maks 6 %
				100 Ptr :			Maks 30 %
			Semua Jenis Campuran Gradasi Lainnya	100 Ptr :			Maks 8%
				50 Ptr :		Ya	Maks 40 %
		Kelekatan Agregat Terhadap Aspal			SNI 2439 :2011	Ya	Min 95 %
		Butir Pecah Pada Agregat Kasar (Angularitas)		SMA	SNI 7619 : 2012	Ya	100/90 %
				Lainnya			95/90 %
		Partikel Pipih Dan Lonjong		SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1 : 5		Maks 5 %
				Lainnya		Ya	Maks 10 %
		Material Lolos No 200			SNI ASTM C117 : 2002	Ya	Maks 1 %
		Penyerapan Air				Ya	Maks 2 % untu SMA 3%/ untuk jenis lainnya
		Berat Jenis (Specific Gravity)				Ya	

3	AGREGAT HALUS (ABU BATU)	KETENTUAN AGREGAT HALUS		YA/TIDAK	
	Sumber Asal	Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Ya	Min 50 %
		Gumpalan Lempung Dan Butir – Butir Mudah Pecah Dalam Agregat	SNI-03-4141-1996	Ya	Maks 1 %
		Angularitas Dengan Uji Kadar Rongga Tanpa Kepadatan	SNI-03-6877-2002	Ya	Min 45
		Agregat Lolos Ayakan No 200	SNI ASTM C117:2012	Ya	Maks 10 %
		Penyerapan Air			Maks 2 % Untu SMA 3%/ Untuk Jenis Lainnya
		Berat Jenis (Specific Gravity)		Ya	
		Penggunaan Pasir Alam			Maks 15 % Dari Berat Total Campuran
	CHECKING	Beda Berat Jenis Agregat Kasar Dan Halus			Maks 0,2

Tahap VI

Setelah dilakukan inventarisasi dan analisis terhadap seluruh data pemeriksaan agregat, aspal, dan campuran beton aspal, diperoleh berbagai rekomendasi dan kesimpulan dari seluruh rangkaian pengujian yang telah dilakukan.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Persiapan Material

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu tahap persiapan bahan penelitian, penentuan kadar aspal, pembuatan benda uji, dan pengujian di laboratorium. Pada tahap penyediaan bahan, disiapkan antara lain agregat batu pecah yang di ambil Aspal Mixing Plant (AMP) PT. Multi Bangun Indonesia Surabaya. Semua proses pembuatan benda uji dan propertis material, uji aspal, dan pengujian marshall di lakukan di laboratorium PT. Multi Bangun Indonesia.



Gambar 4. 1 Pengambilan Agregat Material
Sumber : Dokumentasi Pribadi

Pengambilan aspal PG 70, aspal pen 60/70 dan anti stripping agent, Quarry material diambil dari Aspal Mixing Plant (AMP) PT. Multi Bangun Indonesia, yang nanti akan digunakan sebagai bahan material pada penelitian.



Gambar 4. 2 Pengambilan Material Aspal dan Stripping Agent
Sumber : Dokumentasi Pribadi

4.2 Pengujian Laboratorium

4.2.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Mod PG 70 dan Aspal Pen 60/70

Hasil Pemeriksaan Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aspal PEN 60/70 (Pertamina) dan Aspal Mod PG 70 (Aspindo). Pengujian yang dilakukan untuk aspal ini adalah 5 parameter yaitu penetrasi, titiklembek, daktilitas, titik nyala, dan berat jenis untuk jenis aspal pen 60/70, dan 9 jenis parameter yaitu, penetrasi, temperature geser, viskositas, daktilitas, titik nyala, kelarutan dalam trichloroethylene, berat jenis, stabilitas penyimpanan 48 jam, untuk hasil lebih spesifik bisa dilihat pada **lampiran 2** data pengujian aspal. Parameter tersebut dapat mewakili karakteristik utama dari aspal mod PG 70 dan aspal Pen 60/70 untuk diaplikasikan sebagai campuran untuk perkerasan lentur. Hasil Pengujian Aspal tertera pada Tabel 4.9 dan Tabel 4.10 dengan menggunakan perbandingan berdasarkan dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No. 01/MN/BM/ 1976 Bina Marga.

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal Mod PG 70		Hasil Pemeriksaan	Metode Pengujian	Keterangan
1	Penetrasi Pada 25 ° C	0,1 mm			55	SNI-2456:2011	Dilaporkan
2	Temperature Menghasilkn Geser Dinamis (G*/Sinδ) Osilasi 10 Rad/Sec ≥ 1,0 Kpa	° C	70	76	75,3	SNI-06-6442:2000	Memenuhi
3	Viskositas Kinematis Pada 135 ° C	cSt	-	≤ 3000	1005	ASTM D2170-10	Memenuhi
4	Titik Lembek	cm	-	-	58,3	SNI 2434:2011	Dilaporkan
5	Berat Jenis	%	Min 1,0	-	1036	SNI-06-2441-2011	Memenuhi
6	Kelarutan Dalam Trikloroetilena	%	≥ 99	-	99,1	SNI 2438:2015	Memenuhi
7	Penetrasi Pada 25 ° C	° C	≥ 230	-	325	SNI-2433:2011	Memenuhi
8	Temperature Menghasilkn Geser Dinamis (G*/Sinδ) Osilasi 10 Rad/Sec ≥ 1,0 Kpa	cm	≥ 50	-	150	SNI-2432:2011	Dilaporkan
9	Viskositas Kinematis Pada 135 ° C	° C	-	≤ 2,2	150	ASTM D5976/SNI 2434:2011	Memenuhi

Tabel 4. 1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Mod PG 70

No	Jenis Pemeriksaan	Satuan	Spesifikasi Aspal Mod PG 70		Hasil Pemeriksaan	Metode Pengujian	Keterangan
1	Penetrasi Pada 25 ° C	0,1 mm			65,1	SNI-2456:2011	Dilaporkan
3	Viskositas Kinematis Pada 135 ° C	cSt	-	≤ 300	295	ASTM D2170-10	Memenuhi
4	Titik Lembek	° C	-	-	-	SNI 2434:2011	Dilaporkan
5	Berat Jenis	%	Min 1,0	-	1032	SNI-06-2441-2011	Memenuhi
7	Daktilitas	cm	≥50	-	140	SNI-2432:2011	Memenuhi
9	Titik nyala	cm	-	-	58,3	SNI 2434:2011	Dilaporkan

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Tabel 4. 2 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pen 60/70

Proses Pencampuran aspal polimer sangat bergantung pada temperatur selama proses pencampuran dan kemampuan alat pengaduk (*mixer*) yang digunakan, serta waktu pengadukan. Menurut J.S. Chen, MC Liao dan H.H. Tsai (2012) dalam penelitiannya yang berjudul *Evaluation and Optimization of the Engineering Properties Of Polymer –Modified Ashpalt* menyatakan bahwa proses pencampuran aspal polimer dilakukan selama 2,3 – 3 jam dengan kemampuan mixer sebesar 2000 rpm dan suhu 150 °C – 170 °C.

4.3 Pengujian Agregat

Pengujian properties agregat kasar meliputi bentuk agregat, abrasidengan mesin *Los Angeles*, kelekatan agregat terhadap aspal, angularitas dan butiran mudah pecah, gradasi agregat, berat jenis, berat jenis permukaan jenuh, berat jenis semu, penyerapan, material lolos saringan No 200, partikel pipih dan lonjong, dan *sand equivalent*. untuk hasil tiap pengujian bisa dilihat pada lampiran 3 data pengujian agregat, Hasil Pengujian agregat tertera pada Tabel 4.11 dengan menggunakan perbandingan berdasarkan dari Spesifikasi Pemeriksaan Jalan No.01/MN/BM/ 1976 Bina Marga.

Tabel 4. 3 Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan	Hasil	Keterangan
A	Agregat kasar				
1	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 03-2417-2008	Maks. 40%	20,72%	Memenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-2011	Min. 95%	96%	Memenuhi
3	Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791-10	Maks. 10%	5.21%	Memenuhi
4	Material lolos saringan no. 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,37%	Memenuhi
5	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat kasar 1/2 b. Agregat kasar 0.5/1	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1.5 % 2,0	Memenuhi
6	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) a. Agregat kasar 0.5/1 b. Agregat kasar 1/2	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5%	2.623% 2.634%	Memenuhi
B	Agregat halus				
1	Material lolos saringan no. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 15%	8.63%	Memenuhi
2	Angularitas	SNI 03-6877-2002	Min. 45%	46.92%	Memenuhi
3	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Maks. 3%	1,502%	Memenuhi
4	Berat jenis (<i>bulk specific gravity</i>) b. Agregat halus (abu batu)	SNI 03-1969-1990	Min. 2.5	2.605%	Memenuhi

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Karena semua hasil pengujian material agregat yang berasal dari pemecahan batu *Stone Crusher* dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* P.T.Multi Bangun Indonesia, yang berlokasi di wilayah Porong Surabaya telah memenuhi persyaratan Spesifikasi 2018, maka agregat tersebut dapat digunakan sebagai campuran beton aspal campuran panas (Laston) *AC- WC*.

4.3.1 Hasil Pengujian Hot Bin I

Hot Bin I terdiri dari material *fine aggregate* yang lolos saringan 1 ½ - #4 dan tertahan saringan #30 sampai dengan saringan #200, yang dapat dilihat pada

Tabel 4.4

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Pembangian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				inch			
1 1/2"	37.5				1 1/2"			
1"	25.0				1"			
3/4"	19.0				3/4"			
1/2"	12.5				1/2"			
3/8"	9.5				3/8"			
# 4	4.75			100	# 4			100
# 8	2.36	31,4	3,2	96,8	# 8	21,0	2,3	97,7
# 16	1.15	266,4	26,8	73,2	# 16	226,4	24,7	75,3
# 30	0.6	487	49,0	51,0	# 30	442,2	48,3	51,7
# 50	0.3	594	59,8	40,2	# 50	544,8	59,5	40,5
#100	0.15	767	77,2	22,8	#100	706,0	77,1	22,9
# 200	0.075	854,4	86,0	14,0	# 200	785,8	85,8	14,2
Weight Of Sample (gr)		993,6 Gram				915,8 Gram		

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Berdasarkan hasil dua percobaan, agregat menunjukkan distribusi ukuran yang dominan berada di antara saringan No. 8 (2,36 mm) hingga saringan No. 200 (0,075 mm), dengan persentase lolos saringan No. 8 > 95% dan lolos saringan No. 200 sekitar 14%. Hal ini mengindikasikan bahwa material tergolong sebagai agregat halus (fine aggregate), dengan gradasi yang kontinu dan padat.

Gradasi seperti ini sesuai untuk digunakan sebagai komponen fraksi halus dalam campuran aspal panas (Hot Mix Asphalt), terutama untuk lapisan AC-BC atau AC-WC. Namun, karena kandungan material yang lolos saringan No. 200 sedikit melebihi batas spesifikasi (maks. 10% menurut Bina Marga), maka disarankan untuk dilakukan penyesuaian atau kombinasi dengan agregat kasar agar memenuhi gradasi campuran yang disyaratkan.

4.3.2 Hasil Pengujian Hot Bin II

Hot Bin II terdiri dari material medium aggregate atau agregat kasar yang lolos saringan 1 1/2 - 3/8 dan tertahan mulai dari saringan #4 sampai dengan saringan #200, yang dapat dilihat pada Tabel 4.13

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Pembagian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				inch			
1 1/2"	37.5				1 1/2"			
1"	25.0				1"			
3/4"	19.0				3/4"			
1/2"	12.5			100	1/2"			100
3/8"	9.5			100	3/8"			100
# 4	4.75	643	54,8	45,2	# 4	596,4	50,5	49,5
# 8	2.36	1140,2	97,2	2,8	# 8	1140,2	96,6	3,4
# 16	1.15	1172,4	99,9	0,1	# 16	1179,0	99,9	0,1
# 30	0.6	1172,4	99,9	0,1	# 30	1179,0	99,9	0,1
# 50	0.3	1172,8	99,9	0,1	# 50	1179,0	99,9	0,1
#100	0.15	1172,8	99,9	0,1	#100	1179,2	99,9	0,1
# 200	0.075	1173	100	0,0	# 200	1179,4	99,9	0,1
Weight Of Sample (gr)		1173,4 Gram					1180,4 Gram	

Berdasarkan hasil dua percobaan, agregat menunjukkan distribusi ukuran dominan pada saringan 3/8" (9,5 mm) hingga No. 8 (2,36 mm), dengan persentase lolos saringan No. 4 (4,75 mm) antara 30–36%, dan lolos saringan No. 8 hanya sekitar 6%. Hal ini menunjukkan bahwa material termasuk dalam kategori medium coarse aggregate, yaitu fraksi agregat kasar menengah yang tertahan pada saringan No. 8 namun lolos dari saringan No. 4. Agregat hasil Percobaan 01 dan 02 tergolong sebagai *medium coarse aggregate* dengan gradasi yang kontinu, dominan pada fraksi kasar menengah, serta kandungan filler rendah. Material ini sangat sesuai digunakan sebagai fraksi agregat kasar dalam campuran beraspal panas (AC) dan ideal dikombinasikan dengan agregat halus dan filler untuk mencapai gradasi target campuran aspal.

4.3.3 Hasil Pengujian Hot Bin III

Hot-Bin III tergolong sebagai agregat kasar dengan gradasi seragam dan dominasi ukuran pada fraksi $\frac{1}{2}$ " hingga $\frac{3}{8}$ ", serta hampir tidak mengandung fraksi halus atau filler. Material ini sangat sesuai digunakan sebagai komponen agregat kasar utama dalam campuran aspal panas AC-WC dan sebaiknya dikombinasikan dengan fraksi halus agar mencapai gradasi berimbang sesuai spesifikasi campuran beraspal Bina Marga. yang dapat dilihat pada Tabel 4.14

Tabel 4. 6 Hasil Analisa Pembangian Butiran
(SNI 03-1968-1990/ AASHTO T.27-88)

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN	Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS		TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%		gr	%	%
inch	mm				inch			
1 1/2"	37.5				1 1/2"			
1"	25.0				1"			
3/4"	19.0			100	3/4"			100
1/2"	12.5	351,4	24,8	75,2	1/2"	371,4	25,0	75,0
3/8"	9.5	1224,6	86,4	13,6	3/8"	1295,2	87,2	12,8
# 4	4.75	1409,4	99,5	0,5	# 4	1474,4	99,3	0,7
# 8	2.36	1413,4	99,8	0,2	# 8	1482,2	99,8	0,2
# 16	1.15	1413,8	99,8	0,2	# 16	1482,6	99,8	0,2
# 30	0.6	1414	99,8	0,2	# 30	1482,6	99,8	0,2
# 50	0.3				# 50			
#100	0.15				#100			
# 200	0.075				# 200			
Weight Of Sample (gr)		1416,8 Gram			1485,4 Gram			

Berdasarkan hasil analisis saringan dari dua percobaan, material pada HOTBIN 3 tergolong sebagai agregat kasar (*coarse aggregate*) dengan distribusi butiran dominan pada ukuran saringan $\frac{1}{2}$ " (12,5 mm) dan $\frac{3}{8}$ " (9,5 mm). Lebih dari 75% material tertahan pada saringan $\frac{1}{2}$ ", dan sekitar 13% tertahan pada saringan $\frac{3}{8}$ ", sementara hanya sekitar 0,6% yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm) dan kurang dari 0,2% yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm).

4.3.4 Hasil Perhitungan Kombinasi Agregat

Kombinasi agregat adalah pengambungan dari masing-masing agregat yang lolos saringan $\frac{3}{4}$ dan tertahan mulai dari saringan ukuran $\frac{1}{2}$ sampai dengan # 200, yang terdiri dari Hot Bin II,III. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada Tabel 4.15

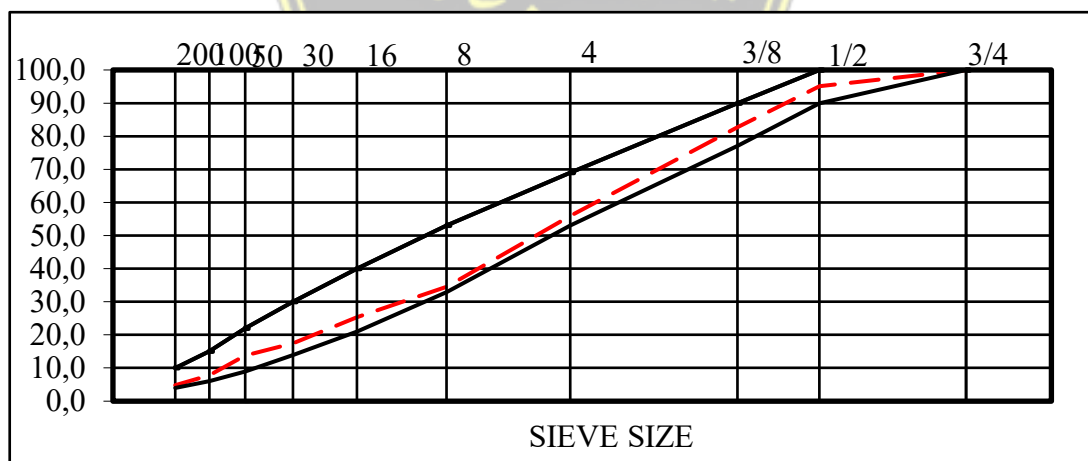
Tabel 4. 7 Perhitungan Kombinasi Agregat
(SNI 03-1968 1990 /AASHTO T.27-88)

SIEVE SIZE	HOT-BIN.III		HOT-BIN. II			HOT-BIN.I	FILLER	TOTAL	BATASAN
		20%		46%		34%			
2 "	100	20	100	46	100	34		100	
1½"	100	20	100	46	100	34		100	
1 "	100	20	100	46	100	34		100	
¾"	100	20	100	46	100	34		100	100
½"	75,1	15,0	100	46	100	34		95,0	90-100
⅜"	13,2	2,6	100	46	100	34		82,6	77-90
# 4.	0,6	0,1	47,3	21,8	100,0	34		55,9	53-69
# 8.	0,2	0,0	3,1	1,4	97,3	33,1		34,6	33-53
# 16.	0,2	0,0	0,1	0,0	74,2	25,2		25,3	21-40
# 30.			0,1	0,0	51,4	17,5		17,5	14-30
# 50.			0,1	0,0	40,4	13,7		13,8	9-22
# 100.			0,1	0,0	22,9	7,8		7,8	6-15
# 200.			0,1	0,0	14,1	4,8		4,8	4-10

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Dari Tabel 4.15 hasil kombinasi agregat dengan total campuran gradasi agregat tiap saringan tidak boleh melebihi batas Max dan Min dari spesifikasi gradasi yang telah ditetapkan, bisa dilihat pada Tabel 4.19 Kombinasi Agregat.

CHART COMBINE GRADING



Gambar 4.3 Kombinasi Agregat
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Berdasarkan grafik kombinasi gradasi, campuran agregat menunjukkan gradasi kontinu dan seimbang, seluruh titik lolos saringan berada dalam batas yang disyaratkan oleh Spesifikasi AC-WC Bina Marga 2018 Revisi 3. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi material pada campuran telah memenuhi standar teknis, dengan potensi kepadatan maksimum, stabilitas struktural yang baik, serta resistensi terhadap deformasi permanen (rutting). Dengan gradasi seperti ini, campuran sangat cocok untuk digunakan sebagai lapisan aus (*wearing course*) dalam perkerasan lentur.

4.4 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Pada penelitian kali ini akan membuat 2 komposisi campuran aspal diantaranya, Komposisi campuran AC-WC Mod PG 70 menggunakan bahan tambah anti stripping agent dan Komposisi campuran AC-WC Pen 60/70 dengan bahan tambah anti stripping agent. Masing- masing komposisi mempunyai 5 variasi kadar aspal yang nanti akan digunakan sebagai pembanding dalam penentuan campuran yang terbaik pada penelitian ini

Tabel 4. 8 Pembuatan Benda Uji

No	Jenis	Masing-masing	Total
1	Kadar Aspal Mod PG 70 (4,5%; 5,0%; 5,5% ;6,0%; 65%) dengan anti stripping agent	3 buah	15 buah
2	Kadar Aspal Pen 60/70 (4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0%; 65%) dengan anti stripping agent	3 buah	15 buah
	Total Keseluruhan Benda Uji		30 buah

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Pengambilan sampel benda uji dilakukan setelah ditentukan komposisi campuran aspal. Temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 170/20 centistokes adalah temperatur campurannya dengan agregat, dan temperatur pemadatan aspal adalah temperatur dimana aspal memiliki viskositas kinematis 280/30 centistokes.

Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan masing-masing benda uji dimana jika salah satu benda uji ada yang tidak sesuai dengan

spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2 dan 2 benda uji lainnya sesuai spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 3 maka beda uji dapat dibandingkan hasilnya.

4.5 Pembuatan Benda Uji Dengan KadarAspal

Komposisi aspal PG 70 dan aspal pen 60/70 dengan penambahan anti stripping agent 0,2% terhadap berat aspal yang di rencanakan yaitu dengan kadar 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%, penggunaan komposisi ini nantinya untuk menentukan kadar aspal optimum. masing-masing kadar ada 3 benda uji dengan total keseluruhan terdapat 15 benda uji, dapat dilihat pada **Tabel 4.9 – Tabel 4.13.**

Tabel 4. 9 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)

Kadar Aspal 4,5%			
No.	Komposisi	%	Hasil
1	<i>Coarse Agregat (10/15)</i>	34 %	320,6 kg
2	<i>Medium Agregat (5/10)</i>	46 %	433,8 kg
3	<i>Fine Agregat (0-5)</i>	20 %	188,6 kg
4	Aspal	4,5 %	45 kg
		99 %	988 kg
Keterangan :			
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,094 kg

Tabel 4. 10 Rancangan Campuran Aspal (Job Mix Design)

Kadar Aspal 5%			
No.	Komposisi	%	Hasil
1	<i>Coarse Agregat (10/15)</i>	34 %	320,6 kg
2	<i>Medium Agregat (5/10)</i>	46 %	433,8 kg
3	<i>Fine Agregat (0-5)</i>	20 %	188,6 kg
4	Aspal	5,0 %	50 kg
		99 %	993 kg
Keterangan :			
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,104 kg

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Tabel 4. 11 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)
Kadar Aspal 5,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	<i>Coarse Agregat (10/15)</i>	34 %	320,6 kg
2	<i>Medium Agregat (5/10)</i>	46 %	433,8 kg
3	<i>Fine Agregat (0-5)</i>	20 %	188,6 kg
4	Aspal	5,5 %	55 kg
		100,0 %	998 kg
Keterangan :			
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,114 kg

Tabel 4. 12 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)
Kadar Aspal 6%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	<i>Coarse Agregat(10/15)</i>	34 %	320,6 kg
2	<i>Medium Agregat(5/10)</i>	46 %	433,8 kg
3	<i>Fine Agregat (0-5)</i>	20 %	188,6 kg
4	Aspal	6,0 %	60 kg
		100,0 %	1003 kg
Keterangan Aspal :			
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,125 kg

Tabel 4. 13 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)
Kadar Aspal 6,5%

No.	Komposisi	%	Hasil
1	<i>Coarse Agregat(10/15)</i>	34 %	320,6 kg
2	<i>Medium Agregat(5/10)</i>	46 %	433,8 kg
3	<i>Fine Agregat (0-5)</i>	20 %	188,6 kg
4	Aspal	6,5 %	65 kg
		101 %	1008 kg
Keterangan Aspal :			
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,135 kg

Perancangan dan memproduksi sampel yang akan digunakan untuk penelitian dengan metode Marshall setelah semua bahan penyusun campuran aspal, termasuk agregat dan Asphalt Mod PG 70 dan Asphalt Pen 60/70, telah diuji dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian spesimen standar Marshall sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T- 44-81, dan ASTM D-2042-76). Memanfaatkan variasi kadar aspal, desain dan produksi benda uji atau campuran aspal. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan tersebut didapatkan Pb (kadar aspal tengah/ ideal) sebesar 5,7%. menggunakan variasi kadar aspal 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%, masing-masing menggunakan 3 sampel

4.6 Pengujian Marshall

Apabila sudah dilakukan penentuan *job mix design* juga *design mix* formula, dan pembuatan benda uji sebanyak 30 buah aspal, selanjutnya seluruh benda uji ditimbang dalam keadaan masih masih kering, dilanjutkan benda uji ditimbang setelah melakukan perendaman selama 24 jam dan benda uji ditimbang kembali dalam keadaan SSD. Setelah didapatkan berat benda uji selanjutnya lalu dilakukan perendaman pada *waterbath* (pemanasan cairan dengan cara merendamnya pada air yang telah dipanaskan sebelumnya) pada temperature 60°C selama 30 menit. Seluruh sample benda uji pada *waterbath* yang telah direndam harus langsung dilakukan proses pengujian pada alat marshall untuk mendapatkan hasil bacaan stabilitas dan hasil bacaan *flow* (kelelehan) pada sample benda uji aspal. Maksud dalam pemeriksaan Marshall test akan menghasilkan parameter Marshall, yaitu nilai KAO (Kadar Aspal Optimum). Agar dapat memperoleh nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) terlebih dahulu didapatkan beberapa parameter. Parameter yang didapatkan yaitu adalah VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, flow (kelelehan), dan MQ (*Marshall Quotient*).

Hasil dari pemeriksaan Marshall Test terdapat pada tabel yang telah di rekap pada tabel dibawah dan juga terdapat pula grafik dari seluruh nilai parameter Marshall Test yaitu VMA (*Void in Mineral Aggregates*), VIM (*Void in Mix*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, *flow* (kelelehan), dan MQ (*Marshall Quotient*) yang telah memenuhi persyaratan dari Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2). Untuk hasil yang didapatkan dari pengujian Marshall pada penelitian dibagi menjadi 3 komposisi, yaitu hasil pengujian Marshall untuk benda uji komposisi normal dengan kadar aspal (4,5%, 5%, 5,5%, 6%, 6.5%) dengan masing – masing 3 benda uji per

komposisi.

4.6.1 Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (ASSHTO-209s)

Berat jenis maksimum campuran beraspal ditentukan dengan mengukur berat dan isi dari benda uji dimana udara yang berada di antara butir benda uji dikeluarkan dengan cara pengisapan

4.6.2 Berat Jenis campuran AC-WC pen 60/70 dengan Anti Stripping Agent

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal AC-WC pen 60/70 dengan *Anti Stripping Agent* dengan kadar aspal 5,5% dengan benda uji GMM sebanyak 2 buah untuk masing-masing campuran .

Tabel 4. 14 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran AC-WC Pen 60/70 dengan Anti Stripping Agent

No	SAMPLE No.		I	II
A	Berat Sampel dan Mangkok	Gram	2976,3	2887,8
B	Berat Mangkok	Gram	1557,6	1557,5
C	Berat Sampel (A - B)	Gram	1418,7	1330,3
D	Berat Mangkok dan Sampel di Dalam Air	Gram	1908,2	1855,4
E	Berat Mangkok di Dalam Air	Gram	1075	1075
F	Berat Sampel di Dalam Air (D - E)	Gram	833,2	780,4
G	Volume Sampel (C - F)	Gram	585,5	549,9
H	Berat Jenis Maksimum (C / G)	Gram/cc	2,423	2,419
I	Suhu Air	° C	28	28
J	Koreksi Suhu	° C	0,9992	0,9992
K	Berat Jenis Maksimum Terkoreksi (H x J)	Gram/cc	2,421	2,417
L	Average	Gram/cc	2,419	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis maksimum terhadap dua sampel campuran aspal, diperoleh nilai Gmm rata-rata sebesar 2,419 g/cc setelah koreksi suhu. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran memiliki kepadatan maksimal yang baik, dan dapat digunakan untuk analisis volumetrik lebih lanjut dalam desain Marshall.

4.6.3 4.7.1 Berat Jenis campuran AC-WC mod PG/70 dengan Anti Stripping Agent

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal AC-WC Mod PG70 dengan *Anti Stripping Agent* dengan kadar aspal 5,5% dengan benda uji GMM sebanyak 2 buah untuk masing-masing campuran .

Tabel 4. 15 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran AC-WC Mod PG 70 dengan Anti Stripping Agent

No	SAMPLE No.		I	II
A	Berat Sampel dan Mangkok	Gram	2776,6	2769,5
B	Berat Mangkok	Gram	1557,6	1557,5
C	Berat Sampel (A - B)	Gram	1219	1212
D	Berat Mangkok dan Sampel di Dalam Air	Gram	1794,2	1791,4
E	Berat Mangkok di Dalam Air	Gram	1075	1075
F	Berat Sampel di Dalam Air (D - E)	Gram	719,2	716,4
G	Volume Sampel (C - F)	Gram	499,8	495,6
H	Berat Jenis Maksimum (C / G)	Gram/cc	1,439	2,446
I	Suhu Air	° C	28	28
J	Koreksi Suhu	° C	0,9992	0,9992
K	Berat Jenis Maksimum Terkoreksi (H x J)	Gram/cc	2,437	2,444
L	Average	Gram/cc	2,440	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Berdasarkan dua kali pengujian berat jenis maksimum (Gmm), diperoleh rata-rata nilai Gmm sebesar 2,440 g/cc. Nilai ini menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kepadatan maksimum yang baik, sesuai standar desain campuran beraspal panas. Data dari kedua sampel menunjukkan tingkat keseragaman dan keandalan yang tinggi, sehingga hasil ini layak digunakan dalam perhitungan parameter volumetrik lebih lanjut dalam desain Marshall.

4.6.4 Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Aspal pen 60/70 di tambah *antistripping agent*

Kadar aspal optimum (KAO) campuran Lapisan Aspal Beton (Laston), dalam penelitian ini digunakan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%. Data hasil pengujian dan Analisa parameter pada Tabel 4.16 , selanjutnya kadaraspal optimum (KAO) ditentukan dengan menggunakan standar Bina Marga, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu : stabilitas, kelelehan (*flow*), *Marshall Quotien* (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA).

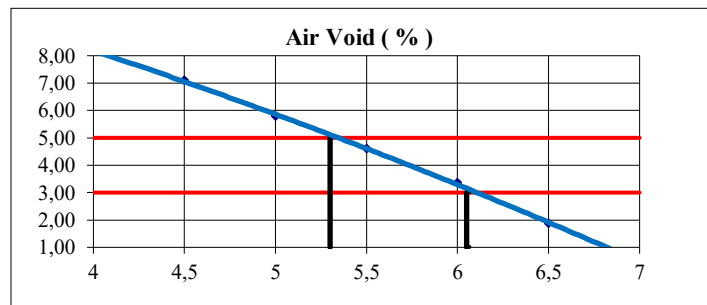
No.	Bitumen Content	Eff Sp.Gr Total agg	Absorbed Bitumen	Effective Bitumen	Max Sp.gr Combine Mix	Weght (Gram)			Volume Of Specimen	Bulk SpGr Combine Mix	Air Void (%)	V.M.A (%)	Void Filled (%)	Stability		Flow (mm)	Rasio lolos no.200. thd kadar aspal eff
						In Air	In Water	S.S.D						Meas	Adjust		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
		$\frac{100 - a}{100 - a} \frac{G}{G_{mm} X}$	$\frac{B - U}{B \times U} \frac{100 X}{100}$	$\frac{A - (100 - A)C}{100}$	$\frac{A + 100 - A}{X B}$	LAB	LAB	LAB	H - G	$\frac{F}{I}$	$\frac{(E - J)100}{E}$	$\frac{100 - (100 - A)J}{U}$	$\frac{(L - K)100}{L}$	LAB	LAB	LAB	$\frac{\text{Lolos no.200}}{D}$
1	4.5	2.624	0.430	4.089	2.454	1184.6	672.4	1191.6	519.2	2.282				28	840	2.85	
2						1185.6	672.7	1192.8	520.1	2.280				30	900	2.65	
3						1194.2	672.4	1196.4	524.0	2.279				29	870	3.00	
	Average									2.280	7.09	16.12	56.01		870	2.83	1.2
1	5.0	2.624	0.430	4.591	2.436	1198.6	684.1	1206.0	521.9	2.297				32	960	3.45	
2						1188.6	677.3	1196.0	518.7	2.291				32	960	3.15	
3						1192.2	681.0	1199.8	518.8	2.298				35	1050	2.95	
	Average									2.295	5.79	15.99	63.79		990	3.18	1.1
1	5.5	2.624	0.430	5.094	2.419	1204.0	690.2	1211.6	521.4	2.309				36	1080	3.85	
2						1206.8	690.5	1214.6	524.1	2.303				34	1020	3.95	
3						1191.0	683.1	1198.4	515.3	2.311				40	1200	3.65	
	Average									2.308	4.61	15.99	71.18		1100	3.82	0.9
1	6.0	2.624	0.430	5.596	2.402	1207.2	694.6	1215.0	520.4	2.320				32	960	3.95	
2						1200.6	688.8	1207.8	519.0	2.313				35	1050	4.00	
3						1206.6	696.6	1214.2	517.6	2.331				29	870	3.70	
	Average									2.321	3.36	15.94	78.91		960	3.88	0.9
1	6.5	2.624	0.430	6.098	2.385	1205.0	699.3	1212.4	513.1	2.348				30	900	3.85	
2						1212.4	700.3	1220.2	519.9	2.332				27	810	3.95	
3						1208.2	702.3	1218.4	516.1	2.341				32	960	3.95	
	Average									2.340	1.88	15.70	88.03		890	3.92	0.8
	Speck										3.0 - 5.0	Min 15	Min 65		Min 800	2 - 4	0.6 - 1.6

Tabel 4. 16 Properties Of Asphalt Mixes Marshall Method

Pada tabel pengujian *marshall* di dapat nilai VIM (*Void in Mix*) dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan *Antistripping Agent* dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5% , 6.0% , 6.5%.

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai VIM (*Void In Mix*) :

- Kadar aspal 4,5% : 7,09%
- Kadar aspal 5,0% : 5,79%
- Kadar aspal 5,5% : 4,61%
- Kadar aspal 6,0% : 3,36%
- Kadar aspal 6,5% : 1,88%

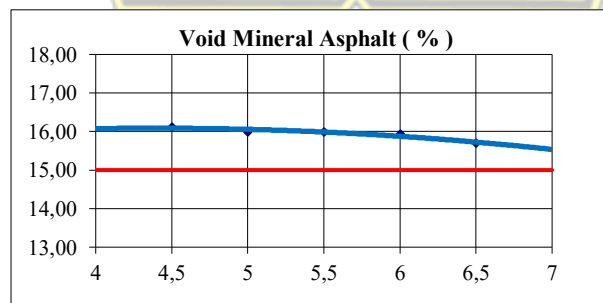


Gambar 4. 3 VIM untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Pada table pengujian *marshall* di dapat nilai VMA (*Void in Mineral Aggregates*) dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan *Antistripping Agent* dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5% , 6.0% , 6.5%.

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai VMA (*Void in Mineral Aggregates*):

- Kadar aspal 4,5% : 16,12 %
- Kadar aspal 5,0% : 15,99 %
- Kadar aspal 5,5% : 15,99 %
- Kadar aspal 6,0% : 15,94 %
- Kadar aspal 6,5% : 15,70 %

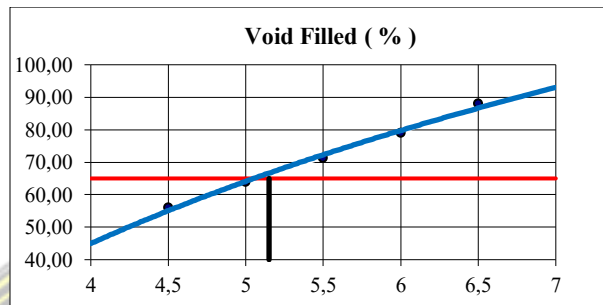


Gambar 4. 4 VMA untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent
(Sumber : Hasil Penelitian2024).

Pada table pengujian *marshall* di dapat nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan *Antistripping Agent* dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5%, 6.0% , 6.5%.

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai VFB (*Void Filled Bitumen*):

- Kadar aspal 4,5% : 56,01 %
- Kadar aspal 5,0% : 63,79 %
- Kadar aspal 5,5% : 71,18 %
- Kadar aspal 6,0% : 78,91 %
- Kadar aspal 6,5% : 88,73 %

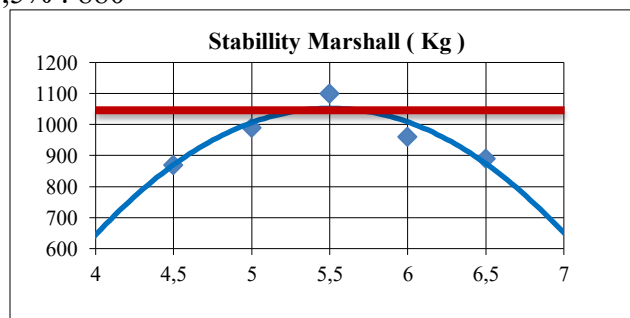


Gambar 4. 5 VFB untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Pada table pengujian *marshall* di dapat nilai Stabilitas dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan *Antistripping Agent* dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5%, 6.0% , 6.5%.

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai Stabilitas :

- Kadar aspal 4,5% : 870
- Kadar aspal 5,0% : 990
- Kadar aspal 5,5% : 1100
- Kadar aspal 6,0% : 960
- Kadar aspal 6,5% : 880

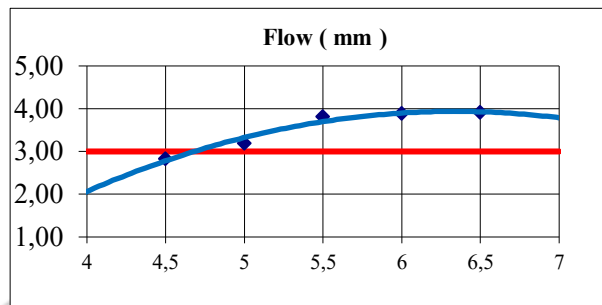


Gambar 4. 6 Stabilitas untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Pada table pengujian *marshall* di dapat nilai Flow dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan *Antistripping Agent* dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5% , 6.0% , 6.5%.

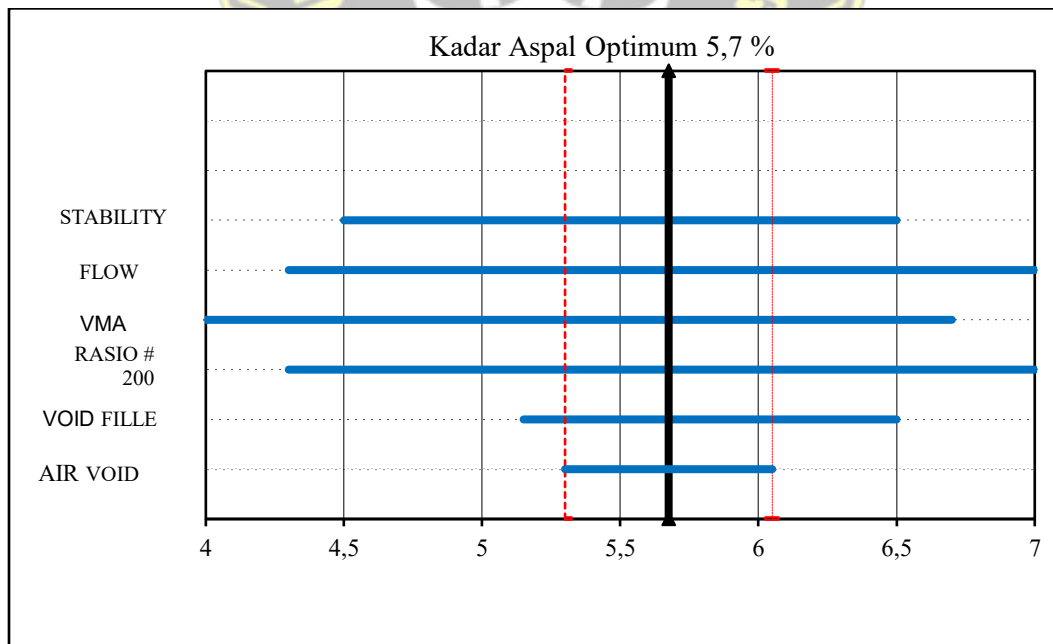
Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai Flow :

- Kadar aspal 4,5% : 2.83 mm
- Kadar aspal 5,0% : 3.18 mm
- Kadar aspal 5,5% : 3.82 mm
- Kadar aspal 6,0% : 3.88 mm
- Kadar aspal 6,5% : 3.92 mm



Gambar 4. 7 Flow untuk Komposisi Aspal Pen 60/70 ditambah Antistripping Agent (Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Setelah melakukan pengujian stabilitas, kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient* (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA) di peroleh KAO dengan nilai 5,7 % di tunjukkan pada grafik.



Gambar 4. 8 Penentuan Kadar Aspal Optimum(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

4.6.5 Ringkasan Hasil Test Pengujian AC-WC PEN 60/70

Setelah mendapatkan presentase masing-masing fraksi agregat dan aspal. Maka ditentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas mold yang ada.

Contoh untuk campuran AC-WC sebagai berikut :

- Kadar aspal = 5.7 %
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = $5.7 \% \times 1200$ = 68.4 gr
- Berat total agregat = $(100 - 5.7)\% \times 1200$ = 1131.6 gr
 - Coarse Agg. (1/2') = $25\% \times 1200$ gr = 300 gr
 - Medium Agg. (3/8') = $25\% \times 1200$ gr = 300 gr
 - Pasir = $40 \% \times 1200$ gr = 480 gr
 - Abu batu = $3\% \times 1200$ gr = 36 gr
 - Filler = $1.2 \% \times 1200$ gr = 14.4 gr
 - Total agregat = 1130.4 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 4.17

Tabel 4. 17 Komposisi Material AC - WC

JENIS MATERIAL	KOMPOSISI	BERAT (g)	KUMULATIF (g)
1.Coarse Agg. (1/2')	25.00 %	300.00	600.00
2.Medium Agg. (3/8')	25.00 %	300.00	300.00
3.Abu batu	40.00 %	516.00	1080.00
4.Pasir	3.00 %	36.00	1116.00
5. Filler Semen	1.20 %	14.4	1130.4
6. Aspal	5.70 %	68.4	1200

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Dari pengujian *AC Wearing Course* di dapatkan Kadar Aspal Optimum adalah 5,7% dengan berat 68,4 gr

4.6.6 Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Aspal PG 70 di tambah *antistripping agent*

Kadar aspal optimum (KAO) campuran Lapisan Aspal Beton (Laston), dalam penelitian ini digunakan kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%. Data hasil pengujian dan Analisa parameter pada Tabel 4.18 , selanjutnya kadaraspal optimum (KAO) ditentukan dengan menggunakan standar Bina Marga, dimana ada 6 parameter yang harus dipenuhi yaitu : stabilitas, kelelehan (*flow*), *Marshall Quotien* (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA).

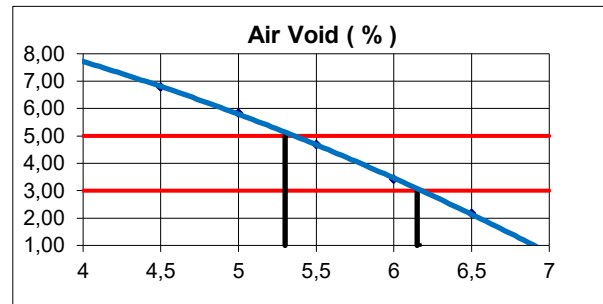
No.	Bitumen Content	Eff Sp.Gr Total agg	Absorbed Bitumen	Effective Bitumen	Max Sp.gr Combine Mix	Weght (Gram)			Volume Of Specimen	Bulk SpGr Combine Mix	Air Void (%)	V.M.A (%)	Void Filled (%)	Stability		Flow (mm)	Rasio lolos no.200. thd kadar aspal eff
						In Air	In Water	S.S.D						Meas	Adjust		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
		$\frac{100 - a}{100 - a} \frac{G_{mm}}{X}$	$\frac{B - U}{B \times U} 100X$	$\frac{A - (100 - A)C}{100}$	$\frac{100}{A + 100 - A} \frac{X}{B}$	LAB	LAB	LAB	H - G	$\frac{F}{I}$	$\frac{(E - J)100}{E}$	$\frac{100 - (100 - A)U}{U}$	$\frac{(L - K)100}{L}$	LAB	LAB	LAB	$\frac{Loles no.200}{D}$
1	4.5	2.650	0.821	3.716	2.476	1192.0	700.8	1218.2	517.4	2.304				39	1170	3.10	
2						1191.4	701.4	1217.2	515.8	2.310				35	1050	3.25	
3						1186.6	680.4	1194.0	513.6	2.310				40	1200	3.10	
	Average									2.308	6.79	15.09	55.03		1140	3.15	1.3
1	5.0	2.650	0.821	4.220	2.458	1198.6	689.2	1206.2	517.0	2.318				42	1260	3.20	
2						1200.6	690.6	1209.8	519.2	2.312				44	1320	3.35	
3						1194.4	686.6	1203.0	516.4	2.313				45	1350	3.40	
	Average									2.315	5.84	15.29	61.84		1310	3.32	1.1
1	5.5	2.650	0.821	4.724	2.440	1198.8	690.8	1207.0	516.2	2.322				46	1380	3.45	
2						1197.6	692.4	1206.4	514.0	2.330				47	1410	3.55	
3						1204.4	696.0	1213.8	517.8	2.326				48	1440	3.45	
	Average									2.326	4.68	15.32	69.45		1410	3.48	1.0
1	6.0	2.650	0.821	5.228	2.423	1207.0	706.6	1222.8	516.2	2.338				48	1440	3.50	
2						1204.4	699.4	1213.4	514.0	2.343				43	1290	3.70	
3						1207.4	704.4	1220.6	516.2	2.339				42	1260	3.75	
	Average									2.340	3.41	15.26	77.63		1330	3.65	0.9
1	6.5	2.650	0.821	5.732	2.406	1203.0	699.8	1210.6	510.8	2.355				40	1200	3.35	
2						1209.0	703.2	1215.8	512.6	2.359				42	1260	3.80	
3						1201.4	696.2	1208.0	511.8	2.347				41	1230	3.95	
	Average									2.354	2.16	15.22	85.82		1230	3.70	0.8
Speck											3.0 - 5.0	Min 15	Min 65		Min 1000	2 - 4	0.6 - 1.6

Tabel 4. 18 Properties Of Asphalt Mixes Marshall Method

Pada table pengujian *marshall* di dapat nilai VIM (*Void in Mix*) dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan *Antistripping Agent* dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5%, 6.0% , 6.5%.

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai VIM (*Void In Mix*) :

- Kadar aspal 4,5% : 6,79%
- Kadar aspal 5,0% : 5,84%
- Kadar aspal 5,5% : 4,68%
- Kadar aspal 6,0% : 3,41%
- Kadar aspal 6,5% : 2,16%

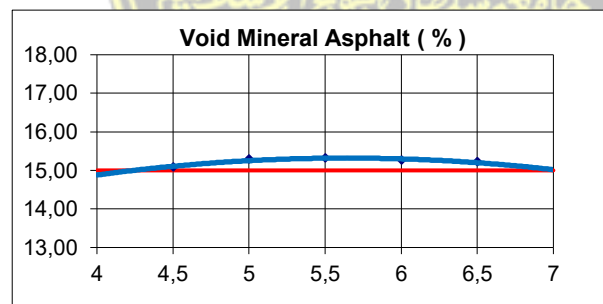


Gambar 4. 9 VIM untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Pada table pengujian *marshall* di dapat nilai VMA (*Void in Mineral Aggregates*) dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan *Antistripping Agent* dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5%, 6.0% , 6.5%.

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai VMA (*Void in Mineral Aggregates*):

- Kadar aspal 4,5% : 15,09 %
- Kadar aspal 5,0% : 15,29 %
- Kadar aspal 5,5% : 15,32 %
- Kadar aspal 6,0% : 15,22 %
- Kadar aspal 6,5% : 15,26 %



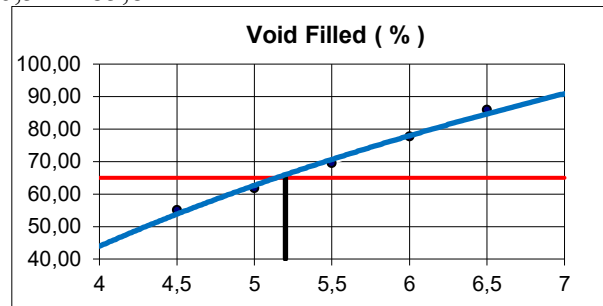
Gambar 4. 10 VMA untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent
(Sumber : Hasil Penelitian2024).

Pada table pengujian *marshall* di dapat nilai VFB (*Void Filled Bitumen*) dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan

Antistripping Agent dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5%, 6.0% , 6.5%.

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai VFB (*Void Filled Bitumen*):

- Kadar aspal 4,5% : 55,03 %
- Kadar aspal 5,0% : 61,84 %
- Kadar aspal 5,5% : 69,45 %
- Kadar aspal 6,0% : 77,63 %
- Kadar aspal 6,5% : 85,82 %

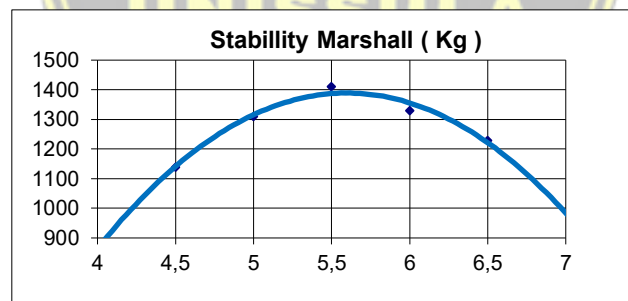


Gambar 4. 11 VFB untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Pada table pengujian *marshall* di dapat nilai Stabilitas dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan *Antistripping Agent* dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5%, 6.0% , 6.5%.

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai Stabilitas :

- Kadar aspal 4,5% : 1140
- Kadar aspal 5,0% : 1310
- Kadar aspal 5,5% : 1410
- Kadar aspal 6,0% : 1330
- Kadar aspal 6,5% : 1230

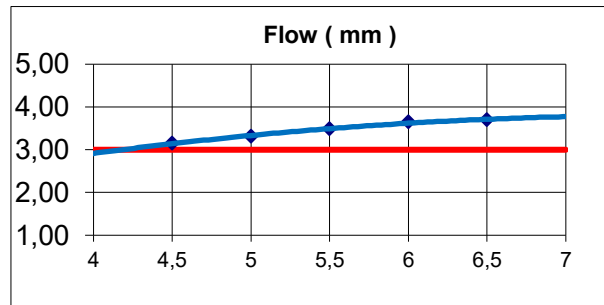


Gambar 4. 12 Stabilitas untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Pada gambar pengujian *marshall* di dapat nilai Flow dengan menggunakan beberapa variasi campuran Aspal Pen 60/70 ditambah bahan *Antistripping Agent* dengan kadar aspal 4.5% , 5.0% , 5.5%, 6.0% , 6.5%.

Dari pengujian tersebut diperoleh hasil nilai Flow :

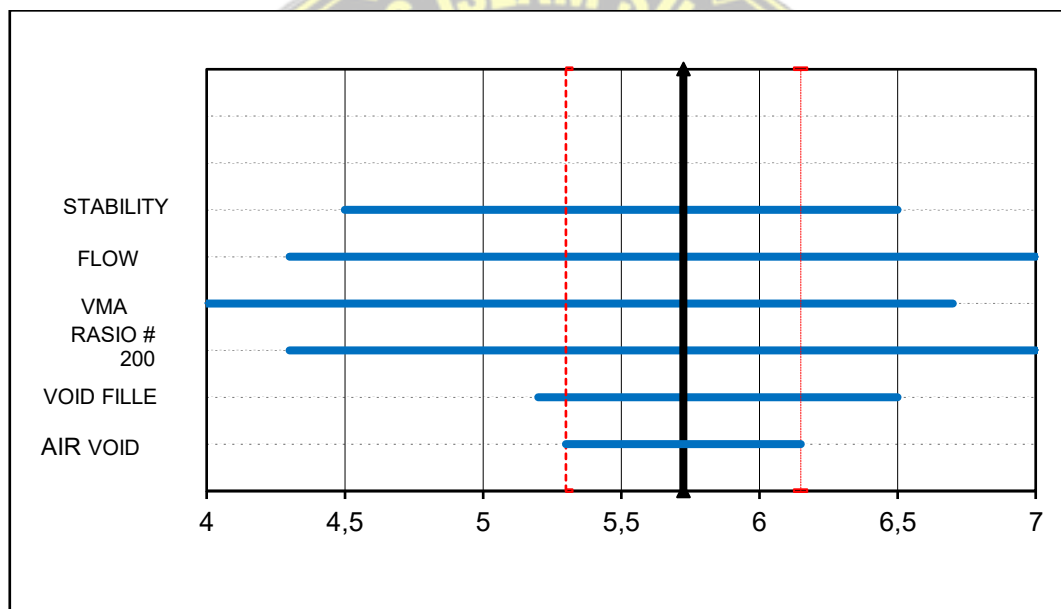
- Kadar aspal 4,5% : 3.15 mm
- Kadar aspal 5,0% : 3.32 mm
- Kadar aspal 5,5% : 3.48 mm
- Kadar aspal 6,0% : 3.65 mm
- Kadar aspal 6,5% : 3.70 mm



Gambar 4.13 Flow untuk Komposisi Aspal PG 70 ditambah Antistripping Agent

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Setelah melakukan pengujian stabilitas, kelelehan (*flow*), *Marshall Quotien* (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA) di peroleh KAO dengan nilai 5,7 % di tujukkan pada grafik.



Gambar 4.14 Penentuan Kadar Aspal Optimum (Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

4.6.7 Ringkasan Hasil Test Pengujian AC-WC PG 70

Setelah mendapatkan presentase masing-masing fraksi agregat dan aspal. Maka detentukan berat material untuk rancangan campuran dengan kapasitas mold yang ada.

Contoh untuk campuran AC-WC sebagai berikut :

- Kadar aspal = 5.7 %
- Kapasitas mold = 1200 gr
- Berat aspal = 5.7 % x 1200 = 68.4 gr
- Berat total agregat = (100 – 5.7)% x 1200 = 1131.6 gr
 - Coarse Agg. (1/2') = 25% x 1200 gr = 300 gr
 - Medium Agg. (3/8') = 25% x 1200 gr = 300 gr
 - Pasir = 40 % x 1200 gr = 480 gr
 - Abu batu = 3% x 1200 gr = 36 gr
 - Filler = 1.2 % x 1200 gr = 14.4 gr

Total agregat = 1130.4 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada Tabel 4.19

Tabel 4. 19 Komposisi Material AC - WC

JENIS MATERIAL	KOMPOSISI	BERAT (g)	KUMULATIF (g)
1.Coarse Agg. (1/2')	25.00 %	300.00	600.00
2.Medium Agg. (3/8')	25.00 %	300.00	300.00
3.Abu batu	40.00 %	516.00	1080.00
4.Pasir	3.00 %	36.00	1116.00
5. Filler Semen	1.20 %	14.4	1130.4
6. Aspal	5.70 %	68.4	1200

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Dari pengujian *AC Wearing Course* di dapatkan Kadar Aspal Optimum adalah 5,7% dengan berat 68,4 gr

4.7 Pembuatan Benda Uji Dengan Kadar Aspal Optimum

Komposisi aspal modifikasi PG 70 dan aspal pen 60/70 dengan kadar aspal 5,7% yang di rencanakan. untuk masing-masing setiap campuran aspal PG 70 dan aspal pen 60/70 adalah 3 benda uji. dengan total keseluruhan ada 6 benda uji yang dicampur dengan anti stripping agent, dapat dilihat pada **Tabel 4.20 – Tabel 4.21**

Tabel 4. 20 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Aspal Mod PG 70

No.	Komposisi	%	Hasil
1	<i>Coarse Agregat(10/15)</i>	34 %	320,6 kg
2	<i>Medium Agregat(5/10)</i>	46 %	433,8 kg
3	<i>Fine Agregat (0-5)</i>	20 %	188,6 kg
4	Aspal	5,7 %	57 kg
		100 %	1000 kg
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,118 kg

Tabel 4. 21 Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) dengan Aspal Pen 60/70

No.	Komposisi	%	Hasil
1	Coarse Agregat(10/15)	34 %	320,6 kg
2	Medium Agregat(5/10)	46 %	433,8 kg
3	Fine Agregat (0-5)	20 %	188,6 kg
4	Aspal	5,7 %	57 kg
		100 %	1000 kg
Anti Stripping Agent		0,2 %	0,118 kg

Perancangan dan memproduksi sampel yang akan digunakan untuk penelitian dengan metode Marshall setelah semua bahan penyusun campuran aspal, termasuk agregat dan Asphalt Mod PG 70 dan Asphalt Pen 60/70, telah diuji dan memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan. Pengujian spesimen standar Marshall sesuai dengan prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T- 44-81, dan ASTM D-2042-76). Memanfaatkan variasi kadar aspal, desain dan produksi benda uji atau campuran aspal. Berdasarkan perhitungan dengan persamaan tersebut didapatkan Pb (kadar aspal tengah/ ideal) sebesar 5,7%. menggunakan variasi kadar aspal 4,5%; 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%, masing-masing menggunakan 3 sampel.

4.7.1 Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (ASSHTO-209s)

Berat jenis maksimum campuran beraspal ditentukan dengan mengukur berat dan isi dari benda uji dimana udara yang berada di antara butir benda uji dikeluarkan dengan cara pengisapan

4.7.2 Berat Jenis campuran AC-WC pen 60/70 dengan Anti Stripping Agent

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal AC-WC pen 60/70 dengan *Anti Stripping Agent* dengan kadar aspal 5,72% dengan benda uji GMM sebanyak 2 buah untuk masing-masing campuran .

Tabel 4. 22 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran AC-WC Pen 60/70 dengan Anti Stripping Agent

No	SAMPLE No.		I	II
A	Berat Sampel dan Mangkok	Gram	2976,3	2887,8
B	Berat Mangkok	Gram	1557,6	1557,5
C	Berat Sampel (A - B)	Gram	1418,7	1330,3
D	Berat Mangkok dan Sampel di Dalam Air	Gram	1908,2	1855,4
E	Berat Mangkok di Dalam Air	Gram	1075	1075
F	Berat Sampel di Dalam Air (D - E)	Gram	833,2	780,4
G	Volume Sampel (C - F)	Gram	585,5	549,9
H	Berat Jenis Maksimum (C / G)	Gram/cc	2,423	2,419
I	Suhu Air	° C	28	28
J	Koreksi Suhu	° C	0,9992	0,9992
K	Berat Jenis Maksimum Terkoreksi (H x J)	Gram/cc	2,421	2,417
L	Average	Gram/cc	2,419	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Berdasarkan hasil pengujian berat jenis maksimum terhadap dua sampel campuran aspal, diperoleh nilai Gmm rata-rata sebesar 2,419 g/cc setelah koreksi suhu. Hasil ini menunjukkan bahwa campuran memiliki kepadatan maksimal yang baik, dan dapat digunakan untuk analisis volumetrik lebih lanjut dalam desain Marshall.

4.7.1 Berat Jenis campuran AC-WC mod PG/70 dengan Anti Stripping Agent

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal AC-WC Mod PG70 dengan *Anti Stripping Agent* dengan kadar aspal 5,73% dengan benda uji GMM sebanyak 2 buah untuk masing-masing campuran .

Tabel 4. 23 Pemeriksaan berat jenis campuran maksimum GMM Campuran AC-WC Mod PG 70 dengan Anti Stripping Agent

No	SAMPLE No.		I	II
A	Berat Sampel dan Mangkok	Gram	2776,6	2769,5
B	Berat Mangkok	Gram	1557,6	1557,5
C	Berat Sampel (A - B)	Gram	1219	1212
D	Berat Mangkok dan Sampel di Dalam Air	Gram	1794,2	1791,4
E	Berat Mangkok di Dalam Air	Gram	1075	1075
F	Berat Sampel di Dalam Air (D - E)	Gram	719,2	716,4
G	Volume Sampel (C - F)	Gram	499,8	495,6
H	Berat Jenis Maksimum (C / G)	Gram/cc	1,439	2,446
I	Suhu Air	° C	28	28
J	Koreksi Suhu	° C	0,9992	0,9992
K	Berat Jenis Maksimum Terkoreksi (H x J)	Gram/cc	2,437	2,444
L	Average	Gram/cc	2,440	

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Berdasarkan dua kali pengujian berat jenis maksimum (Gmm), diperoleh rata-rata nilai Gmm sebesar 2,440 g/cc. Nilai ini menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kepadatan maksimum yang baik, sesuai standar desain campuran beraspal panas. Data dari kedua sampel menunjukkan tingkat keseragaman dan keandalan yang tinggi, sehingga hasil ini layak digunakan dalam perhitungan parameter volumetrik campuran aspal.

4.7.3 Hasil Uji Marshall Setelah KAO Aspal pen 60/70 di tambah antistripping agent

Hasil uji Marshall setelah di dapat KAO untuk komposisi Aspal pen 60/70 dengan bahan *Antistripping Agent* pada kadar aspal 5,7%. Perolehan nilai uji *marshall* dapat di lihat pada table 4.24

Tabel 4. 24 Properties Of Asphalt Mixes Marshall Method

No.	Bitumen Content	Eff Sp.Gr Total agg	Absorbed Bitumen	Effective Bitumen	Max Sp.gr Combine Mix	Weght (Gram)			Volume Of Specimen	Bulk SpGr Combine Mix	Air Void (%)	V.M.A (%)	Void Filled (%)	Stability		Flow (mm)	Rasio lolos no.200. thd kadar aspal eff
						In Air	In Water	S.S.D						Meas	Adjust		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
		$\frac{100 - a}{100 - a}$ Gmm X	$\frac{B-U}{100}$ B x U	$\frac{A - (100-A)C}{100}$ (100-A)C	$\frac{100}{A + 100-A}$ X B	LAB	LAB	LAB	H - G	F I	$\frac{(E-J)100}{E}$	$\frac{100 - (100-A)J}{U}$	$\frac{(L-K)100}{L}$	LAB	LAB	LAB	<u>Lolos no.200</u> D
1	5.7	2.624	0.430	5.294	2.412	1201.8	692.3	1214.2	521.9	2.303				36	1080	3.65	
2						1198.2	691.6	1211.8	520.2	2.303				42	1260	3.75	
3						1205.2	695.6	1216.6	521.0	2.313				38	1140	3.60	
Average										2.306	4.39	16.21	72.93		1160	3.67	0.9
1	5.7	2.624	0.430	5.294	2.412	1183.0	682.4	1196.4	514.0	2.302				36	1080	4.00	
2						1193.4	691.2	1208.0	516.8	2.309				32	960	3.95	
3						1198.0	691.9	1210.8	518.9	2.309				38	1140	4.15	
Average										2.306	4.39	16.21	72.94		1060	4.03	0.9
						Retained strength index 60 °C / 24 hours = (1060/1160) x 100 = 91.38 %											
Average																	
Speck											3 - 5	Min 15	Min 65		Min 800	2 - 4	0.6 - 1.6



4.7.4 Hasil Uji Marshall Setelah KAO Aspal PG 70 di tambah antistripping agent

Hasil uji Marshall setelah di dapat KAO untuk komposisi Aspal PG 70 di tambah antistripping agent dengan kadar aspal 5,7%. Perolehan nilai marshall dapat di lihat pada Tabel 4. 25

Tabel 4. 25 Properties Of Asphalt Mixes Marshall Method

No.	Bitumen Content	Eff Sp.Gr Total agg	Absorbed Bitumen	Effective Bitumen	Max Sp.gr Combine Mix	Weght (Gram)			Volume Of Specimen	Bulk SpGr Combine Mix	Air Void (%)	V.M.A (%)	Void Filled (%)	Stability		Flow (mm)	Rasio lolos no.200. thd kadar aspal eff
						In Air	In Water	S.S.D						Meas	Adjust		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
		$\frac{100 - a}{100 - a} \text{ Gmm } X$	$\frac{B-U}{100} \text{ B x U}$	$\frac{A - (100-A)C}{100}$	$\frac{A + 100-A}{X} B$	LAB	LAB	LAB	H - G	F I	$\frac{(E-J)100}{E}$	$\frac{100 - (100-A)J}{U}$	$\frac{(L-K)100}{L}$	LAB	LAB	LAB	$\frac{\text{Lolos no.200}}{D}$
1	5.7	2.650	0.821	4.926	2.433	1200.0	689.2	1209.0	519.8	2.309				53	1590	3.40	
2						1205.0	694.4	1214.2	519.8	2.318				54	1620	3.80	
3						1201.2	692.2	1210.0	517.8	2.320				52	1560	3.30	
Average										2.316	4.84	15.88	69.53		1590	3.50	1.0
1	5.7	2.650	0.821	4.926	2.433	1200.8	689.0	1207.8	518.8	2.315				47	1410	3.80	
2						1207.4	693.8	1215.0	521.2	2.317				49	1470	3.75	
3						1211.4	696.0	1219.6	523.6	2.314				49	1470	3.95	
Average										2.315	4.86	15.90	69.41		1450	3.83	1.0
						Retained strength index 60 °C / 24 hours = $(1450/1590) \times 100 = 91.19 \%$											
Average																	
Speck											3 - 5	Min 15	Min 65		Min 1000	2 - 4	0.6 - 1.6



4.8 Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994)

Kadar aspal dalam campuran adalah banyaknya aspal dalam campuran beraspal yang diperoleh dengan cara ekstraksi menggunakan alat refluk ekstraktor. Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kadar aspal dalam suatu campuran (agregat + aspal) yang akan digunakan dalam perencanaan perkerasan jalan.

Tabel 4. 26 Hasil Pengujian Kadar Aspal

NO	URAIAN PEMERKSAAN	RUMUS	AC-WC PEN 60/70 ANTI STRIPPING AGENT	AC-WC MOD PG70 ANTI STRIPPING AGENT	SAT
A	Berat Pan / Cawan		105.6	105.6	gr
B	Berat Material + Pan Sebelum		554.4	542.3	gr
C	Berat Material + Pan Sesudah		534.2	524.1	gr
D	Berat Sebelum Ekstraksi	(B - A)	448.8	436.7	gr
E	Berat Setelah Ekstraksi	(C - A)	428.6	418.5	gr
F	Berat Kertas Filter		6.5	6.5	gr
G	Berat Total Mineral	(C - A - F)	422.1	412.0	gr
H	Berat Aspal Dalam Campuran	(D - G)	26.7	24.7	gr
I	Persen Aspal Dalam Campuran	(H / D x 100)	5.95	5.66	%
Rata – rata			5.70		%

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024).

Berdasarkan Tabel 4.26 hasil dari Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi digunakan sebagai penentuan Kadar Aspal Optimum sebesar 5,70 %, untuk campuran modifikasi antara penggunaan campuran Aspal Pen dengan *Antistripping* dan Semen *Portland*. hasil ini dianggap memenuhi dikarenakan nilai KAO tersebut telah memenuhi syarat karakteristik *Marshall* sesuai dengan spesifikasi Bina marga 2018 Revisi 2 terkait penggunaan campuran aspalmodifikasi.

4.9 Rekapitulasi Dan Grafik Perbandingan Aspal Pen 60/70 Dan Aspal PG 70 Dengan Bahan Tambah Anti Stripping Setelah KAO

Berikut rekap hasil uji marshall pada campuran aspal yang memakai KAO 5,7 %

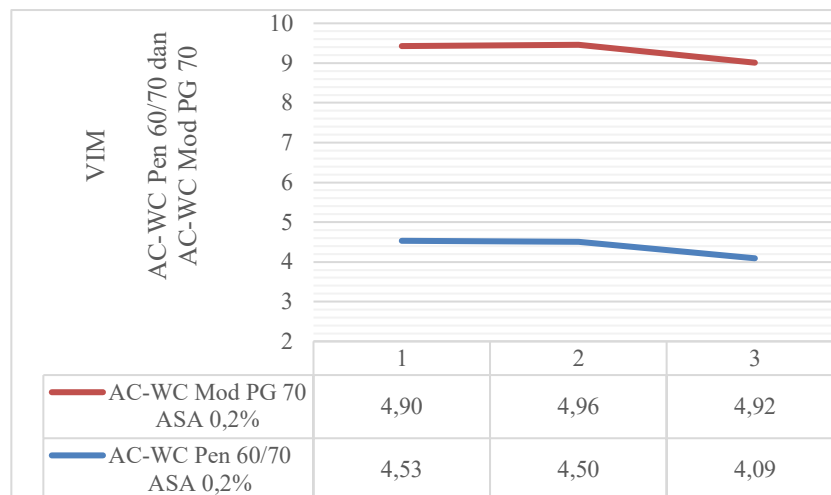
Rekapitulasi Rata-Rata PerbandinganAC-WC PEN 60/70 ASA dan AC-WC Mod PG 70 ASA														
			BJ Efektif Total Agregat (Gse) : 2.624				BJ Total Agg (Gsb) :		2.596	Kalibrasi Proving Ring :			29.960 Kg	
Campuran Benda Uji	kadar aspal	berat di udara	berat dlm air	berat ssd	volume/ isi	bj. Bulk campuran	bj. Maks kombinasi camp. Agg	% rongga diantara agg.(vma)	% rongga dalam camp(vim)	% rongga terisi aspal(yfb)	stabilitas dibaca arloji	di sesuaikan	kelelahan plastis (flow)	hasil bagi marshall (mq)
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n
	% berat total campuran	data timbang	data timbang	data timbang	d - c	b / e	GMM	100 - (100 - a)f gsb	100 - (100*f) g	100(h-i) h				1 / m
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
AC-WC PEN 60/70 ASA 0,2%														
AC-WC PEN 60/70 ASA 0,2%	5.7%					2.303	2.412	16.35	4.53	72.30	36	1080.25	2.63	295.96
AC-WC PEN 60/70 ASA 0,2%	5.7%					2.303	2.412	16.33	4.50	72.42	42	1260.29	2.9	336.08
AC-WC PEN 60/70 ASA 0,2%	5.7%					2.313	2.412	15.97	4.09	74.36	38	1140.27	3.03	316.74
						Rata - rata	2.306	16.22	4.37	73.03	38.67	1160.27	2.85	316.26
AC-WC MOD PG 70 ASA 0,2%														
AC-WC MOD PG 70 ASA 0,2%	5.7%					2.315	2.434	15.93	4.90	69.27	50	1500.35	2.80	535.84
AC-WC PEN 60/70 ASA 0,2%	5.7%					2.313	2.434	15.99	4.96	68.97	54	1620.38	3.20	506.37
AC-WC PEN 60/70 ASA 0,2%	5.7%					2.314	2.434	15.95	4.92	69.16	53	1590.37	3.00	530.12
						Rata - rata		15.96	4.93	69.13	52.33	1570.37	3.00	524.11

Gambar 4. 15 Rekap Hasil Uji *Marshall* Setelah Di Dapat KAO 5,7 %

4.9.1 Grafik Perbandingan Aspal Pen 60/70 Antara Aspal Pg 70 Dengan Bahan Tambah *Anti Stripping Agent* berdasarkan uji *marshall* setelah di dapat KAO.

Berikut perbandingan berdasarkan hasil uji *marshall* :

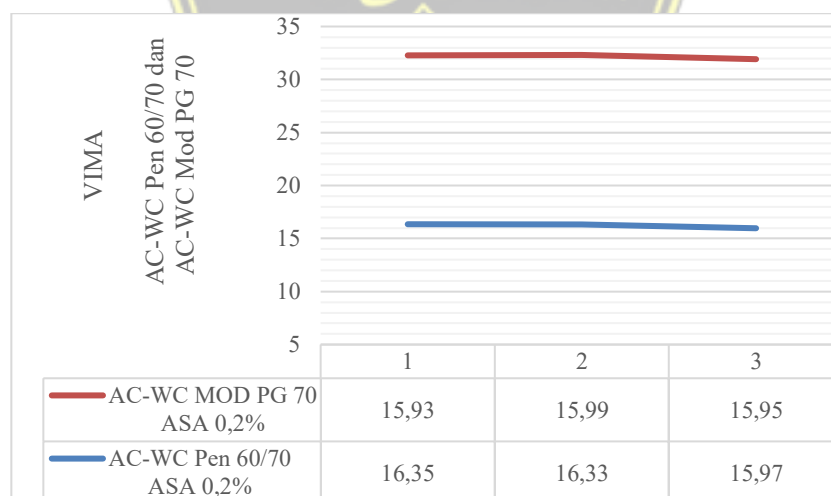
1. VIM (*Void In Mix*)



Gambar 4. 16 Grafik perbandingan *VIM (Void In Mix)*

Grafik ini menunjukkan perbandingan nilai VIM antara campuran aspal AC-WC Mod PG 70 ASA 0,2% dan AC-WC Pen 60/70 ASA 0,2% berdasarkan tiga benda uji. Hasil menunjukkan bahwa AC-WC Mod PG 70 ASA memiliki nilai VIM yang lebih tinggi dan konsisten, berkisar antara 4,90 hingga 4,96, dibandingkan AC-WC Pen 60/70 ASA yang menunjukkan penurunan pada pengukuran terakhir, dengan rentang nilai antara 4,09 hingga 4,53. Grafik ini mengindikasikan bahwa modifikasi PG 70 lebih baik dalam kestabilan.

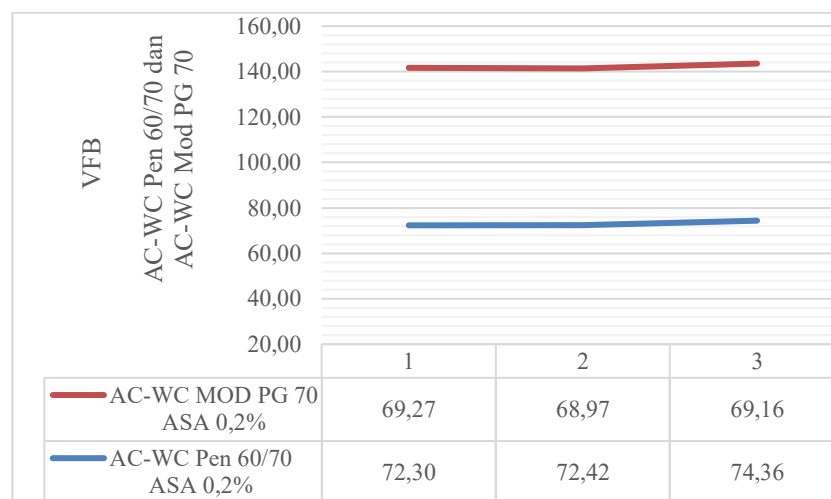
2. VMA (*Void in Mineral Aggregates*)



Gambar 4. 17 Grafik perbandingan *VMA (Void In Mineral Aggregate)*

Grafik ini menunjukkan perbandingan nilai VMA pada campuran AC-WC Modifikasi PG 70 ASA 0,2% dan AC-WC Pen 60/70 ASA 0,2% berdasarkan tiga benda uji. Nilai VMA AC-WC Mod PG 70 ASA menunjukkan konsistensi tinggi pada rentang 15,93–15,99, sedangkan AC-WC Pen 60/70 ASA menunjukkan variasi lebih besar, yaitu 15,97–16,35. Perbedaan ini menunjukkan kontribusi modifikasi PG 70 terhadap efisiensi penggunaan agregat dan kestabilan campuran.

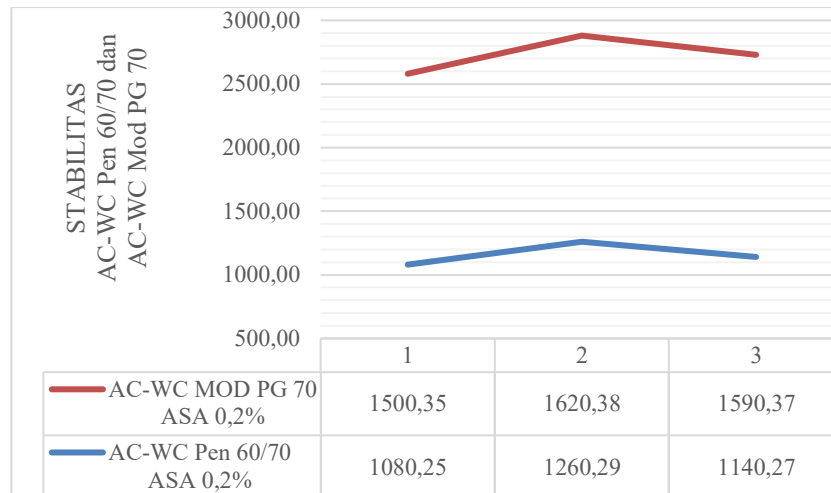
3. VFB (*Void Filled Bitumen*)



Gambar 4. 18 Grafik perbandingan VFB (*Void Filled Bitumen*)

Grafik ini menunjukkan perbandingan nilai VFB antara campuran AC-WC Modifikasi PG 70 ASA 0,2% dan AC-WC Pen 60/70 ASA 0,2%. Nilai VFB pada campuran AC-WC Mod PG 70 ASA berkisar di atas 140%, jauh lebih tinggi dibandingkan AC-WC Pen 60/70 ASA yang berada pada rentang 69,00–69,27%. Perbedaan ini menunjukkan efektivitas modifikasi PG 70 dalam meningkatkan kemampuan pengisian rongga oleh bitumen, yang dapat berdampak positif terhadap ketahanan dan durabilitas campuran.

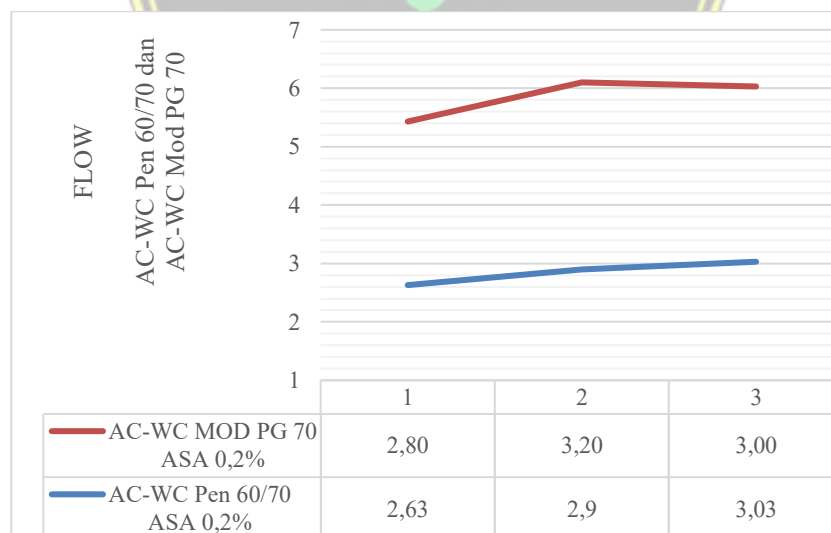
4. Stabilitas



Gambar 4. 19 Grafik perbandingan *stabilitas*

Grafik ini menunjukkan perbandingan nilai stabilitas antara campuran AC-WC Modifikasi PG 70 ASA 0,2% dan AC-WC Pen 60/70 ASA 0,2% pada tiga benda uji. Nilai stabilitas campuran Modifikasi PG 70 ASA secara konsisten lebih tinggi, yaitu 1500,35 hingga 1620,38 kg, dibandingkan campuran Pen 60/70 ASA yang berada pada rentang 1080,25 hingga 1260,29 kg. Hal ini mengindikasikan bahwa modifikasi PG 70 mampu meningkatkan kekuatan tahan deformasi campuran, serta menjamin kestabilan struktural yang lebih baik di bawah beban lalu lintas.

5. Flow

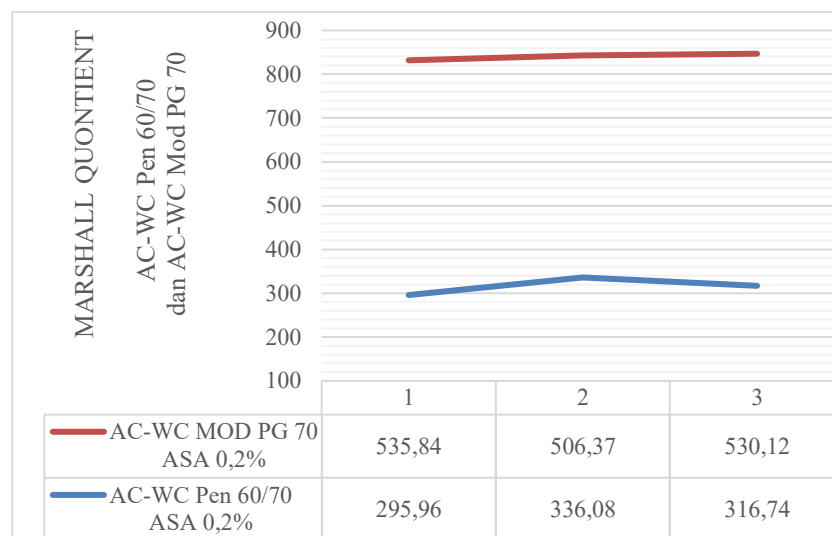


Gambar 4. 20 Grafik perbandingan *flow*

Grafik ini menunjukkan perbandingan nilai flow campuran AC-WC Modifikasi PG 70 ASA 0,2% dan AC-WC Pen 60/70 ASA 0,2% berdasarkan tiga benda uji. AC-WC Mod PG 70 ASA menunjukkan nilai flow yang konsisten lebih tinggi (2,80–3,20) dibandingkan dengan

AC-WC Pen 60/70 ASA (2,63–3,03), mengindikasikan peningkatan fleksibilitas dan deformabilitas campuran akibat penggunaan wearing termodifikasi. Nilai flow yang lebih besar pada campuran modifikasi menunjukkan potensi peningkatan kemampuan relaksasi tegangan dalam kondisi lalu lintas dinamis.

6. MQ (*Marshall Quotient*)



Gambar 4. 21 Grafik perbandingan *Marshall Quotient (MQ)*

Grafik ini menunjukkan nilai *Marshall Quotient (MQ)* dari campuran AC-WC Modifikasi PG 70 ASA 0,2% dan AC-WC Pen 60/70 ASA 0,2% berdasarkan tiga benda uji. Nilai MQ pada campuran PG 70 ASA menunjukkan konsistensi tinggi di kisaran 800, sedangkan nilai MQ pada campuran Pen 60/70 ASA jauh lebih rendah dan bervariasi antara 295,96 hingga 336,08. Perbedaan signifikan ini menunjukkan bahwa modifikasi PG 70 secara efektif meningkatkan rasio antara stabilitas dan deformabilitas campuran, menunjukkan kualitas struktural yang lebih baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Campuran aspal PG 70 yang dimodifikasi dengan *Antistripping Agent* (ASA 0,2%) menunjukkan kinerja lebih baik dibandingkan Pen 60/70 dalam seluruh parameter *Marshall*, dengan stabilitas mencapai >1500 kg dan *Marshall Quotient* sekitar 800 kg/mm, mengindikasikan ketahanan tinggi terhadap beban serta deformasi plastis. Nilai flow PG 70 yang sedikit lebih tinggi (± 3 mm) tetap berada dalam batas spesifikasi, menandakan fleksibilitas yang aman. Persentase VIM ($\sim 4,9\%$), VMA ($\sim 15,9\%$), dan VFB ($> 140\%$) pada PG 70 menunjukkan efisiensi penggunaan agregat dan pengisian rongga oleh bitumen yang optimal, berkontribusi terhadap durabilitas dan ketahanan kelembaban. Dengan demikian, aspal PG 70 Mod dengan bahan tambah anti stripping agent lebih potensial digunakan pada struktur perkerasan untuk lalu lintas sedang, khususnya pada kondisi dengan tuntutan deformasi plastis rendah.
2. Penambahan *Anti Stripping Agent* (ASA) sebesar 0,2% terhadap campuran AC-WC Pen 60/70 dan PG 70 terbukti meningkatkan kinerja ikatan aspal-agregat, terutama dalam kondisi kelembaban tinggi. Pada aspal Pen 60/70, ASA menghasilkan peningkatan stabilitas *Marshall* dari ± 1300 kg menjadi ± 1486 kg dan *Marshall Quotient* dari ± 338 kg/mm menjadi ± 391 kg/mm, serta memperbaiki durabilitas dan menurunkan permeabilitas campuran secara signifikan. Sementara pada aspal PG 70, penambahan ASA meningkatkan stabilitas sisa dari 89,86% menjadi 91,72%, dengan flow yang lebih terkontrol dan parameter VIM, VMA, serta VFB tetap memenuhi spesifikasi teknis. Secara keseluruhan, ASA memberikan kontribusi positif terhadap ketahanan stripping, deformasi plastis, dan umur campuran AC-WC dari kedua jenis aspal, dengan efek yang lebih signifikan pada aspal Pen 60/70 yang secara alami memiliki ketahanan ikatan yang lebih rendah dibanding aspal PG 70.

5.2 Saran

Dari penelitian ini dapat dikemukakan beberapa saran untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya :

1. Job Mix formula dengan stabilitas yang baik pada komposisi kadar campuran rr aspal namun memiliki *Void in Mineral* (VIM) yang rendah perlu meningkatkan kembali bahan tambah agar *Void in Mineral* (VIM) sesuai dengan persyaratan Spesifikasi Teknis Bina Marga 2018 Revisi 2
2. Menjaga kondisi ruangan agar tidak ada angin yang dapat mempengaruhi penimbangan material.
3. Penumbukan benda uji dengan menggunakan mesin *Compaction* harus lebih akurat.
4. Menggunakan alat perekam saat pengujian *marshall* dilakukan sehingga pembacaan jarum Stabilitas (O) dan Kelelahan (R) lebih akurat. Pengembangan penelitian berikutnya yang dapat dilakukan sebagai penelitian lanjutan adalah :
 1. Mengingat penelitian yang dilakukan sekarang tidak ditinjau dari reaksi kimia Aspal PEN dan Aspal PG 70 yang terjadi, maka perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai pengaruh dari reaksi kimia terhadap nilai stabilitas, durabilitas dan kuat tarik dari campuran beton aspal.
 2. Perlunya pengembangan penelitian mengenai Anti stripping agent tentang tata cara penggunaannya agar bisa mempermudah pemanfaatannya, sehingga dapat dihasilkan pengujian yang maksimal sesuai dengan kebutuhannya.
 3. Menggunakan jenis uji lain (tidak hanya uji *marshall*) seperti uji permeabilitas dan uji ketahanan friksi campuran.

DAFTAR PUSTAKA

- Agah, H.R (2011), Pengaruh Penambahan Buton Granular Asphalt pada Campuran Beton Aspal Terhadap Modulus Resilien dan Gradasi. Jurnal Transportasi Vol.12 No.2 Agustus2012: 103-112.
- A. Martha K (2012), Analisis Kinerja Campuran Aspal Panas dengan menggunakan Variasi Komposisi BGA (*Buton Granular Asphalt*) dan penambahan aditif jenis polimer. Universitas Indonesia
- Arief, Dimas (2012), Pengaruh Penggunaan Buton Granular Asphalt (BGA) 15/20 terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Universitas Jember.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2456-1991, Metode Pengujian Penetrasi, Jakarta, 1991.
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2434-1991, Metode Pengujian Titik Lembek 5°C (Ring and Ball Test), Jakarta, 1991
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2433-1991, Metode Pengujian Titik Nyala (Cleaveland Open Cup), Jakarta, 1991
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2432-1991, Metode Pengujian Daktilitas, Jakarta, 1991
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2432-1991, Metode Pengujian Berat Jenis, Jakarta, 1991
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2417-2008, Metode Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles, Jakarta, 2008
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-2439-2011, Metode Pengujian Kelekatan Agregat terhadap aspal pen 60/70, Jakarta, 2011
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 03-1969-1990, Metode Pengujian Penyerapan Air oleh Agregat, Jakarta, 1990
- Badan Standarisasi Nasional, SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran, Jakarta, 1991.
- Advances in Engineering Research, volume 18
- Chen, et al (2015), *Research on the Application of Rock Asphalt in a Seasonal Frozen Area*.
- Direktorat Jenderal Bina Marga (2018). *Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan Divisi 6 Perkerasan Beraspal*. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan Badan Penelitian dan Pengembangan, Bandung.
- Djalante, S. (2011). *Pengaruh ketahanan beton aspal (ac-bc) yang menggunakan asbuton butir tipe 5/20 terhadap air laut ditinjau dari karakteristik mekanis dan durabilitasnya*.
- Dr..Ir Juny Andry Sulisty, ST., MT, (2023) *ANALISIS PENGARUH BOTTOM ASH DAN FLY*

ASH SEBAGAI MATERIAL SUBSTITUSI PADA CAMPURAN ASPHALT CONCRETE-WEARING COURSE (AC-WC). Undergraduate thesis, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

FATMAWATI, S. (2011). *Analisa sifat ...*, Siti Fatmawati, FT UI, 2011.

Firstyan. F et al (2015), Pengaruh Suhu Pemadatan Terhadap Kinerja Marshall pada Campuran

Kirana, D. E. I. W. F. F. W. (2018). *ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN LASTON (HRS- WC) MODIFIKASI POLIMER STARBIT E-55*. 7(2).

Layuk, M.P. (2014), Studi Kinerja Campuran AC-WC Menggunakan BGA Asbuton Sebagai Bahan Pengikat. Universitas Hasanudin.

Patricia, Gloria (2012), Analisis Pengaruh Penambahan BGA dan Polimer SBS Terhadap Sifat Agregat dan Aspal Dari Campuran Aspal Panas. Depok: Universitas Indonesia.

Prawira, Abdi. et al. (2008), Pemanfaatan BGA (Buton Granular Asphalt) sebagai bahan pengganti agregat halus pada campuran HRS-WC secara Laboratorium .Forum Teknik Sipil , No.XVIII/2-5-08

Rajib Muammar, Sofyan M. Saleh, Y. Y. (2018). *Durabilitas campuran laston lapis aus (ac-wc) di substitusi limbah. 1*, 689–700.

R. A. Jimenez, “ASPHALT: mixture design method to minimize rutting,” Transportation Research Record, no. 1417, pp. 109–116, 1993.

Ramlan, R., & Pradhani, N. (2018). *Studi pemanfaatan pasir laut sebagai agregat halus pada campuran beton aspal*.

Sains, J., & Ritonga, A. H. (2017). *JURNAL STIKNA Pembuatan Aspal Polimer Menggunakan Karet SIR-20 Yang Diinisiasi*. 01(02), 123–130.

Tahir, Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kader Filler Abu Terbang Batu Bara, Jurnal Sipil Mesin Arsitektur Elektro, 2009, 256-278.