

TUGAS AKHIR

ANALISIS *ASPHALT WEARING COARSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH BAHAN KAIN *POLYESTER* DAN RESIN *POLYESTER* PADA PERKERASAN JALAN

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



Disusun Oleh :

**Putri Inna Wahidiyati
NIM : 30202100171**

**Siti Nurhafidza Akhmad
NIM : 30202100203**

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

2025

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS *ASPHALT WEARING COARSE* (AC-WC) DENGAN
PENAMBAHAN LIMBAH BAHAN KAIN *POLYESTER* DAN RESIN
POLYESTER PADA PERKERASAN JALAN



Putri Inna Wahidiyati
NIM : 30202100171



Siti Nurhafidza Akhmad
NIM : 30202100203

Telah disetujui dan disahkan di Semarang :

Agustus 2025

Tim Penguji

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

NIDN : 0611118903

2. **Ir. Lisa Fitriyana, ST., M.Eng**

NIDN : 0631128901

Tanda Tangan

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil

Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng

NIDN : 0625059102

BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No: 25 /A.2 /SA – T /VII /2025

Pada hari ini tanggal Agustus 2025 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing :

Nama : Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT
Jabatan Akademik : Lektor
Jabatan : Dosen Pembimbing Utama

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

Putri Inna Wahidiyati
NIM : 30202100171

Siti Nurhafidza Akhmad
NIM : 30202100203

Judul : “ANALISIS *ASPHALT CONCRETE WEARING COARSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH KAIN *POLYESTER* DAN RESIN *POLYESTE* PADA PERKERASAN JALAN RAYA”

Dengan tahapan sebagai berikut :

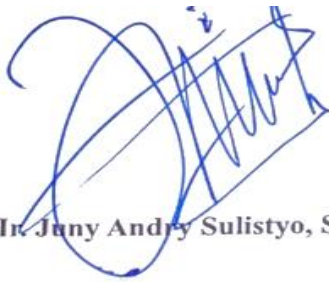
No	Tahapan	Tanggal	Keterangan
1	Penunjukkan dosen pembimbing	17/03/2025	ACC
2	Seminar proposal	31/05/2025	ACC
3	Pengumpulan data	10/06/2025	ACC
4	Analisis data	12/07/2025	ACC
5	Penyusunan data	21/07/2025	ACC
6	Selesai laporan	11/08/2025	ACC

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

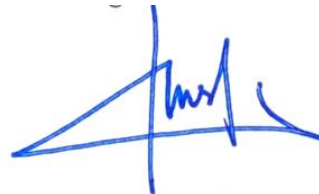
Mengetahui.

Dosen Pembimbing

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT



Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

1. NAMA : Putri Inna Wahidiyati
NIM 30202100171
2. NAMA : Siti Nurhafidza Akhmad
NIM 30202100203

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul : “ANALISIS *ASPHALT WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN BAHAN KAIN *POLYESTER* DAN RESIN *POLYESTER* PADA PERKERASAN JALAN “

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, 2025

Yang Membuat Pernyataan,

Putri Inna Wahidiyati
NIM : 30202100171



Siti Nurhafidza Akhmad
NIM : 30202100203

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Putri Inna Wahidiyati
NIM 30202100171
2. NAMA : Siti Nurhafidza Akhmad
NIM 30202100203

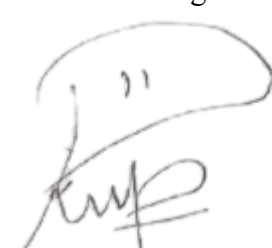
JUDUL : ANALISIS *ASPHALT WEARING COURSE* (AC-WC) DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH BAHAN KAIN *POLYESTER* DAN RESIN *POLYESTER* PADA PERKERASAN JALAN.

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

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpanan dan ketidak benaran 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, 2025

Yang Membuat Pernyataan,


Putri Inna Wahidiyati
NIM : 30202100171


Siti Nurhafidza Akhmad
NIM : 30202100203



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 Imron: 110)

"Dan di antara tanda-tanda kebesaran-Nya ialah tidurnya pada waktu malam dan siang hari, dan usahamu mencari sebagian dari karunia-Nya. Sungguh, pada yang demikian itu benar-benar terdapat tanda-tanda bagi kaum yang mendengarkan."

(Q.S Ar-Rum:23)

"Barang siapa yang mengerjakan amal saleh, baik laki-laki maupun perempuan dalam keadaan beriman, maka sesungguhnya akan kami berikan ke padanya kehidupan yang baik, dan sesungguhnya akan kami berikan balasan kepada mereka dengan pahala yang lebih baik dari apa yang telah mereka kerjakan."

(Q.S An-Nahl: 97)

Tidak ada kesuksesan melainkan dengan pertolongan Allah

(Qs. Huud:88)

"Agar kamu tidak bersedih hati terhadap apa yang luput dari kamu dan tidak pula terlalu gembira terhadap apa yang diberikan-Nya kepadamu. Dan Allah tidak menyukai terhadap orang yang sombong dan membanggakan diri."

(Q.S Al-Hadid: 23)

"Janganlah kami bersikap lemah dan janganlah pula kamu bersedih hati, padahal kamulah orang-orang yang paling tinggi derajatnya jika kamu beriman."

(Qs.Ali Imran:139)

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji Syukur kehadirat 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 Andi Tata dan Ibu Nurul Mukorobah beliau memang tidak sempat merasakan pendidikan bangku perkuliahan namun mereka mampu senan tiasa memberikan yang terbaik selalu memberi semangat serta saran yang berguna dan selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Adik saya Zidane Putra dan Alfi Zahra yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST., MT selaku dosen pembimbing yang tidak penuh lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan dorongan untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Daryanto.ST selaku pengurus Lab.Perkerasan Jalan yang selalu mengarahkan yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan membantu menyempurnakan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Tardi,S.T selaku pengurus Lab.Tanah yang selalu mengarahkan dan mengajari yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan membantu menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. Dosen-dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikan ilmunya.
7. Siti Nuhafidza Akhmad (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman-teman Angkatan 21 semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tidak bisa saya sebut satu-persatu.

Putri Inna Wahidiyati

30202100171

PERSEMBAHAN

Alhamdulillah puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala Rahmat dan hidayah yang saya rasakan hingga saat ini. Tugas Akhir ini saya persembahkan untuk :

1. Orang tua saya Bapak Akhmad Sodiq ,S.T dan Ibu Kistiyah tersayang dan tercinta yang selalu memberi semangat, doa serta saran yang berguna dan selalu memberi dukungan baik berupa materi maupun moril.
2. Kakak saya Alif Baqiyah Akhmad Alm. Dan Adik saya Syafri Akhmad tersayang dan tercinta yang selalu memberi semangat selama mengerjakan Tugas Akhir, dan mendoakan selalu.
3. Bapak 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. Bapak Daryanto.ST selaku pengurus Lab.Perkerasan Jalan yang selalu mengarahkan yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan membantu menyempurnakan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Tardi,S.T selaku pengurus Lab.Tanah yang selalu mengarahkan dan mengajari yang tidak pernah lelah memberikan ilmunya serta memberikan arahan semangat dan membantu menyempurnakan Tugas Akhir ini.
6. Dosen-dosen Program Studi Teknik Sipil Unissula yang telah membagikan ilmunya.
7. Putri Inna Wahidiyati (Partner TA) yang selama ini berjuang bersama menyelesaikan Tugas Akhir dan melewati suka duka selama mengerjakan Tugas Akhir.
8. Teman-teman Angkatan 21 semua yang telah membantu serta memberi semangat yang tidak bisa saya sebut satu-persatu.

Siti Nurhafidza Akhmad

30202100203

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 dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul 'Analisis *Asphalt Wearing Course* (AC-WC) Dengan Penambahan Limbah Bahan Kain *Polyester* Dan Resin *Polyester* Pada Perkerasan Jalan'.

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 :

1. Bapak Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan pengarahan, kesabaran dan bimbingan dalam penyusunan Laporan Tugas Akhir.
4. 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, Agustus 2025

Putri Inna W.

Siti Nurhafidza A.

DAFTAR ISI

COVER	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
PERNYATAAN KEASLIAN	v
MOTTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
PERSEMBAHAN	viii
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Identifikasi Masalah	2
1.3. Rumusan Masalah	2
1.4. Tujuan Penelitian.....	2
1.5. Manfaat Penelitian.....	3
1.6. Batasan Penelitian	3
1.7. Sistematis Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1. Perkerasan Jalan.....	6
2.2. Perkerasan Jalan Lentur / Aspal	8
2.3. Lapis <i>Asphalt</i> Beton (AC – WC)	10
2.4. Aspal	10
2.5. Aspal Limbah Kain <i>Polyester</i> dan Resin <i>Polyester</i>	12
2.6. Agregat	13
2.6.1. Agregat Halus	14
2.6.2. Agregat Kasar	15
2.7. Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	17
2.8. <i>Polyester</i> Kain	18
2.9. Resin <i>Polyester</i>	19
2.10. <i>Marshall Test</i>	20
2.11. Uji Karakteristik Marshall.....	21
2.12. Penelitian Terdahulu yang Sejenis.....	24
BAB III METODE PENELITIAN	28
3.1. Rancangan Umum Penelitian	28

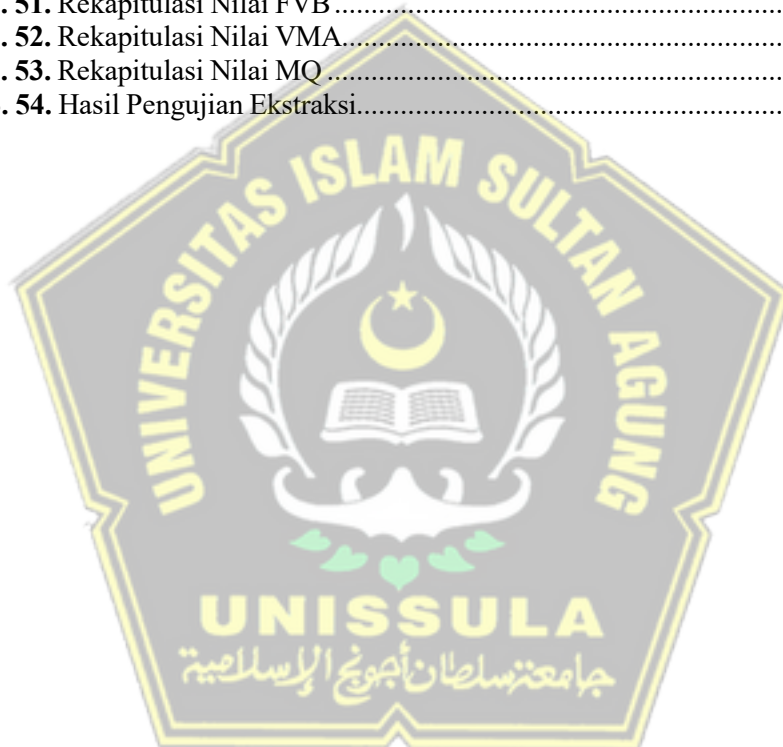
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian...	DAFTAR ISI	28
3.2.1.	Kebutuhan Bahan Material.....		28
3.2.2.	Peralatan		29
3.3.	Pengumpulan Data		31
3.4.	Metode Pengolahan Data.....		31
3.5.	Pemeriksaan Karakteristik <i>Marshall</i>		32
3.5.1	Pemeriksaan agregat kasar dan halus.....		32
3.5.2	Pemeriksaan sifat fisis aspal		32
3.6.	Rancangan Campuran Aspal Beton.....		33
3.6.1.	Campuran Kadar Aspal Normal		33
3.6.2.	Campuran Kadar Variasi Kain <i>Polyester</i> dan Resin <i>Polyester</i>		35
3.7.	Bagan Alur Penelitian dan Pelaksanaan Penelitian		42
3.8.	Metode Tahapan Bagan Alir		43
3.9	Prosedur Kerja.....		45
3.9.1	Perancangan Campuran Aspal (<i>Mix Design</i>)		45
3.9.2	Pembuatan Benda Uji		45
3.9.3	Pengujian Marshall		46
3.9.4	Pengujian Stabilitas dan Kelelehan (<i>Flow</i>)		47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....			48
4.1	Pendahuluan.....		48
4.2	Pembuatan Benda Uji Kadar Aspal Normal.....		49
4.3	Pengujian Laboratorium		51
4.3.1.	Pengujian Material.....		51
4.3.2	Pengujian Analisa Saringan		52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....			103
5.1	Kesimpulan		103
5.2	Saran		103
LAMPIRAN.....			108

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Spesifikasi Pengujian Aspal.....	11
Tabel 2.2. Spesifikasi Agregat Halus untuk AC-WC	15
Tabel 2.3. Spesifikasi Agregat Kasar untuk AC – WC.....	16
Tabel 2.4. Spesifikasi Amplop Gradasi Agregat Campuran untuk AC – WC	17
Tabel 2.5. Keaslian Tugas Akhir	24
Tabel 3. 1. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 4%	33
Tabel 3. 2. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 4,5%	33
Tabel 3. 3. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 5%.....	34
Tabel 3. 4. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 5,5%....	34
Tabel 3. 5. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 6%.....	34
Tabel 3. 6. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 0%	35
Tabel 3. 7. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 0%	35
Tabel 3. 8. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 0%	36
Tabel 3. 9. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 2% dan Resin Polyester 0%	36
Tabel 3. 10. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 3%	36
Tabel 3. 11. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 4% dan Resin Polyester 0%	37
Tabel 3. 12. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 2% dan Resin Polyester 3%	37
Tabel 3. 13. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 6%	37
Tabel 3. 14. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 4% dan Resin Polyester 6%	38
Tabel 3. 15. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 6% dan Resin Polyester 6%	38
Tabel 3. 16. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 9% dan Resin Polyester 6%	38
Tabel 3. 17. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 8% dan Resin Polyester 9%	39
Tabel 3. 18. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 10% dan Resin Polyester 9%	39
Tabel 3. 19. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 14% dan Resin Polyester 15%	39
Tabel 3. 20. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain Polyester 15% dan Resin Polyester 14%	40
Tabel 3. 21. Sampel Campuran Aspal	41
Tabel 4. 1. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 4%.....	49
Tabel 4. 2. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 4,5%	50
Tabel 4. 3. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 5%.....	50
Tabel 4. 4. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 5,5%....	50
Tabel 4. 5. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Normal Kadar Aspal 6%.....	51
Tabel 4. 6. Hasil Pengujian Abrasi.....	51
Tabel 4. 7. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar 3/4”	53
Tabel 4. 8. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar 1/2”	54
Tabel 4. 9. Hasil Analisa Saringan Abu Batu	55

Tabel 4. 10. Hasil Analisa Saringan Pasir	56
Tabel 4. 11. Hasil Analisa Saringan <i>Filler</i> (Semen)	57
Tabel 4. 12. Rekapitulasi Analisa Saringan.....	58
Tabel 4. 13. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar 3/4”	59
Tabel 4. 14. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar 1/2”	60
Tabel 4. 15. Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Batu.....	61
Tabel 4. 16. Hasil Pengujian Berat Jenis Pasir	61
Tabel 4. 17. Hasil Penelitian Sifat Fisik dan Mekanis Agregat	62
Tabel 4. 18. Hasil Titik Bakar dan Titik Nyala.....	63
Tabel 4. 19. Hasil Pengujian Daktilitas.....	63
Tabel 4. 20. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pen 60/70	64
Tabel 4. 21. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Maksimum Campuran Aspal Normal	65
Tabel 4. 22. <i>Data Hasil Pemeriksaan Marshall Kadar Normal</i>	67
Tabel 4. 23. Komposisi Material AC-WC.....	70
Tabel 4. 24. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 0% dan Resin <i>Polyester</i> 0%	71
Tabel 4. 25. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 0% dan Resin <i>Polyester</i> 0%	72
Tabel 4. 26. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 0% dan Resin <i>Polyester</i> 0%	72
Tabel 4. 27. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 2% dan Resin <i>Polyester</i> 0%	73
Tabel 4. 28. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 0% dan Resin <i>Polyester</i> 3%	73
Tabel 4. 29. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 4% dan Resin <i>Polyester</i> 0%	74
Tabel 4. 30. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 2% dan Resin <i>Polyester</i> 3%	74
Tabel 4. 31. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 0% dan Resin <i>Polyester</i> 6%	75
Tabel 4. 32. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 4% dan Resin <i>Polyester</i> 6%	75
Tabel 4. 33. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 6% dan Resin <i>Polyester</i> 6%	76
Tabel 4. 34. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 9% dan Resin <i>Polyester</i> 6%	76
Tabel 4. 35. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 8% dan Resin <i>Polyester</i> 6%	77
Tabel 4. 36. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 10% dan Resin <i>Polyester</i> 9%	77
Tabel 4. 37. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 14% dan Resin <i>Polyester</i> 15%	78
Tabel 4. 38. Rancangan Campuran Aspal (<i>Job Mix Design</i>) Kain <i>Polyester</i> 15% dan Resin <i>Polyester</i> 14%	78
Tabel 4. 39 Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM) Variasi Kain <i>Polyester</i> 0%,2% dengan Resin <i>Polyester</i> 0%,3%	79
Tabel 4. 40 Campuran variasi Kain <i>Polyester</i> 4%, 2%,0%,6% dengan Tambahan Resin <i>Polyester</i> 0% ,3%,6%,6%.....	80
Tabel 4. 41 Campuran Variasi Kain <i>Polyester</i> 4%, 2%,0%,4%,6% dengan Tambahan Resin <i>Polyester</i> 0% ,3%,6%,6%.....	81
Tabel 4. 42 Perhitungan Marshal dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,4%, 6%, 8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%, .9%,14% dan 15%	82

Tabel 4. 43 Rekapitulasi Parameter <i>Marshall</i> dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%,.....	82
Tabel 4. 44. Perhitungan Marshal dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,4%, 6%, untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%,	87
Tabel 4. 45. Rekapitulasi Parameter <i>Marshall</i> dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,6% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%	88
Tabel 4. 46. Perhitungan Marshal dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 9%,14% dan 15%	92
Tabel 4. 47. Rekapitulasi Parameter <i>Marshall</i> dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%	92
Tabel 4. 48. Rekapitulasi Nilai <i>Void in the Mix</i> (VIM)	96
Tabel 4. 49. Rekapitulasi Nilai Stabilitas	97
Tabel 4. 50. Rekapitulasi Nilai <i>Flow</i>	98
Tabel 4. 51. Rekapitulasi Nilai FVB	99
Tabel 4. 52. Rekapitulasi Nilai VMA.....	100
Tabel 4. 53. Rekapitulasi Nilai MQ	101
Tabel 4. 54. Hasil Pengujian Ekstraksi.....	102



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Komponen Perkerasan Lentur.....	9
Gambar 2. 2. Komponen Perkerasan kaku.....	10
Gambar 2.3. <i>Marshall Compactor</i> dan Alat <i>Marshall Test</i>	21
Gambar 3. 1. Bagan Alir Peneliti.....	42
Gambar 4. 1. <i>Asphalt Mixing Plant</i> (AMP) PT. Semarang Multicon.....	48
Gambar 4. 2. Bahan Tambahan Kain <i>Polyester</i> dan Resin <i>Polyester</i>	49
Gambar 4. 3. Alat <i>Loss Angeless</i>	52
Gambar 4. 4. Alat Saringan <i>Sieve</i>	57
Gambar 4. 5. Kombinasi Agregat.....	59
Gambar 4. 6. Benda Uji KAO.....	64
Gambar 4. 7. Pengujian GMM.....	66
Gambar 4. 8. Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	68
Gambar 4. 9. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	69
Gambar 4. 10. Benda Uji Variasi Kain <i>Polyester</i> dan Resin <i>Polyester</i>	79
Gambar 4. 11. Nilai VIM Marshal dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%, untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%,.....	83
Gambar 4. 12. Nilai VMA Marshal dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2% , untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%,	83
Gambar 4. 13. Nilai VFB Marshal dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2% , untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%,	84
Gambar 4. 14. Nilai <i>FLOW</i> Marshal dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2% , untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%,.....	84
Gambar 4. 15. Nilai STABILITAS Marshal dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%,.....	85
Gambar 4. 16. Nilai MQ Marshal dengan modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,4%, untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%,.....	85
Gambar 4. 17. Pengujian <i>Marshall</i> Modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,4%, 6%, 8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%, 9%,14% dan 15%.....	86
Gambar 4. 18. Nilai VIM Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,4%,6% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%.....	88
Gambar 4. 19. Nilai VMA Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,4%,,6% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%.....	89
Gambar 4. 20. Nilai FVB Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,4%, 6% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%.....	89
Gambar 4. 21. Nilai STABILITAS Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,4%,6% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%.....	90
Gambar 4. 22. Nilai <i>FLOW</i> Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,4%,6% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%.....	90
Gambar 4. 23. Nilai MQ Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar 0%, 2%,6% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 0%, 3%, 6%	91
Gambar 4. 24. Nilai VIM Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%	93
Gambar 4. 25. Nilai VMA Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%	93
Gambar 4. 26. Nilai FVB Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%	94

Gambar 4. 27. Nilai STABILITAS Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%	94
Gambar 4. 28. Nilai <i>FLOW</i> Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%	95
Gambar 4. 29. Nilai MQ Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain <i>Polyester</i> kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin <i>Polyester</i> dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%	95
Gambar 4. 30. Nilai VIM.....	96
Gambar 4. 31. Nilai Stabillitas Modifikasi.....	97
Gambar 4. 32. Nilai Flow	98
Gambar 4. 33. Nilai FVB.....	99
Gambar 4. 34. Nilai VMA	100
Gambar 4. 35. Nilai MQ	101



**ANALISIS *ASPHALT WEARING COARSE* (AC-WC) DENGAN
PENAMBAHAN LIMBAH BAHAN KAIN *POLYESTER* DAN RESIN
POLYESTER PADA PERKERASAN JALAN**

ABSTRAK

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) adalah lapisan paling atas perkerasan lentur yang bermanfaat dalam menerima muatan massa lalu lintas secara langsung serta terpapar cuaca ekstrem. Kualitas AC-WC sangat dipengaruhi oleh sifat mekanik dan daya tahannya. Studi yang dilaksanakan bertujuan dalam menganalisis pengaruh penambahan limbah kain *polyester* serta resin *polyester* terhadap karakteristik campuran AC-WC. Limbah kain *polyester* dipilih karena memiliki kekuatan tarik, ketahanan aus, dan sifat fisik yang baik, sedangkan resin *polyester* digunakan untuk meningkatkan daya rekat dan stabilitas campuran.

Metode penelitian dilakukan secara eksperimental di laboratorium dengan variasi persentase penambahan kain *polyester* dan resin *polyester*. Benda uji dibuat sesuai Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan diuji menggunakan metode *Marshall*. Parameter yang diukur meliputi stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), *Void in Mix* (VIM), dan parameter pendukung lainnya. Hasil pengujian memperlihatkan jika penambahan limbah kain *polyester* dan resin *polyester* pada kadar tertentu dapat meningkatkan nilai stabilitas dan MQ, serta memperbaiki ketahanan campuran terhadap deformasi plastis dan retak.

Kesimpulannya, pemanfaatan limbah kain *polyester* yang dipadukan dengan resin *polyester* berpotensi menjadi alternatif bahan tambah ramah lingkungan untuk meningkatkan kinerja AC-WC, serta meminimalkan efek negatif limbah tekstil bagi lingkungan.

Kata Kunci : AC-WC, limbah kain *polyester*, resin *polyester*, uji *Marshall*, perkerasan jalan.

**ANALYSIS OF ASPHALT WEARING COURSE (AC-WC) WITH THE
ADDITION OF POLYESTER FABRIC WASTE AND POLYESTER RESIN
IN ROAD PAVEMENT**

ABSTRACT

Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) is the top layer of flexible pavement that directly receives traffic loads and is exposed to extreme weather. The quality of AC-WC is greatly influenced by its mechanical properties and durability. This research aims to analyze the effect of adding polyester fabric waste and polyester resin on the characteristics of the AC-WC mixture. Polyester fabric waste was chosen because it has good tensile strength, wear resistance, and physical properties, while polyester resin is used to increase the adhesion and stability of the mixture.

The research was conducted experimentally in a laboratory with variations in the percentage of polyester fabric and polyester resin added. Test specimens were made according to the 2018 General Specifications of Bina Marga and tested using the Marshall method. Parameters measured include stability, flow, Marshall Quotient (MQ), Void in Mix (VIM), and other supporting parameters. The test results show that the addition of polyester fabric waste and polyester resin at certain levels can increase stability and MQ values, and improve the mixture's resistance to plastic deformation and cracking.

In conclusion, the utilization of polyester fabric waste combined with polyester resin has the potential to be an environmentally friendly additive alternative to improve the performance of AC-WC, while reducing the negative impact of textile waste on the environment.

Keywords: AC-WC, polyester fabric waste, polyester resin, Marshall test, road pavement.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur jalan termasuk unsur utama dalam penunjang mobilitas dan pertumbuhan ekonomi suatu negara. Kualitas jalan yang baik sangat bergantung pada material perkerasan yang digunakan, salah satunya adalah lapis aus atau *Wearing Course (AC-WC)*, yang berfungsi selaku bagian teratas juga langsung bersentuhan dengan beban lalu lintas serta cuaca ekstrem. Oleh karena itu, material penyusun lapis AC-WC harus memiliki kekuatan, daya tahan, dan stabilitas tinggi.

Aspal adalah komponen umum yang digunakan dalam pembuatan perkerasan jalan raya, bahan baku yang diterapkan akan hasilnya karena baik juga bagus untuk perkerasan jalan *flexible*, untuk meningkatkan pencegahan degradasi lapisan perkerasan jalan yang disebabkan pada daya angkut kendaraan yang berat melalui peningkatan mutu serta stabilitas pada perkerasan jalan. Aspal terlihat solid pada temperatur ruang tetapi sebenarnya merupakan cairan kental, yang memiliki ketahanan terhadap air dan dapat mencair ketika dipanaskan, aspal terdiri dari karbon jenuh dan tak jenuh, serta mengandung unsur – unsur seperti sulfur, oksigen dan klor dalam jumlah kecil, yang mengandung 80% karbon, 10 % hidrogen, serta sisanya terdiri dari belerang, oksigen, nitrogen, dan unsur – unsur lainnya.

Limbah kain *polyester* merupakan salah satu bahan yang potensial dimanfaatkan. *Polyester* memiliki sifat fisik dan kimia yang kuat, tahan lama, serta sulit terurai secara alami, sehingga sering menjadi masalah lingkungan. Sementara itu, resin *polyester* memiliki daya rekat tinggi dan ketahanan yang baik terhadap cuaca, sehingga berpotensi meningkatkan ikatan antar partikel pada campuran aspal.

Pemanfaatan limbah kain *polyester* yang dipadukan dengan resin *polyester* dalam campuran AC-WC diharapkan mampu meningkatkan stabilitas, ketahanan aus, dan durabilitas perkerasan jalan, sekaligus memberikan strategi pengelolaan limbah berbasis ekologis. Riset ini diharapkan mampu berkontribusi terhadap

kemajuan teknologi perkerasan jalan berbasis material ramah lingkungan yang mendukung konsep pembangunan berkelanjutan.

Berpotensi dimanfaatkan sebagai substitusi abu batu pada *filler* campuran perkerasan lapis aus laston (*Hot Rolls Sheet – Wearing Coarse*), dengan demikian mampu meningkatkan stabilitas, pelelehan, stabilitas sisa, daya tahan, fleksibilitas, serta ketahanan terhadap keausan roda dibandingkan campuran beraspal lapis aus konvensional (Purnomo 2012).

1.2. Identifikasi Masalah

1. Peningkatan pencemaran limbah kain *Polyester*
2. Kualitas campuran aspal dan Kain *Polyester* dan Resin *Polyester*
3. Potensi dan tantangan implementasi
4. Kesadaran dan kebijakan serta inovasi

1.3. Rumusan Masalah

1. Bagaimana karakteristik fisik dan bahan kimia limbah pakaian berbahan kain *Polyester* yang dapat mempengaruhi pada kualitas campuran aspal ?
2. Apa dampak penggunaan limbah pakaian berbahan kain *Polyester* terhadap performa *hotmix* aspal ?
3. Sejauh mana penggunaan limbah pakaian berbahan kain *Polyester* sintetis dapat mengurangi dampak pada pencemaran lingkungan di area perkotaan?
4. Apa tantangan dan hambatan dalam penerapan teknologi ini pada lapangan ?
5. Bagaimana regulasi dan kebijakan alam mendukung pemanfaatan limbah pakaian dalam industri konstruksi ?

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian mengenai pemanfaatan limbah pakaian bahan kain *Polyester* sebagai campuran lapisan permukaan aspal untuk mengurangi pencemaran lingkungan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Mengetahui *job mix* dengan formulasi terbaik dalam pencampuran aspal aspal Kain *Polyester* dan Resin *Polyester* yang dihasilkan dari industri *fashion*.
2. Mengetahui stabilitas dengan pencampuran kain *Polyester* dan resin *polyester*

terhadap karakteristik fisik dan mekanik campuran fleksibilitas.

1.5. Manfaat Penelitian

Dengan memilih dengan bahan kain *Polyster* akan menjadi lebih baik untuk mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh bahan *polyster* yang tidak bisa mengurai dengan sendirinya. Ide ini digunakan untuk mengurangi kerusakan lingkungan serta memanfaatkan untuk penambahan bahan untuk kerusakan jalan akibat cuaca yang sangat ekstrim.

Melalui riset tersebut, dimaksudkan mampu memberikan manfaat berupa gambaran kepada pembina jalan serta seluruh pemangku kepentingan dengan memberikan gambaran dengan mengenai penggunaan bahan campuran kain *polyster* terhadap jalan beraspal.

1.6. Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang mengenai pemanfaatan terhadap limbah pakaian bahan kain *polyster* sebagai campuran lapisan permukaan aspal untuk mengurangi pencemaran lingkungan dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Pada penelitian ini fokus utama ini adalah limbah pakaian bekas yang terbuat dari kain *polyester*, yang akan dimanfaatkan menjadi komponen untuk campuran aspal.
2. Riset akan menerapkan metode pengujian sesuai dengan standar Bina Marga 2010, termasuk evaluasi parameter seperti *Void In Mix* (VIM), *Void In Mineral Aggregate* (VMA), dan *Marshall Quotient* (MQ) untuk menilai kualitas campuran aspal.
3. Penelitian ini akan dibandingkan beberapa jenis campuran aspal
 - a. Campuran dengan penambahan kain *polyester* pakaian bekas
 - b. Campuran kontrol tanpa penambahan bahan apa pun
4. Pada batasan penelitian yang mencakup pada pengaplikasian dan penggunaan campuran aspal di berbagai jenis jalan, pada jalan lingkungan, jalan perumahan, dan jalan desa dengan lalu lintas rendah.
5. Penelitian ini bertujuan menganalisis dampak positif pada pengurangan pencemaran lingkungan serta potensi pengurangan volume limbah tekstil yang berakhir pada pembuangan akhir.

6. Mengidentifikasi untuk bertujuan dalam penerapan teknologi di lapangan serta memberikan rekomendasi untuk mengoptimalkan campuran dan kebijakan yang mendukung pemanfaatan dengan kain *polyester* pada konstruksi.
7. Mempertimbangkan dengan aspek keberlanjutan dalam pengelolaan limbah dan inovasi material, serta potensi penerapan skala industri.

1.7. Sistematis Penulisan

Berdasarkan pedoman penulisan Tugas Akhir, sehingga penulisan tugas akhir meliputi pendahuluan, tinjauan, pustaka, metodologi penelitian, analisa serta pembahasan kesimpulan dan saran.

BAB I : PENDAHULUAN

Sebagai permulaan dalam perancangan Tugas Akhir. Pada bab ini diarahkan untuk mengetahui judul Tugas Akhir. Bab ini memuat latar belakang, maksud tujuan penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan Tugas Akhir ini.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini yang berisi mengenai pemikiran ataupun teoritis yang akan dimanfaatkan sebagai pedoman pada penelitian ini, serta syarat-syarat yang akan dilaksanakan untuk penelitian. Pada bab ini akan mengetahui keabsahan dalam melakukan riset serta tinjauan pustaka yang akan di kemukakan secara terstruktur.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan dituiskan berupa langkah serta metode riset berupa penjelasan tentang dilaksanakannya riset tersebut. Bagian ini memuat penjelasan data serta metode yang diterapkan pada riset serta pengujian yang akan diajukan dan dikaji.

BAB IV : ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Bagian ini memuat *output* riset serta analisa dari hasil penelitian dan pembahasan. *Output* dapat berupa gambar, grafik, beserta tabel dengan keterangan atau judul. Hasil yang akan ditulis dalam kesimpulan harus terlebih dahulu muncul dalam bagian pembahasan bab ini yang merupakan bagian yang sangat penting pada keseluruhan pada penelitian.

BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab terakhir memuat kesimpulan yang diperoleh setelah analisis dan pembahasan

dilaksanakan. Kesimpulan disusun khusus untuk menjawab seluruh pembahasan yang telah diteliti maupun diamati. Bagian ini berisikan ringkasan dari hasil-hasil yang diuraikan secara rinci pada bab permasalahan. Selain kesimpulan, bab ini juga memuat saran yang disusun berdasarkan hasil penelitian serta penilaian yang mencerminkan pandangan dan pemikiran peneliti.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Perkerasan Jalan

Jalan adalah sarana vital penunjang transportasi darat yang mencakup seluruh bagian jalan beserta prasarana pelengkapannya, termasuk bangunan dan fasilitas pendukung yang diperuntukkan bagi kelancaran lalu lintas. Infrastruktur ini dapat berada di atas permukaan tanah, di bawah tanah, di atas air, maupun di bawah permukaan air, dengan pengecualian untuk jalur kereta api, lori, dan kabel (Peraturan Pemerintah Nomor 34 Tahun 2006). Sementara itu, jalan raya merupakan jalur di permukaan bumi yang dibangun oleh manusia dengan bentuk, ukuran, dan konstruksi tertentu, sehingga berfungsi memperlancar dan mempercepat mobilitas orang, hewan, serta kendaraan pengangkut barang dari satu tempat ke tempat lainnya.

Dalam perancangan jalan yang bagus, bentuk geometrinya perlu dirancang seoptimal mungkin agar mampu memberikan pelayanan optimal terhadap arus lalu lintas sesuai kegunaannya. Tujuan utama perencanaan geometrik yaitu menciptakan infrastruktur yang aman, efisien dalam melayani lalu lintas, mengoptimalkan rasio pemanfaatan terhadap biaya, serta menjamin kenyamanan bagi pengguna jalan. Jalan dapat berfungsi secara optimal apabila memiliki karakteristik sebagai berikut:

- a. *Stiff* (keras / kaku) berfungsi untuk menahan dan mendistribusikan beban, meminimalkan terjadinya *rutting* (gelombang melintang pada jalan), serta mengurangi tegangan horizontal yang dapat memicu retak.
- b. *Flexible* merupakan ketahanan pada retak / *Fatigue*. Berfungsi menghalangi penetrasi air, dikarenakan semakin kaku jalan, semakin besar peluang munculnya retak. Selain itu, berperan menahan atau melawan tegangan maupun regangan tarik. Jalan yang memiliki tingkat fleksibilitas terlalu tinggi berpotensi mengalami peralihan wujud (*rutting* alur) secara signifikan.
- c. *Durable* (keawetan) Artinya mampu bertahan dalam pengaruh cuaca atau proses pelapukan (*aging*) serta gesekan roda kendaraan. Berfungsi dalam menahan laju proses perapuhan (*embrittlement*) pada campuran, menjaga fleksibilitas, *polishing* dari agregat / *skidresist*.

- d. *Stable* / kemampuan stabilitas ialah sifat suatu material atau konstruksi yang mampu bertahan terhadap tekanan, berfungsi menahan beban akibat lalu lintas, serta mengurangi terjadinya deformasi permanen seperti *rutting* (penyusutan atau alur pada permukaan jalan).
- e. *Impermeable* / kedap air Sifat *impermeable* Dalam campuran aspal, berfungsi mengantisipasi penetrasi air atau udara, karena keberadaan air dapat mempercepat proses oksidasi yang mengakibatkan pelapukan terjadi lebih cepat
- f. *Skid Resistance* / kekasaran permukaan jalan adalah tingkat kekasaran pada permukaan jalan yang berperan dalam mencegah selip dan meningkatkan keselamatan berkendara.
- g. *Tyre Noise* / kebisingan yang timbul akibat gesekan antara ban kendaraan dan permukaan jalan saat bergerak.
- h. *Workable* / sifat material atau konstruksi yang mudah diolah dan diaplikasikan di lapangan selama proses pembangunan atau perbaikan jalan.

Berdasarkan administrasi pembinaan jalan, di mana proses perencanaan, pembangunan, pengoperasian, dan pemeliharaan dilakukan oleh instansi pembina jalan, maka klasifikasi jenis jalan menurut status dapat dibedakan sebagai berikut:

- a. Jalan Nasional adalah jalan arteri primer dan kolektor primer yang menghubungkan antar ibu kota provinsi, termasuk jalan strategis nasional dan jalan tol.
- b. Jalan Provinsi adalah jalan kolektor primer yang menghubungkan ibu kota provinsi dengan ibu kota kabupaten/kota, atau antar ibu kota kabupaten/kota, serta mencakup jalan strategis provinsi.
- c. Jalan Kabupaten adalah jalan lokal primer yang tidak termasuk kategori jalan nasional maupun jalan provinsi, yang menghubungkan ibu kota kabupaten dengan ibu kota kecamatan, antar ibu kota kecamatan, ibu kota kabupaten dengan pusat kegiatan lokal, antar pusat kegiatan lokal, jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder di wilayah kabupaten, serta jalan strategis kabupaten.
- d. Jalan Kota adalah jalan umum dalam sistem jaringan jalan sekunder yang menghubungkan antar pusat pelayanan di dalam kota, menghubungkan pusat

pelayanan dengan kawasan permukiman, serta antar pusat permukiman di wilayah kota.

- e. Jalan Desa adalah jalan umum yang menghubungkan kawasan dan/atau antar permukiman di dalam desa, termasuk jalan lingkungan.

Jenis jalan menurut sistem dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Jalan Primer merupakan jalan dengan dirancang sesuai aturan tata ruang serta struktur pengembangan skala nasional, berfungsi menghubungkan simpul-simpul jasa distribusi :
 - 1) Di dalam satu wilayah pembangunan, jalan ini menghubungkan secara berkesinambungan kota jenjang pertama, kedua, ketiga, hingga kota pada jenjang di bawahnya, sampai ke jalan pada sebidang tanah (persil).
 - 2) Mengaitkan kota jenjang pertama dengan kota jenjang pertama di area pengembangan lainnya. Zona primer, selaku pusat pelayanan kota dengan cakupan hingga ke luar kota, seperti untuk kegiatan perdagangan berskala besar, pasar induk, industri, dan fasilitas perdagangan.
- b. Jalan Sekunder merupakan jalan dengan dirancang sesuai pedoman penataan ruang kota untuk menyambungkan zona dengan fungsi primer, fungsi sekunder jenjang pertama, kedua, ketiga, serta seterusnya hingga menuju kawasan perumahan. Kawasan sekunder berfungsi memberikan pelayanan langsung kepada masyarakat dalam kota untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari, seperti pasar, pertokoan, perdagangan eceran, dan fasilitas sejenis.

2.2. Perkerasan Jalan Lentur / Aspal

Perkerasan jalan lentur beraspal merupakan lapis permukaan jalan yang dibentuk oleh campuran agregat, seperti batu pecah atau batu kali, yang memiliki fungsi menanggung muatan lalu lintas kendaraan. Lapisan ini harus mampu dilalui kendaraan dengan tingkat kenyamanan yang memadai serta memiliki sifat tidak licin. Untuk mencapai kriteria tersebut, tebal perkerasan perlu dirancang agar dapat menyebarkan beban secara merata hingga ke lapisan tanah dasar. Selain itu, lapisan ini juga dituntut memiliki ketahanan terhadap gaya gesek antara ban kendaraan dengan permukaan jalan, serta mampu menopang beban efek pengereman dan percepatan.

Secara umum, struktur perkerasan tersusun atas lapisan permukaan (*surface course*), lapis pondasi atas (*base course*), lapis pondasi bawah (*subbase course*), dan lapisan tanah dasar (*subgrade course*). Di samping berfungsi menopang beban serta gaya yang bekerja di atas permukaan, perencanaan ketebalan tiap lapisan juga harus mempertimbangkan faktor iklim dan sistem drainase pada lokasi jalan.

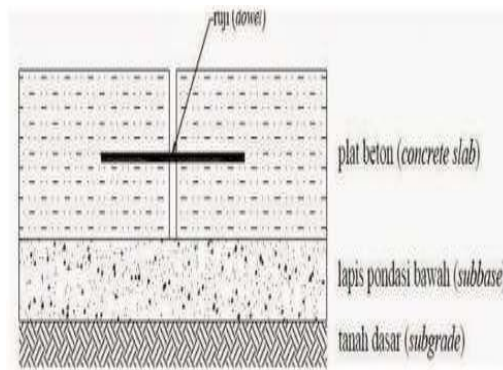
Beragam variasi perkerasan dapat dibedakan berdasarkan material pengikat yang diterapkan serta kandungan unsur konstruksinya, antara lain:

1. Konstruksi Perkerasan Lentur (*Flexible Pavement*)
 - a. Menggunakan material pengikat aspal.
 - b. Sifat dari perkerasan ini ialah menahan serta mendistribusikan beban lalu lintas menuju tanah dasar.
 - c. Dampaknya terhadap pengulangan beban ialah munculnya *rutting* (lendutan pada jalur roda).
 - d. Berpengaruh dalam penurunan tanah dasar, jalan bergelombang (mengikuti tanah dasar).



Gambar 2. 1. Komponen Perkerasan Lentur

2. Konstruksi Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*)
 - a. Memakai bahan pengikat semen portland (PC).
 - b. Sifat lapisan utama (plat beton) yaitu memikul sebagian besar beban lalu lintas.
 - c. Pengaruhnya terhadap repetisi beban adalah timbulnya retak – retak pada permukaan jalan.
 - d. Pengaruhnya terhadap penurunan tanah dasar yaitu, bersifat sebagai balok di atas permukaan.



Gambar 2. 2. Komponen Perkerasan kaku

3. Konstruksi Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)
 - a. Kombinasi antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur.
 - b. Perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau sebaliknya.

2.3. Lapis *Ashpalt* Beton (AC – WC)

Aspal Beton *Asphalt Concrete Wearing Coarse* (AC-WC) ialah lapisan aspal beton dengan terletak diposisi teratas dalam pada perkerasan jalan. Lapisan ini berfungsi sebagai permukaan jalan yang langsung bersentuhan dengan beban lalu lintas dan cuaca, sehingga memiliki kekuatan, ketahanan aus, dan kedap air yang tinggi.

Secara komposisi beton Aspal (AC-WC) adalah campuran agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi (*filler*), serta aspal sebagai bahan pengikat yang dibentangkan serta dipadatkan saat kondisi panas dengan temperatur sekitar 145 – 155°C. Agregat yang digunakan harus keras, bersih, awet, dan bebas slempung, sedangkan *filler* harus kering.

Lapisan aspal beton merupakan salah satu lapisan perkerasan lentur dimana tersusun atas campuran agregat halus, agregat kasar, *filler*, serta aspal sebagai pengikat. Jenis campuran aspal beton yang biasa dipakai meliputi:

- *Asphalt Concrete – Base* (AC-Base)
- *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC)
- *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC)

2.4. Aspal

Aspal merupakan campuran agregat, pengikat yang diterapkan dalam pembangunan serta pemeliharaan infrastruktur. Aspal merupakan zat kental berwarna hitam

dengan sifat lengket, berbentuk setengah padat sebagai salah satu fraksi hasil pengolahan minyak bumi. Bahan ini termasuk senyawa hidrokarbon dengan struktur molekul yang sangat kompleks, tersusun dari tiga tipe utama molekul hidrokarbon, yaitu alifatik, siklis, dan aromatis, yang masing-masing dapat mengandung hingga 150 atom karbon per molekul. Selain unsur karbon dan hidrogen, aspal juga mengandung unsur lain seperti nitrogen, oksigen, belerang, serta sejumlah unsur tambahan lainnya.

Secara kuantitatif, sekitar 80% massa aspal terdiri dari partikel renik seperti besi, nikel, dan vanadium. Senyawa-senyawa ini umumnya diklasifikasikan menjadi dua kelompok, yaitu *aspalten* (bermassa molekul kecil) dan *malten* (bermassa molekul lebih besar). Kandungan aspalten dalam aspal biasanya berkisar antara 5–25%, sedangkan sebagian besar senyawa lainnya bersifat polar. Struktur alifatik pada aspal dapat berbentuk linier atau tiga dimensi, yang membuat aspal tampak menyerupai minyak atau lilin (*wax*). Struktur molekul siklis berupa rantai karbon jenuh tiga dimensi mampu mengikat berbagai unsur atau radikal tertentu, sementara struktur aromatis memberikan bau khas pada aspal. Ikatan kimia antarmolekul (*intermolecular bonding*) dalam aspal relatif mudah terurai, sehingga aspal dapat mencair (Suhwadi dan Suhardjo Poertadji (2005) dalam Awaludin, 2008). Secara prinsip, aspal tersusun dari rantai hidrokarbon yang dikenal sebagai bitumen.

Terdapat ketentuan yang menjadi syarat umum yang harus dipenuhi untuk perkerasan aspal sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2., yaitu:

Tabel 2.1. Spesifikasi Pengujian Aspal

NO	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
1.	Penetrasi pada 25°C, 100 gr, 5	SNI 06-2456-1991	50 – 80
2.	Titik lembek	SNI 06-2432-1991	≥ 54
3.	Indeks penetrasi	-	$\geq -1,0$
4.	Daktilitas 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 2019 Divisi 6 Perkerasan Aspal Tabel 6.3.2)

2.5. Aspal Limbah Kain *Polyester* dan Resin *Polyester*

Penggunaan limbah kain *polyester* dan resin *polyester* dalam campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) merupakan inovasi dalam bidang teknik sipil yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan sekaligus mengurangi dampak lingkungan dari limbah tekstil.

Polyester adalah polimer sintetis yang paling umum digunakan dalam industri tekstil, terutama dalam bentuk *polyethylene terephthalate* (PET). Kain *polyester* dibuat melalui proses polimerisasi antara asam tereftalat dan etilen glikol, yang menghasilkan serat dengan kekuatan tinggi, tahan lama, dan tahan terhadap berbagai kondisi lingkungan.

Berikut adalah uraian kandungan dan sifat penting dari kain *polyester*

1. Merupakan polimer utama pembentuk kain *polyester*, terdiri dari asam tereftalat ($C_8H_6O_4$) dan etilen glikol ($C_2H_6O_2$).
2. Terikat dalam rantai hidrokarbon dan gugus ester Hidrogen (H).
3. Menyusun kerangka utama molekul.
4. Terkandung dalam gugus ester ($-COO-$) yang menyusun rantai polimer.

Struktur kimianya ditunjukkan oleh gugus ester berulang yang memiliki stabilitas tinggi. Sifat fisik dan kimia yang terkandung pada limbah kain *polyester* dengan memperkuat campuran dengan aspal.

1. *Polyester* memiliki kekuatan tarik yang baik, cocok untuk memperkuat campuran aspal.
2. Memiliki sifat hidrofobik, tidak menyerap air, mencegah kelembaban dalam campuran perkerasan.
3. Mampu bertahan pada suhu sehingga $250^{\circ}C$, sehingga cocok untuk pencampuran aspal panas.
4. Resisten terhadap asam, basa, dan pelarut kimia tertentu.
5. Bersifat *non-biodegradable*, sehingga secara lingkungan menjadi limbah yang sulit diurai, tetapi berpotensi digunakann kembali
6. Memiliki sifat lentur, sehingga membantu menyerap tegangan dalam lapisan.

Limbah kain *polyester*, yang berasal dari sisa produksi tekstil, memiliki sifat termoplastik yang memungkinkan material ini meleleh dan menyatu dengan aspal pada suhu pencampuran. Dalam penelitian oleh Ramadini dan Rinaldy (2023),

limbah kain *polyester* ditambahkan ke dalam campuran AC-WC dengan kadar 2%, 3%, 4%, 5%, dan 6% untuk menggantikan sebagian agregat total. Hasil pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa penambahan 2% limbah kain *polyester* pada suhu pencampuran 160°C menghasilkan kinerja campuran terbaik, dengan peningkatan stabilitas dan *Marshall Quotient* (MQ), serta penurunan nilai *Void in Mix* (VIM) dan *Void Filled with Asphalt* (VFA), yang menunjukkan peningkatan kepadatan dan daya tahan campuran terhadap deformasi.

Resin *polyester*, khususnya jenis *polyester* resin, digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Penelitian oleh Arya (2023) mengevaluasi penambahan UPR Orthophthalic ke dalam campuran AC-WC dengan variasi kadar 0%, 3%, 6%, 9%, 12%, dan 15%. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan UPR meningkatkan stabilitas dan *flow* campuran, dengan nilai stabilitas tertinggi sebesar 1416 kg pada kadar 15% UPR. Namun, nilai *Marshall Quotient* (MQ) menurun setelah kadar UPR melebihi 12%, dengan nilai tertinggi sebesar 358 kg/mm pada kadar 9% UPR. Selain itu, nilai VIM dan VMA meningkat seiring penambahan UPR, sementara nilai VFA menurun, menunjukkan bahwa penambahan UPR yang berlebihan dapat menyebabkan campuran menjadi kurang rapat.

2.6. Agregat

Menurut SNI 03-2847-2002, material granular konstruksi berupa pasir, split, batu pecah, serta kerak tungku pijar merupakan material yang disebut agregat. Dalam penggunaannya, agregat biasa digunakan sebagai bahan pengisi lapis perkerasan jalan atau sebagai media pengikat dalam pembuatan beton. Jumlah kebutuhan agregat dalam perkerasan jalan biasanya berkisar pada 90% - 95% dari berat total campuran yang setara dengan 75% - 85% dari volume campuran sehingga agregat dianggap memiliki peran yang sangat krusial pada konstruksi perkerasan jalan (Rochaeti et.al., 2019).

Pemilihan dan pemeliharaan agregat sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil perkerasan jalan. Agregat yang dipilih harus memiliki sifat-sifat kekuatan atau ketahanan terhadap abrasi dan degradasi sesuai dengan persyaratan spesifikasi tertentu untuk memastikan kualitas dan kinerja yang baik. Proses penyimpanan dan

distribusi agregat juga harus diperhatikan dengan hati-hati untuk mencegah adanya kontaminasi atau deformasi. Pada penelitian ini akan digunakan agregat dengan diameter antara 19 mm – 0,075 mm atau agregat tersaring pada saringan no. 2 – no. 200.

Beberapa sifat agregat yang diyakini sebagai penentuan kualitas bahan perkerasan jalan diantaranya adalah dari kekerasan agregat, gradasi agregat, kondisi kebersihan dan ketahanan agregat akan faktor alam dan mekanis, bentuk butir agregat, permukaan agregat, porositas atau kekuatan agregat menyerap air, berat jenis, serta daya pelekatan agregat pada aspal (Purnamasari et.al., 2023).

Besarnya kadar pori pada agregat mengakibatkan aspal menjadi lebih tipis akibat banyaknya aspal yang akan terserap sehingga membutuhkan jumlah aspal yang lebih tinggi. Oleh karena itu, salah satu yang perlu diperhatikan dalam pemilihan agregat adalah kadar pori pada agregat yang dapat ditentukan berdasarkan kondisi agregat dalam mengabsorpsi air. Perubahan bobot agregat yang diakibatkan penyerapan air oleh pori-pori pada saat kondisi kering disebut dapat merubah berat agregat yang disebut dengan nilai penyerapan dengan persamaan :

- Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 10\% \dots\dots\dots (2.1)$$

- Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{B_T}{B + B_s - B_t} \times 10\% \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan :

- B : Berat *picnometer* + air (gr)
- B_t : Berat *picnometer* + benda uji + air (gr)
- B_s : Berat sampel (gr)
- B_j : Berat sampel kering permukaan jenuh (gr)
- B_k : Berat sampel kering oven (gr)

2.6 1. Agregat Halus

Agregat halus adalah salah satu bahan pengisi dalam perkerasan jalan yang dapat memberikan sifat kaku dan stabilitas. Umumnya berbentuk bulat dan halus, terdiri dari pasir serta ayakan batu pecah yang lolos saringan no. 8 (2,36 mm). Acuan persyaratan agregat halus diatur dan ditetapkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga

(2018) yang dapat dilihat pada **Tabel 2.2.**

Tabel 2.2. Spesifikasi Agregat Halus untuk AC-WC

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%

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

2.6 2. Agregat Kasar

Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), agregat kasar merupakan fraksi agregat dari batu pecah tertahan ayakan no. 4 (4,75 mm) dengan keadaan bersih, tidak mudah pecah, stabil, serta bebas dari tanah liat atau pun bahan lainnya. Fungsi agregat kasar pada perkerasan jalan aspal adalah untuk memberikan permukaan jalan yang lebih stabil serta mempunyai ketahanan selip tinggi sehingga dapat menjaga keselamatan lalu lintas. Terdapat dua bentuk butiran yang sangat berpengaruh terhadap stabilitasnya, yaitu agregat kasar dengan bentuk butiran bulat yang memiliki stabilitas rendah dan agregat kasar berbentuk menyudut angular yang mempunyai stabilitas tinggi. Selain stabilitas, ketahanan terhadap abrasi juga harus dimiliki oleh agregat kasar yang dapat diketahui dengan terpenuhinya nilai *los angles abration test*. Peraturan spesifikasi agregat kasar untuk campuran *wearing course* diatur dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (2018) yang dapat dilihat pada **Tabel 2.3.**

Tabel 2.3. Spesifikasi Agregat Kasar untuk AC – WC

Pengujian			Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat		Natrium sulfat		Maks. 12%
Terhadap larutan		Magnesium sulfat	SNI 3407 : 2008	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	Maks. 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)

Penyebaran variasi ukuran agregat yang dikenal dengan nama lain gradasi agregat merupakan persyaratan spesifikasi perkerasan dimana partikel agregat harus memiliki rentang ukuran khusus serta dalam proporsi tertentu. Gradasi agregat diatur dan ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (2018).

Tabel 2.4. Spesifikasi Amplop Gradasi Agregat Campuran untuk AC – WC

Pengujian			Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat		SNI 3407:2008	Maks. 12%
	Magnesium sulfat			Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	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 C117:201 2	Maks. 1%

(Sumber: Spesifikasi Umum 2018 Tabel 6.3.2.3)

Catatan :

1. Abrasi menggunakan mesin los angeles dengan 100 putaran wajib dilakukan untuk dapat melihat keseragaman dari mutu agregat. Syarat nilai abrasi < 20% nilai abrasi 500 putaran.
2. Agregat kasar mempunyai pecah satu sebesar 95% atau lebih dalam muka bidang dan agregat kasar mempunyai pecah dua sebesar 90% atau lebih dalam muka bidang ditunjukkan dengan 95/90.

2.7. Bahan Pengisi (*Filler*)

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga (2010) Revisi 1, persyaratan *filler* harus merupakan material berupa debu batu kapur

(*limestone dust*), abu terbang, portland semen, dan abu batu pada keadaan tidak basah, tidak mengganggu gumpalan – gumpalan atau bahan lainnya, dan lolos ayakan saringan no. 200 (0,075 mm) dan tidak kurang 75% terhadap beratnya sesuai dengan SNI ASTM C136 (1012).

Filler digunakan untuk memangkas jumlah rongga pada campuran dengan batas yang menguntungkan sehingga dapat meningkatkan kepadatan dan stabilitas. Pada penelitian ini akan digunakan kapur yang memiliki kadar air maksimum 1 % sebagai bahan pengisi (*filler*) pada campuran aspal. Dampak penggunaan *filler* dalam campuran aspal diantaranya adalah :

- a. Pemilihan jenis *filler* pada campuran aspal dapat mempengaruhi sifat elastisitas campuran aspal serta sensitifitasnya terhadap air.
- b. Besarnya permukaan *filler* yang akan digunakan berdampak terhadap viskositas campuran dengan meningkatkannya viskositas campuran aspal.
- c. Setiap *filler* memiliki pengaruh yang berbeda pada setiap temperatur terhadap suhu dan pemanasan.

2.8. Polyester Kain

Kain *polyester* adalah kain sintetis yang terbuat dari serat berbahan dasar *polyethylene terephthalate* (PET), sejenis polimer termoplastik yang berasal dari hasil reaksi antara asam tereftalat dan etilena glikol dalam proses polikondensasi. Kain ini diproduksi melalui proses kimiawi dan dikenal luas karena ketahanannya yang tinggi terhadap air, panas, dan tarikan.

Polyester merupakan salah satu serat tekstil yang paling banyak digunakan di dunia, terutama karena harganya yang murah, proses produksinya yang efisien, dan sifatnya yang sangat tahan lama. Dalam konteks lingkungan, kain *polyester* merupakan limbah anorganik yang sulit terurai secara alami. Dibutuhkan waktu ratusan tahun untuk terurai, dan jika dibakar, dapat menghasilkan emisi beracun. Oleh karena itu, pemanfaatannya sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal adalah langkah solutif yang ramah lingkungan.

Limbah kain *polyester* yang ditambahkan ke dalam campuran aspal, khususnya pada campuran AC-WC (Aspal Beton Lapis Aus), berfungsi sebagai bahan aditif serat yang dapat meningkatkan berbagai sifat teknis campuran. Penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah kain *polyester* sebagai

substitusi sebagian agregat pada campuran AC-WC dengan kadar optimal sekitar 2% dapat :

- Meningkatkan stabilitas campuran aspal, sehingga campuran lebih mampu menahan beban lalu lintas.
- Memperbaiki karakteristik *Marshall*, termasuk nilai stabilitas dan kekuatan campuran.
- Mengurangi porositas campuran, meskipun kepadatan campuran cenderung menurun sedikit dengan bertambahnya kadar kain *polyester*, tetap memberikan kekuatan yang memadai untuk menanggung beban jalan.
- Meningkatkan ketahanan terhadap deformasi dan retak pada permukaan jalan akibat gesekan kendaraan.
- Menjadi alternatif ramah lingkungan dengan memanfaatkan limbah kain *polyester* yang sulit terurai, sekaligus mengurangi limbah tekstil.

2.9. Resin Polyester

Resin *polyester* adalah resin sintetis yang banyak digunakan sebagai bahan peremaja atau modifikasi pada campuran aspal, khususnya pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC). Resin ini mengandung *styrene*, yang umum dipakai sebagai bahan modifikasi aspal atau dikenal sebagai aspal polimer. Resin polyester memiliki sifat kental dan lengket dengan kohesi dan adhesi yang baik, mirip dengan sifat aspal, sehingga efektif digunakan untuk memperbaiki sifat fisik aspal tua yang sudah mengalami penuaan.

Penambahan resin *polyester* pada aspal tua dapat mengembalikan dan meningkatkan stabilitas serta durabilitas campuran aspal sehingga memenuhi spesifikasi teknis. Kadar penambahan yang efektif biasanya berkisar antara 6% hingga 7%. Dengan penambahan resin polyester, campuran aspal menunjukkan peningkatan nilai stabilitas, indeks kekuatan sisa, serta perbaikan karakteristik seperti VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VIM (*Void in Mix*), dan VFB (*Void Filled with Bitumen*). Oleh karena itu, pemanfaatannya sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal adalah langkah solutif yang ramah lingkungan.

Resin *polyester* yang ditambahkan ke dalam campuran aspal, terutama pada *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC), berfungsi sebagai bahan aditif serat

yang mampu meningkatkan berbagai sifat teknis campuran, antara lain:

- Resin *polyester* memperkuat ikatan antara agregat dan aspal, sehingga meningkatkan stabilitas campuran terhadap beban lalu lintas dan mengurangi deformasi permanen (*rutting*).
- Penambahan resin *polyester* memberikan sifat elastis yang membantu campuran aspal menahan perubahan suhu dan beban dinamis tanpa retak.
- Resin *polyester* membantu menghambat proses oksidasi dan pengerasan aspal, sehingga memperpanjang umur pakai campuran aspal.
- Resin *polyester* meningkatkan daya rekat antara agregat dan aspal, mengurangi risiko pengelupasan atau delaminasi pada lapisan aspal.
- Dengan mengisi ruang-ruang kosong, resin *polyester* membantu meningkatkan kepadatan campuran sehingga mengurangi penetrasi air dan kerusakan akibat siklus pembekuan-pencairan.
- Resin *polyester* membantu campuran aspal lebih tahan terhadap retak akibat perubahan suhu ekstrem dan beban berulang.

Resin *polyester*, khususnya jenis *unsaturated polyester resin* (UPR), digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal untuk meningkatkan sifat mekanik dan ketahanan terhadap suhu tinggi. Penambahan UPR ke dalam campuran AC-WC dapat meningkatkan stabilitas dan *flow* campuran. Namun, nilai *Marshall Quotient* (MQ) menurun setelah kadar UPR melebihi 12%, dengan nilai tertinggi sebesar 358 kg/mm pada kadar 9% UPR. Selain itu, nilai VIM dan VMA meningkat seiring penambahan UPR, sementara nilai VFA menurun, menunjukkan bahwa penambahan UPR yang berlebihan dapat menyebabkan campuran menjadi kurang rapat.

2.10. Marshall Test

Marshall test merupakan metode uji pada perkerasan aspal yang dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) plastik pada campuran aspal. Metode uji ini diperkenalkan oleh seorang insinyur material aspal bernama Bruce Marshall pada tahun 1939 dan selanjutnya dikembangkan oleh Korps Insinyur AD Amerika Serikat yang menambahkan lebih banyak dan mendalam pada proses uji Marshall.

Prosedur uji *Marshall* dilakukan dengan memanaskan sampel campuran aspal hingga mencapai suhu yang sesuai (nilai kekentalan aspal 170 ± 20 cst) agar mencapai kondisi pengadukan yang baik. Selanjutnya, sampel campuran aspal dibentuk silinder dan dipadatkan dengan *marshall compactor hammer* pada suhu $145 - 150$ °C dengan nilai viskositas 280 ± 30 cst (Andry et.al., 2023). Setelah itu, campuran aspal diuji dengan alat pemadatan *Marshall* dengan spesimen silinder meliputi $t = 64$ mm dan $d = 102$ mm.



Gambar 2.3. *Marshall Compactor dan Alat Marshall Test*

2.11. Uji Karakteristik *Marshall*

Peraturan tentang campuran aspal dingin yang mengandung butiran Asbuton ditetapkan oleh Departemen Pekerjaan Umum dan Direktorat Jenderal Bina Marga pada tahun 2006 No. 001- 05/BM/2006 tentang penggunaan Asbuton dalam emulsi aspal berbasis minyak dan aspal panas. SNI 06-2489-1991 menyediakan spesifikasi hasil pemadatan briket dengan tumbukan 2×50 , serta instruksi tentang cara menguji campuran aspal untuk lalu lintas berat dengan alat Marshall tumbukan 2×75 .

Pengujian Marshall menghasilkan beberapa parameter kunci, yaitu nilai Stabilitas (*Stability*), nilai Kelelahan (*Flow*), nilai *Marshall Quotient* (MQ), nilai *Void In the Mix* (VIM), nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA), dan nilai *Void Filled with Bitumen* (VFB). Pemeriksaan Marshall menggunakan prosedur PC-0201- 76, AASHTO T 245-74 atau ASTM D 1559-62T (Sukirman, 2010).

a. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan parameter hasil uji *Marshall* yang didefinisikan sebagai kemampuan lapis keras dalam menahan berubahnya bentuk aspal akibat adanya beban lalu lintas. Nilai Stabilitas didapat dari penangkapan arloji

Stabilitas yang berada pada alat *Marshall* saat pengujian. Apabila nilai arloji Stabilitas sudah didapatkan, dilanjutkan dengan mencocokkan nilai tersebut dan angka kalibrasi proving ring yang memiliki satuan lbs atau kg dan mesti dikoreksi menggunakan angka koreksi Stabilitas. Nilai Stabilitas dapat dicari dengan rumus :

$$S = p \times q \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan :

S: Nilai Stabilitas (gr)

p: Pembacaan arloji Stabilitas x angka kalibrasi alat

q: Angka koreksi tebal benda uji

b. Nilai Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*Flow*) merupakan banyaknya perubahan bentuk dari sampel campuran aspal pada permulaan pembebanan yang mengurangi nilai stabilitas. Nilai kelelahan didapat dari pembacaan arloji pengukur dari proving ring pada saat sampel campuran aspal mengalami keretakan. Nilai kelelahan diperoleh untuk mengetahui deformasi permanen dari sampel campuran aspal sebelum terjadinya keretakan.

c. Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

Nilai *Marshall Quotient* (MQ) merupakan nilai yang menerangkan sifat kekakuan campuran aspal. Kemampuan campuran aspal yang sesuai dengan Standar Bina Marga didapatkan dari Kadar Aspal Optimum yang menggunakan nilai MQ yang ditemukan. Hasil campuran uji akan terlalu fleksibel jika nilai MQ terlalu rendah sehingga tidak terlalu bisa dipakai untuk penggunaan praktis. Namun jika campuran uji yang dihasilkan terlalu kaku sehingga mudah patah disebabkan karena nilai MQ terlalu tinggi.

Menurut persyaratan Bina Marga (2010), nilai MQ yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm yang didapat dari hasil bagi antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan yang dituliskan pada persamaan :

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(2.4)$$

Keterangan :

MQ : Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

S : Nilai Stabilitas (kg)

F : Nilai Kelelehan (mm)

d. Nilai *Void In the Mix* (VIM)

Void In the Mix (VIM) adalah persentase rongga pada campuran aspal secara keseluruhan. Menurut Spesifikasi Bina Marga (2010), nilai VIM memiliki syarat nilai sekitar 3% – 5% dan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\text{VIM} = \left(\frac{G_{mb} - G_{mm}}{G_{mb}} \right) \times 100\% \dots\dots\dots (2. 5)$$

Keterangan :

VIM : Rongga pada campuran aspal (%)

Gmm : Berat jenis maks. Campuran (gr/cc)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran (gr/cc)

e. Nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Void in Mineral Aggregate (VMA) merupakan persentase rongga pada antara partikel agregat dalam campuran aspal dan volume aspal efektif atau volume aspal yang diserap agregat tidak terhitung. Syarat ketentuan nilai VMA harus lebih dari 15% sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga (2020) revisi kedua.

$$\text{VMA} = 100 - \frac{G_{mb} - P_s}{G_{sb}} \dots\dots\dots (2. 6)$$

Keterangan :

VMA : Rongga pada agregat (%)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran (gr/cc)

Gsb : Berat jenis efektif agregat (gr/cc)

Ps : Persentase kadar agregat terhadap berat total campuran (%)

f. Nilai *Void Filled with Bitumen* (VFB)

VFB adalah nilai rongga terisi aspal pada campuran aspal. Syarat ketentuan nilai VFB harus lebih dari 65% sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga (2020) revisi kedua.

$$\text{VFB} = 100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \dots\dots\dots (2. 7)$$

Keterangan :

VFB : Rongga terisi aspal (%)

VMA : Rongga pada agregat (%)

VIM : Rongga pada campuran aspal

2.12. Penelitian Terdahulu yang Sejenis

Tabel 2.5. Keaslian Tugas Akhir

NO	PENULIS	JUDUL	TUJUAN	METODE	HASIL
1.	Muhammad Iqbal, Amiwarti Amiwarti, Agus Setiobudi (2021)	Analisis Penambahan Limbah Las Karbit sebagai <i>Filler</i> Campuran Aspal AC- WC	Mengetahui pengaruh limbah las karbit sebagai <i>filler</i> pada lapisan aspal AC-WC.	Pengujian Marshall dengan variasi limbah las karbit sebesar 1%, 2%, dan 3%	Penambahan limbah las karbit sebagai filler mengalami kenaikan serta penurunan terhadap pengujian <i>Marshall Test</i> ; tidak disarankan sebagai pengganti filler abu batu.
2.	Johannes Edward Simangunsong, Muhammad Jazir Alkas, Alinia Wati (2021)	Pemanfaatan Limbah Plastik PET sebagai Bahan Tambah Aspal pada Campuran <i>Asphalt Concrete</i> <i>Wearing Course</i> (AC- WC)	Mengetahui karakteristik sifat aspal akibat penambahan limbah plastik PET dan pengaruhnya terhadap nilai karakteristik Marshall pada campuran AC-WC	Pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal 6% dan 6,5% serta penambahan limbah plastik PET	Limbah plastik PET dapat dimanfaatkan sebagai bahan modifikasi aspal pada campuran AC-WC, memenuhi semua karakteristik Marshall pada variasi kadar aspal

					yang diuji
3.	Ani Firda, Bahder Djohan, Hendrik Jimmyanto, Deta Febrianty (2022)	Pengaruh Penambahan Plastik (<i>Polyethylene Terephthalate</i>) pada Campuran AC-WC terhadap Karakteristik Marshall	Mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik PET terhadap karakteristik Marshall pada campuran AC-WC	Pengujian <i>Marshall</i> dengan variasi kadar PET sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% dari berat total campuran.	Penambahan PET meningkatkan stabilitas campuran, dengan kadar optimum PET sebesar 0,5%.
4.	Alvin Maulana, Rudy Santosa (2023)	Pengaruh dan Perbandingan Penambahan Beberapa Jenis Limbah Plastik terhadap Kekuatan Jalan Aspal AC-WC	Membandingkan pengaruh penambahan limbah plastik jenis LDPE, HDPE, dan PET terhadap kekuatan campuran AC-WC	Pengujian Marshall dengan penambahan masing-masing jenis plastik sebesar 4% dari berat total campuran.	Campuran dengan limbah plastik PET 4% menunjukkan hasil yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.
5.	Lulu'ah Lulu'ah, Irwansyah Irwansyah, Muhammad Zacky	Pengaruh Penambahan Limbah Plastik LDPE pada	Mengetahui pengaruh penambahan limbah plastik LDPE pada campuran	Pengujian Marshall dengan variasi kadar	Penambahan limbah plastik LDPE meningkatkan nilai

	Ardhyan (2023)	Lapisan Perkerasan Jalan AC-WC	aspal AC-WC	plastik LDPE sebesar 4% hingga 6% dari berat aspal.	stabilitas dan <i>flow</i> ; semua nilai Marshall memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018.
6.	Rio Rifky Pangestu (2024)	Analisis Pengaruh Limbah Kaca sebagai Bahan Pengisi (<i>Filler</i>) untuk Campuran Aspal AC-WC	Mengetahui pengaruh prosentase <i>filler</i> limbah kaca terhadap kinerja campuran lapis aus AC-WC	Pengujian Marshall dengan variasi <i>filler</i> limbah kaca sebesar 1% dan 3% serta kadar aspal 5% hingga 7,5%.	Campuran dengan <i>filler</i> kaca 1% pada kadar aspal 6,5% menghasilkan nilai stabilitas tertinggi sebesar 2615 kg, memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.
7.	Putri Inna Wahidiyati & Siti Nurhafidza Akhmad	Analisis <i>Asphalt Wearing Coarse</i> (AC-WC) Dengan Penambahan Limbah Bahan Kain <i>Polyester</i> dan Resin <i>Polyester</i> Pada Perkerasan Jalan	Mengevaluasi bagaimana penambahan limbah kain <i>polyester</i> dan resin <i>polyester</i> mempengaruhi karakteristik fisik dan mekanik campuran AC-WC, seperti stabilitas, <i>flow</i> ,	Membandingkan hasil pengujian dengan spesifikasi teknis yang berlaku, seperti Spesifikasi	

			densitas, VIM (<i>Void in Mix</i>), VMA (<i>Void in Mineral Aggregate</i>), dan VFA (<i>Void Filled with Asphalt</i>)	Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, untuk menilai kelayakan penggunaan limbah kain <i>polyester</i> dan resin <i>polyester</i> dalam campuran AC-WC.	
--	--	--	---	---	--



BAB III

METODOLOGI

3.1. Rancangan Umum Penelitian

Penelitian ini adalah pendekatan pada sistematis untuk mencakup pada proses pengumpulan, pengelolaan, analisis, serta menyajikan data pada keperluan penelitian. Data yang akan dikumpulkan akan berasal dari berbagai sumber seperti jurnal, artikel, media elektrolit ataupun kegiatan langsung untuk menjadi kegiatan eksperimen, survei, serta wawancara. Oleh sebab itu, pemilihan penelitian ini akan secara menyeluruh, sehingga dapat menjadi lebih mudah untuk merumuskan solusi dengan solusi yang cepat sebagai proses untuk mempercepat pada proses penelitian dengan hasil maksimal.

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimen, dengan menggunakan metode hipotesis untuk melalui observasi dan pengukuran secara sistematis. Fokus utama dari penelitian ini adalah menganalisis dampak penambahan serbuk lelehan dari kain limbah polyester dan resin polyester terhadap karakteristik mekanik dan fisik campuran *asphalt concrete-wearing course* (AC-WC), serta membandingkan hasil parameter Marshall dengan standar yang ditetapkan oleh Standar Nasional Indonesia dan Bina Marga 2010. Kegiatan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang berlokasi di Terboyo Kulon, Kecamatan Genuk, Kota Semarang, Jawa Tengah 50112.

3.2. Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1. Kebutuhan Bahan Material

Pembuatan benda uji ini tidak lepas dari bahan material yang akan dipakai. Berikut merupakan bahan-bahan material yang akan digunakan pada penelitian :

1. Penggunaan Material Agregat kasar, Agregat halus, dalam penelitian ini dihasilkan oleh PT. Semarang Multicon, PT. Leo Putra Mandiri
2. Aspal yang digunakan yaitu Aspal Pen 60/70.
3. Limbah Kain *Polyester* yang akan digunakan untuk material stabilisasi dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%.

4. Resin *Polyester* yang akan digunakan untuk material stabilisasi dengan kadar 0%, 3%, 6%, 9%, 14%, & 15%.

Variabel terikat ialah parameter Marshall (stabilitas, flow, MQ, VIM, VMA, VFA) serta uji lanjutan *rutting* dan ITS.

3.2.2. Peralatan

Peralatan yang akan digunakan untuk penelitian berasal dari Laboratorium Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Berikut adalah peralatan yang digunakan

1. Alat Uji Analisa Saringan

Dalam pengujian analisa saringan, yang akan kami gunakan antara lain :

- a. Satu set saringan ($1\frac{1}{2}$ ", 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", no.4, 8, 16, 30, 50, 100, dan 200)
- b. Timbangan dengan ketelitian 0,1 gr dari berat benda uji
- c. Pan dan *cover* (penutup)
- d. Wadah plastik, kuas. Dan sikat

2. Alat Uji Berat Jenis

Uji berat jenis dilaksanakan guna memperoleh berat jenis efektif dari campuran aspal.

3. Alat Uji Abrasi Agregat

Sejumlah peralatan yang dipergunakan dalam melakukan pengujian terhadap agregat meliputi mesin *Los Angeles*, yang digunakan guna menguji level abrasi, ayakan standar guna mengevaluasi gradasi agregat, perangkat pengering untuk oven, timbangan, juga alat uji berat jenis yang mencakup piknometer, timbangan serta pemanas. Di samping hal tersebut, penggunaan bak peredaman serta tabung *Sand Equivalent* juga menjadi bagian dari tahapan pengujian.

4. Alat Uji Aspal

Peralatan untuk pengujian aspal mencakup alat uji kelarutan, timbangan, serta piknometer yang digunakan untuk mengukur berat jenis, alat penguji titik nyala dan titik bakar, alat pengukur titik lembek, serta perangkat untuk menguji kelarutan

5. Alat Uji Marshall

Peralatan ketika dilakukan uji *Marshall Test* yakni :

- a. Mesin tekan lengkap dengan alat pembacanya.
- b. Kepala penekan.
- c. Cincin penguji.
- d. Arloji kelelahan.
- e. *Water Bath* lengkap dengan temperatur minimal 30°C.
- f. Timbangan dengan penggantungan benda uji dan bak air.

6. Uji Rutting (Ketahanan terhadap deformasi permanen)

Berikut merupakan alat yang digunakan pada pengujian *Rutting test* :

- a. Menggunakan alat *Hamburg Wheel Tracking Device* (HTWD)
- b. Spesimen campuran AC-WC dipadatkan menggunakan *Superpave Gyratory Compactor* (SGC) hingga mencapai kepadatan sekitar 93% dari berat jenis maksimum
- c. Pengujian dilakukan pada suhu sekitar 50°C, baik dalam kondisi kering maupun terendam air..
- d. Laptop yang tersambung dengan perangkat *Hamburg Wheel Tracking Device* (HTWD)
- e. *Water Bath* lengkap menggunakan pengatur suhu minimal 30°C.
- f. Timbangan dengan penggantungan benda uji dan bak air.

7. Uji Indirect Tensile Strength (ITS)

Berikut merupakan alat yang digunakan pada pengujian *Rutting test* :

- a. Menggunakan alat *Hamburg Wheel Tracking Device* (HTWD)
- b. Spesimen campuran AC-WC dipadatkan menggunakan *Superpave Gyratory Compactor* (SGC) hingga mencapai kepadatan sekitar 93% dari berat jenis maksimum
- c. Pengujian dilakukan pada suhu sekitar 50°C, baik dalam kondisi kering maupun terendam air..
- d. Laptop yang tersambung dengan perangkat *Hamburg Wheel Tracking Device* (HTWD)
- e. *Water Bath* lengkap menggunakan pengatur suhu minimal 30°C.
- f. Timbangan dengan penggantungan benda uji dan bak air.

3.3. Pengumpulan Data

Penelitian ini tidak lepas dari pengumpulan berbagai data. Untuk Pengumpulan data yang dilakukan ada 2 yaitu :

1. Data Primer, yaitu data yang dikumpulkan setelah dilakukannya penelitian, penelitian yang kami lakukan di Laboratorium Universitas Islam Sultan Agung Semarang ini memuat data primer :
 - a. Berat jenis agregat
 - b. Analisa saringan
 - c. Karakteristik *marshall*.
2. Data Sekunder, yaitu data yang sudah dilakukan oleh perusahaan uji balai pengujian material. Data sekunder yang kami gunakan merupakan aspal pertamina dengan nilai penetrasi 60/70.

3.4. Metode Pengolahan Data

Prosedur penelitian ini memuat beberapa tahap, yaitu :

1. Persiapan penyediaan alat-alat dan bahan yang dipakai.
2. Pengujian agregat dari sifat mekanis dan fisik.
3. Membuat rancangan campuran *AC-WC* sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2010
4. Mencari Kadar Aspal Optimum dan Variasi Komposisi *kain polyester* yang digunakan 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%.
5. Pengujian benda uji dengan *Marshall Test* untuk mengetahui nilai Stabilitas, *Flow*, VIM, VMA, VFA, MQ dari benda uji yang telah dibuat.
6. Analisa dan Pembahasan

Melakukan analisa benda uji dari campuran *fly ash* dengan pengujian *Marshall Test* dan mendapatkan parameter nilai (*Stability*, *Flow*, VIM, VMA, VFA, MO).

7. Kesimpulan dan Saran

Penarikan kesimpulan dapat dilakukan setelah semua pengujian telah dilakukan, lalu hasil analisa dan pembahasan dapat diuraikan oleh peneliti sehingga dapat ditarik kesimpulan dan saran. Nilai dari percobaan di laboratorium baik dari uji material hingga dengan pengujian sampel yang

telah dibuat, kemudian nilai yang didapat tersebut dianalisa dan ditunjukkan dalam bentuk grafik dan tabel terhadap tiap parameter nilai karakteristik marshall (*Stability, Flow, VIM, VMA, VA, MO*).

3.5. Pemeriksaan Karakteristik *Marshall*

3.5.1 Pemeriksaan agregat kasar dan halus

Untuk mendapat kualitas dan konsistensi aspal beton yang optimal, maka beberapa langkah yang akan dilakukan pemeriksaan agregat yang akan digunakan. Beberapa langkah pengecekan itu dilakukan dengan cara sebagai berikut :

1. Penyaringan agregat kasar dan halus dengan menerapkan analisis saringan, analisis ini dilakukan dengan prosedur yang mengacu pada AASHTO T47-82 atau SNI 03- 1968-1990.
2. Pedoman terkait kategori-kategori perhitungan agregat yang mengacu pada formulir referensi AASHTO T85-74 atau SNI 1969-2008.
3. Kategori – kategori penanganan agregat dilakukan melalui studi yang disesuaikan dengan prosedur pedoman AASHTO T84-74 atau SNI 1970-2008.
4. Evaluasi sifat campuran dilakukan menggunakan metode *marshall* test dengan mengikuti prosedur evaluasi yang sesuai dengan SNI-06-2489-1991.
5. Teknik penggabungan rongga udara dan bobot isi dalam agregat menjadi perhatian utama.
6. Perhitungan jumlah total bahan yang melewati saringan No. 200 (0,075) dilakukan sesuai dengan formulir pemeriksaan SNI 03-4142-1996.
7. Pengujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus ini memiliki tujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus.

3.5.2 Pemeriksaan sifat fisis aspal

Pengujian aspal sebagai bahan bitumen yang digunakan dalam penelitian ini dilakukan antara lain :

1. Analisa pengujian penetrasi aspal
2. Analisa pengujian titik lembek

3. Analisa pengujian titik nyala dan titik bakar
4. Analisa pengujian daktilitas
5. Analisa pengujian berat jenis bitumen.

3.6. Rancangan Campuran Aspal Beton

3.6.1. Campuran Kadar Aspal Normal

Pada Tabel 3.1. – 3.5. dijabarkan setiap komposisi aspal yang direncanakan untuk mencari Kadar Aspal Optimum adalah variasi kadar aspal normal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%.

Tabel 3. 1. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal Kadar Aspal

4%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	506.88
2	Agregat Batu 3/4	12	138.24
3	Agregat Batu 1/2	40	460.8
4	Pasir	3	34.56
5	<i>Filler</i>	1	11.52
Total		100	1152
Keterangan Aspal			
Aspal		4	48

Tabel 3. 2. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal Kadar Aspal

4,5%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	504.24
2	Agregat Batu 3/4	12	137.52
3	Agregat Batu 1/2	40	458.4
4	Pasir	3	34.38
5	<i>Filler</i>	1	11.46
Total		100	1146
Keterangan Aspal			
Aspal		4.5	54

Tabel 3. 3. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal Kadar Aspal

5%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	501.6
2	Agregat Batu 3/4	12	136.8
3	Agregat Batu 1/2	40	456
4	Pasir	3	34.2
5	<i>Filler</i>	1	11.4
Total		100	1140
Keterangan Aspal			
Aspal		5	60

Tabel 3. 4. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal Kadar Aspal

5,5%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	498.96
2	Agregat Batu 3/4	12	136.08
3	Agregat Batu 1/2	40	453.6
4	Pasir	3	34.02
5	<i>Filler</i>	1	11.34
Total		100	1134
Keterangan Aspal			
Aspal		5.5	66

Tabel 3. 5. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal Kadar Aspal

6%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	496.32
2	Agregat Batu 3/4	12	135.36
3	Agregat Batu 1/2	40	451.2
4	Pasir	3	33.84
5	<i>Filler</i>	1	11.28
Total		100	1128
Keterangan Aspal			
Aspal		6	72

Untuk perbandingan setiap benda uji, maka setiap variasi dibuat menjadi tiga buah benda uji dengan total keseluruhan 15 sampel apabila terdapat satu sampel tidak lolos pada spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2.

3.6.2. Campuran Kadar Variasi Kain *Polyester* dan Resin *Polyester*

Campuran untuk variasi Kain *Polyester* dan Resin *Polyester* yang tertera pada **Tabel 3.6-3.20**. Peneliti menggunakan kadar aspal 5.8%. Dengan komposisi yang digunakan yaitu Kain *Polyester* dengan kadar 0%, 2%,4%, 6%, 8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%, 9%,14% dan 15%.

Tabel 3. 6. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 0% dan Resin *Polyester* 0%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	Medium Agregat $\frac{3}{4}$	12	300
3	Coarse Agregat $\frac{1}{2}$	4	300
4	Pasir	3	36
5	Filler	1	14,4
6	Aspal	5.8	69,6
		100	1200
	Kain <i>Polyester</i>	0	0
	Resin <i>Polyester</i>	0	0
Jumlah Sample			2
Total			1200

Tabel 3. 7. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 0% dan Resin *Polyester* 0%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	Medium Agregat $\frac{3}{4}$	25	300
3	Coarse Agregat $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	Filler	1,20	14,4
6	Aspal	5.8	69,6
		100	1200
	Kain <i>Polyester</i>	0	0
	Resin <i>Polyester</i>	0	0
Jumlah Sample			2
Total			1200

Tabel 3. 8. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 0%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	<i>Medium Agregat</i> $\frac{3}{4}$	25	300
3	<i>Coarse Agregat</i> $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1,20	14,4
6	Aspal	5.8	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	0	0
	Resin Polyester	0	0
Jumlah Sample		2	
Total		1200	

Tabel 3. 9. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 2% dan Resin Polyester 0%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	<i>Medium Agregat</i> $\frac{3}{4}$	25	300
3	<i>Coarse Agregat</i> $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	2	1,392
	Resin Polyester	0	0
Jumlah Sample		4	
Total		1201,392	

Tabel 3. 10. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 3%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	<i>Medium Agregat</i> $\frac{3}{4}$	25	300
3	<i>Coarse Agregat</i> $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	0	0
	Resin Polyester	3	2,088
Jumlah Sample		4	
Total		1202,08	

Tabel 3. 11. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 4% dan Resin Polyester 0%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	Medium Agregat $\frac{3}{4}$	25	300
3	Coarse Agregat $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	Filler	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	4	2,784
	Resin Polyester	0	0
Jumlah Sample		4	
Total		1202,784	

Tabel 3. 12. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 2% dan Resin Polyester 3%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	Medium Agregat $\frac{3}{4}$	25	300
3	Coarse Agregat $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	Filler	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	2	1,392
	Resin Polyester	3	2,088
Jumlah Sample		4	
Total		1203.48	

Tabel 3. 13. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 6%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	Medium Agregat $\frac{3}{4}$	25	300
3	Coarse Agregat $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	Filler	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	0	
	Resin Polyester	6	4,176
Jumlah Sample		4	
Total		1204,176	

Tabel 3. 14. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 4% dan Resin Polyester 6%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	<i>Medium Agregat</i> $\frac{3}{4}$	25	300
3	<i>Coarse Agregat</i> $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	4	2,784
	Resin Polyester	6	4,175
Jumlah Sample		4	
Total		1206,924	

Tabel 3. 15. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 6% dan Resin Polyester 6%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	<i>Medium Agregat</i> $\frac{3}{4}$	25	300
3	<i>Coarse Agregat</i> $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	6	4,176
	Resin Polyester	6	4,176
Jumlah Sample		4	
Total		1208,352	

Tabel 3. 16. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 9% dan Resin Polyester 6%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	<i>Medium Agregat</i> $\frac{3}{4}$	25	300
3	<i>Coarse Agregat</i> $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	9	6,264
	Resin Polyester	6	4,176
Jumlah Sample		4	
Total		1210,438	

Tabel 3. 17. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 8% dan Resin Polyester 9%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	Medium Agregat $\frac{3}{4}$	25	300
3	Coarse Agregat $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	Filler	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	8	5,568
	Resin Polyester	9	6,264
Jumlah Sample		4	
Total		1211,834	

Tabel 3. 18. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 10% dan Resin Polyester 9%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	Medium Agregat $\frac{3}{4}$	25	300
3	Coarse Agregat $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	Filler	1,20	14,4
6	Aspal	6	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	10	6,96
	Resin Polyester	9	6,264
Jumlah Sample		4	
Total		1213,224	

Tabel 3. 19. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 14% dan Resin Polyester 15%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	Medium Agregat $\frac{3}{4}$	25	300
3	Coarse Agregat $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	Filler	1,20	14,4
6	Aspal	5,8	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	14	9,744
	Resin Polyester	15	10,44
Jumlah Sample		4	
Total		1220,184	

Tabel 3. 20. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 15% dan Resin Polyester 14%

NO	Komposisi	%	Hasil (g)
1	Abu Batu	40	480
2	<i>Medium Agregat</i> $\frac{3}{4}$	25	300
3	<i>Coarse Agregat</i> $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1,20	14,4
6	Aspal	5,8	69,6
		100	1200
	Kain Polyester	15	9,744
	Resin Polyester	14	10,44
Jumlah Sample		4	
Total		1220,184	

Setiap sampel yakni terdiri atas 4 sampel guna membandingkan setiap sampel, apabila salah satu sampel tidak sesuai spesifikasi teknik Bina Marga tahun 2018 revisi 2, sedangkan 4 sampel lainnya memenuhi spesifikasi tersebut, maka hasil pengujian dapat dibandingkan.

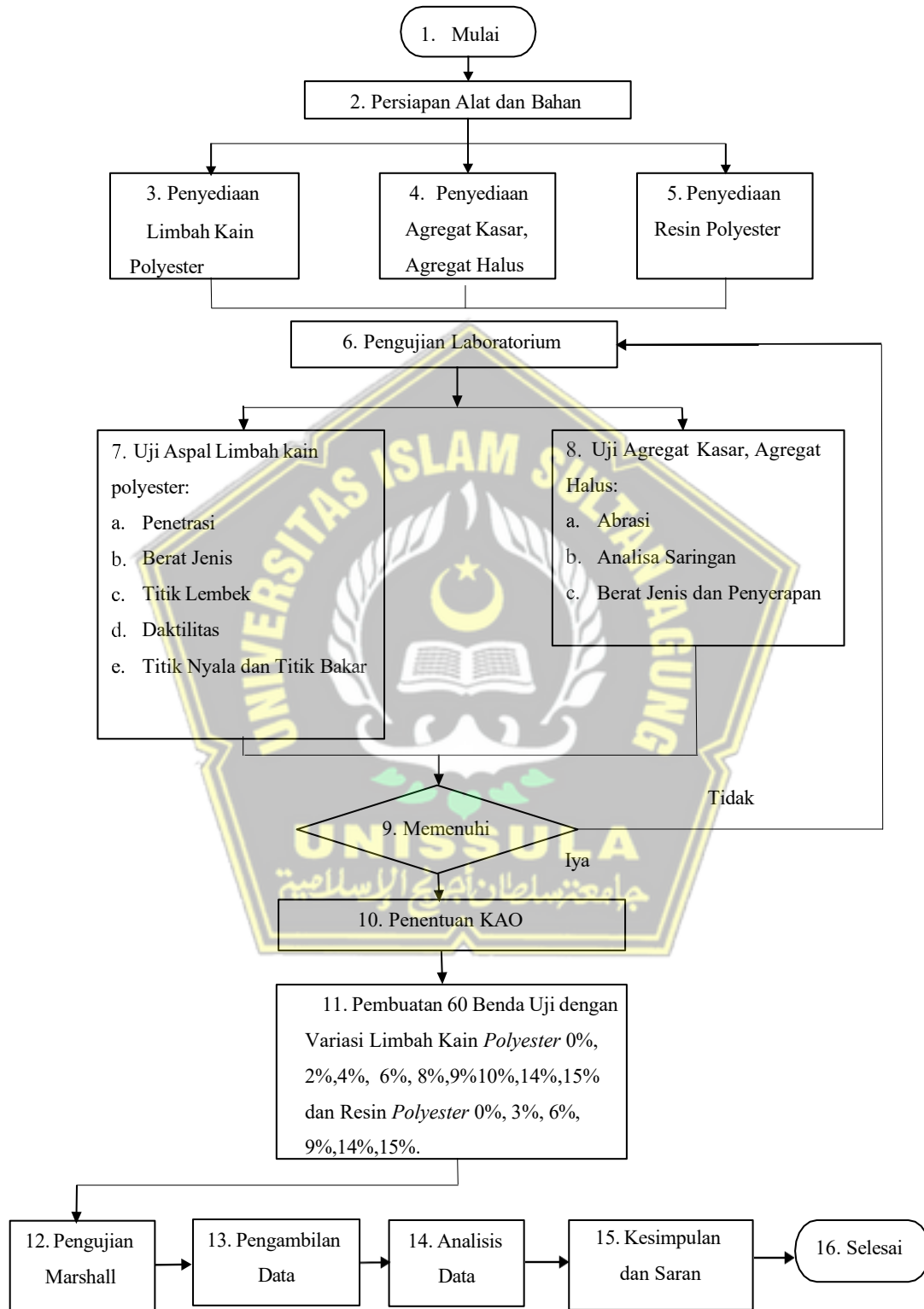


Tabel 3. 21. Sampel Campuran Aspal

NO	Agg Batu ¾"		Agg Batu ½"		Abu Batu		Pasir		Filler		Aspal		Kain Polyester		Resin Polyester		Total Agg		Jumlah Sampel
	gr	%	gr	%	Gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	gr	%	Gr	%	
KROP 1	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	0	0	0	0	1200	100	2
KROP 2	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	0	0	0	0	1200	100	2
KROP3	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	0	0	0	0	1200	100	2
KROP4	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1,392	2	0	0	1201,392	101	4
KROP5	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	0	0	2,088	3	1202,088	102	4
KROP6	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	2,784	4	0	0	1202,784	103	4
KROP7	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	1,392	2	2,088	3	1203,48	103	4
KROP8	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	0	0	4,176	6	1204,176	104	4
KROP9	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	2,784	4	4,176	6	1206,924	106	4
KROP10	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	4,176	6	4,176	6	1208,352	18	4
KROP11	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	6,264	9	4,176	6	1210,438	110	4
KROP12	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	5,568	8	6,264	9	1211,834	111	4
KROP13	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	6,96	10	6,264	9	1213,224	113	4
KROP14	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	9,744	14	10,44	15	1,220.184	120	4
KROP15	300	25	300	25	480	40	36	3	14,4	1,2	69,6	5,8	10,44	15	9,744	14	1,220.184	120	4
Total Benda Uji Menggunakan Bahan Tambah																			54
Benda Uji KAO Variasi 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, 6%																			
Total Benda Uji KAO																			15
TOTAL KESELURUHAN BENDA UJI																			69

3.7. Bagan Alur Penelitian dan Pelaksanaan Penelitian

Pada Bagan alur adalah diagramm yang digambar dengan langkah – langkah untuk diambil selama suatu penelitian. Bagan alur yang digambarkan pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3. 1. Bagan Alir Peneliti

3.8. Metode Tahapan Bagan Alir

Bagan Alir merujuk pada **Gambar 3.1** Yang akan dipaparkan mengenai tahapan dalam riset tersebut yakni :

1. Mulai
Melakukan persiapan diri untuk memulai penelitian.
2. Persiapan alat dan bahan yang diperlukan
 - a. Alat – alat yang dipersiapkan yaitu peralatan untuk pengujian agregat yang terdiri dari: Mesin *Los Angeles* (untuk abrasi), saringan (untuk penilaian agregat), alat uji berat jenis (piknometer, timbangan dan *oven*).
 - b. Peralatan untuk pengujian aspal yang terdiri dari: alat uji berat jenis (piknometer dan timbangan), penetrometer aspal (untuk uji penetrasi), alat uji titik lembek aspal (termometer, cincin kuningan, bola baja, bejana gelas dan dudukan benda uji), alat uji titik nyala dan titik bakar dan alat uji kelarutan
3. Penyediaan Limbah Kain *Polyester*
Pengambilan limbah kain *polyester* diambil dari PT Asia Pacific Fibers Tbk, berlokasi di Jalan Raya Kaliwungu KM 19, Kendal, nantinya dapat dimanfaatkan untuk objek sampel ketika pengujian.
4. Pengadaan Agregat Kasar dan Agregat Halus
Pengadaan bahan yaitu agregat batu pecah dan abu batu didapatkan dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Semarang Multicon, kendal kemudian dimanfaatkan untuk objek ketika pengujian.
5. Penyediaan Resin *Polyester*
Penyediaan Resin *polyester* didapat dari toko kimia utama sari yang berada di Pedurungan, Semarang dan didapat melalui *online shop*.
6. Pengujian Laboratorium
Pengujian dilaksanakan berdasarkan pedoman serta kriteria *American Society for Testing Material* (ASTM) juga Standar Nasional Indonesia (SNI).
7. Uji Limbah Kain *Polyester*
Pemeriksaan fisik aspal yang dilakukan meliputi:
 - a. Penetrasi Aspal (SNI 06-2456-1991)
 - b. Titik Lembek (SNI 06-2434-1991)

- c. Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI 06-2433-1991)
 - d. Daktilitas (06-2432-1991)
 - e. Berat Jenis Bitumen (SNI 06-2441-1991)
8. Uji Agregat Kasar dan Agregat Halus
- Pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus meliputi:
- a. Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles (SNI 2417 : 2008)
 - b. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (SNI 1969 : 2008)
 - c. Kelekatan Agregat oleh Aspal (SNI-06-2439-1991)
 - d. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (SNI 1970 : 2008)
 - e. Analisa Butiran (SNI-M-02-1994-03)
9. Memenuhi
- Apabila objek hasil pengujian lolos kriteria, proses setelahnya yakni penentuan campuran Karakteristik Aspal Optimum (KAO). Tetapi, apabila objek hasil pengujian diluar batas kriteria laboratorium, maka perlu dilaksanakan pengujian kembali di laboratorium.
10. Penentuan KAO
- Komposisi aspal yang direncanakan untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum yaitu dengan variasi kadar normal 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% setiap variasi membuat tiga sampel sehingga total sampel yang dibuat adalah 15.
11. Pembuatan Benda Uji
- Melakukan pembentukan sampel benda uji sesuai dengan campuran yang sudah direncanakan yaitu variasi Limbah Kain *Polyester* 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 9%, 10%, 14%, dan 15% dan Resin *Polyester* 0%, 3%, 6%, 9%, 14%, dan 15%. Setiap variasi empat sampel maka total sampel yang dibuat yaitu 60 benda uji.
12. Pengujian *Marshall*
- Proses pengujian *Marshall* dilakukan sesuai prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T- 44-81 dan ASTM D-2042-76). Untuk mendapatkan data bitumen (densitas, VIM, VMA dan VFB) benda uji ditimbang baik dalam air maupun dalam kondisi kering permukaan jenuh. Selanjutnya, sampel direndam selama 30 menit dengan suhu 60°C. Stabilitas, Leleh dan *Marshall*

Quotient diukur menggunakan alat *Marshall*.

13. Pengambilan Data

Saat pengujian *Marshall* data yang didapatkan yaitu nilai Stabilitas, VMA, VFB, *Flow*, VIM, dan *Marshall Quotient*.

14. Analisis Data

Melakukan analisa data *Marshall* (Stabilitas, Kelelehan, VIM, VMA, VFB dan *Marshall Quotient*) dari sampel benda uji.

15. Kesimpulan dan Saran

Uraian berupa simpulan serta saran hasil penelitian apakah layak berdasarkan spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 serta menampilkan data nilai Stabilitas, Kelelehan, VIM, VMA dan VFB.

16. Selesai

Penelitian selesai dilakukan.

3.9 Prosedur Kerja

3.9.1 Perancangan Campuran Aspal (*Mix Design*)

Komposisi material yang digunakan saat campuran aspal perlu diperhatikan agar penggunaan masing-masing material dapat bekerja dan menghasilkan konstruksi perkerasan jalan yang proporsional. Pada penelitian ini akan digunakan aspal jenis pen 6/7 kadar 5,8% dengan tambahan variasi limbah kain *polyester* dengan kadar kadar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 9%, 10%, 14%, dan 15%. Serta resin *polyester* 0%, 3%, 6%, 9%, 14%, 15%.

Dengan gradasi agregat gabungan menggunakan batas tengah dari setiap presentasi lolos saringan yang terdiri dari agregat batu lolos saringan 19,1 mm ($3/4''$), agregat batu lolos saringan 12,5 mm ($1/2''$), abu batu, pasir, serta *filler*.

3.9.2 Pembuatan Benda Uji

- Setiap variasi agregat ditimbang sesuai dengan presentase target gradasi yang direncanakan. Berat campuran agregat kurang lebih 1200 gram dengan diameter 4 inci yang kemudian dikeringkan dalam *oven* dengan suhu $\pm 145^{\circ}\text{C}$ hingga mencapai berat yang diinginkan.
- Panaskan aspal hingga mencapai tingkat kelelehan yang diinginkan lalu tentukan berat aspal yang diperlukan dalam campuran agregat.
- Masukkan aspal yang telah mencapai tingkat kelelehan pada campuran

agregat yang juga telah dipanaskan dan keduanya dicampur di atas pemanas atau kompor agar tercampur secara merata hingga mencapai suhu 90°C - 150°C.

- d. Cetakan yang akan digunakan dibersihkan terlebih dahulu, lalu letakkan di atas landasan pematik dan tahan menggunakan pemegang cetakan.
- e. Masukkan kertas *filter* atau kertas saring yang dipotong sesuai dimensi dasar cetakan lalu diberi oli.
- f. Masukkan komposisi campuran aspal yang sudah mencapai suhu 90°C - 150°C dalam cetakan dan gunakan spatula untuk merapikan pemadatan campuran dengan cara menusuk campuran sebanyak 15 kali di sekeliling pinggir cetakan dan 10 kali di bagian tengah.
- g. Pada bagian atas cetakan tutup dengan kertas *filter* atau kertas saring yang sudah diberi oli agar kertas tidak lengket di benda uji.
- h. Lakukan pemadatan campuran menggunakan mesin *compactor* dengan tetap memperhatikan temperatur sesuai dengan kekentalan aspal sebanyak 75 kali tumbukan pada setiap sisi atas dan sisi bawah.
- i. Diamkan benda uji hingga temperatur sudah tidak terlalu panas lalu keluarkan benda uji menggunakan alat *extruder*. Beri tanda sesuai variasi yang dibuat pada setiap sampel benda uji dan diamkan pada temperatur ruangan.

3.9.3 Pengujian *Marshall*

Ketentuan pengujian *Marshall* ditulis dalam RSNI M-01-2003 yang dijadikan pedoman serta syarat pengujian.

- a. Pada pengujian *Marshall* menggunakan alat uji *Marshall* yang memiliki kekuatan listrik sebesar 220 volt yang bekerja dengan cara memberi beban dan kecepatan tetap 51 mm (2 inci) setiap menit pada sampel benda uji semi-circular. Dilengkapi dengan adanya *proving ring* dengan arloji tekan yang digunakan untuk mengukur nilai Stabilitas sampel benda uji serta arloji kelelahan (*flow meter*) yang digunakan untuk mengukur nilai Kelelahan (*Flow*) sampel benda uji pada saat pembebanan mencapai maksimum.

- b. Bak perendaman (*water bath*) merupakan alat yang digunakan pada pengujian *Marshall* untuk merendam sampel benda uji yang memiliki pengatur suhu minimum 20°C dan kedalaman 150 mm (6 inci) dengan rak bawah 50 mm.
- c. Termometer (*thermometer*) merupakan alat yang digunakan untuk mengukur suhu air dalam bak perendaman (*water bath*) dan dapat menahan suhu hingga kurang lebih 200°C.
- d. *Output* dari pengujian *Marshall* ini adalah parameter Nilai *Marshall* yang terdiri dari nilai Stabilitas, Kelelehan (*Flow*), VIM, VMA, VFB, dan MQ.

3.9.4 Pengujian Stabilitas dan Kelelehan (*Flow*)

- a. Rendam sampel benda uji sampai seluruh benda uji terkena air dalam bak perendaman (*water bath*) pada suhu 60°C selama 30 menit.
- b. Pasang sampel benda uji dalam segmen bawah kepala penekan lalu pasang segmen bawah dan letakkan pada alat penguji *Marshall*.
- c. Pegang selongsong dengan stabil dan erat pada bagian atas kepala penekan lalu pasang arloji kelelehan (*flow meter*) di salah satu batang pemandu dan atur jarum penunjuk arloji di angka nol.
- d. Sebelum pembebanan, angkat sampel benda uji serta kepala penekan sampai menyentuh dasar cincin uji dan posisikan jarum arloji di posisi nol.
- e. Berikan beban stabil pada sampel dengan kecepatan 50 mm setiap menit hingga beban maksimum tercapai dan catat nilai pembebanan maksimum (Stabilitas). Apabila hasil ketebalan sampel benda uji < 63,5 mm maka faktor pengali yang relevan harus digunakan agar dapat menyesuaikan beban.
- f. Jika sudah mencapai pada maksimum pembebanan (arloji pada jarum sudah tidak bisa jalan searah jarum jam), selanjutnya catat nilai Kelelehan (*Flow*) dan Stabilitas yang terlihat pada jarum arloji.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pendahuluan

Bab ini membahas hasil penelitian yang meliputi tahapan-tahapan pada material penelitian, mulai dari penentuan kadar aspal optimum hingga pembuatan benda uji dan pelaksanaan pengujian di laboratorium. Pada tahap persiapan material, bahan yang diperlukan untuk pembuatan sampel uji terdiri dari Agregat Kasar ukuran $\frac{3}{4}$, Agregat Kasar ukuran $\frac{1}{2}$, serta Abu Batu. Material-material tersebut diperoleh dari *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Semarang Multicon yang berlokasi di Jl. Lingkar Kaliwungu, Sumberejo, Kaliwungu, Kabupaten Kendal. Seluruh proses pembuatan sampel uji serta penggunaan alat dan material berikutnya akan dilakukan di Laboratorium Transportasi Jalan Raya, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.



Gambar 4. 1. *Asphalt Mixing Plant* (AMP) PT. Semarang Multicon

Pemanfaatan limbah kain *polyester* dan resin *polyester* adalah sebagai bahan tambahan pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) merupakan salah satu upaya inovatif untuk meningkatkan kinerja serta aspek keberlanjutan perkerasan jalan. Pada bab ini, dilakukan analisis secara menyeluruh mengenai pengaruh penambahan kedua bahan tersebut terhadap sifat campuran AC-WC, mekanisme peningkatan performa, hingga evaluasi teknis berdasarkan hasil pengujian laboratorium. Namun, lapisan AC-WC ini rentan mengalami kelelahan dan kerusakan akibat beban berulang, suhu tinggi, dan faktor lingkungan yang menyebabkan retak, deformasi plastis, hingga penurunan umur

layanan perkerasan. Oleh sebab itu, diperlukan modifikasi campuran guna meningkatkan daya tahan dan ketahanan antaranya melalui penambahan bahan modifikasi seperti limbah kain *polyester* dan resin *polyester*.



Gambar 4. 2. Bahan Tambahan Kain *Polyester* dan Resin *Polyester*

4.2 Pembuatan Benda Uji Kadar Aspal Normal

Komposisi aspal normal yang digunakan terdiri dari kadar 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Pembuatan sampel uji aspal normal ini bertujuan untuk menentukan kadar aspal optimum, yang selanjutnya akan diaplikasikan pada campuran aspal modifikasi. Pada campuran normal tanpa tambahan Kain *Polyester* dan Resin *Polyester*, masing-masing dibuat 4 sampel, sehingga total seluruh benda uji berjumlah 15. Rincian komposisi dapat dilihat pada **Tabel 4.1.** – **Tabel 4.5.**

Tabel 4. 1. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal Kadar Aspal 4%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	506.88
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	12	138.24
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	40	460.8
4	Pasir	3	34.56
5	Filler	1	11.52
Total		100	1152
Keterangan Aspal			
Aspal		4	48

Tabel 4. 2. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal Kadar Aspal 4,5%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	504.24
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	12	137.52
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	40	458.4
4	Pasir	3	34.38
5	Filler	1	11.46
Total		100	1146
Keterangan Aspal			
Aspal		4.5	54

Tabel 4. 3. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Normal Kadar Aspal 5%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	501.6
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	12	136.8
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	40	456
4	Pasir	3	34.2
5	Filler	1	11.4
Total		100	1140
Keterangan Aspal			
Aspal		5	60

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

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	498.96
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	12	136.08
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	40	453.6
4	Pasir	3	34.02
5	Filler	1	11.34
Total		100	1134
Keterangan Aspal			
Aspal		5.5	66

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

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	44	496.32
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	12	135.36
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	40	451.2
4	Pasir	3	33.84
5	Filler	1	11.28
Total		100	1128
Keterangan Aspal			
Aspal		6	72

4.3 Pengujian Laboratorium

4.3.1. Pengujian Material

Pengujian abrasi dilakukan dengan menggunakan mesin *Los Angeles* yang berfungsi untuk mengukur ketahanan agregat kasar terhadap keausan.

Hasil dari pengujian ini memberikan informasi penting mengenai daya tahan agregat kasar terhadap tekanan dan abrasi, sehingga dapat digunakan untuk memastikan kualitas dan ketahanan material dalam campuran konstruksi jalan. Data pengujian abrasi dapat dilihat pada **Tabel 4.6.**

Tabel 4. 6. Hasil Pengujian Abrasi

Ukuran Saringan		Gradasi I		Gradasi II	
		Berat Sebelum	Berat Sesudah	Berat Sebelum	Berat Sesudah
Lolos	Tertahan	(A)	(B)	(A)	(B)
2"	1 $\frac{1}{2}$ "				
1 $\frac{1}{2}$ "	1"				
1"	$\frac{3}{4}$ "				
$\frac{3}{4}$ "	$\frac{1}{2}$ "	2509.8	2650.4	2520.4	2386.8
$\frac{1}{2}$ "	$\frac{3}{8}$ "	2508.3	2180.3	2508.2	2207.9
$\frac{3}{8}$ "	# 4				
# 4	# 8				
Berat Total		5018.1	4830.7	5028 .6	4594.7
Berat Tertahan no. 12					

Perhitungan nilai Abrasi menggunakan rumus sebagai berikut:

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

a. Sampel I

$$\begin{aligned} A &= 5018,1 \text{ gr} \\ B &= 4830,7 \text{ gr} \\ A - B &= 187,4 \text{ gr} \\ \text{Keausan} &= \frac{5018,1-4830,7}{5018,1} \times 100 \\ &= 3,734\% \end{aligned}$$

b. Sampel II

$$\begin{aligned} A &= 5028,6\text{gr} \\ B &= 4594,7 \text{ gr} \\ A - B &= 433,9 \text{ gr} \\ &= \frac{5028,6-4594,7}{5028,6} \times 100 \\ &= 8,628\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keausan Rata - Rata} &= \frac{3,734\%+8,628\%}{2} \\ &= 6,179\% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa keausan rata-rata yang diperoleh yaitu sebesar 6,179%. Disimpulkan bahwa pengujian Abrasi memenuhi syarat ketentuan SNI-03-2417-2008.



Gambar 4. 3. Alat *Loss Angeles*

4.3.2 Pengujian Analisa Saringan

Pada pengujian analisa saringan, dengan pembagian butir-butir gradasi yang menjadi agregat halus dan kasar serta ditentukan dengan menggunakan saringan.

Pengujian ini dilakukan sesuai dengan SNI 03-1968-1990 / AASHTO T.27-88. Detail lebih lanjut tertera pada **Tabel 4.7. – Tabel 4.11.**

a. Agregat Kasar $\frac{3}{4}$ "

Pengujian saringan pada Agregat Kasar berukuran $\frac{3}{4}$ " dilakukan dengan menggunakan material agregat yang lolos saringan berukuran antara 37,0 mm hingga 20 mm ($1\frac{1}{2}$ " – $\frac{3}{4}$ ") dan tertahan pada saringan dengan ukuran mulai dari 12,0 mm ($\frac{1}{2}$ ") sampai 0,070 mm (#200). Data hasil pengujian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.7.**

Tabel 4. 7. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar $\frac{3}{4}$ "

UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN SIEVE SIZE		Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS			TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%			Gr	%	%
<i>Inch</i>	Mm				<i>inch</i>				
1 1/2"	37,5				1 1/2"				
1"	25,0				1"				
3/4"	19,0	-	-	100,00	3/4"	-	-	100,00	
1/2"	12,5	532	21,30	78,72	1/2"	593	23,72	76,28	
3/8"	9,5	1,560	62,25	37,76	3/8"	1,795	71,80	28,20	
# 4	4,75	2,440	97,40	2,72	# 4	2,402	96,08	3,92	
# 8	2,36	2,479	98,86	1,16	# 8	2,467	98,68	1,32	
# 16	1,15	2,489	99,52	0,48	# 16	2,476	99,04	0,96	
# 30	0,6	2,498	99,60	0,40	# 30	2,483	99,32	0,68	
# 50	0,3	2,499	99,68	0,32	# 50	2,491	99,64	0,36	
#100	0,15	2,495	99,72	0,28	#100	2,492	99,68	0,32	
# 200	0,075	2,493	99,72	0,28	# 200	2,494	99,76	0,24	
<i>Weight of Sample (gr)</i>		2,600			2,550				

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan pada Agregat Kasar ukuran $\frac{3}{4}$ ", sebanyak 100% agregat berhasil lolos saringan berukuran $\frac{3}{4}$ " (19 mm), sedangkan 77,5% agregat tertahan pada saringan berukuran $\frac{1}{2}$ " (12,5 mm). Untuk agregat dengan distribusi ukuran sedang, sebanyak 33% dari total sampel melewati saringan $\frac{3}{8}$ " (9,5 mm) dan 3,3% tertahan pada saringan #4 (4,75 m

b. Agregat Kasar 1/2"

Pengujian saringan Agregat Kasar 1/2" menggunakan material agregat lolos saringan 37,5 – 12,5 mm (1 1/2" – 1/2") dan tertahan pada saringan 9,5 mm (3/8") hingga 0,075 mm (#200). Data hasil pengujian tertera pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4. 8. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar 1/2"

UKURAN SARINGAN <i>SIEVE SIZE</i>		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN <i>SIEVE SIZE</i>		Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS			TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%			Gr	%	%
<i>inch</i>	Mm				<i>inch</i>				
1 1/2"	37,5				1 1/2"				
1"	25,0				1"				
3/4"	19,0				3/4"				
1/2"	12,5	-	-	100,00	1/2"	-	-	-	100,00
3/8"	9,5	509	20,36	79,64	3/8"	570	23,72	76,28	
# 4	4,75	1,775	71,00	29,00	# 4	1,809	71,80	28,20	
# 8	2,36	2,034	81,36	18,64	# 8	1,969	96,08	3,92	
# 16	1,15	2,370	94,80	5,20	# 16	2,364	98,68	1,32	
# 30	0,6	2,441	97,64	2,36	# 30	2,410	99,04	0,96	
# 50	0,3	2,455	98,20	1,80	# 50	2,475	99,32	0,68	
#100	0,15	2,468	98,72	1,28	#100	2,482	99,64	0,36	
# 200	0,075	2,479	99,16	0,84	# 200	2,491	99,68	0,32	
<i>Weight of Sample (gr)</i>		2,500					2,500		

Berdasarkan hasil pengujian analisa saringan pada Agregat Kasar ukuran 1/2", sebanyak 100% agregat berhasil lolos saringan berukuran 1/2" (12,5 mm), sementara 77,00% agregat tertahan pada saringan berukuran 3/8" (9,5 mm). Untuk distribusi agregat ukuran sedang, sebanyak 77,00% dari total sampel melewati saringan 3/8" (9,5 mm) dan 28,6% tertahan pada saringan #4 (4,75 mm).

c. Abu Batu

Pengujian saringan Abu Batu menggunakan material agregat halus lolos saringan 37,5 - 9,5 mm (1 1/2" - 3/8") dan tertahan pada saringan 4,75 mm (4#) hingga 0,075 mm (#200). Data hasil pengujian tertera pada **Tabel 4.9**.

Tabel 4. 9. Hasil Analisa Saringan Abu Batu

UKURAN SARINGAN <i>SIEVE SIZE</i>		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN <i>SIEVE SIZE</i>		Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS			TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%			Gr	%	%
<i>inch</i>	Mm				<i>inch</i>				
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	-	-	100,00	# 4	-	-	-	100,00
# 8	2,36	124,1	24,82	75,18	# 8	109,9	21,98	78,02	
# 16	1,15	276,3	55,26	44,74	# 16	253,5	50,70	49,30	
# 30	0,6	329,5	65,90	34,10	# 30	321,8	64,36	35,64	
# 50	0,3	376,7	75,34	24,66	# 50	368,6	73,72	26,28	
#100	0,15	418,6	83,72	16,28	#100	403,6	80,72	19,28	
# 200	0,075	469,3	93,86	6,14	# 200	455,9	91,18	8,82	
<i>Weight of Sample (gr)</i>		500					500		

Pada pengujian analisa saringan Abu Batu yang telah dilakukan, terdapat sebanyak 100% agregat lolos saringan 1/2" (12,5 mm) dan sebanyak 100% tertahan pada saringan 3/8" (9,5 mm). Untuk distribusi agregat medium, terdapat sejumlah 100% bagian jumlah sampel lolos saringan #4 (4,75 mm) dan sebanyak 76,9% tertahan saringan #8 (2,36 mm). Sedangkan untuk distribusi agregat halus tersebar di setiap ukuran saringan.

d. Pasir

Pengujian saringan Pasir menggunakan material agregat halus yang lolos saringan 37,0 – 0,6 mm (1 1/2" – #30) dan tertahan pada saringan 0,3 mm (50#) hingga 0,075 mm (#200). Data hasil pengujian tertera pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4. 10. Hasil Analisa Saringan Pasir

UKURAN SARINGAN <i>SIEVE SIZE</i>		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN <i>SIEVE SIZE</i>		Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS			TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%			Gr	%	%
<i>inch</i>	Mm				<i>inch</i>				
11/2"	37,5				11/2"				
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				# 4				
# 8	2,36				# 8				
# 16	1,15				# 16				
# 30	0,6	-	-	100,00	# 30	-	-	-	100,00
# 50	0,3	301,6	60,32	39,68	# 50	297,8	59,56	40,44	
#100	0,15	421,3	84,26	15,74	#100	439,5	87,90	12,10	
# 200	0,075	475,4	95,08	4,92	# 200	461,7	92,34	7,66	
<i>Weight of Sample (gr)</i>		500					500		

Berdasarkan pengujian analisa saringan Pasir yang telah dilakukan, terdapat sebanyak 100% agregat lolos saringan #30 (0,6 mm) dan sebanyak 40,00% tertahan pada saringan #50 (0,3 mm). Untuk distribusi agregat medium, terdapat sebanyak 100% dari total sampel lolos saringan #30 (0,6 mm) dan sebanyak 40,06% tertahan saringan #50 (0,3 mm). Sedangkan untuk distribusi agregat halus tersebar di setiap ukuran saringan.

e. *Filler* (Semen)

Pengujian saringan *Filler* menggunakan material semen *portland* lolos saringan 2,36 – 0,15 mm (#8 - #100) dan tertahan pada saringan 0,075 mm (#200). Data hasil pengujian tertera pada **Tabel 4.11**.

Tabel 4. 11. Hasil Analisa Saringan *Filler* (Semen)

UKURAN SARINGAN <i>SIEVE SIZE</i>		Percobaan 01			UKURAN SARINGAN <i>SIEVE SIZE</i>		Percobaan 02		
		TERTAHAN		LOLOS			TERTAHAN		LOLOS
		gr	%	%			Gr	%	%
<i>inch</i>	mm				<i>inch</i>				
11/2"	37,5				11/2"				
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				# 4				
# 8	2,36	-	-	100	# 8	-	-	-	100
# 16	1,15	-	-	100	# 16	-	-	-	100
# 30	0,6	-	-	100	# 30	-	-	-	100
# 50	0,3	-	-	100	# 50	-	-	-	100
#100	0,15	-	-	100	#100	-	-	-	100
# 200	0,075	1,5	1,63	98,37	# 200	1,1	1,10	98,90	
<i>Weight of Sample (gr)</i>		94					98.8		

Berdasarkan pengujian analisa saringan *Filler* (Semen) yang telah dilakukan, terdapat sebanyak 100% agregat halus lolos di setiap ukuran saringan dengan pengecualian saringan #200 yang menahan sebanyak 98,64%.



Gambar 4. 4. Alat Saringan Sieve

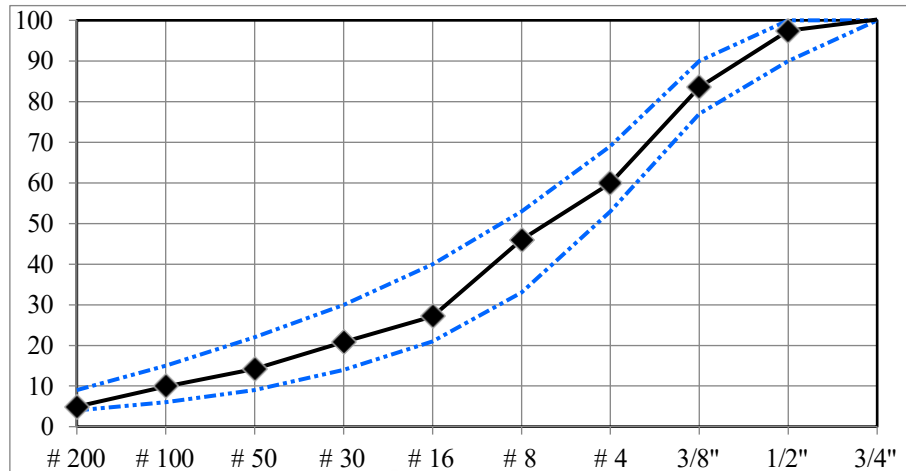
Rekapitulasi Analisa Saringan terdiri dari hasil Agregat Kasar ¾", Agregat Kasar ½", Abu Batu, Pasir, dan *Filler* (Semen) yang selanjutnya akan digunakan sebagai kombinasi agregat pada campuran aspal. Detail rekapitulasi tertera pada **Tabel 4.12**, yang dilakukan pengujian 2 percobaan menggunakan rekapitulasi yang telah di uji dengan sesuia saringan *sieve*.

Tabel 4. 12. Rekapitulasi Analisa Saringan

Uraian												
Inch		1"	¾"	½"	3/8"	# 4	# 8	# 16	# 30	# 50	# 100	# 200
Mm		25	19	12.7	9.5	4.75	2.36	1.18	0.6	0.3	0.15	0.075
Data Material												
Batu Pecah Max ¾'		100.00	100.00	77.50	32.98	3.32	1.24	0.72	0.54	0.54	0.30	0.26
Batu Pecah Max ½'		100.00	100.00	100.00	78.42	28.32	19.94	5.32	2.98	1.40	1.00	0.60
Abu Batu		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	76.60	47.02	34.87	25.47	17.78	7.48
Pasir		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	40.06	13.92	6.29
Filler Semen		100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	98.64
Batu Pecah Max ¾'	12.0%	12.00	12.00	9.20	3.96	0.30	0.15	0.09	0.06	0.06	0.04	0.03
Batu Pecah Max ½'	40.0%	40.00	40.00	40.00	31.40	11.33	7.98	2.13	1.19	0.56	0.40	0.24
Abu Batu	44.0%	44.00	44.00	44.00	44.00	44.00	33.70	20.69	15.34	11.21	7.82	3.29
Pasir	3.0%	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	1.20	0.42	0.19
Filler Semen	1.2%	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.18
Total Campuran	100%	100.20	100.20	97.50	83.52	59.93	46.03	27.10	20.80	14.23	9.88	4.93
Spesifikasi Gradasi												
Max		100	100	100	90	69	53	40	30	22	15	9
Min		100	100	90	77	53	33	21	14	9	6	4
Toleransi Komposisi												
Max		100.00		100.00	88.50	66.00	46.00	33.50	25.00	18.50	12.50	7.50
Min		95.00		90.00	78.50	56.00	40.00	27.50	19.00	12.50	8.50	5.50
Luas Permukaan Agregat	:	5.7 8										

Menurut Pusjatan (2019), semua elemen perkerasan jalan memerlukan partikel agregat dengan ukuran dan persentase tertentu sesuai dengan setiap rentang ukuran partikelnya. Penyebaran variasi ukuran partikel agregat ini dikenal sebagai distribusi ukuran partikel agregat. Grafik yang menunjukkan kombinasi

gradasi agregat dapat dilihat pada **Gambar 4.5.**



Gambar 4. 5. Kombinasi Agregat

4.3.2.1 Pengujian Berat Jenis

Pemeriksaan ini dilakukan untuk dapat menentukan Berat Jenis (*Bulk*), Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*Saturated Surface Dry*), Berat Jenis Semu (*Apparent*) dan Penyerapan (*Absorption*) dari agregat kasar dan agregat halus. Detail lebih lanjut tertera pada **Tabel 4.13. – Tabel 4.17.**

a. Agregat Kasar

Perhitungan Berat Jenis Agregat Kasar ¾" dilakukan 2x percobaan sebagai pembandingan, lalu akan dibuat rata-rata dari kedua hasil tersebut. Detail perhitungan dapat dilihat di bawah.

Tabel 4. 13. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar ¾"

Nomor Contoh			1	2	Rata-rata
Berat Contoh Kering Oven	A	gram	2,000	2,000	
Berat Contoh Kering Permukaan	B	gram	2,040	2,037	
Berat Contoh Dalam Air	C	gram	1,340	1,262	2.581
Berat Jenis Bulk (<i>Oven – Dry Basis</i>)	$\frac{A - B}{C}$	gr / cc	2,857	2.599	
Berat Jenis SSD (<i>Saturated Surface – Dry Basis</i>)	$\frac{B}{B - C}$	gr / cc	2.622	2.628	2.625
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{A}{A - C}$	gr / cc	2.692	2.710	
Penyerapan	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	gr / cc	1.600	1.850	1.725

Hasil pengujian Berat Jenis Agregat Kasar $\frac{3}{4}$ " pada **Tabel 4.13.** didapatkan Berat Jenis (*Bulk*) sebesar 2,581 gr/cc, Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*Saturated Surface Dry*) sebesar 2,625 gr/cc, Berat Jenis Semu (*Apparent*) sebesar 2,701 gr/cc dan Penyerapan (*Absorption*) sebesar 1,725 gr/cc.

Perhitungan Berat Jenis Agregat Kasar $\frac{1}{2}$ " dilakukan 2x percobaan sebagai pembandingan, lalu akan dibuat rata-rata dari kedua hasil tersebut. Detail perhitungan dapat dilihat di bawah.

Tabel 4. 14. Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar $\frac{1}{2}$ "

Nomor Contoh			1	2	Rata-rata
Berat Contoh Kering Oven	A	gram	2,000	2,000	
Berat Contoh Kering Permukaan	B	gram	2,024	2,026	
Berat Contoh Dalam Air	C	gram	1,235	1,233	
Berat Jenis Bulk (<i>Oven – Dry Basis</i>)	$\frac{A}{B - C}$	gr / cc	2.535	2.522	2.529
Berat Jenis SSD (<i>Saturated Surface – Dry Basis</i>)	$\frac{B}{B - C}$	gr / cc	2.565	2.555	2.560
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{A}{A - C}$	gr / cc	2.614	2.608	2.611
Penyerapan	$\frac{(B - A) \times 100}{A}$	gr / cc	1.200	1.300	1.250

Hasil pengujian Berat Jenis Agregat Kasar $\frac{1}{2}$ " pada **Tabel 4.14.** didapatkan Berat Jenis (*Bulk*) sebesar 2,529 gr/cc, Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*Saturated Surface Dry*) sebesar 2,560 gr/cc, Berat Jenis Semu (*Apparent*) sebesar 2,611 gr/cc dan Penyerapan (*Absorption*) sebesar 1,250 gr/cc.

b. Agregat Halus

Perhitungan Berat Jenis Abu Batu dilakukan 2x percobaan sebagai pembandingan, lalu akan dibuat rata-rata dari kedua hasil tersebut. Detail perhitungan dapat dilihat di bawah.

Tabel 4. 15. Hasil Pengujian Berat Jenis Abu Batu

Nomor Contoh			1	2	Rata-rata
Contoh Kering Oven	A	gram	485.8	488.6	
Piknometer + Air	B	gram	670	670.8	
Piknometer + Air + Contoh	C	gram	985	985.8	
Berat benda uji SSD	D	gram	500	500	2.634
Berat Jenis <i>Bulk</i> (<i>Oven – Dry Basis</i>)	$\frac{A}{B + D - C}$	gr / cc	2.626	2.641	
Berat Jenis SSD (<i>Saturated Surface – Dry Basis</i>)	$\frac{D}{B + D - C}$	gr / cc	2.703	2.703	
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{A}{D + B - C}$	gr / cc	2.844	2.815	
Penyerapan	$\frac{(D - A) \times 100}{A}$	gr / cc	2.923	2.333	2.628

Hasil pengujian Berat Jenis Abu Batu pada **Tabel 4.15.** didapatkan Berat Jenis (*Bulk*) sebesar 2,634 gr/cc, Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*Saturated Surface Dry*) sebesar 2,703 gr/cc, Berat Jenis Semu (*Apparent*) sebesar 2,830 gr/cc dan Penyerapan (*Absorption*) sebesar 2,628 gr/cc.

Perhitungan Berat Jenis Pasir dilakukan 2x percobaan sebagai pembanding, lalu akan dibuat rata-rata dari kedua hasil tersebut. Detail perhitungan dapat dilihat di bawah.

Tabel 4. 16. Hasil Pengujian Berat Jenis Pasir

Nomor Contoh			1	2	Rata-rata
Contoh Kering Oven	A	gram	485.8	488.6	
Piknometer + Air	B	gram	669.8	668.1	
Piknometer + Air + Contoh	C	gram	968.8	968.8	
Berat benda uji SSD	D	gram	500	500	2.434
Berat Jenis <i>Bulk</i> (<i>Oven – Dry Basis</i>)	$\frac{A}{B + D - C}$	gr / cc	2.417	2.452	
Berat Jenis SSD (<i>Saturated Surface – Dry Basis</i>)	$\frac{D}{B + D - C}$	gr / cc	2.488	2.509	
Berat Jenis Semu (<i>Apparent</i>)	$\frac{A}{D + B - C}$	gr / cc	2.601	2.6	
Penyerapan	$\frac{(D - A) \times 100}{A}$	gr / cc	2.923	2.333	2.628

Hasil pengujian Berat Jenis Pasir pada **Tabel 4.16.** didapatkan Berat Jenis (*Bulk*) sebesar 2,434 gr/cc, Berat Jenis Kering Permukaan Jenuh (*Saturated Surface*

Dry) sebesar 2,498 gr/cc, Berat Jenis Semu (*Apparent*) sebesar 2,601 gr/cc dan Penyerapan (*Absorption*) sebesar 2,628 gr/cc.

4.3.2.2 Pengujian Kelekatan Agregat

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, kelekatan aspal memenuhi syarat kelekatan minimal agregat terhadap aspal yaitu 98% memenuhi syarat SNI $\geq 95\%$ (SNI 2439-2011).

4.3.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Material

Setelah dilakukan berbagai macam pengujian material yang didapat dari Tabel 4.6.

– Tabel 4.16. maka dapat dilihat rekapitulasi hasil pada tabel di bawah.

Tabel 4. 17. 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%	6,104%	Memenuhi
2	Kelekatan agregat terhadap Aspal Karet Alam Padat	SNI-03-2439-2011	Min. 95%	98%	Memenuhi
3	Material lolos saringan no. 200	ASTM C117:2012	Maks. 1%	0,8%	Memenuhi
4	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat kasar 3/4 b. Agregat kasar 1/2	SNI-03-1969-1990	Maks. 3%	1,725% 1,250%	Memenuhi
6	Berat Jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>) a. Agregat Kasar 3/4 b. Agregat Kasar 1/2	SNI-03-1969-1990	Min. 2,5%	2,625% 2,560%	Memenuhi
B	Agregat Halus				
1	Material lolos saringan no. 200	SNI-03-1969-1990	Maks. 15%	10,56%	Memenuhi
2	Penyerapan air oleh agregat a. Agregat Halus (Pasir) b. Agregat Halus (Abu Batu)	SNI-03-1969-1990	Maks. 3%	2,628% 2,628%	Memenuhi
3	Berat Jenis (<i>Bulk Specific Gravity</i>) a. Agregat Halus (Pasir) b. Agregat Halus (Abu Batu)	SNI-03-1969-1990	Min. 2,5	2,435% 2,634%	Memenuhi

4.3.3.1 Pengujian Titik Bakar dan Titik Nyala

Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal dilakukan untuk memperkirakan suhu maksimum pemanasan aspal agar tidak terbakar. Pengujian ini menggunakan alat *Cleveland Open Cup*.

Tabel 4. 18. Hasil Titik Bakar dan Titik Nyala

Contoh dipanaskan	Mulai: Pukul 14.30 Selesai: Pukul 15.00	
Pemeriksaan Titik Nyala	Benda Uji	
Pengamatan ke:	Titik Nyala	Titik Bakar
1	352	370
2		

Dari data hasil pengujian didapatkan suhu titik nyala 352°C dan titik bakar 365°C Temperatur titik nyala dan bakar memenuhi syarat, yakni lebih besar dari syarat minimum $\geq 230^{\circ}\text{C}$ (SNI 2433-2011).

4.3.3.2 Pengujian Daktilitas

Daktilitas aspal adalah nilai keelastisitasan aspal yang diukur berdasarkan jarak maksimum yang mampu ditarik antara 2 *mold* yang diisi aspal keras sampai aspal tersebut ingin putus. Hasil pengujian tertera pada **Tabel 4.19**.

Tabel 4. 19. Hasil Pengujian Daktilitas

Didiamkan pada Suhu Ruang	Mulai: Pukul 09.00 Selesai: Pukul 10.00	
Direndam pada 25°C	Mulai: Pukul 10.05 Selesai: Pukul 11.00	
Pemeriksaan Daktilitas pada 25°C	Mulai: Pukul 11.05 Selesai: Pukul 12.00	
Daktilitas pada 25°C 5 cm per menit	Kode Benda Uji	
Pengamatan ke:	I	II
1	60,5	62,5
2		
Rata – Rata	61,5	

Berdasarkan hasil pengujian yang sudah dilakukan, nilai daktilitas aspal memenuhi ketentuan karena didapatkan nilai 61,5 sedangkan syarat (SNI 2432-2011) adalah > 25 cm.

4.3.4 Rekapitulasi Pengujian Aspal

Setelah dilakukan berbagai macam pengujian material yang didapat dari **Tabel 4.18. – Tabel 4.19.** maka dapat dilihat rekapitulasi hasil pada tabel di bawah.

Tabel 4. 20. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pen 60/70

Pengujian	Spesifikasi	Hasil
Pengujian Sifat Fisik Aspal		
Titik Lembek	SNI 2434:2011	61
Titik Bakar	SNI 2433:2011	365
Titik Nyala	SNI 2433:2011	355
Berat Jenis Aspal	SNI 2441:2011	1,02
Penetrasi	SNI 2456:2011	46,7
Daktilitas	SNI 2432-2011	57,60

4.4 Hasil Pengujian Kadar Aspal Normal

Setelah melakukan proses persiapan sampel dan pelaksanaan pengujian laboratorium, tahap selanjutnya adalah menganalisis hasil yang diperoleh. Tujuan utama dari pengujian kadar aspal normal adalah untuk dapat mendapatkan persentase kadar aspal optimum yang nantinya diaplikasikan pada campuran aspal modifikasi dan untuk menentukan apakah kandungan aspal dalam campuran telah sesuai dengan perencanaan awal.



Gambar 4. 6. Benda Uji KAO

4.4.1 Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM)

Gravity Maximum of Mixed (GMM) merupakan berat jenis maksimum dari aspal beton tanpa rongga. Berat jenis maksimum campuran aspal ditentukan dengan mengukur berat dan kandungan sampel uji dengan udara di antara partikel sampel uji yang dihilangkan dengan vakum. Pemeriksaan berat jenis campuran aspal normal ada 5 variasi kadar aspal yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6% dengan benda uji *Gravity Maximum of Mixed* (GMM) sebanyak 2 buah benda uji.

Tabel 4. 21. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Maksimum Campuran Aspal Normal

Contoh dipanaskan	mulai :	8.30	Temperatu	150	°C
	selesai :	10.00			
Didiamkan pada temperatur	mulai :	10.00			
	selesai :	10.45			
Direndam pada temperatur	mulai :	10.45	Temperatu	25	°C
	selesai :	11.15			
Nomor contoh					
Nomor piknometer					
Berat piknometer + aspal	65.87	gram	63.5		gram
Berat piknometer	27.16	gram	27.16		gram
Berat aspal (a)	39.7	gram	36.5		gram
Berat piknometer + air	78.54	gram	77.420		gram
Berat piknometer	27.16	gram	27.16		gram
Berat aspal air (b)	88.9	gram	85.4		gram
Berat piknometer + aspal + a	117.25	gram	113.76		gram
Berat piknometer + aspal	65.87	gram	63.5		gram
Berat air (c)	51.38	gram	50.5		gram
Isi Aspal (b - c)	37.520	ml	34.9		gram
Berat Jenis = berat aspal / isi	1.058	gram/ml			
Berat Jenis II = berat aspal / i	1.046	gram/ml			
Rata - Rata	1.052	gram/ml			

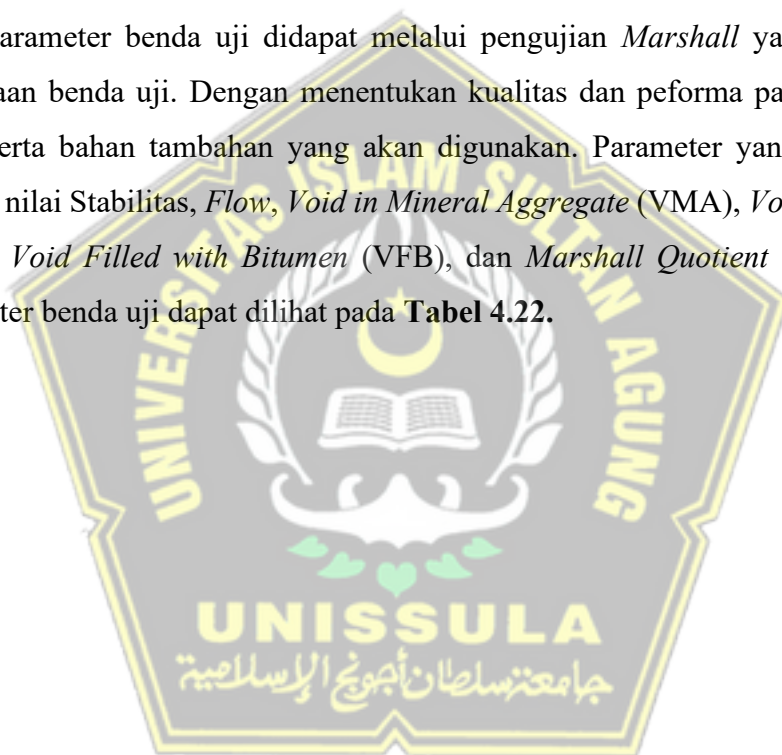
Berdasarkan **Tabel 4.21.** pemeriksaan berat jenis maksimum campuran aspal normal dengan variasi 5 kadar aspal 4%, 4,5%, 5%, 5,5% dan 6% didapatkan hasil rata-rata sebesar 2,364 gr/cc.



Gambar 4. 7. Pengujian GMM

4.4.2 Hasil Pengujian Marshall

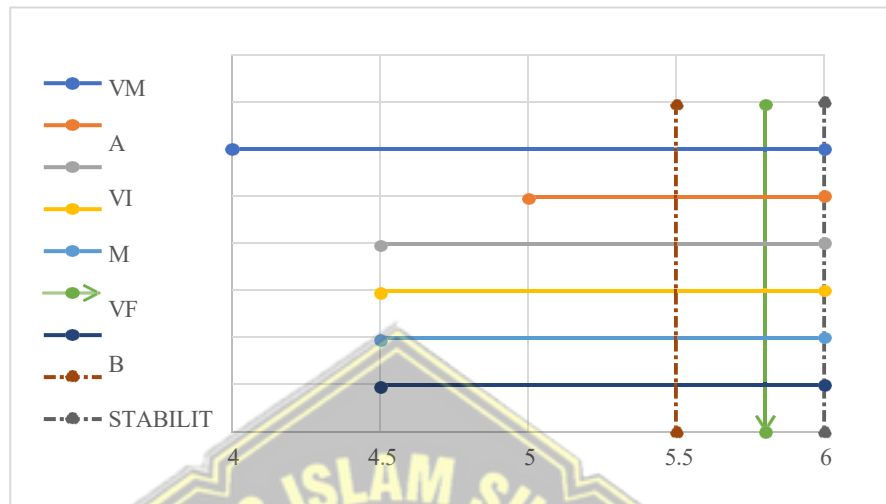
Nilai parameter benda uji didapat melalui pengujian *Marshall* yang dari hasil percobaan benda uji. Dengan menentukan kualitas dan peforma pada campuran aspal serta bahan tambahan yang akan digunakan. Parameter yang didapatkan dengan nilai Stabilitas, *Flow*, *Void in Mineral Aggregate* (VMA), *Void in The Mix* (VIM), *Void Filled with Bitumen* (VFB), dan *Marshall Quotient* (MQ). Detail parameter benda uji dapat dilihat pada **Tabel 4.22**.



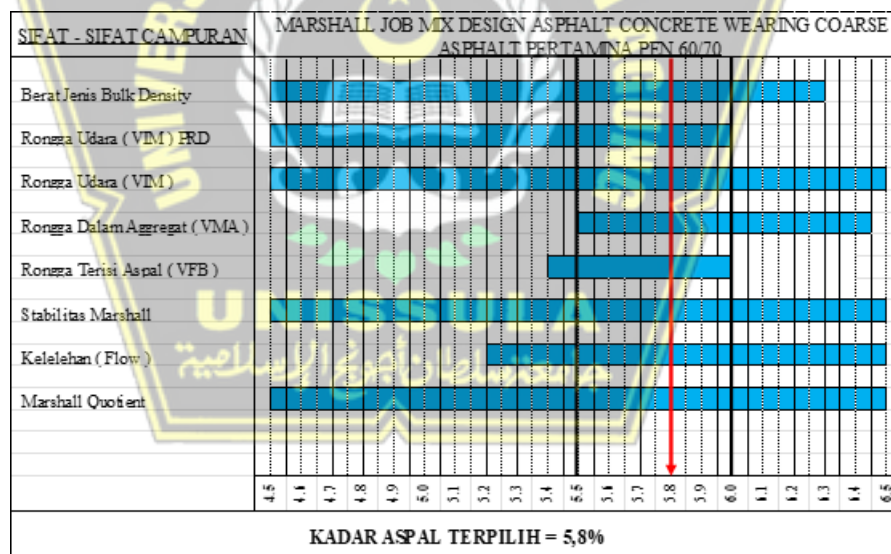
Tabel 4. 22. Data Hasil Pemeriksaan Marshall Kadar Normal

Pengujian (Komposisi Normal)															
No Benda Uji	Kadar Aspal	Berat di Udara	Berat dlm Air	Berat SSD	Volume/ Isi	BJ.Bulk Campuran	BJ.Maks Kombinasi Camp. Agg	% Rongga di Antara Agg.(VMA)	% Rongga dalam Camp(VIM)	% Rongga Terisi Aspal(VFB)	Stabilitas			Kelelahan Plastis (Flow)	Marshall Quotient (MQ)
											Dibaca Arioji	Angka Korelasi	Di sesuaikan		
	b	c	d	e	F	g	h	i	j	k	L	m	N	o	p
	% Berat Total Campuran	Data Timbang	Data Timbang	Data Timbang	e - d	c / f	GMM	$100 - \frac{(100 - b)g}{Gsb}$	$100 - \frac{(100 * g)h}{h}$	$100 \frac{(i - j)}{i}$			1 x m x Kalibrasi Proving Ring		n / o
	(%)	(gr)	(gr)	(gr)				(%)	(%)	(%)	(strip)		(kg)	(mm)	(kg/mm)
Benda Uji 1	4.0%	1172.3	654.4	1177.8	523.4	2.240	2.416	16.68	7.29	56.27	76.65	0.96	735.84	2.80	262.80
Benda Uji 2	4.0%	1153.7	647.3	1160.5	513.2	2.248	2.416	16.37	6.95	57.54	67.92	1.00	679.20	3.10	219.10
Benda Uji 3	4.0%	1164.9	649.5	1170.2	520.7	2.237	2.416	16.77	7.40	55.85	81.23	0.78	633.59	2.75	230.40
Rata-rata	4.0%					2.242	2.416	16.61	7.21	56.57	75.27	0.91	682.88	2.88	236.84
Benda Uji 1	4.5%	1178.7	660.3	1184.8	524.5	2.247	2.378	16.40	5.45	66.57	88.31	1.07	944.92	3.25	290.74
Benda Uji 2	4.5%	1161.6	650.2	1167.7	517.5	2.245	2.378	16.50	5.59	66.09	89.40	1.10	983.40	3.40	289.24
Benda Uji 3	4.5%	1174.0	655.2	1179.4	524.2	2.240	2.378	16.69	5.81	65.20	94.80	0.99	938.52	3.60	260.70
Rata-rata	4.5%					2.244	2.378	16.53	5.63	65.96	90.84	1.05	955.61	3.42	279.69
Benda Uji 1	5.0%	1174.2	654.4	1177.0	522.6	2.247	2.346	16.42	4.21	74.34	93.20	1.16	1081.12	3.75	288.30
Benda Uji 2	5.0%	1181.4	659.6	1183.2	523.6	2.256	2.346	16.07	3.81	76.29	94.00	1.10	1034.00	3.70	279.46
Benda Uji 3	5.0%	1185.2	655.2	1186.8	531.6	2.229	2.346	17.07	4.95	70.93	94.50	1.01	954.45	3.60	265.13
Rata-rata	5.0%					2.244	2.346	16.52	4.33	73.87	93.90	1.09	1023.19	3.68	277.79
Benda Uji 1	5.5%	1175.2	653.6	1180.0	526.4	2.233	2.338	16.96	4.52	73.33	108.37	1.07	1159.56	3.65	317.69
Benda Uji 2	5.5%	1178.4	653.7	1180.2	526.5	2.238	2.338	16.75	4.28	74.44	110.69	0.99	1095.83	3.80	288.38
Benda Uji 3	5.5%	1180.8	659.2	1184.4	525.2	2.248	2.338	16.37	3.85	76.50	108.43	0.78	845.75	3.70	228.58
Rata-rata	5.5%					2.240	2.338	16.69	4.22	74.76	109.16	0.95	1033.71	3.72	278.13
Benda Uji 1	6.0%	1156.5	648.5	1162.4	513.9	2.250	2.341	16.30	3.89	76.15	99.30	0.99	985.05	3.90	252.58
Benda Uji 2	6.0%	1159.3	649.8	1164.3	514.5	2.253	2.341	16.19	3.77	76.73	100.00	1.00	1000.00	3.75	266.67
Benda Uji 3	6.0%	1162.7	651.0	1167.7	516.7	2.250	2.341	16.30	3.90	76.11	97.00	0.96	931.20	3.65	255.12
Rata-rata	6.0%					2.251	2.341	16.26	3.85	76.33	98.83	0.98	972.08	3.77	258.08

Dari sifat-sifat campuran yang dibuat pada uji *Marshall* yang diuraikan di atas, maka kadar aspal optimum dapat ditentukan, untuk hasil dapat dilihat sebagai berikut:

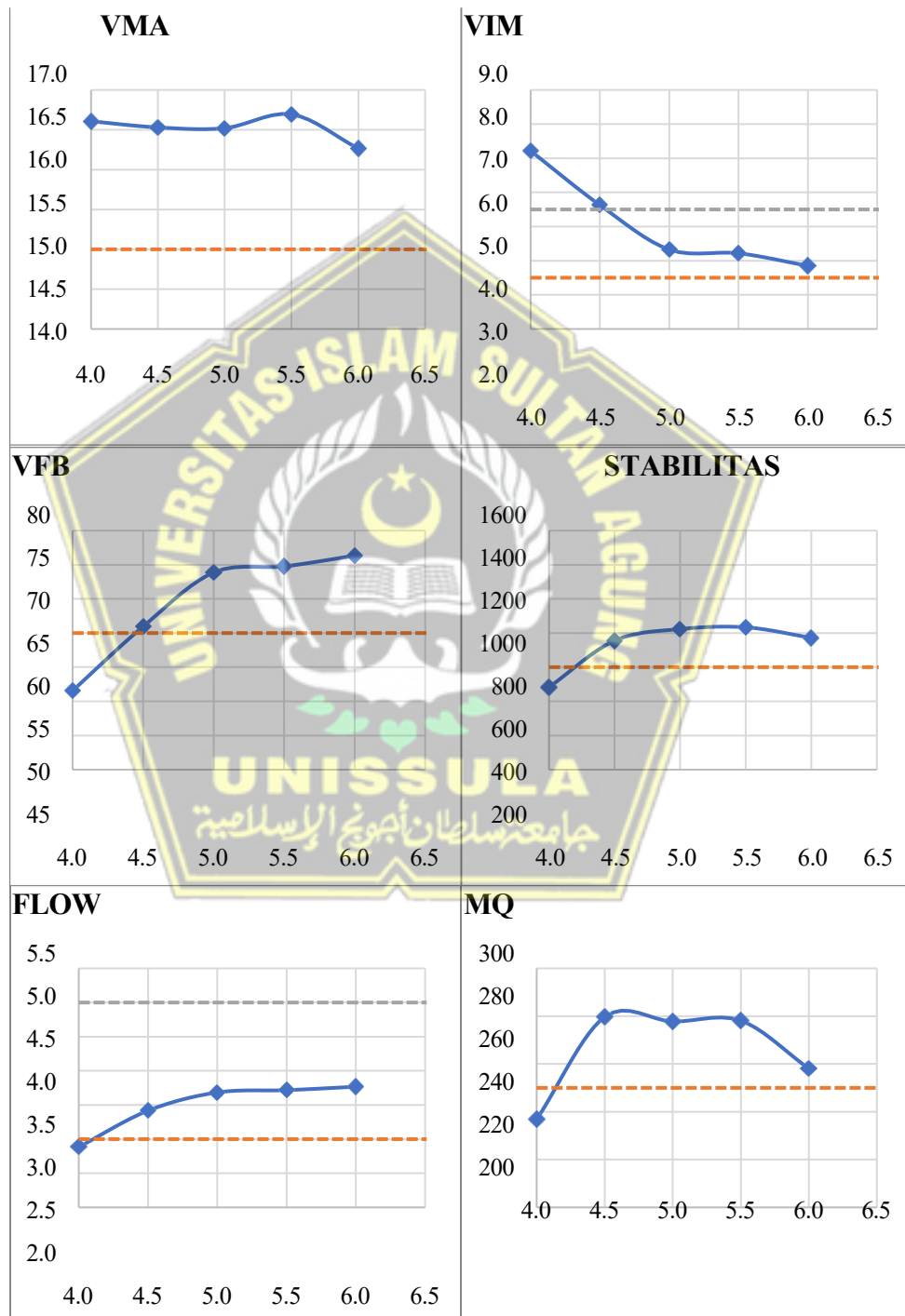


Gambar 4. 8. Penentuan Kadar Aspal Optimum



Kadar aspal optimum adalah kadar di mana campuran aspal memenuhi semua persyaratan karakteristik di atas secara simultan, yaitu memenuhi kestabilan maksimum, *flow* sesuai standar, dan nilai VMA, VIM, VFB yang sesuai. Metode ini yang sering digunakan adalah dengan membuat grafik hubungan kadar aspal terhadap masing-masing parameter tersebut, kemudian menentukan rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi. Nilai optimum diambil di tengah rentang

tersebut. Jadi, kadar aspal optimum pada campuran perkerasan jalan menurut Jasa Marga biasanya sekitar 5-7%, dengan mengikuti parameter teknis yang disyaratkan dalam uji *Marshall*. Jika Anda memerlukan grafik spesifik, biasanya tersedia dalam dokumen desain campuran (*Job Mix Formula*) dari laboratorium pengujian atau dokumen teknis Bina Marga



Gambar 4. 9. Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum

Hasil analisis yang ditunjuk pada **Tabel 4.22.** telah ditentukan sesuai dengan spesifikasi Bina Marga dari parameter campuran normal yang ditentukan dalam uji *Marshall* yang disebutkan di atas. Nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk $VMA > 15\%$ pada kadar aspal $4\% - 6\%$, $VFB > 65\%$ pada kadar aspal $4\% - 6\%$ dan $VIM 3,5\% - 5,5\%$ pada kadar aspal $5\% - 6\%$. Berdasarkan hasil analisis *void* serta uji stabilitas dan fleksibilitas yang ditunjukkan pada **Tabel 4.22.**, **Gambar 4.8.**, dan **Gambar 4.9.**, maka kadar aspal optimum yang didapatkan $5,8\%$.

4.5 Ringkasan Hasil Pengujian AC-WC

Setelah mendapatkan presentase dari setiap fraksi agregat dan aspal, maka langkah selanjutnya yaitu menentukan berat material untuk rancangan campuran dengan mempertimbangkan volume cetakan yang tersedia.

- Kadar Aspal = $5,8\%$
- Kapasitas Cetakan = 1200 gr
- Berat Aspal = $5,8\% \times 1200 = 69,6 \text{ gr}$
- Berat Keseluruhan Agregat = $(100 - 5,8)\% \times 1200 = 1130,4 \text{ gr}$
 - Abu Batu = $40\% \times 1200 = 480 \text{ gr}$
 - *Coarse Aggregate* (3/4) = $25\% \times 1200 = 300 \text{ gr}$
 - *Medium Aggregate* (1/2) = $25\% \times 1200 = 300 \text{ gr}$
 - Pasir = $3\% \times 1200 = 36 \text{ gr}$
 - *Filler* = $1,2\% \times 1200 = 14,4 \text{ gr}$

Selanjutnya, untuk komposisi berat aspal dan berat agregat yang digunakan pada penelitian ini tertera pada **Tabel 4.23.**

Tabel 4. 23. Komposisi Material AC-WC

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1,2	14,4
6	Aspal	5,8	69,6
Total		100	1200

4.6 Pembuatan Benda Uji dengan Variasi Kain *Polyester* dan Resin

Polyester

Untuk campuran variasi Kain *Polyester* dan Resin *Polyester* dengan menggunakan kadar aspal 5,8%. Komposisi yang digunakan yaitu Kain *Polyester* dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6% , 8%,9%,10%,14%,15% dan bahan tambahan Resin *Polyester* 0%, 3% , 6%, 9%, 14%, 15%. Masing-masing komposisi dibuat 4 benda uji dengan total benda uji yaitu 48. Detail komposisi dapat dilihat pada Tabel 4.24. – 4.38.

Tabel 4. 24. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 0% dan Resin *Polyester* 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	0	0
8	Resin <i>Polyester</i>	0	0

Tabel 4. 25. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain Polyester	0	0
8	Resin Polyester	0	0

Tabel 4. 26. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 0% dan Resin Polyester 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain Polyester	0	0
8	Resin Polyester	0	0

Tabel 4. 27. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 2%
dan Resin *Polyester* 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	2	1.392
8	Resin <i>Polyester</i>	0	0

Tabel 4. 28. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 0%
dan Resin *Polyester* 3%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	0	0
8	Resin <i>Polyester</i>	3	2.088

Tabel 4. 29. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 4% dan Resin *Polyester* 0%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	4	2.784
8	Resin <i>Polyester</i>	0	0

Tabel 4. 30. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 2% dan Resin *Polyester* 3%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	2	1.392
8	Resin <i>Polyester</i>	3	2.088

Tabel 4. 31. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 0% dan Resin *Polyester* 6%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	6	4.176
8	Resin <i>Polyester</i>	0	0

Tabel 4. 32. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 4% dan Resin *Polyester* 6%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu $\frac{3}{4}$	25	300
3	Agregat Batu $\frac{1}{2}$	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	4	2.784
8	Resin <i>Polyester</i>	6	4.176

Tabel 4. 33. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 6% dan Resin *Polyester* 6%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu 3/4	25	300
3	Agregat Batu 1/2	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	6	4.176
8	Resin <i>Polyester</i>	6	4.176

Tabel 4. 34. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 9% dan Resin *Polyester* 6%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu 3/4	25	300
3	Agregat Batu 1/2	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	9	6.264
8	Resin <i>Polyester</i>	6	4.176

Tabel 4. 35. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 8%
dan Resin *Polyester* 6%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu 3/4	25	300
3	Agregat Batu 1/2	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	8	5.568
8	Resin <i>Polyester</i>	6	4.176

Tabel 4. 36. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain *Polyester* 10%
dan Resin *Polyester* 9%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu 3/4	25	300
3	Agregat Batu 1/2	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain <i>Polyester</i>	10	6.96
8	Resin <i>Polyester</i>	9	6.264

Tabel 4. 37. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 14% dan Resin Polyester 15%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu 3/4	25	300
3	Agregat Batu 1/2	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain Polyester	14	9,744
8	Resin Polyester	15	10.44

Tabel 4. 38. Rancangan Campuran Aspal (*Job Mix Design*) Kain Polyester 15% dan Resin Polyester 14%

No	Komposisi	%	Hasil (gr)
1	Abu Batu	40	480
2	Agregat Batu 3/4	25	300
3	Agregat Batu 1/2	25	300
4	Pasir	3	36
5	<i>Filler</i>	1.2	14.4
6	Aspal	5.8	69.6
Total		100	1200
7	Kain Polyester	15	10.44
8	Resin Polyester	14	9.744



Gambar 4. 10. Benda Uji Variasi Kain *Polyester* dan Resin *Polyester*

4.7 Hasil Pengujian Kadar Aspal Variasi Kain *Polyester* dan Resin *Polyester*

Setelah didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum, selanjutnya benda uji akan dilakukan uji Berat Jenis Maksimum Campuran dan pengujian *Marshall*.

4.7.1 Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM) Variasi Kain *Polyester* 0%, 0%,0%&2% dengan Tambahan Resin *Polyester* 0%

Hasil Pemeriksaan berat jenis campuran variasi Kain *Polyester* 0%, dan 2% dengan bahan campuran Resin *Polyester* 0%,3% yang dilakukan sebanyak 2 kali percobaan benda uji yang masing masing dengan variasi.

Tabel 4. 39 Berat Jenis Maksimum Campuran (GMM) Variasi Kain *Polyester* 0%,2% dengan Resin *Polyester* 0%,3%

No.	modifikasi			Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)									
	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1,508	1,508	1,558	1,558	1,638	1,638	1,608	1,608	1,538	1,538
2	Berat Botol		Grm	858	858	858	858	858	858	858	858	858	858
3	Berat Contoh		Grm	650	650	700	700	780	780	750	750	680	680
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberas		Grm	2299	2300	2450	2442	2472	2480	2380	2368	2425	2419
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)		Grm	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010
6	Berat air		Grm	289	290	440	432	462	470	370	358	415	409
7	Volume contoh		Grm	361	360	260	268	318	310	380	392	265	271
8	Max Specific Gravity (Gmm)		Grm / cc	1.801	1.807	2.694	2.610	2.454	2.518	1.975	1.914	2.568	2.507
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)		Grm / cc	1.801	1.807	2.694	2.610	2.454	2.518	1.975	1.914	2.568	2.507
Rata - rata GMM				1.804		2.652		2.486		1.944		2.538	
Variasi Kadar MODIFIKASI %				KROP1		KROP2		KROP3		KROP4		KROP5	

Berdasarkan pemeriksaan berat jenis maksimum campuran aspal normal dengan variasi Kain *Polyester* 0%,2%,dan dengan Resin *Polyester* 0%,3%.didapatkan hasil rata-rata sebesar 2.285 gram/cc.

4.7.2 Pemeriksaan berat jenis maksimum campuran variasi Kain *Polyester* 4%, 2%, 0%, 4%, 6% dengan Tambahan Resin *Polyester* 0%, 3%, 6%, 6%

Hasil Pemeriksaan berat jenis campuran modifikasi Kain *Polyester* 4%, 2%,0%,4%,6% dengan Tambahan Resin *Polyester* 0% ,3%,6%,6%yang dilakukan sebanyak 2 kali percobaan benda uji yang masing masing dengan varisai detail pada **Tabel.4.40**

Tabel 4. 40 Campuran variasi Kain *Polyester* 4%, 2%, 0%, 6% dengan Tambahan Resin *Polyester* 0% , 3%, 6%, 6%

No.	modifikasi		Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal(GMM)										
	ContohNo:		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
1	BeratBotol+ Contoh		Grm	1,579	1,579	1,518	1,518	1,594	1,594	1,478	1,478	1,533	1,533
2	BeratBotol		Grm	858	858	858	858	858	858	858	858	858	858
3	BeratContoh		Grm	721	721	660	660	735	735	620	620	675	675
4	BeratBotol+ Contoh + Air (batas kaliberasi)		Grm	2440	2437	240	2337	2445	2450	2369	2372	2353	2351
5	Beratbotol+ Air (batas kaliberasi)		Grm	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010
6	Beratair		Grm	430	427	1,770	327	435	440	359	362	343	341
7	Volume contoh		Grm	290	293	2,430	333	300	295	261	258	332	334
8	Max Specific Gravity (Gmm)		Grm/ cc	2.481	2.456	0.272	1.983	2.449	2.492	2.379	2.405	2.034	2.021
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)		Grm/ cc	2.481	2.456	0.272	1.983	2.449	2.492	2.379	2.405	2.034	2.021
Rata - rata GMM				2.469		1.127		2.471		2.392		2.028	
Variasi Kadar MODIFIKASI%				KROP6		KROP7		KROP8		KROP9		KROP10	

Berdasarkan pemeriksaan berat jenis maksimum campuran aspal normal dengan variasi Kain *Polyester* 0%, 2%, 4%, 6% dan dengan Resin *Polyester* 0%,3%6%,6%,6% didapatkan hasil rata-rata sebesar 2.097 gram/cc.

4.7.3 Pemeriksaan berat jenis maksimum campuran variasi Kain *Polyester* 4%, 2%,0%,4%,6% dengan Tambahan Resin *Polyester* 0% ,3%,6%,6%

Hasil Pemeriksaan berat jenis campuran modifikasi Kain *Polyester* 4%, 2%,0%,4%,6% dengan Tambahan Resin *Polyester* 0% ,3%,6%,6% yang dilakukan sebanyak 2 kali percobaan benda uji yang masing masing dengan variasi detail pada **Tabel.4.41**

Tabel 4. 41 Campuran Variasi Kain *Polyester* 4%, 2%,0%,4%,6% dengan Tambahan Resin *Polyester* 0% ,3%,6%,6%

No.	modifikasi			Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM)									
	Contoh No :			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	Berat Botol + Contoh		Grm	1,586	1,586	1,546	1,546	1,573	1,573	1,458	1,458	1,553	1,553
2	Berat Botol		Grm	858	858	858	858	858	858	858	858	858	858
3	Berat Contoh		Grm	728	728	688	688	715	715	600	600	695	695
4	Berat Botol + Contoh + Air (batas kaliberasi)		Grm	2380	2365	2380	2374	2450	2446	2352	2348	2441	2445
5	Berat botol + Air (batas kaliberasi)		Grm	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010	2,010
6	Berat air		Grm	370	355	370	364	440	436	342	339	431	435
7	Volume contoh		Grm	358	373	318	324	275	279	258	261	264	260
8	Max Specific Gravity (Gmm)		Grm / cc	2.035	1.954	2.165	2.125	2.602	2.565	2.327	2.295	2.633	2.675
9	Temperatur air T °C		Grm	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
10	Koreksi suhu		Grm	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	Max Specific Gravity (Gmm)		Grm / cc	2.035	1.954	2.165	2.125	2.602	2.565	2.327	2.295	2.633	2.675
Rata - rata GMM				1.994		2.145		2.583		2.311		2.654	
Variasi Kadar MODIFIKASI %				KROP11		KROP12		KROP13		KROP14		KROP15	

Berdasarkan pemeriksaan berat jenis maksimum campuran aspal normal dengan variasi Kain *Polyester* 0%, 2%, 4%, 6% dan dengan Resin *Polyester* 0%,3%,6%,6%,6% didapatkan hasil rata-rata sebesar 2.338 gram/cc.

4.7.4 Hasil Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan sebanyak 4 sampel benda uji untuk setiap variasi. Dari hasil di atas didapatkan nilai rata-rata untuk variasi dapat direkapitulasi tiap parameter *Marshall* dan perhitungan marsha pada **Tabel 4.42** dan **Tabel 4.43**.

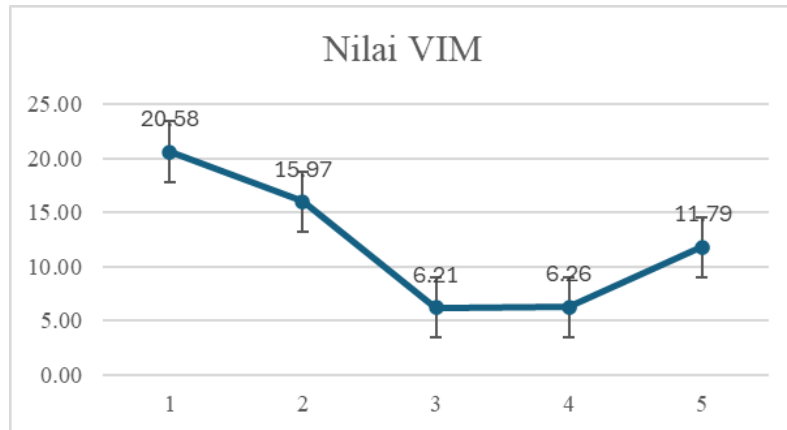
Tabel 4. 42 Perhitungan *Marshall* dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,4%, 6%, 8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%, 9%,14% dan 15%.

KOMPOSISI VARIASI														
BJ Aspal (T)	1.046 BJ Efektif Total Agregat (Gse):					2.628	BJ Total Agg (Gsb) :			3.62122	Kalibrasi Proving Ring			9.89
No benda	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 diantara Agg(VIM)	%Rongga diantara Agg(VFB)	Stabilitas Dibaca Arloji	Angka Sesuaikan	Kelelahan Plastis (Flow)	Kelelahan Plastis (MQ)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	n	o	p
	%Berat Total Campuran	Data Timbang	Data Timbang	Data Timbang			GMM	100 - b/g (100 - b/g	100 - b/j (100 - b/j	100 (i - j) i				m / n
		gr	gr	gr	e-d	c / f		gsb	h		(strip)	kg	(mm)	(kg/mm)
KROP 1(1)	5.8	1103.2	632.4	1121.6	489.2	2.26	1.804	19.16	20.02	4.53	200	1978	7	282.57
KROP 1(2)	5.8	1135.2	653.4	1149.8	496.4	2.29	1.804	18.02	21.13	17.30	180	1780.2	5.4	329.67
						2.27	1.80	18.59	20.58	10.92		1879.10	6.20	306.12
KROP 2(1)	5.8	1138.4	641.4	1159.8	518.4	2.20	2.652	21.27	17.20	19.15	205	2027.45	5.1	397.54
KROP 2 (2)	5.8	1015.2	584.6	1033.6	449	2.26	2.652	18.94	14.75	22.14	140	1384.6	4.2	329.67
						2.23	2.65	20.11	15.97	20.65		1767.84	5.23	340.75
KROP 3(1)	5.8	1197.0	673.2	1224.6	551.4	2.17	2.486	22.18	12.68	42.82	190	1879.1	5.2	361.37
KROP 3(2)	5.8	1167.0	615.4	1083.6	468.2	2.49	2.486	10.64	-0.26	102.44	160	1582.4	5.2	304.31
						2.33	2.49	16.41	6.21	72.63		1653.48	4.96	334.02
KROP 4(1)	5.8	979.4	557.8	1000	442.2	2.21	1.944	20.60	12.21	40.74	160	1582.4	5.3	298.57
KROP 4(2)	5.8	1144.2	656.4	1154.4	498	2.30	1.944	17.63	15.37	12.84	230	2274.7	5.3	429.19
KROP 4 (3)	5.8	1224.8	697.8	1231.6	533.8	2.29	1.944	17.74	15.25	14.03	190	1879.1	8.9	211.13
KROP 4 (4)	5.8	1152.0	663.8	1164.6	500.8	2.30	1.944	17.53	15.47	11.78	190	1879.1	6.2	303.08
						2.28	1.94	18.38	14.57	19.85		1903.83	6.43	310.49
KROP 5(1)	5.8	1184.8	679	1196.6	517.6	2.29	2.538	17.94	9.80	45.38	205	2027.45	9.65	210.10
KROP 5 (2)	5.8	1122.0	638	1134.6	496.6	2.26	2.538	19.00	10.97	42.29	160	1582.4	5.6	282.57
KROP 5 (3)	5.8	1124.2	638.4	1144.2	505.8	2.22	2.538	20.32	12.42	38.90	90	890.1	10.3	86.42
KROP 5 (4)	5.8	1025.2	568.2	1037.8	469.6	2.18	2.538	21.74	13.97	35.72	170	1681.3	5.1	329.67
						2.24	2.54	19.75	11.79	40.57		1545.3	7.66	227.19

Tabel 4. 43 Rekapitulasi Parameter *Marshall* dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%,

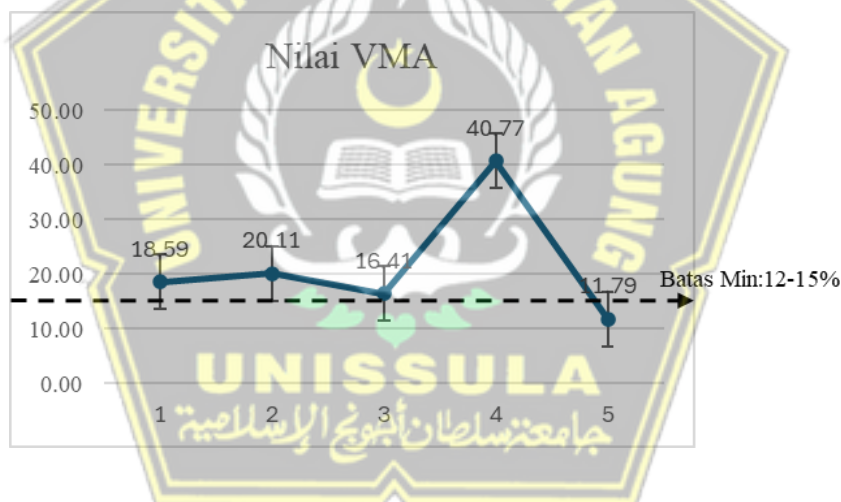
VARIASI	STABILITAS	FLOW	VIM	VMA	VFB	MQ
Kain <i>Polyester</i> 0% Resin <i>Polyester</i> 0% 1	1879.10	6.20	20.58	10.59	-10.92	306.12
Kain <i>Polyester</i> 0% Resin <i>Polyester</i> 0% (2)	17677.84	15.97	15.97		20.65	240.75
Kain <i>Polyester</i> 0% Resin <i>Polyester</i> 0% (3)	1653.40	4.96	6.21	16.41	72.63	334.02
Kain <i>Polyester</i> 2% Resin <i>Polyester</i> 0%	1903.83	6.43	14.57	17.17	14.57	310.49
Kain <i>Polyester</i> 0% Resin <i>Polyester</i> 3%	1545.30	7.66	11.79	19.75	40.57	227.19

Setelah dihitung rata-rata yang tertera pada **Tabel 4.43.**, selanjutnya dapat dibuat grafik parameter *Marshall* yang tertera pada **Grafik 4.12- Grafik 4.17**



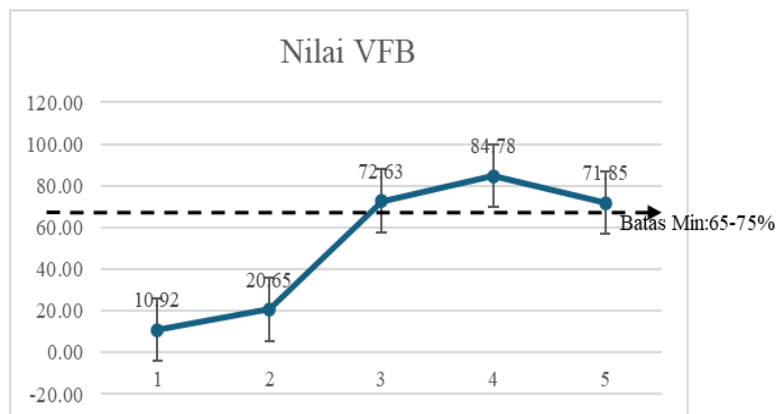
Gambar 4. 11. Nilai VIM Marshal dengan modifikasi Kain Polyester kadar 0%, 2%, untuk Resin Polyester dengan kadar 0%, 3%,

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai VIM harus berada di antara 3 – 5% sehingga hasil perhitungan VIM yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat.



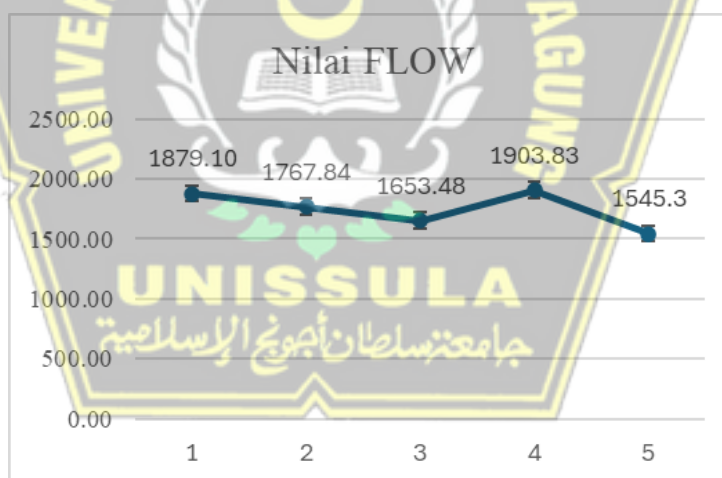
Gambar 4. 12. Nilai VMA Marshal dengan modifikasi Kain Polyester kadar 0%, 2% , untuk Resin Polyester dengan kadar 0%, 3%.

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai VMA campuran aspal normal ideal berada di antara 12,8%-15% Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai VMA ideal berada di antara 12,8%-15%.



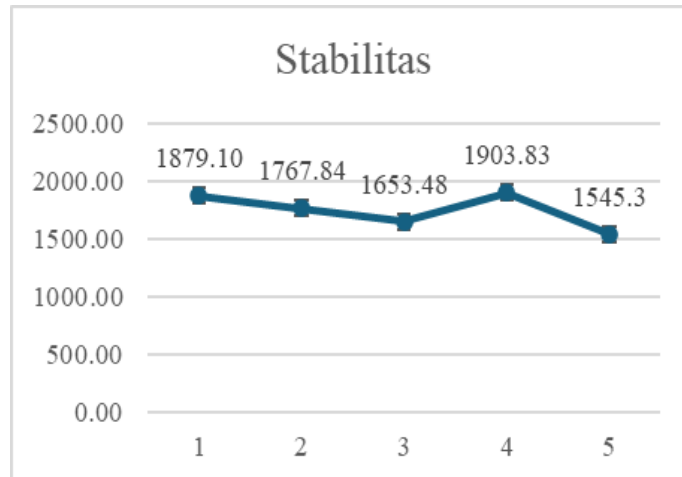
Gambar 4. 13. Nilai *VFB* Marshal dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2% , untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%.

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai *VFB* harus berada di antara 65-75%. sehingga hasil perhitungan *VFB* yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat tersebut dengan Nilai *VFB* tertinggi. Sedangkan Nilai *VFB* terendah.



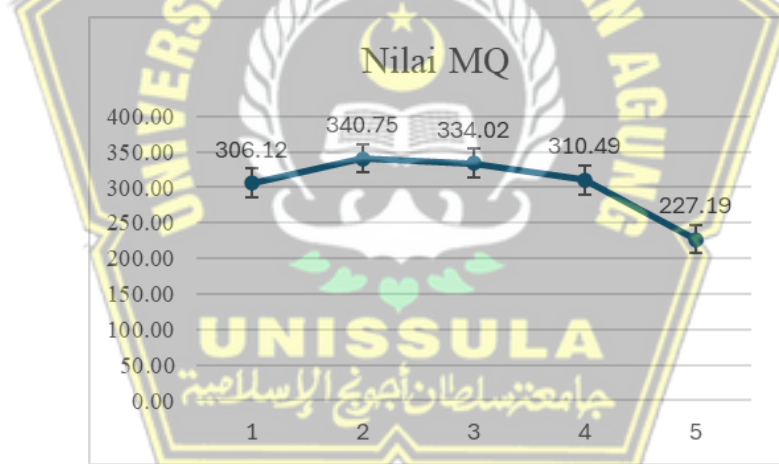
Gambar 4. 14. Nilai *FLOW* Marshal dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2% , untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%.

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai *Flow* berada pada ideal pada 2-4 mm sehingga hasil perhitungan *Flow* yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat tersebut dengan Nilai *Flow* tertinggi berada pada Sedangkan Nilai *Flow* terendah



Gambar 4. 15. Nilai Stabilitas Marshal dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%, untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%.

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai Stabilitas campuran aspal normal ideal tidak boleh kurang dari 800 kg. Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai Stabilitas ideal tidak boleh kurang dari 1000 Kg.



Gambar 4. 16. Nilai MQ Marshal dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%, 4%, untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%.

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai *MQ* campuran aspal normal ideal berada di antara 250kg/mm Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai *MQ* ideal berada di antara 400kg/mm-450kg/mm



Gambar 4. 17. Pengujian *Marshall* Modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,4%, 6%, 8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%, 9%,14% dan 15%.

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan test *Marshall* di atas sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga. Hasil analisa seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.39.** dan grafik pada **Gambar 4.11.** diperoleh nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk VMA >15% pada semua Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,4%, 6%, 8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%, 9%,14% dan 15%.VFB > 65% dan VIM 3,5% - 5,5% pada **Hasil Pengujian *Marshall*.** Pengujian *Marshall* dilakukan sebanyak 4 sampel benda uji untuk masing-masing variasi. Dari hasil tersebut didapatkan nilai rata-rata dapat direkapitulasi tiap parameter *Marshall* pada **Tabel 4.44.**

Tabel 4. 44. Perhitungan *Marshal* dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,4%, 6%, untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%,

KOMPOSISI VARIASI													
BJ Aspal (T)	1.046	BJ Efektif Total Agregat (Gse):				2.628	BJ Total Agg (Gsb) :			3.62122	Kalibrasi Proving Ring		9.89
No benda	Kadar	Berat di udara	Berat dlm air	Berat SSD	Volume Isi	BJ Bulk campuran	BJ.Maks Kombinasi Camp.Agg	%Rongga diantara Agg-(VMA)	%Rongga diantara Agg-(VIM)	%Rongga diantara Agg-(VFB)	Stabilitas Dibaca Arloji	Kelelahan Plastis (Flow)	Kelelahan Quotient (MQ)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	n	o
	%Berat	Data	Data	Data				100 -	100 -	100 (i.j.)			
	Total Campuran	Timbang gr	Timbang gr	Timbang gr			GMM	(100 - b)g	(100*g)	i			m / n
					c-d	c / f		gsb %	h %	%	(strip)	kg	(mm)
KROP 6(1)	5.8	1119.6	626.2	1136.6	510.4	2.19	2.469	21.36	11.15	47.82	150	1483.5	6.8
KROP 6(2)	5.8	1173.2	672.2	1192	519.8	2.26	2.469	41.29	8.58	79.23	240	2373.6	5.4
KROP 6 (3)	5.8	1170.6	670.6	1182.4	511.8	2.29	2.469	40.50	7.35	81.85	150	1483.5	3.6
KROP 6(4)	5.8	1184.4	679.8	1199.2	519.4	2.28	2.469	40.68	7.63	81.24	130	1285.7	3.3
						2.25	2.47	35.96	8.68	72.54		1656.6	4.775
KROP 7(1)	5.8	1073	642.8	1087.4	444.6	2.41	1.127	13.48	53.29	295.28	170	1681.3	6.4
KROP 7(2)	5.8	1051	626.8	1060	433.2	2.43	1.127	36.89	53.53	45.12	90	890.1	5.8
KROP 7 (3)	5.8	11184.4	667.2	1141.8	474.6	23.57	1.127	-22.42	95.22	524.65	125	1236.25	11.3
KROP 7 (4)	5.8	1129.4	674.8	1151.2	476.4	2.37	1.127	38.33	52.44	36.82	100	989	6
						7.69	1.13	16.57	63.62	225.47		1199.16	7.38
KROP 8(1)	5.8	1098.8	631.4	1117.2	485.8	2.26	2.471	18.91	8.45	55.32	150	1483.5	5
KROP 8 (2)	5.8	959.6	548.8	972.4	423.6	2.27	2.471	18.79	8.31	55.78	150	1483.5	7.5
KROP 8 (3)	5.8	1176.2	676.2	1190.8	514.6	2.29	2.471	18.06	7.49	58.55	230	2274.7	10.1
KROP 8 (4)	5.8	1181.6	679.2	1189.4	510.2	2.32	2.471	16.97	6.26	63.12	210	2076.9	8.6
						2.28	2.47	18.18	7.63	58.19		1829.65	7.80
KROP 9(1)	5.8	1133.4	676.8	1150.7	473.9	2.39	2.392	14.26	0.02	99.88	250	2472.5	5.2
KROP 9(2)	5.8	1163.2	692.4	1184.4	492	2.36	2.392	15.24	1.16	92.37	190	1879.1	9.4
KROP 9 (3)	5.8	1114	669.4	1127.4	458	2.43	2.392	12.80	-1.68	113.15	170	1681.3	5.7
KROP 9(4)	5.8	1135.2	698.6	1178.2	479.6	2.37	2.392	15.14	1.05	93.08	175	1730.75	7.7
						2.39	2.39	14.36	0.14	99.62		1940.91	7.00
KROP 10(1)	5.8	1129.2	634.8	1146.2	511.4	2.21	2.028	20.84	8.17	60.80	150	1483.5	11.35
KROP 10(2)	5.8	1117.6	673.4	1189.4	516	2.17	2.028	22.35	6.38	71.45	240	2373.6	5.3
KROP 10 (3)	5.8	1142.6	638.2	1162.8	524.6	2.18	2.028	21.92	6.90	68.50	140	1384.6	8.2
KROP 10 (4)	5.8	1132.2	642.2	1156	513.8	2.20	2.028	21.00	7.98	61.99	135	1335.15	7.7
						2.19	2.03	21.53	7.36	65.68		1644.21	8.14
													230.20

Dimana perhitungan *marshal* diperoleh dari data-data yang dikumpulkan dan dianalisis satu-persatu dengan kadar yang berbeda – beda serta presentase yang berbeda-beda perhitungan sehingga mendapatkan nilai VIM,VMA,VFB, Stabilitas, *Flow*, dan MQ yang berbeda-beda.

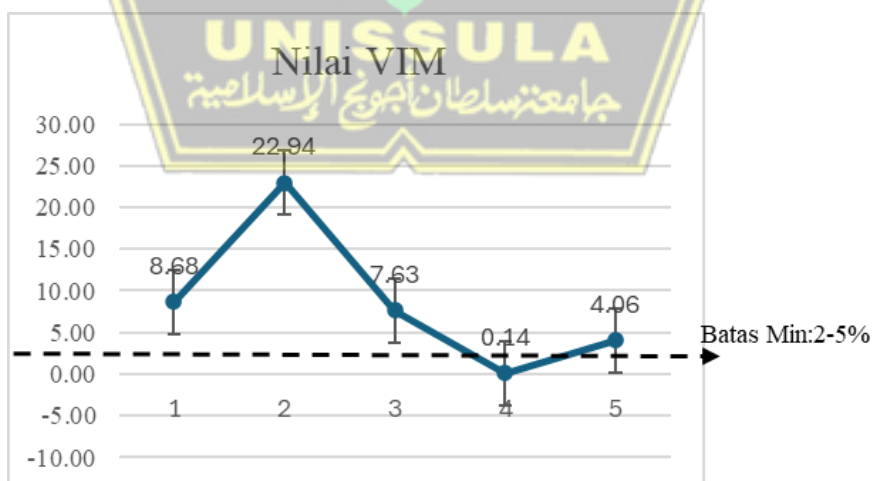
Tabel 4. 45. Rekapitulasi Parameter *Marshall* dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,6% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%

RIASI	STABILITAS	FLOW	VIM	VMA	VFB	MQ
Kain <i>Polyester</i> 2 % Resin	1656.60	7.80	8.68	17.98	51.29	364.85
Kain <i>Polyester</i> 4% Resin <i>Polyester</i> 0%	1199.16	7.38	63.62	-175.98	-185.72	17260.00
Kain <i>Polyester</i> 0% Resin <i>Polyester</i> 6%	1829.65	7.80	7.63	18.18	58.19	240.3
Kain <i>Polyester</i> 4 % Resin	1940.91	7.00	0.14	14.36	99.62	298.78
Kain <i>Polyester</i> 6% Resin	1644.21	8.14	7.36	21.53	65.60	230.20

Hasil analisa seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.44** diperoleh nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk VMA >15% pada semua variasi **Hasil**.

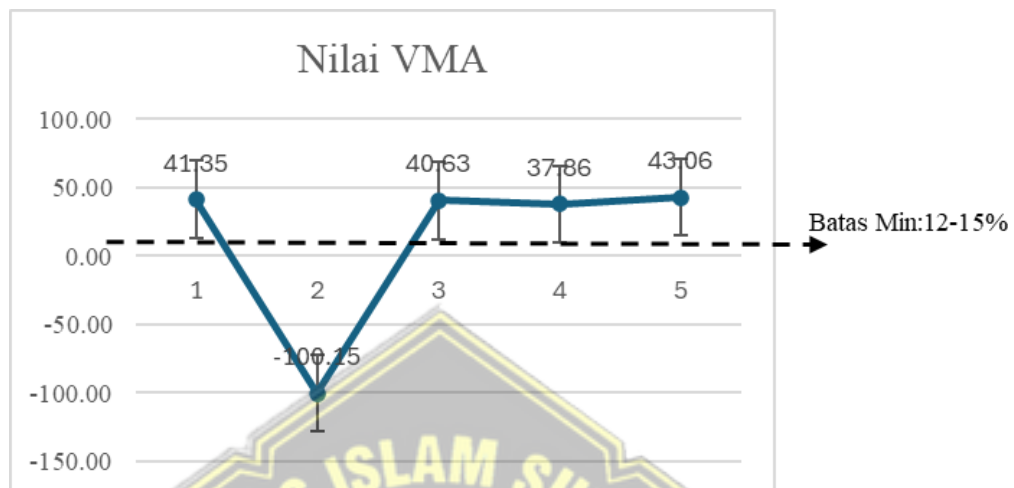
Dari hasil di atas didapatkan nilai rata-rata dapat direkapitulasi tiap parameter *Marshall* pada **Tabel 4.45**.

Setelah dihitung rata-rata yang tertera pada **Tabel 4.45**, selanjutnya dapat dibuat grafik parameter *Marshall* yang tertera pada **Grafik 4.18- Grafik 4.23**



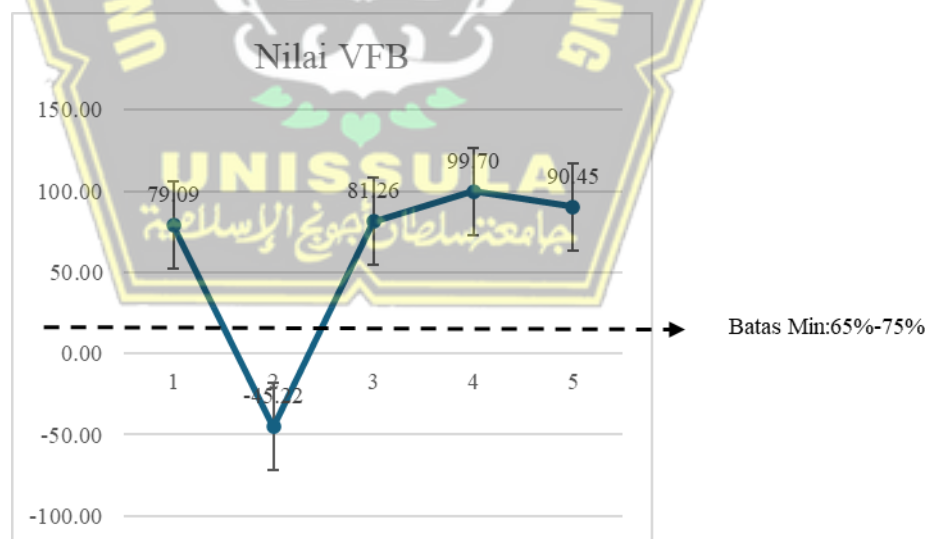
Gambar 4. 18. Nilai VIM *Marshall* dengan modifikasi modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,4%,6% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%.

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai VIM harus berada di antara 3 – 5% sehingga hasil perhitungan VIM yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat.



Gambar 4. 19. Nilai VMA Marshal dengan modifikasi Kain Polyester kadar 0%, 2%, 4%, 6% untuk Resin Polyester dengan kadar 0%, 3%, 6%.

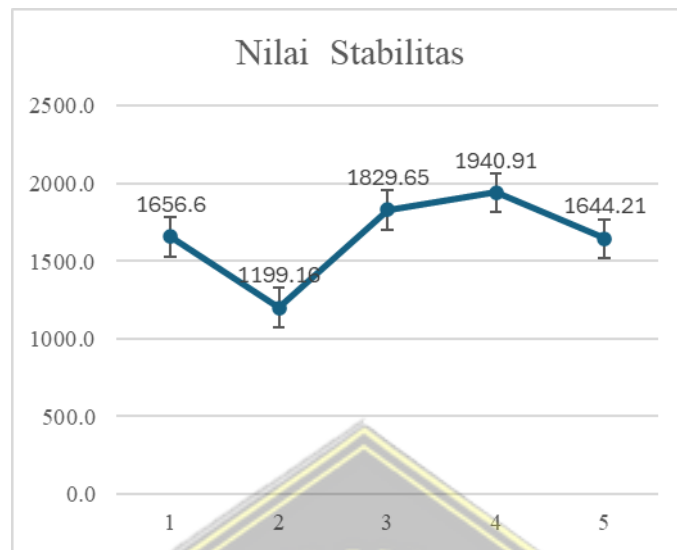
Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai VMA campuran aspal normal ideal berada di antara 12,8%-15% Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai VMA ideal berada di antara 12,8%-15%.



Gambar 4. 20. Nilai VFB Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain Polyester kadar 0%, 2%, 4%, 6% untuk Resin Polyester dengan kadar 0%, 3%, 6%.

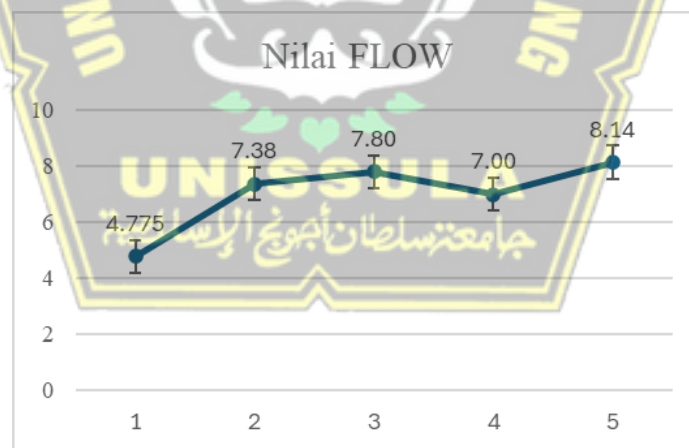
Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai VFB harus berada di antara 65-75%. sehingga

hasil perhitungan VFB yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat.



Gambar 4. 21. Nilai STABILITAS *Marshall* dengan modifikasi modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,4%,6% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%.

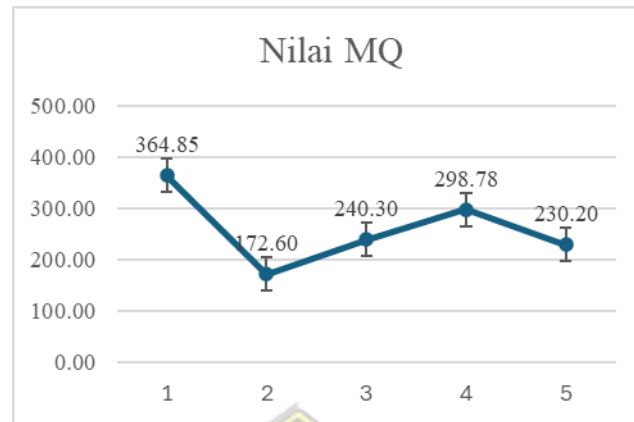
Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai Stabilitas campuran aspal normal ideal tidak boleh kurang dari 800 kg. Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai Stabilitas ideal tidak boleh kurang dari 1000 Kg



Gambar 4. 22. Nilai FLOW *Marshall* dengan modifikasi modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,4%,6% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%.

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai Flow berada pada ideal pada 2-4 mm sehingga

hasil perhitungan *Flow* yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat.



Gambar 4. 23. Nilai MQ Marshal dengan modifikasi modifikasi Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,6% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%.

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai MQ campuran aspal normal ideal berada di antara 250kg/mm Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai MQ ideal berada di antara 400kg/mm-450kg/mm.

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan test *Marshall* di atas sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga. Hasil analisa seperti ditunjukkan pada **Tabel 4.43.** dan grafik pada **Gambar 4.18-4.23.** diperoleh nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk VMA >15% pada semua Kain *Polyester* kadar 0%, 2%,4%, 6%, 8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 0%, 3%, 6%, 9%,14% dan 15%.VFB > 65% dan VIM 3,5% - 5,5% pada **Hasil Pengujian Marshall.** Pengujian *Marshall* dilakukan sebanyak 4 sampel benda uji untuk masing-masing variasi. Dari hasil tersebut didapatkan nilai rata-rata dapat direkapitulasi tiap parameter *Marshall* pada **Tabel 4.44.**

Tabel 4. 46. Perhitungan Marshal dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 9%,14% dan 15%.

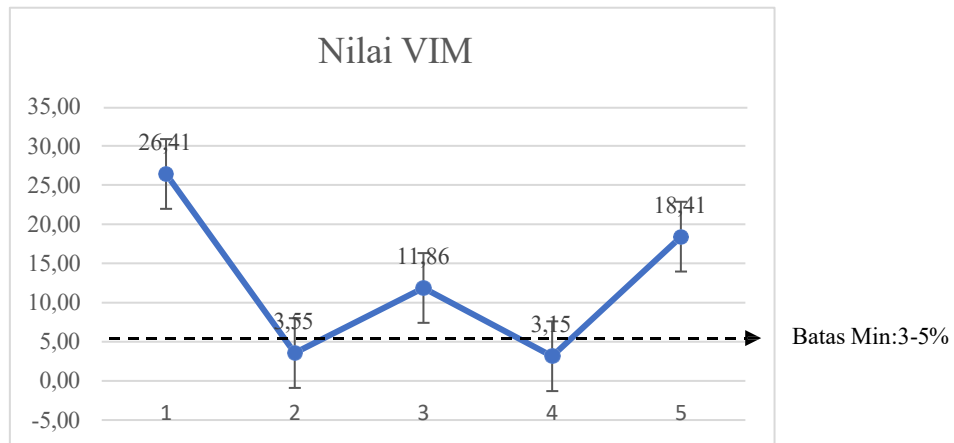
KOMPOSISI VARIASI														
BJ Aspal (l)	1.046 BJ Efektif Total Agregat (Gse):					2.628	BJ Total Agg (Gsb) :		3.62122			Kalibrasi Proving Ring		9.89
No benda	Kadar Aspal	Berat di udara	Berat dlm air	Berat SSD	Volume Isi	BJ Bulk campuran	BJ Maks Kombinasi Camp.Agg	%Rongga diantara Agg.(VMA)	%Rongga diantara Agg.(VIM)	%Rongga diantara Agg.(VFB)	Stabilitas Dibaca Arloji	Kelelahan Di Sesuaikan	Kelelahan Plastis (Flow)	Kelelahan Quotient (MQ)
	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	n	o	p
	%Berat Total Campuran	Data Timbang gr	Data Timbang gr	Data Timbang gr			GMM	100 - bg (100-%g)	100 - j/k (100-%g)	100 - l/n (100-%g)				m / n
					e-d	c / f		gsb %	h %	i %	(strip)	kg	(mm)	(kg/mm)
KROP 11(1)	5.8	1142.2	669.4	1196.6	527.2	2.17	1.994	43.64	7.95	81.78	210	2076.9	3	692.30
KROP 11(2)	5.8	1256.2	738.8	1134.6	395.8	3.17	1.994	17.44	37.17	113.13	150	1483.5	4	370.88
KROP 11 (3)	5.8	1164.8	694.2	1144.2	450	2.59	1.994	32.67	22.96	29.73	185	1829.65	4	457.41
KROP 11(4)	5.8	1135.2	682.4	1037.8	355.4	3.19	1.994	16.91	37.57	122.16	220	2175.8	4.2	518.05
						2.78	1.99	27.66	26.41	86.70		1891.46	3.80	509.66
KROP 12(1)	5.8	1185.4	704.2	1203.2	499	2.38	2.1448	14.84	9.71	34.54	150	1483.5	4.2	353.21
KROP 12(2)	5.8	1186.6	692.4	1201.6	509.2	2.33	2.1448	16.46	7.96	51.64	220	2175.8	5	435.16
KROP 12 (3)	5.8	1162.2	669.4	1179.2	509.8	2.28	2.1448	18.27	5.92	67.62	140	1384.6	5.2	266.27
KROP 12(4)	5.8	1164.8	698.6	1181.4	482.8	2.41	2.1448	13.51	11.10	17.84	170	1681.3	5.7	294.96
						2.35	2.14	15.77	8.67	42.91		1681.30	5.03	337.40
KROP 13(1)	5.8	979.4	557.8	1000	442.2	2.21	2.583	20.60	14.26	30.77	185	1829.65	5.9	310.11
KROP 13(2)	5.8	1144.2	656.4	1154.4	498	2.30	2.583	17.63	11.06	37.29	245	2423.05	6.5	372.78
KROP 13 (3)	5.8	1224.8	697.8	1231.6	533.8	2.29	2.583	17.74	11.18	37.01	210	2076.9	6.5	319.52
KROP 13(4)	5.8	1152.0	663.8	1164.6	500.8	2.30	2.583	17.53	10.95	37.54	230	2274.7	3	758.23
						2.28	2.58	18.38	11.86	35.65		2151.08	5.48	440.16
KROP 14(1)	5.8	1184.8	679	1196.6	517.6	2.29	2.311	17.94	0.97	94.61	200	1978	3.6	549.44
KROP 14(2)	5.8	1122.0	638	1134.6	496.6	2.26	2.311	19.00	2.25	88.16	260	2571.4	7	367.34
KROP 14 (3)	5.8	1124.2	638.4	1144.2	505.8	2.22	2.311	20.32	3.84	81.11	270	2670.3	4.3	621.00
KROP 14 (4)	5.8	1025.2	568.2	1037.8	469.6	2.18	2.311	21.74	5.55	74.48	320	3164.8	4.9	645.88
						2.24	2.31	19.75	3.15	84.59		2596.13	4.95	545.92
KROP 15(1)	5.8	1142.8	642.6	1159.4	516.8	2.21	2.654	20.73	16.68	19.54	210	2076.9	5.6	370.88
KROP 15(2)	5.8	1173.8	652.6	1201.0	548.4	2.14	2.654	23.27	19.35	16.85	160	1582.4	7.2	219.78
KROP 15 (3)	5.8	1147.2	632.2	1167.4	535.2	2.14	2.654	23.16	19.23	16.95	110	1087.9	9.4	115.73
KROP 15(4)	5.8	1123.8	621.2	1140.0	518.8	2.17	2.654	22.34	18.38	17.75	140	1384.6	5.9	234.68
						2.17	2.65	22.37	18.41	17.77		1532.95	7.03	235.27

Dari nilai karakteristik campuran yang dihasilkan pada test, sesuai Spesifikasi Bina Marga. Hasil analisa seperti ditunjukkan pada Tabel 4.46. diperoleh nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk VMA >15% pada semua, VFB > 65%.

Tabel 4. 47. Rekapitulasi Parameter *Marshall* dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%.

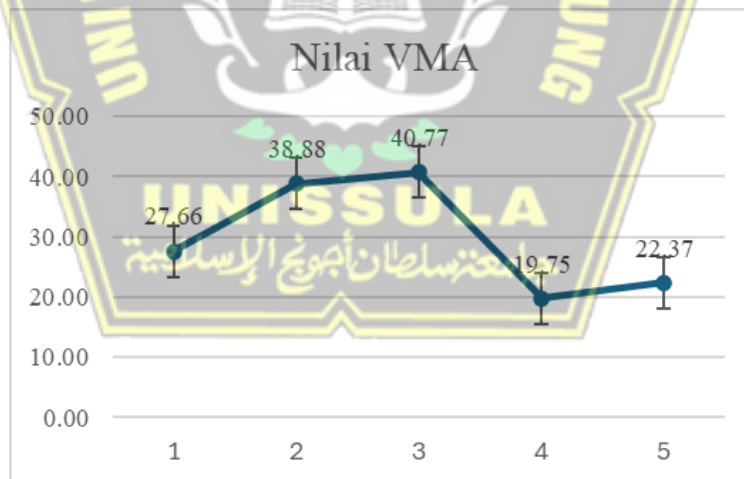
VARIASI	STABILITAS	FLOW	VIM	VMA	VFB	MQ
Kain Polyester 9% Resin Polyester 6%	1891.46	3.80	26.41	0.31	143.60	509.66
Kain Polyester 8% Resin Polyester 9%	1681.30	5.03	8.67	15.77	42.91	337.40
Kain Polyester 10% Resin Polyester 9%	2151.08	5.48	11.86	18.38	35.65	440.16
Kain Polyester 14% Resin Polyester 15%	2596.13	4.95	3.15	19.75	84.59	545.92
Kain Polyester 15% Resin Polyester 14%	1532.95	7.30	18.41	22.37	17.77	235.27

Setelah dihitung rata-rata yang tertera pada Tabel 4.47, selanjutnya dapat dibuat grafik parameter *Marshall* yang tertera pada Grafik 4.24- Grafik 4.29



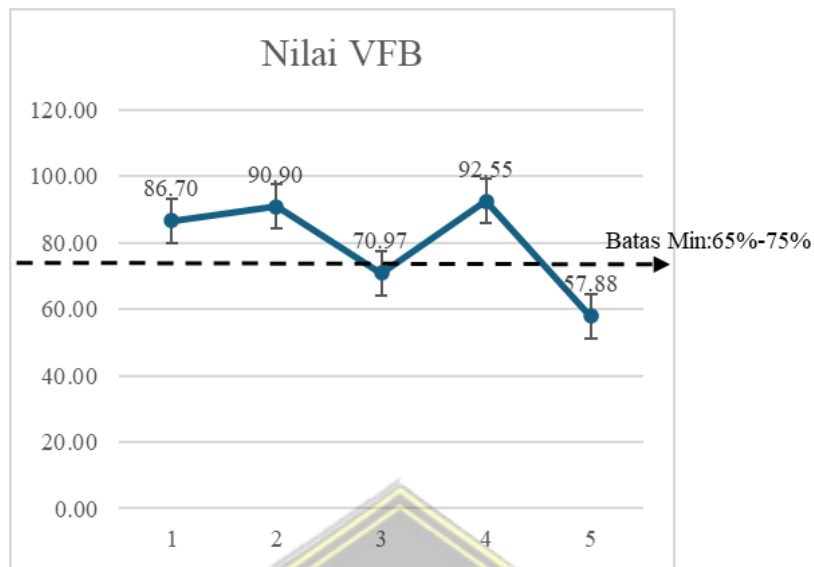
Gambar 4. 24. Nilai VIM *Marshall* dengan modifikasi modifikasi Kain *Polyester* kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%.

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai VIM harus berada di antara 3 – 5% sehingga hasil perhitungan VIM yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat.



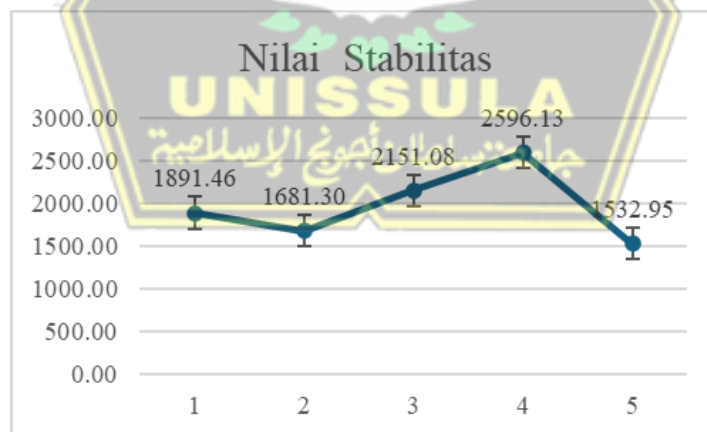
Gambar 4. 25. Nilai VMA *Marshall* dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%.

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai VMA campuran aspal normal ideal berada di antara 12,8%-15% Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai VMA ideal berada di antara 12,8%-15%.



Gambar 4. 26. Nilai FVB *Marshall* dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%.

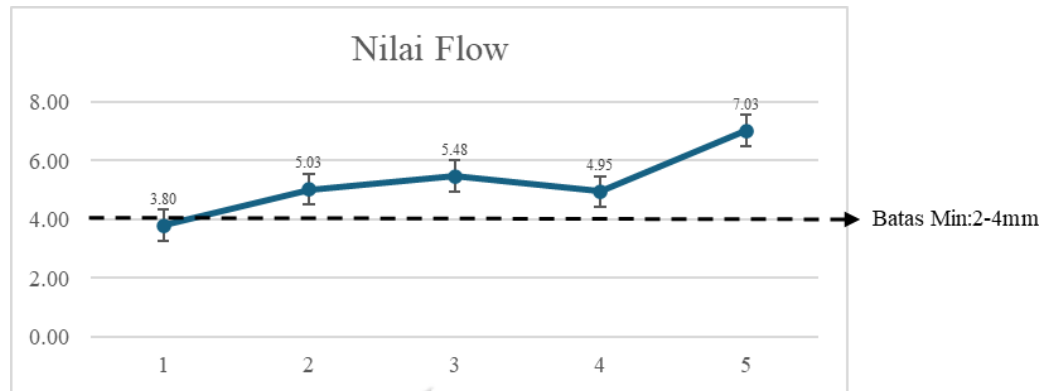
Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai VFB harus berada di antara 65-75%. sehingga hasil perhitungan VFB yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat tersebut dengan Nilai VFB tertinggi.



Gambar 4. 27. Nilai STABILITAS *Marshall* dengan modifikasi Kain *Polyester* kadar,8%,9%,10%,14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 6%,9%,14% dan 15%.

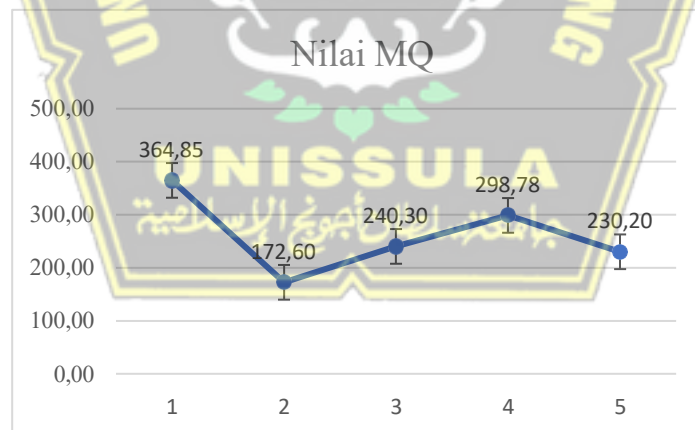
Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai Stabilitas campuran aspal

normal ideal tidak boleh kurang dari 800 kg. Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai Stabilitas ideal tidak boleh kurang dari 1000 Kg.



Gambar 4. 28. Nilai *FLOW Marshall* dengan modifikasi modifikasi Kain *Polyester* kadar, 8%, 9%, 10%, 14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 6%, 9%, 14% dan 15%.

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai *Flow* berada pada ideal pada 2-4 mm sehingga hasil perhitungan *Flow* yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat tersebut



Gambar 4. 29. Nilai *MQ Marshall* dengan modifikasi modifikasi Kain *Polyester* kadar, 8%, 9%, 10%, 14% dan 15% untuk Resin *Polyester* dengan kadar 6%, 9%, 14% dan 15%.

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai *MQ* campuran aspal normal ideal berada di antara 250kg/mm Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai *MQ* ideal berada di antara 400kg/mm-450kg/mm.

4.7.5 Rekapitulasi Hasil Perhitungan *Marshall*

yang tertera dalam **Tabel 4.45. - 4.50.**, maka dapat dibuat rekapitulasi sebagai berikut:

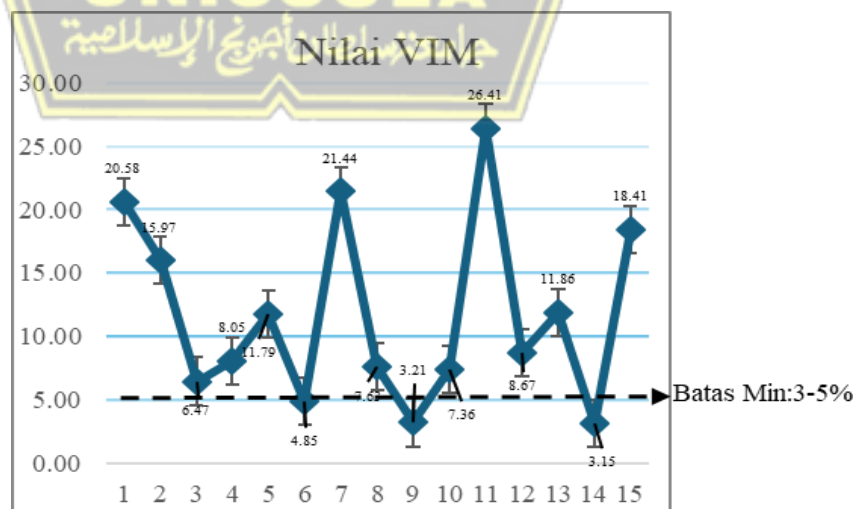
a. Nilai *Void in the Mix* (VIM)

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai VIM campuran aspal normal ideal berada di antara 3,5 - 5,5%. Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai VIM ideal berada di antara 3 - 5%. Pada **Tabel 4.45.** menyajikan rekapitulasi nilai VIM Variasi.

Tabel 4. 48. Rekapitulasi Nilai *Void in the Mix* (VIM)

Nama Sample	Nilai VIM	Nama Sample	Nilai VIM
KROP1	20.58	KROP8	7.63
KROP2	15.97	KROP9	0.14
KROP3	6.21	KROP10	7.36
KROP4	14.57	KROP11	26.41
KROP5	11.79	KROP12	8.67
KROP6	8.68	KROP13	11.86
KROP7	63.62	KROP14	3.15
KROP8	7.63	KROP15	18.41

Dari hasil rekapitulasi yang tertera pada **Tabel 4.48.** maka selanjutnya dibuat grafik perhitungan Nilai *Void in the Mix* (VIM) yang tertera pada grafik dalam **Gambar 4.12.**



Gambar 4. 30. Nilai VIM

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai VIM harus berada di antara 3 – 5% sehingga hasil perhitungan VIM yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat

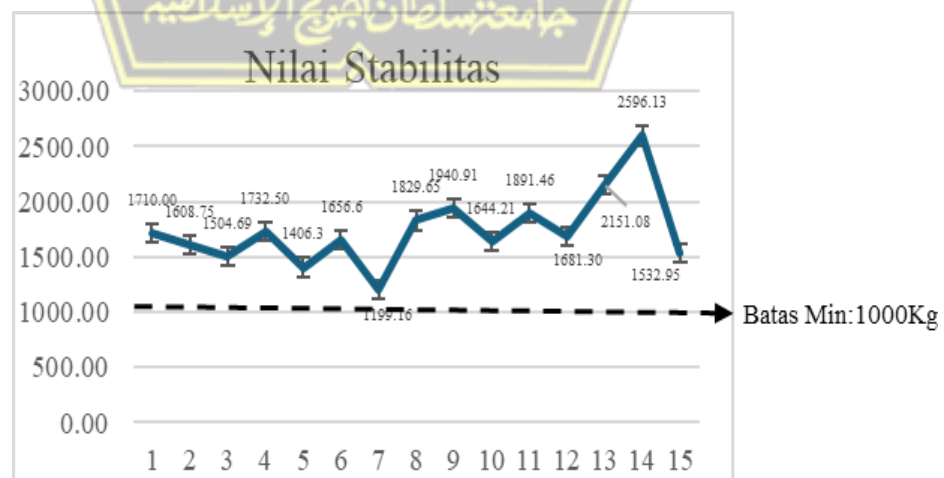
b. Nilai Stabilitas

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai Stabilitas campuran aspal normal ideal tidak boleh kurang dari 800 kg. Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai Stabilitas ideal tidak boleh kurang dari 1000 gram. Pada **Tabel 4.49**, menyajikan rekapitulasi nilai stabilitas.

Tabel 4. 49. Rekapitulasi Nilai Stabilitas

Nama Sample	Nilai STABILITAS	Nama Sample	Nilai STABILITAS
KROP1	1843.00	KROP9	1864.4
KROP2	1733.88	KROP10	1579.4
KROP3	1621.72	KROP11	1816.9
KROP4	1867.25	KROP12	1615.0
KROP5	1515.63	KROP13	2066.3
KROP6	1591.3	KROP14	2493.8
KROP7	1151.9	KROP15	1472.5
KROP8	1757.5	Rata-Rata	1732.68

Dari hasil rekapitulasi yang tertera pada **Tabel 4.49**, maka selanjutnya dibuat grafik perhitungan Nilai Stabilitas yang tertera pada grafik **Gambar 4.13**



Gambar 4. 31. Nilai Stabilitas Modifikasi

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai Stabilitas berada pada minimal 1000 kg sehingga hasil perhitungan Stabilitas yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat tersebut dengan Nilai Stabilitas tertinggi berada pada Sedangkan Nilai Stabilitas terendah .

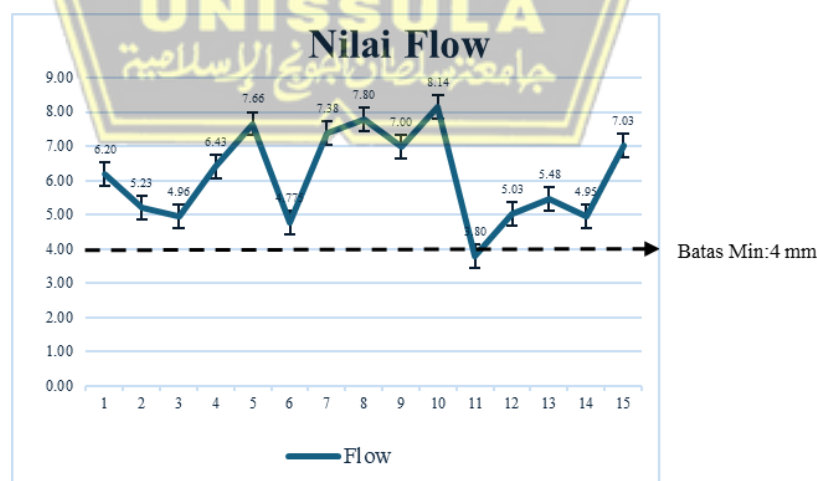
c. Nilai *Flow*

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai *Flow* campuran aspal normal ideal berada di antara 3 - 5 mm. Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai *Flow* ideal berada di antara 2 - 4 mm. Pada **Tabel 4.47.** menyajikan rekapitulasi Nilai *Flow*.

Tabel 4. 50. Rekapitulasi Nilai *Flow*

Nama Sample	Nilai FLOW	Nama Sample	Nilai FLOW
KROP1	6.20	KROP9	7
KROP2	5.23	KROP10	8.1375
KROP3	4.96	KROP11	3.8
KROP4	6.43	KROP12	5.025
KROP5	7.66	KROP13	5.475
KROP6	4.775	KROP14	4.95
KROP7	7.375	KROP15	7.025
KROP8	7.8	Rata-Rata	6.12

Dari hasil rekapitulasi yang tertera pada **Tabel 4.50.** maka selanjutnya dibuat grafik perhitungan Nilai *Flow* yang tertera pada **Gambar 4.14.**



Gambar 4. 32. Nilai *Flow*

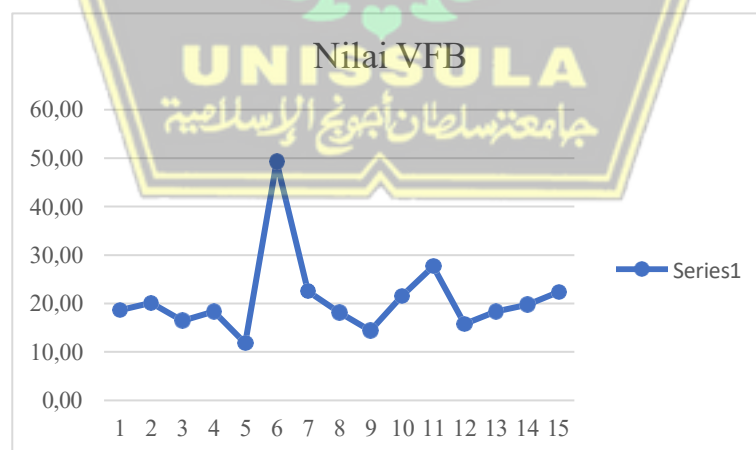
Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai *Flow* harus berada di antara 2 - 4 mm sehingga hasil perhitungan *Flow* yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat tersebut dengan Nilai *Flow* tertinggi. Sedangkan Nilai *Flow* terendah.

d. Nilai *FVB*

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai *FVB* campuran aspal normal ideal berada di antara 60-65%. Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai *FVB* ideal berada di antara 65-75%. Pada **Tabel 4.50.** menyajikan rekapitulasi Nilai *FVB*.

Tabel 4. 51. Rekapitulasi Nilai FVB

Nama Sample	Nilai VFB	Nama Sample	Nilai VFB
KROP1	10.92	KROP9	99.62
KROP2	20.65	KROP10	65.68
KROP3	72.63	KROP11	86.70
KROP4	19.85	KROP12	42.91
KROP5	40.57	KROP13	35.65
KROP6	72.54	KROP14	84.59
KROP7	119.34	KROP15	17.77
KROP8	58.19	Rata-Rata	56.51



Gambar 4. 33. Nilai FVB

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai FVB harus berada di antara 65-75%. sehingga hasil perhitungan FVB yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi

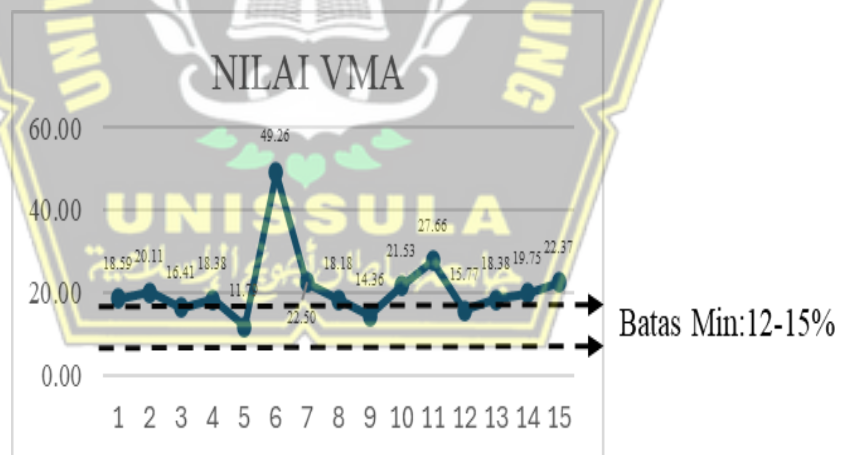
syarat tersebut dengan Nilai FVB tertinggi. Sedangkan Nilai FVB terendah.

e. Nilai VMA

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, Nilai VMA campuran aspal normal ideal berada di antara 12,8%-15% Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi Nilai VMA ideal berada di antara 12,8%-15%. Pada **Tabel 4.52.** menyajikan rekapitulasi Nilai VMA.

Tabel 4. 52. Rekapitulasi Nilai VMA

Nama Sample	Nilai VMA	Nama Sample	Nilai VMA
KROP1	18.59	KROP9	14.36
KROP2	20.11	KROP10	21.53
KROP3	16.41	KROP11	26.41
KROP4	18.38	KROP12	8.67
KROP5	11.79	KROP13	11.86
KROP6	35.96	KROP14	3.15
KROP7	16.57	KROP15	18.41
KROP8	18.18	Rata-Rata	17.36



Gambar 4. 34. Nilai VMA

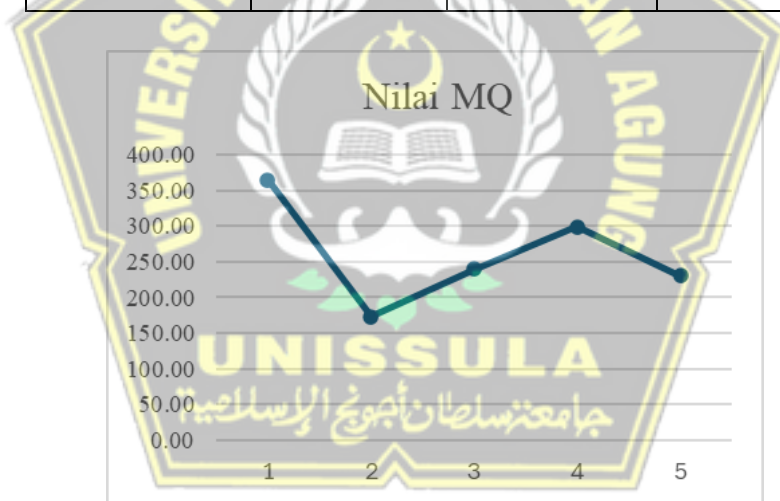
Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai VMA harus berada di antara 12,8%-15% sehingga hasil perhitungan VMA yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat tersebut dengan Nilai FVB tertinggi. Sedangkan Nilai VMA terendah.

f. Nilai MQ

Menurut Spesifikasi Bina Marga Divisi 6, nilai MQ campuran aspal normal ideal berada di antara 250kg/mm Sedangkan untuk campuran aspal modifikasi nilai MQ ideal berada di antara 400kg/mm-450kg/mm Pada **Tabel 4.53.** menyajikan rekapitulasi Nilai MQ.

Tabel 4. 53. Rekapitulasi Nilai MQ

Nama Sample	Nilai MQ	Nama Sample	Nilai MQ
KROP1	306.12	KROP9	298.78
KROP2	340.75	KROP10	230.20
KROP3	334.02	KROP11	509.66
KROP4	310.49	KROP12	337.40
KROP5	227.19	KROP13	440.16
KROP6	364.85	KROP14	545.92
KROP7	172.60	KROP15	235.27
KROP8	240.30	Rata-Rata	326.25



Gambar 4. 35. Nilai MQ

Berdasarkan syarat spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi, Nilai MQ harus berada di antara 400kg/mm-450kg/mm sehingga hasil perhitungan MQ yang tertera pada grafik di atas dianggap telah memenuhi syarat tersebut dengan Nilai MQ tertinggi. Sedangkan Nilai MQ terendah.

4.7.6 Pengujian Ekstraksi Kadar Aspal

Ekstraksi kadar aspal merupakan proses yang digunakan untuk menentukan jumlah aspal dalam campuran perkerasan jalan atau bahan lain yang mengandung aspal. Tujuan dari pengujian ini adalah menentukan kadar bitumen dalam campuran bitumen dengan menggunakan alat *centrifuge extractor*.

Tabel 4. 54. Hasil Pengujian Ekstraksi

No	Pengujian Material	Rumus	Berat		Satuan
			I	II	
A	Berat Cawan		252	260	gr
B	Berat Aspal+Cawan Sebelum		452	460	gr
C	Berat Aspal+Cawan Sesudah		445,4	453,46	gr
D	Berat Sebelum Ekstraksi	(B-A)	200	200	gr
E	Berat Sesudah Ekstraksi	(C-A)	193,4	193,46	gr
F	Berat Kertas		5	5	gr
G	Berat Total Mineral	(C-A-F)	188,4	188,46	gr
H	Berat Aspal dalam Campuran	(D-G)	11,6	11,54	gr
I	Persen Aspal dalam Campuran	(H/D x 100)	5,80	5,77	gr
Rata – Rata			5,80		gr

Berdasarkan **Tabel 4.54** hasil dari pengujian kadar aspal ekstraksi sebesar 5,80% untuk campuran modifikasi Kain *Polyester* dan Resim *Polyester*. Hasil ini dianggap memenuhi karena nilai KAO tersebut telah memenuhi syarat karakteristik *Marshall* sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 6 terkait dengan campuran aspal modifikasi.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pada pengujian Aspal, diperoleh hasil penelitian serta analisis data. Mengacu terhadap tujuan penelitian, kesimpulan tersebut yaitu :

1. Penelitian yang menggunakan *Job Mix Design* dengan Modifikasi komposisi nilai karakteristik yang memenuhi syarat untuk VMA >15% pada semua Kain Polyester kadar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 9%, 10%, 14% dan 15% untuk Resin Polyester dengan kadar 0%, 3%, 6%, 9%, 14% dan 15%. VFB > 65% dan VIM 3,5% - 5,5%. Yang menunjukkan bahwa seluruh hasil penelitian tersebut telah memenuhi standar yang ditetapkan dalam Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi ke-2, sehingga formulasi tersebut layak untuk diterapkan pada konstruksi perkerasan jalan.
2. Berdasarkan pengujian *Marshall* yang telah dilakukan, didapati bahwa parameter seperti *Void in Mineral Aggregate* (VIM), *Void in the Mix* (VMA), dan stabilitas tertinggi masing-masing diperoleh pada kombinasi Kain Polyester 3,15% dan Resin Polyester 3,15%, dengan nilai berturut-turut sebesar 3,15%, 35,96%, dan 1151,9 kg. Sedangkan nilai *Void Filled with Bitumen* (VFB) dan *flow* tertinggi ditemukan pada variasi Kain Polyester 9% dan Resin Polyester 6%, yaitu masing-masing sebesar 86,70% dan 3,80mm.

5.2 Saran

Setelah peneliti melakukan penelitian, adalah beberapa saran yang peneliti sampaikan untuk dipertimbangkan dalam penelitian selanjutnya:

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan variasi persentase limbah kain polyester dan resin polyester yang lebih beragam dan sistematis guna mengetahui titik optimum yang memberikan performa terbaik terhadap karakteristik *Marshall*.
2. Dalam penggunaan limbah kain polyester, penting untuk membuat

prosedur standar mengenai pengolahan awal limbah, termasuk pemotongan, pembersihan, dan pencampuran, agar hasil campuran aspal memiliki konsistensi dan mutu yang baik.

3. Menambahkan aspek analisis ekonomi dalam penelitian, seperti perbandingan biaya produksi campuran AC-WC konvensional dan campuran dengan bahan limbah, guna menilai kelayakan dari segi biaya dan efisiensi sumber daya.
4. Penelitian ke depan perlu mengevaluasi secara menyeluruh dampak penggunaan limbah kain *polyester* terhadap lingkungan, serta potensi penerapan teknologi ini dalam konsep *green construction* atau pembangunan berkelanjutan.
5. Pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan pengujian selain *Marshall Test* seperti pengujian permeabilitas, uji ketahanan friksi campuran serta melakukan uji perendaman.
6. Uji coba skala laboratorium perlu dilanjutkan ke tahap pengujian skala lapangan agar dapat mengetahui kinerja aktual campuran AC-WC di lingkungan nyata, termasuk terhadap lalu lintas dan pengaruh cuaca secara langsung.
7. Disarankan untuk dapat menjaga lokasi penelitian agar proses penelitian dapat berjalan lebih kondusif.
8. Penumbukan benda uji dengan menggunakan mesin *Compaction* atau manual harus lebih akurat agar benda uji padat dengan sempurna.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, I., & Al-Hadidy, A. I. (2012). The effect of waste plastic on asphalt concrete mixture properties. *International Journal of Civil & Environmental Engineering*, 12(10), 1–5.
- Anwar, A., & Mulyadi, M. (2019). Analisis pengaruh penambahan limbah plastik terhadap kinerja campuran aspal AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(3), 157–164.
- ASTM International. (2015). ASTM D6927-15: Standard test method for Marshall stability and flow of asphalt mixtures. ASTM International.
- Bina Marga. (2018). Spesifikasi Umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan. Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga.
- Fakhri, M., & Hosseini, S. A. (2016). Laboratory evaluation of rutting performance of hot mix asphalt containing waste polyester fiber. *Construction and Building Materials*, 111, 796–803.
- Gawande, A., Zamre, G. S., Renge, V. C., & Tayde, S. (2012). Utilization of waste plastic in asphalt concrete mixture as modifier. *Scientific Reviews & Chemical Communications*, 2(2), 147–157.
- Hardiyatmo, H. C. (2015). Perancangan perkerasan jalan dan penanganan kerusakan. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Haryanto, B., & Wahyudi, E. (2020). Pengaruh serat polyester terhadap sifat mekanik campuran AC-WC. *Jurnal Infrastruktur*, 6(2), 101–110.
- Huang, Y. H. (2004). *Pavement analysis and design* (2nd ed.). Upper Saddle River, NJ: Pearson Prentice Hall.
- Jamil, M., & Fadli, M. (2021). Pemanfaatan limbah kain polyester pada campuran aspal AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 9(1), 25–32.
- Kanitpong, K., & Bahia, H. U. (2003). Role of adhesion and film thickness in the fatigue performance of asphalt pavements. *Transportation Research Record*, 1829(1), 45–54.
- Maupin, G. W., Diefenderfer, B. K., & Al-Qadi, I. L. (2008). In-place recycling of asphalt pavement: State of the practice. *Transportation Research Circular*, E-C127, 1–28.

- Mulyono, A. T. (2015). Teknologi bahan perkerasan jalan. Yogyakarta: Andi Offset.
- Nugraha, D., & Siregar, S. (2018). Studi eksperimental pemanfaatan limbah plastik PET sebagai bahan tambah aspal AC-WC. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 14(2), 93–102.
- Okechukwu, E. C., & Gadzama, E. W. (2016). Influence of waste polyester fiber on hot mix asphalt performance. *International Journal of Engineering and Technology*, 6(4), 12–19.
- Putra, Y., & Rachman, H. (2017). Analisis pengaruh bahan tambah terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 19(1), 49–56.
- Rizal, M., & Fahmi, A. (2020). Pemanfaatan resin polyester dalam peningkatan daya rekat campuran aspal panas. *Jurnal Infrastruktur dan Konstruksi*, 8(2), 65–72.
- Sukirman, S. (2010). Perkerasan lentur jalan raya. Jakarta: Nova.
- Suroso, D., & Rahman, A. (2019). Pengaruh serat limbah tekstil terhadap sifat fisik dan mekanik campuran aspal panas. *Jurnal Teknologi Infrastruktur*, 5(2), 85–92.
- Tapkin, S. (2008). The effect of polypropylene fibers on asphalt performance. *Building and Environment*, 43(6), 1065–1071.
- Yulianti, R., & Hasan, M. (2021). Pengaruh kombinasi limbah plastik dan resin polyester pada campuran aspal AC-WC. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 11(3), 143–150.
- Zoorob, S. E., & Suparma, L. B. (2000). Laboratory design and investigation of the properties of continuously graded Asphaltic concrete containing recycled plastics aggregate replacement (Plastiphalt). *Cement and Concrete Composites*, 22(4), 233–242.
- Rahman, A., & Nurdin, S. (2016). Studi pemanfaatan limbah plastik dan serat sebagai bahan campuran perkerasan jalan. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(1), 33–41.
- Haryanto, D., & Sumarsono, A. (2015). Karakteristik Marshall campuran AC-WC dengan variasi bahan tambah plastik LDPE. *Jurnal Infrastruktur*, 3(1), 45–52.
- Chavan, A. J. (2013). Use of plastic waste in flexible pavements. *International*

- Journal of Application or Innovation in Engineering & Management, 2(4), 540–552.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). Manual Perkerasan Jalan – Pd T-14-2003. Jakarta: Kementerian PUPR.
- Nata, S., & Lestari, R. (2022). Peningkatan daya tahan aspal AC-WC melalui pemanfaatan resin sintesis. *Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, 14(2), 120–129.
- Subagio, B. S., & Wahyudi, A. (2014). Pemanfaatan limbah plastik jenis PET pada campuran AC-WC terhadap stabilitas dan kelelahan. *Jurnal Transportasi*, 14(1), 53–60.
- Modarres, A., & Hamedi, H. (2014). Effect of waste plastic bottles on the stiffness and fatigue properties of modified asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 61, 8–15.
- Sutanto, M., & Setiawan, A. (2018). Pengaruh penambahan serat sintesis pada campuran aspal terhadap ketahanan aus. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 15(1), 25–33.
- Jha, S., & Kumar, P. (2020). Effect of waste polyester fiber on performance of bituminous concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 32(4), 1–8.
- Baharuddin, H., & Sari, R. (2019). Analisis penggunaan limbah polyester sebagai bahan tambah aspal. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur*, 9(2), 101–110.
- Yousefi, A. A. (2009). Polymer modified bitumen: Properties and characterisation. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 48(7), 751–757.
- Singh, B., & Gupta, A. (2017). Use of waste plastics in flexible pavements. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8(6), 385–392.