

## **TUGAS AKHIR**

# **ANALISIS ASHPALT LASTON AC – WC DENGAN BAHAN TAMBAH *OYSTER SHELL* DAN LIMBAH PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE* (LDPE) UNTUK PERKERASAN JALAN**

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



**Disusun Oleh :**

**Alfitri Ratnasari  
NIM : 30202100025**

**Alwi Hapsari  
NIM : 30202100028**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG  
2025**

## LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS ASPHALT LASTON AC – WC DENGAN BAHAN TAMBAH  
*OYSTER SHELL* DAN LIMBAH PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE*  
(LDPE) UNTUK PERKERASAN JALAN

Diajukan oleh :



**Alfitri Ratnasari**  
NIM : 30202100025



**Alwi Hapsari**  
NIM : 30202100028

Telah disetujui dan disahkan di Semarang, Januari 2025 :

Tim Penguji :

1. **Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST., MT.**  
NIDN : 0611118903

2. **Ir. H. Rachmat Mudiyo, M.T., Ph.D**  
NIDN : 0605016802

Tanda Tangan

Mengetahui

Kepada Program Studi Teknik Sipil

**Muhammad Rusli Ahyar, ST., M.Eng.**

NIDN: 0625059102

## BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR

No : 30 / A.2 / SA – T / XI / 2024

Pada hari ini tanggal 14 Desember 2024 berdasarkan surat keputusan Dekan Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung perihal penunjukan Dosen Pembimbing Utama dan Dosen Pembimbing Pendamping :

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

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

**Alfitri Ratnasari**

NIM : 30202100025

**Alwi Hapsari**

NIM : 30202100028

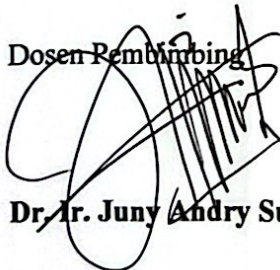
Judul : “ANALISIS ASPHALT LASTON AC – WC DENGAN BAHAN TAMBAH OYSTER SHELL DAN LIMBAH PLASTIK LOW DENSITY POLYETHYLENE (LDPE) UNTUK PERKERASAN JALAN”

Dengan tahapan Sebagai Berikut :

| No | Tahapan                     | Tanggal    | Keterangan |
|----|-----------------------------|------------|------------|
| 1  | Penunjukan dosen pembimbing | 11/09/2024 | ACC        |
| 2  | Seminar Proposal            | 26/11/2024 | ACC        |
| 3  | Pengumpulan Data            | 01/12/2024 | ACC        |
| 4  | Analisis Data               | 15/12/2024 | ACC        |
| 5  | Penyusunan Laporan          | 18/12/2024 | ACC        |
| 6  | Selesai Laporan             | 12/01/2025 | ACC        |

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

Dosen Pembimbing

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

Mengetahui

Ketua Program Studi Teknik Sipil

  
Muhammad Rusli Ahyar ST., M.Eng



## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Alfitri Ratnasari  
NIM : 30202100025
2. NAMA : Alwi Hapsari  
NIM : 30202100028

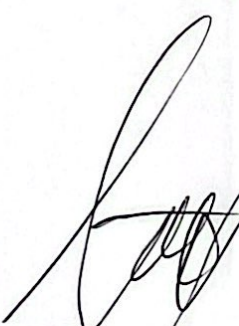
Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir yang berjudul :  
**ANALISIS ASPHALT LASTON AC – WC DENGAN BAHAN TAMBAH  
OYSTER SHELL DAN LIMBAH PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE*  
(LDPE) UNTUK PERKERASAN JALAN.**

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,

  
**Alfitri Ratnasari**

**NIM : 30202100025**



  
**Alwi Hapsari**

**NIM : 30202100028**

## PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

1. NAMA : Alfitri Ratnasari  
NIM : 30202100025
2. NAMA : Alwi Hapsari  
NIM : 30202100028

JUDUL TUGAS AKHIR : ANALISIS ASPHALT LASTON AC – WC  
DENGAN BAHAN TAMBAH *OYSTER SHELL* DAN LIMBAH PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE* (LDPE) UNTUK PERKERASAN JALAN.

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

Apabila dikemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka kami 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,

  
**Alfitri Ratnasari**  
**NIM : 30202100025**

  
**Alwi Hapsari**  
**NIM : 30202100028**



## MOTTO

لَكَانَ الْكِتَابُ أَهْلُ أَمْنٍ وَلَوْ بِإِلَهِهِ وَتُؤْمِنُونَ الْمُنْكَرَ عَنْ وَتَنْتَهُونَ بِالْمَعْرُوفِ تَأْمُرُونَ لِلنَّاسِ أُخْرِجَتْ أُمَّةٌ خَيْرٌ كُنْتُمْ  
الْفُسُوقُ وَكَثُرَ هُمُ الْمُؤْمِنُونَ مِنْهُمْ إِلَهُمْ خَيْرًا

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

وَالْبَلَدُ الطَّيِّبُ يَخْرُجُ نَبَاتُهُ بِإِذْنِ رَبِّهِ وَالَّذِي خَبُثَ لَا يَخْرُجُ إِلَّا نَكْدًا كَذَلِكَ نَصْرَفُ الْأَعْيَاتِ لِقَوْمٍ يَشْكُرُونَ

“Dan tanah yang baik, tanaman-tanamannya tumbuh subur dengan seizin Allah; dan tanah yang tidak subur, tanaman-tanamannya hanya tumbuh merana. Demikianlah Kami mengulangi tanda-tanda kebesaran (Kami) bagi orang-orang yang bersyukur.” (QS. Al A'raf : 58)

هَ أَخْرَى تَارَةً نُخْرِجُكُمْ مِنْهَا وَمِنْهَا نُعِيدُكُمْ وَفِيهَا خَلَقْنَاكُمْ مِنْهَا

“ Dari bumilah Kami ciptakan kamu, dan ke dalamnya Kami akan mengembalikan kamu, dan daripadanya pula Kami akan mengeluarkan kamu sekali lagi.” (QS. At Taha : 55)

“Maka jika kamu tidak dapat membuat(nya) – dan pasti kamu tidak akan dapat membuat(nya), peliharalah dirimu dari neraka yang bahan bakarnya manusia dan batu, yang disediakan bagi orang-orang kafir” (Q.S. Al-Baqarah : 24)

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

“waktu itu bagaikan pedang. Jika kamu tidak memanfaatkannya dengan baik, maka ia akan memanfaatkanmu”. (HR. Muslim)

## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW akhir zaman. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada :

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, Bapak dan Ibu yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moral maupun material. Untuk ibuku yang hebat dan penuh cinta, terimakasih telah menjadi penguat dan pengingat bagi diriku.
2. Kedua kakak saya, terima kasih atas bantuan dan dukungan sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Partner tugas akhir saya sekaligus sahabat saya Alwi Hapsari yang selalu menemani serta berjuang bersama dalam mengerjakan Tugas Akhir ini meskipun *Long Distance* Belanda - Indonesia, Terimakasih atas waktu dan semangatnya sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu Mas Daryanto, Mas Kaisar, Mas Yogi, dan juga teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
5. Teman-teman mahasiswa/I Teknik Sipil angkatan 2021, terima kasih atas bantuan dan semangatnya.
6. Terakhir, untuk diri saya sendiri, Alfitri Ratnasari terimakasih telah berjuang dan bertahan sejauh ini, sehingga dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan semaksimal mungkin. Tetaplah menjadi kuat untuk hal - hal yang lebih keras dari sebelumnya.

**Alfitri Ratnasari**

**NIM : 30202100025**



## PERSEMBAHAN

Alhamdulillah, Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya, kita memuji-Nya dan meminta pertolongan, pengampunan serta petunjuk kepada-Nya. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada Nabi Besar Muhammad SAW akhir zaman. Saya persembahkan laporan skripsi ini kepada :

1. Kedua orang tua saya yang saya cintai, Ibu dan Bapak yang senantiasa memberikan, doa, dukungan, kasih sayang, serta motivasi baik secara moril maupun materil untuk selalu terikat dengan hukum syara' dan menjadi orang yang bahagia di dunia maupun di akhirat. Untuk ibu saya, terimakasih selalu memberikan saya semangat, selalu ada ketika saya
2. Kakak dan adikku tersayang yang memberikan dukungan serta semangat agar terus menyelesaikan tugas akhir ini. Untuk kakak saya Alwi Maharani yang telah meluangkan waktu.
3. Partner tugas akhir saya sekaligus sahabat Alfitri Ratnasari yang selalu menemani dan memahami kondisi saya meski perbedaan jarak dan waktu, terimakasih selalu ada dan mendukung saya, begitu beruntungnya saya mendapatkan sahabat dan partner sepertimu.
4. Asisten Laboratorium Perkerasan Jalan yaitu Mas Daryanto, Mas Caesar, Mas Yogi, dan juga teman-teman yang sudah membantu dalam melaksanakan penelitian ini.
5. Teman-teman Fakultas Teknik Sipil Unissula Angkatan 2021 dan Teman-teman saya di luar kampus yang turut memberikan semangat.
6. Terakhir, untuk diri saya sendiri, Alwi Hapsari terimakasih sudah bertahan dan berjuang sejauh ini meski pernah akan menyerah. Mampu mengendalikan diri dari tekanan diluar keadaan dalam proses tugas akhir ini dan menyelesaikannya dengan baik semaksimal mungkin. Selamat bertemu hal baik dan pencapaian baru di depan sana.

**Alwi Hapsari**

**NIM : 30202100028**



## KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Wr. Wb,

Alhamdulillah, segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “ANALISIS ASPHALT LASTON AC – WC DENGAN BAHAN TAMBAH *OYSTER SHELL* DAN LIMBAH PLASTIK *LOW DENSITY POLYETHYLENE* (LDPE) UNTUK PERKERASAN JALAN” guna untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Prpgram Studi Teknik Sipil pada Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam penyelesaian Tugas Akhir ini penulis memperoleh bantuan dari beberapa pihak, dalam kesempatan kali ini kami ucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Dr. Abdul Rochim, ST.,M.T. selaku Dekan Fakultas Tenik Universitas Islam Sultan Agung Semarang.
2. Bapak Muhamad Rusli Ahyar, ST.,M.Eng. selaku Ketua Program Studi Fakultas Tenik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah membantu dalam urusan akademik.
3. Bapak Dr. Ir. Juny Andry Sulistyo, ST.,MT. selaku Dosen Pendamping yang selalu memberikan waktu dalam memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen Program Studi Fakultas Tenik Universitas Islam Sultan Agung Semarang yang telah memberikan wawasan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menempuh Program Studi S-1 Teknik Sipil.

Penulis menyadari masih banyak kekurangan dalam penyusunan. Semoga Tugas Akhir ini dapat bermanfaat baik bagi penulis maupun para pembaca.

Wassalamualaikum Wr. Wb.

Semarang,

2025

Penulis

## DAFTAR ISI

|                                                   |      |
|---------------------------------------------------|------|
| HALAMAN JUDUL.....                                | i    |
| LEMBAR PENGESAHAN .....                           | ii   |
| BERITA ACARA BIMBINGAN TUGAS AKHIR .....          | iii  |
| PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....                   | iv   |
| PERNYATAAN KEASLIAN.....                          | v    |
| MOTTO .....                                       | vi   |
| PERSEMBAHAN.....                                  | vii  |
| KATA PENGANTAR .....                              | ix   |
| DAFTAR ISI.....                                   | x    |
| DAFTAR TABEL .....                                | xiii |
| DAFTAR GRAFIK.....                                | xv   |
| ABSTRAK.....                                      | xvi  |
| BAB I PENDAHULUAN.....                            | 1    |
| 1.1. Latar Belakang.....                          | 1    |
| 1.2. Rumusan Masalah.....                         | 3    |
| 1.3. Tujuan Penelitian .....                      | 3    |
| 1.4. Manfaat Penelitian .....                     | 3    |
| 1.5. Batasan Penelitian.....                      | 4    |
| 1.6. Sistematika Penelitian.....                  | 5    |
| BAB II LANDASAN TEORI.....                        | 6    |
| 2.1. Perkerasan Jalan.....                        | 6    |
| 2.2. Laston (Lapis Aspal Beton) .....             | 7    |
| 2.3. Plastik LDPE (Low Densety Polyethylene)..... | 7    |
| 2.4. <i>Oyster Shell</i> .....                    | 9    |
| 2.5. Aspal .....                                  | 10   |
| 2.5.1. Aspal Penetrasi 60-70 .....                | 10   |
| 2.6. Agregat.....                                 | 12   |
| 2.6.1. Agregat Halus.....                         | 13   |
| 2.6.2. Agregat Kasar.....                         | 14   |
| 2.7. <i>Filler</i> .....                          | 16   |
| 2.8. Marshall test.....                           | 17   |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.9. Uji Karakteristik Marshall .....                                                                        | 18 |
| 2.10. Metode Pengujian .....                                                                                 | 19 |
| 2.10.1. Metode Pengujian Aspal .....                                                                         | 19 |
| 2.10.2. Metode Pengujian Agregat.....                                                                        | 19 |
| 2.11. Penelitian Terdahulu yang Sejenis.....                                                                 | 22 |
| BAB III METODOLOGI.....                                                                                      | 25 |
| 3.1 Metode Penelitian .....                                                                                  | 25 |
| 3.2 Metode Persiapan.....                                                                                    | 25 |
| 3.3 Metode Pemeriksaan.....                                                                                  | 26 |
| 3.4 Perencanaan Campuran.....                                                                                | 32 |
| 3.5 Pembuatan Benda Uji .....                                                                                | 33 |
| 3.6 Pengujian dengan alat Marshall .....                                                                     | 35 |
| 3.7 Pengolahan Hasil .....                                                                                   | 36 |
| 3.8 Rancangan Campuran Aspal Beton ( <i>Job Mix Design</i> ) .....                                           | 36 |
| 3.9 Diagram Alir Penelitian .....                                                                            | 44 |
| 3.10 Tahap Pelaksanaan.....                                                                                  | 46 |
| BAB IV HASIL PEMBAHASAN.....                                                                                 | 52 |
| 4.1. Pendahuluan.....                                                                                        | 52 |
| 4.2. Pengujian Aspal dan Agregat.....                                                                        | 52 |
| 4.2.1. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pen 60/70 .....                                               | 53 |
| 4.2.2. Pengujian Agregat.....                                                                                | 53 |
| 4.2.3. Pengujian Pasir.....                                                                                  | 56 |
| 4.2.4. Pengujian Filler.....                                                                                 | 56 |
| 4.2.5. Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Campuran Normal.....                                                  | 57 |
| 4.3. Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal .....                                                              | 59 |
| 4.4. Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994) .....                                            | 60 |
| 4.5. Penentuan Kadar Aspal Optimum .....                                                                     | 61 |
| 4.6. Ringkasan Hasil Pegujian AC-WC.....                                                                     | 62 |
| 4.7. Pembuatan Benda Uji .....                                                                               | 63 |
| 4.8. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (gravity) Pada Aspal Modifikasi ...                                    | 64 |
| 4.9. Hasil Pemeriksaan Pengujian <i>Marshall</i> .....                                                       | 64 |
| 4.9.1. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi LDPE 0% dengan <i>Oyster Shell Powder</i> 0%, 2%, 4%, dan 6% ..... | 65 |

|                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.9.2. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi LDPE 3% dengan <i>Oyster Shell Powder</i> 0%, 2%, 4%, dan 6% ..... | 68 |
| 4.9.3. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi LDPE 6% dengan <i>Oyster Shell Powder</i> 0%, 2%, 4%, dan 6% ..... | 71 |
| BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....                                                                              | 82 |
| 5.1. Kesimpulan.....                                                                                         | 82 |
| 5.2. Saran.....                                                                                              | 82 |
| DAFTAR PUSTAKA .....                                                                                         | 84 |





## DAFTAR TABEL

|                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 2. 1. Karakteristik Aspal Karet Alam Padat.....                                                      | 12 |
| Tabel 2. 2. Persyaratan Agregat Halus untuk AC-WC .....                                                    | 14 |
| Tabel 2. 3. Persyaratan Agregat Kasar untuk AC-WC .....                                                    | 14 |
| Tabel 2. 4. Amplop Gradasi Agregat Campuran untuk AC-WC .....                                              | 15 |
| Tabel 2. 5. Syarat Berat Jenis dan Penyerapan Agregat .....                                                | 21 |
| Tabel 2. 6. Keaslian Tugas Akhir .....                                                                     | 22 |
| Tabel 3. 1. Stadar Pemeriksaan Agregat .....                                                               | 27 |
| Tabel 3. 2. Standar Pengujian Aspal .....                                                                  | 30 |
| Tabel 3. 3. Pembuatan benda uji pemadatan laston AC-WC untuk menentukan<br>nilai KAO .....                 | 34 |
| Tabel 3. 4. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....                                   | 36 |
| Tabel 3. 5. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) Normal .....                                   | 36 |
| Tabel 3. 6. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 0% Dan LDPE 0%.....  | 37 |
| Tabel 3. 7. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 2% Dan LDPE 0%.....  | 37 |
| Tabel 3. 8. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 4% Dan LDPE 0%.....  | 38 |
| Tabel 3. 9. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 6% Dan LDPE 0%.....  | 38 |
| Tabel 3. 10. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 0% Dan LDPE 3%..... | 39 |
| Tabel 3. 11. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 2% Dan LDPE 3%..... | 39 |
| Tabel 3. 12. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 4% Dan LDPE 3%..... | 40 |
| Tabel 3. 13. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 6% Dan LDPE 3%..... | 40 |
| Tabel 3. 14. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 0% Dan LDPE 6%..... | 41 |

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 3. 15. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 2% Dan LDPE 6%.....        | 41 |
| Tabel 3. 16. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 4% Dan LDPE 6%.....        | 42 |
| Tabel 3. 17. Rancangan Campuran Aspal Beton (Job Mix Design) dengan<br>Cangkang kerang 6% Dan LDPE 6%.....        | 42 |
| Tabel 3. 18. Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum.....                                         | 44 |
| Tabel 4. 1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Penetrasai 60/70 .....                                          | 53 |
| Tabel 4. 2. Hasil Analisa Saringan Agregat Kasar (CA) $\frac{3}{4}$ '' .....                                      | 54 |
| Tabel 4. 3. Hasil Analisa Saringan Agregat Sedang (MA) $\frac{1}{2}$ .....                                        | 55 |
| Tabel 4. 4. Hasil Analisa Saringan Agregat Halus (Abu Batu) .....                                                 | 55 |
| Tabel 4. 5. Hasil Analisa Saringan Pasir.....                                                                     | 56 |
| Tabel 4. 6. Hasil Analisa Pembagian Butiran Filler Semen.....                                                     | 57 |
| Tabel 4. 7. Perhitungan Kombinasi Agregat Campuran Normal .....                                                   | 58 |
| Tabel 4. 8. Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan (SNI 03-1968-<br>1990/AASHTO T.27-88).....                 | 58 |
| Tabel 4. 9. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM Campuran<br>Komposisi Normal .....                      | 60 |
| Tabel 4. 10. Komposisi Material AC - WC .....                                                                     | 63 |
| Tabel 4. 11. Rincian Benda Uji.....                                                                               | 63 |
| Tabel 4. 12. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran GMM Pada Aspal Modifikasi .                                         | 64 |
| Tabel 4. 13. Hasil <i>Marshall</i> Komposisi LDPE 0% dengan <i>Oyster Shell Powder</i><br>0%, 2%, 4%, dan 6%..... | 65 |

## DAFTAR GRAFIK

|                                                  |    |
|--------------------------------------------------|----|
| Grafik 4. 1. Kombinasi Agregat.....              | 59 |
| Grafik 4. 2. Penentuan Kadar Aspal Optimum ..... | 62 |
| Grafik 4. 3. Nilai VIM.....                      | 66 |
| Grafik 4. 4. Nilai VMA .....                     | 66 |
| Grafik 4. 5. Nilai VFA .....                     | 66 |
| Grafik 4. 6. Niali Stabilitas .....              | 67 |
| Grafik 4. 7. Nilai Flow .....                    | 67 |
| Grafik 4. 8. Nilai Marshall Quotient.....        | 68 |
| Grafik 4. 9. Nilai VIM.....                      | 69 |
| Grafik 4. 10. Nilai VMA.....                     | 69 |
| Grafik 4. 11. Nilai VFA .....                    | 69 |
| Grafik 4. 12. Nilai Stabilitas .....             | 70 |
| Grafik 4. 13. Nilai Flow .....                   | 70 |
| Grafik 4. 14. Nilai Marshall Quotient.....       | 71 |
| Grafik 4. 15. Nilai VIM.....                     | 72 |
| Grafik 4. 16. Nlai VMA.....                      | 72 |
| Grafik 4. 17. Nilai VFA .....                    | 72 |
| Grafik 4. 18. Nilai Stabilitas .....             | 73 |
| Grafik 4. 19. Nilai Flow.....                    | 73 |
| Grafik 4. 20. Nilai Marshall Quotient.....       | 74 |
| Grafik 4. 21. Nilai VIM.....                     | 75 |
| Grafik 4. 22. Nilai VMA .....                    | 75 |
| Grafik 4. 23. Nilai VFA .....                    | 76 |
| Grafik 4. 24. Nilai Stabilitas .....             | 76 |
| Grafik 4. 25. Nilai Flow .....                   | 76 |
| Grafik 4. 26. Nilai Marshall Quotient.....       | 77 |

**ANALISIS ASHPALT LASTON AC – WC DENGAN BAHAN TAMBAH  
OYSTER SHELL DAN LIMBAH PLASTIK LOW DENSITY  
POLYETHYLENE (LDPE) UNTUK PERKERASAN JALAN**

**Abstrak**

Peningkatan industri konstruksi, khususnya perkerasan jalan, menyebabkan pengambilan bahan baku berlebihan, yang berdampak pada kerusakan alam dan masalah lingkungan, termasuk limbah yang tidak dikelola dengan baik. Untuk mengatasi hal ini, penelitian dilakukan untuk memanfaatkan limbah Oyster Shell dan plastik LDPE sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal panas. Oyster Shell Powder mengandung lebih dari 90%  $\text{CaCO}_3$ , mirip dengan kandungan kalsium karbonat pada semen Portland, sementara plastik LDPE dapat meningkatkan adhesi campuran aspal.

Penelitian ini menggunakan variasi penambahan Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, 6% dan plastik LDPE 0%, 3%, 6%, dengan metode eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang. Pengujian Marshall Test dilakukan untuk mengukur hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, seperti stabilitas, VIM, VMA, flow, dan Marshall Quotient (MQ).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi dengan Oyster Shell Powder 6% dan LDPE 6% menghasilkan nilai stabilitas terbesar, yaitu 2779,22 kg. Sebaliknya, campuran dengan Oyster Shell Powder 4% dan LDPE 6% menunjukkan nilai stabilitas terendah, dengan rata-rata 867kg. Hal ini menunjukkan potensi penggunaan limbah Oyster Shell dan plastik LDPE untuk meningkatkan kinerja perkerasan jalan serta mengurangi dampak lingkungan dari limbah.

**Kata Kunci :** AC-WC; *Oyster Shell*; LDPE; *Marshall Test*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1.Latar Belakang**

Jaringan jalan aspal di Indonesia sekarang ini semakin meluas sehingga menumbuhkan peningkatan yang cukup pesat dari segi konektivitas, mobilitas serta pertumbuhan ekonomi. Aspal memiliki beberapa jenis, yaitu aspal alam, aspal keras, aspal cair, dan aspal modifikasi. Aspal memiliki sifat viskoelastis yaitu sifat untuk mencair pada suhu tinggi dan memadat pada suhu rendah. Sifat tersebut menjadikan aspal sebagai bahan utama dalam perkerasan jalan karena dapat memikat bahan-bahan pencampur perkerasan jalan. Perkerasan jalan di Indonesia yang sering digunakan yaitu perkerasan jalan menggunakan aspal beton (*Asphalt Concrete*). Lapisan aspal beton banyak digunakan karena jenis perkerasan ini memiliki nilai stabilitas dan fleksibilitas yang baik.

Bahan – bahan pencampur lapisan aspal beton terdiri dari agregat kasar, agregat halus, agregat sedang, bahan pengisi dan aspal. Bahan – bahan tersebut harus memiliki karakteristik yang sesuai dengan persyaratan yang sudah ada agar perkerasan jalan aspal beton memiliki nilai stabilitas dan fleksibilitas yang baik. Bahan pengisi dalam campuran aspal beton adalah bahan yang lolos saringan No.200 (0,075). Bahan pengisi bertujuan untuk meningkatkan kekentalan bahan bitumen dan untuk mengurangi sifat rentan terhadap temperatur, dengan adanya bahan pengisi juga dapat banyak terserap dala bahan bitumen maka akan menaikkan volumenya. Bahan pengisi juga dapat mengurangi volume pori – pori atau rongga sehingga dapat meningkatkan kepadatan dan dapat menurunkan permeabilitas campuran aspal.

Kadar bahan pengisi pada campuran beraspal sangat mempengaruhi sifat campuran beraspal, jika terlalu banyak kadar bahan pengisi maka campuran tersebut akan menjadi kaku dan mudah retak. Namun apabila kadar bahan pengisi campuran terlalu sedikit maka akan membuat campuran menjadi sangat lentur dan mudah terdeformasi oleh beban lalu lintas sehingga jalan tersebut akan bergelombang.



*Oyster Shell* merupakan limbah organik yang melimpah di wilayah pesisir Indonesia. Selain itu, limbah kulit kerang keberadaannya sangatlah melimpah dan banyak dijumpai di daerah pesisir pantai. Selama ini, limbah cangkang kerang belum dimanfaatkan secara optimal dan hanya menjadi sampah yang mencemari lingkungan. Padahal, cangkang kerang kaya akan kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ), yang sifatnya mirip dengan filler seperti kapur. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa limbah cangkang kerang dapat digunakan sebagai material konstruksi alternatif, karena mampu memberikan stabilitas mekanis dan daya tahan yang baik dalam campuran aspal. Oleh karena itu, pemanfaatan *Oyster Shell* sebagai bahan tambah pada campuran aspal diharapkan dapat memberikan solusi terhadap pengelolaan limbah.

Di sisi lain keberadaan plastik semakin melimpah, menurut data Sistem Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) 2024, timbunan sampah nasional dari 221 kabupaten/kota mencapai 19,3 juta ton dimana 19,29% dari jumlah tersebut merupakan sampah plastik. Oleh karena itu, pemanfaatan limbah plastik pada campuran aspal panas dapat dijadikan alternatif untuk mengurangi ketergantungan pada aspal minyak. Dengan penambahan limbah plastik pada campuran aspal panas dapat mendapatkan hasil yang memenuhi persyaratan untuk karakteristik marshall untuk lalu lintas sedang hingga berat (Susilowati et al., 2021). Peningkatan konsumsi plastik global telah menimbulkan masalah lingkungan yang signifikan. Plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE) adalah salah satu jenis plastik yang banyak digunakan dalam kemasan makanan dan produk sekali pakai. Limbah plastik ini sulit terurai secara alami dan menjadi salah satu penyumbang utama pencemaran lingkungan. Beberapa penelitian telah mengkaji penggunaan plastik LDPE dalam campuran aspal dan menemukan bahwa plastik ini dapat meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap deformasi dan memperbaiki sifat reologi aspal. Penambahan plastik LDPE dalam campuran aspal juga dapat meningkatkan fleksibilitas dan kekuatan tarik, yang penting untuk memperpanjang umur perkerasan jalan.

Penelitian dengan *Oyster Shell* dan plastik LDPE sebagai bahan tambah pada AC-WC ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik material dan

kualitas pada perkerasan yang dihasilkan serta sebagai solusi inovatif yang dapat mengurangi bahan material yang melimpah di lingkungan sekitar.

### **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana presentase komposisi dan karakteristik perkerasan jalan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) pada modifikasi penambahan limbah plastik LPDE (*Low Density Polyethylene*) dan penggunaan *Oyster Shell*?
2. Bagaimana hasil pengujian *marshall* yang terjadi pada perkerasan jalan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) modifikasi penambahan limbah plastik LPDE (*Low Density Polyethylene*) dan penggunaan *Oyster Shell Powder*?

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan latar belakang diatas didapatkan tujuan penelitian sebagai berikut :

1. Mengetahui *Job Mix Design* formula terbaik dari pemanfaatan bahan tambah berupa limbah plastik LPDE (*Low Density Polyethylene*) dan *Oyster Shell* sebagai bahan tambah pada *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC).
2. Mengetahui stabilitas terbaik dari pencampuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) dengan limbah plastik LPDE (*Low Density Polyethylene*) dan *Oyster Shell Powder* sebagai bahan tambah untuk perkerasan jalan.

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara langsung maupun tidak langsung bagi peneliti dan pembaca semoga dapat menjadi referensi yang baik untuk penelitian selanjutnya. Berikut ini adalah manfaat dari penelitian ini :

#### **1. Manfaat Teoritis**

Secara teoritis peneliti mengharapkan penelitian ini dapat menambah wawasan dan pengetahuan tambahan dalam menganalisa penggunaan modifikasi penambahan limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LPDE) dan penggunaan *Oyster Shell Powder* terhadap durabilitas perkerasan *Asphalt Concrete Wearing Course*.

#### **2. Manfaat Praktis**

Secara praktis peneliti mengharapkan penelitian ini dapat bermanfaat sebagai berikut:

a. Bagi Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menambah ilmu pengetahuan dan wawasan kajian ilmiah terkait penggunaan modifikasi penambahan limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LPDE) dan penggunaan *Oyster Shell* pada perkerasan *Asphalt Concrete Wearing Course* dan memberikan dasar bagi penelitian selanjutnya tentang pemanfaatan limbah ramah lingkungan dalam infrastruktur jalan.

b. Bagi Masyarakat

Bagi masyarakat umum penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan kesadaran dan keterlibatan masyarakat dalam pengelolaan limbah, penelitian diharapkan dapat mengubah cara pandang masyarakat terhadap limbah, dari yang sebelumnya dianggap tidak bernilai menjadi sumber daya yang bermanfaat.

c. Bagi Dunia Konstruksi

Bagi dunia konstruksi, diharapkan penelitian ini dapat digunakan implikasinya dalam pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas dan tahan lama, serta pembuat kebijakan dalam pengembangan dan pemeliharaan perkerasan jalan yang efisien dan berkelanjutan.

### **1.5. Batasan Penelitian**

Beberapa batasan yang relevan dengan penelitian ini meliputi :

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung Semarang dan tidak dilakukan pencampuran di lapangan.
2. Aspal yang digunakan adalah aspal pen 60/70.
3. Fokus penelitian ini adalah penggunaan *Oyster Shell Powder* dan limbah plastik LDPE sebagai bahan tambah dalam campuran aspal panas.
4. Spesifikasi teknis yang digunakan adalah spesifikasi teknis bina marga tahun 2020 revisi 1.
5. Pengujian yang dilakukan meliputi analisis pengujian sifat fisik kekuatan aspal (uji penetrasi, uji titik kelembakan, uji berat jenis, uji dan uji ekstraksi) sesuai SNI dan uji marshall.

### **1.6.Sistematika Penelitian**

Metode yang digunakan untuk menulis laporan tugas akhir ini dibagi menjadi beberapa bab, yaitu sebagai berikut:

#### **BAB I : PENDAHULUAN**

Bab pertama memberikan konteks untuk masalah yang dibahas dan mendefinisikan ruang lingkup, tujuan, dan dasar – dasar metodologinya.

#### **BAB II : LANDASAN TEORI**

Bab ini memberikan penjelasan teoritis tentang topik tersebut, serta definisi dan pemanfaatan *Oyster Shell* dan limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LPDE) sebagai substitusi.

#### **BAB III : METODE PENELITIAN**

Bab ini membahas tentang contoh dan metode penelitian, serta aliran penelitian, bahan dan peralatan yang digunakan, desain campran, pengujian material, persiapan contoh, pengujian contoh, dan analisis data yang dilakukan selama aktivasi pengujian lab yang dilakukan sesuai dengan persyaratan SNI.

#### **BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN**

Bab ini membahas data yang dikumpulkan serta temuan – temuan identifikasi.

#### **BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini mencakup kesimpulan dan saran tentang temuan pembahasan yang telah dibahas.

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1. Perkerasan Jalan**

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti (Al madani et al., 2022). Perkerasan jalan adalah bagian jalan raya yang diperkeras dengan agregat dan aspal atau semen (*Portland Cement*) sebagai bahan ikatnya sehingga lapis konstruksi tertentu, yang memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Fungsi utama dari perkerasan sendiri adalah untuk menyebarkan atau mendistribusikan beban roda ke area permukaan tanah dasar (*sub-grade*) yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dengan perkerasan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar. Berdasarkan bahan pengikatnya struktur perkerasan dibagi menjadi dua jenis yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar. Pada umumnya perkerasan lentur baik digunakan untuk jalan yang lalu lintasnya ringan sampai sedang, seperti jalan perkotaan, perkerasan dengan konstruksi bertahap.

Perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang menggunakan semen portland sebagai bahan pengikat. Pelat beton dengan tulangan maupun tanpa tulangan diletakkan diatas tanah dasar dengan atau tanpa lapisan pondasi bawah. Pada perkerasan kaku beban lalu lintas sebagian besar dipikul oleh plat beton. Selain dari dua jenis perkerasan tersebut, terdapat juga perkerasan yang merupakan gabungan dari perkerasan kaku dengan perkerasan lentur dengan perkerasan kaku dinamakan perkerasan komposit (*composite pavement*) dimana pada perkerasan ini menggabungkan keunggulan dari dua perkerasan tersebut.



## 2.2. Laston (Lapis Aspal Beton)

Lapis aspal beton adalah lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*) dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu (Al madani et al., 2022). Laston terdiri dari beberapa macam campuran. Ada laston lapis aus (AC-WC), laston lapis pengikat (AC-BC), dan laston lapis pondasi (AC-Base).

Laston (Lapisan Aspal Beton) adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston sebagai lapis aus (Asphalt Concrete-Wearing Course, AC-WC) merupakan lapisan paling atas dari laston yang mengalami kontak langsung dengan kendaraan yang melintas di atasnya. AC – WC mempunyai tekstur yang lebih halus dibandingkan dengan laston lapis antara (AC-BC) (Mashuri & R. Rahman, 2020).

## 2.3. Plastik LDPE (Low Density Polyethylene)

Menurut data Sistem Pengolahan Sampah Nasional (SIPSN) Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK) 2024, timbunan sampah nasional dari 221 kabupaten/kota mencapai 19,3 juta ton. Dari jumlah tersebut, 19,29% merupakan sampah plastik. Limbah plastik merupakan salah satu jenis limbah yang paling banyak ditemukan di seluruh dunia, terutama plastik dengan jenis polimer berbasis *polyethylene* (PE). Salah satu jenis plastik PE yang umum digunakan adalah LDPE (*Low-Density Polyethylene*). Adapun contoh plastik LDPE yakni kantong laundry, kantong kemasan makanan, botol plastik, dan lain sebagainya.

Dalam dunia konstruksi khususnya perkerasan jalan, limbah plastik seringkali digunakan sebagai bahan tambah pada campuran aspal. Limbah plastik dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambah pada beton aspal campuran panas. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Susilowati et al., (2021) penambahan limbah plastik PE pada aspal panas telah menghasilkan kadar limbah plastik optimum sebesar 7,5% kelebihan, dan Marshall Quotient memenuhi persyaratan umum untuk lapis permukaan pada jalan dengan lalu lintas sedang hingga berat. Limbah plastik cenderung meningkatkan nilai rongga terisi aspal, stabilitas, kelebihan dan Marshall Quotient (MQ). Hal ini disebabkan karena limbah plastik bercampur

dengan aspal menyebabkan daya lekat aspal menjadi lebih baik dan selimut aspal bertambah besar.

Menurut Sulistyio et al., (2023), limbah plastik dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton karena plastik mampu melapisi agregat, mengurangi porositas, penyerapan air, dan memperbaiki sifat pengikatan campuran. Plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) adalah jenis plastik termoplastik yang terbuat dari minyak bumi. Plastik LDPE ini memiliki densitas rendah, yaitu antara (0,910–0,940) gr/cm<sup>3</sup>, tidak reaktif pada temperatur kamar, kecuali oleh oksidator kuat dan beberapa jenis pelarut yang dapat menyebabkan kerusakan. Plastik LDPE memiliki titik leleh sebesar (105–115)°C dan tidak mudah bereaksi dengan bahan kimia lain (Afriyanto et al., 2019).

Studi lain menyimpulkan bahwa pencampuran plastik dan aspal merupakan prosedur fisik dimana partikel plastik dapat menyerap komponen ringan dalam aspal untuk membentuk dispersi fase viskoelastik pada temperatur tinggi. Dispersi fase viskoelastik dalam hal ini merujuk pada bagaimana partikel plastik atau aditif tersebar dalam campuran aspal, yang memengaruhi konsistensi dan performa bahan secara keseluruhan. Plastik dengan titik leleh yang relatif rendah, terutama LDPE, dapat mudah tercampur dengan aspal (Ma et al., 2021).

Ketika Limbah plastik dengan titik leleh di bawah suhu produksi campuran digunakan untuk modifikasi campuran, plastik tersebut akan meleleh pada saat pencampuran dengan agregat panas dan menghasilkan agregat berlapis plastik dengan karakteristik fisik dan permukaan yang berpotensi lebih baik (Modarres dan Hamedi, 2014).

Secara umum, LDPE dapat meningkatkan titik lembek dan menurunkan penetrasi campuran pengikat, yang mengindikasikan perilaku campuran aspal yang lebih kaku dan ketahanan yang lebih tinggi terhadap deformasi permanen pada perkerasan jalan. Partikel LDPE masih ada dalam bentuk padat ketika pengikat aspal menjadi lunak pada suhu perkerasan yang tinggi, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap rutting pada campuran aspal yang telah dimodifikasi. Dalam skala mikro, kandungan plastik tertentu dapat bergabung dengan aspal untuk membentuk jaringan yang mencegah pergerakan rantai molekul aspal (Dalhat & Al-Abdul Wahhab, 2017).

#### 2.4. *Oyster Shell*

*Oyster* atau kerang tiram termasuk dalam kelompok hewan moluska, yang memiliki tubuh lunak dan dilindungi oleh cangkang keras. *Oyster Shell*, yang berkapur dan relatif pipih, mengandung komponen kimia utama berupa kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ). Kalsium karbonat ini berbentuk padatan putih dan merupakan senyawa kimia yang banyak ditemukan pada batuan di berbagai bagian bumi, serta sebagai komponen utama pada cangkang organisme laut lainnya, seperti siput, mutiara, dan cangkang telur.

Menurut penelitian Hu et al (2023), unsur kimia utama dalam *Oyster Shell* yang telah dihancurkan terdiri dari 97,244%  $\text{CaCO}_3$ , 2,1%  $\text{Na}_2\text{O}$ , dan sejumlah mineral lainnya dalam jumlah kecil. Kandungan  $\text{CaCO}_3$  yang melebihi 90% pada *Oyster Shell* sangat mirip dengan kandungan kalsium karbonat pada debu kalsium yang digunakan dalam produksi semen Portland (Ruslan et al., 2021). Hal ini menunjukkan potensi besar pemanfaatan *Oyster Shell* dalam industri konstruksi.

Dalam penelitian lainnya yang dilakukan oleh Bellei et al (2023), disebutkan bahwa *Oyster Shell* yang telah dihancurkan dan dipanaskan pada suhu tinggi akan mengubah kalsium karbonat ( $\text{CaCO}_3$ ) menjadi kalsium oksida ( $\text{CaO}$ ) yang mengandung kalsium hidroksida atau *hydrated lime*. Kapur yang dihasilkan dari *Oyster Shell* ini termasuk dalam kategori kapur terhidrasi (*hydrated lime*) dalam siklus kapur. Batuan kapur ini dapat memperlambat kerusakan aspal akibat kelembaban, mereduksi penuaan dan oksidasi aspal, serta mencegah terjadinya rutting. Kalsium hidroksida juga berperan sebagai mineral pengisi dalam campuran beton aspal, yang meningkatkan kekakuan campuran tersebut, membantu mendistribusikan dan mereduksi tegangan akibat beban kendaraan, sehingga mencegah deformasi pada permukaan jalan (Farida & Rachmadiba, 2023). Oleh karena itu, kalsium hidroksida dari *Oyster Shell* memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam industri konstruksi, baik sebagai bahan bangunan, agregat batu kapur untuk pembangunan jalan, maupun bahan tambahan dalam pembuatan semen dan aspal.

## 2.5. Aspal

Aspal merupakan material perekat (*cementitious*) berwarna hitam atau cokelat tua, dengan unsur utama bitumen. Aspal dapat diperoleh dari alam yang merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat dan bersifat termoplastis. Jadi aspal akan mencair ketika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan akan membeku jika temperatur turun.

Aspal ialah bahan hidro karbon yang bersifat melekat (*adhesive*), berwarna hitam kecoklatan, tahan terhadap air, dan viskoelastis. Aspal sering juga disebut bitumen merupakan bahan pengikat pada campuran beraspal yang dimanfaatkan sebagai lapis permukaan lapis perkerasan lentur. Aspal berasal dari aspal alam (aspal buton) atau aspal minyak (aspal yang berasal dari minyak bumi). Berdasarkan konsistensinya, aspal dapat diklasifikasikan menjadi aspal cair, dan aspal padat ((Fahrul Al-Amri, 2016).

Berdasarkan sudut pandang kualitatif aspal terdiri dari dua kelas utama senyawa, yaitu asphaltene dan maltene. Asphaltene mengandung campuran kompleks hidrokarbon (5%-25%), terdiri dari cincin radial aromatik kental dan senyawa heteroaromatik yang mengandung belerang, amina, amida, senyawa oksigen (keton, fenol atau asam karboksilat), nikel dan vanadium. Di dalam maltene terdapat tiga komponen penyusun yaitu saturated, aromatis, dan resin.

### 2.5.1. Aspal Penetrasi 60-70

Aspal Penetrasi 60-70 merupakan jenis aspal yang kerap digunakan sebagai bahan pengikat perkerasan lentur pada jalan karena memiliki karakteristik dapat meresap ke dalam permukaan dengan baik dan memberikan perlindungan yang baik terhadap cuaca ekstrem.

Beberapa poin penting tentang aspal pen 60/70:

1. Sifat Fisik: Aspal Penetrasi 60-70 memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan beberapa jenis aspal lainnya. Viskositas yang tinggi ini memberikan daya tahan yang baik terhadap beban dan suhu tinggi.
2. Penggunaan: Biasanya, Aspal Penetrasi 60-70 sering digunakan dalam proyek-proyek konstruksi jalan, terutama di daerah dengan iklim panas atau iklim dengan fluktuasi suhu yang signifikan.
3. Stabilitas Termal: Salah satu keunggulan Aspal Penetrasi 60-70 adalah stabilitas termalnya yang baik. Ini berarti bahwa aspal ini mampu mempertahankan integritas strukturalnya dalam suhu yang tinggi.
4. Penstabilan Struktural: Aspal Penetrasi 60-70 juga dikenal karena kemampuannya dalam memberikan stabilitas struktural yang tinggi pada campuran aspal. Ini adalah sifat yang sangat penting untuk menghindari retakan dan deformasi pada permukaan jalan.
5. Komposisi: Aspal Penetrasi 60-70 biasanya terbuat dari residu dari pengilangan minyak bumi.
6. Spesifikasi dan Standar: Aspal Penetrasi 60-70, seperti aspal lainnya, harus memenuhi spesifikasi dan standar kualitas tertentu yang ditetapkan oleh badan pengatur atau lembaga standarisasi setempat.

Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi 60-70 yang diperlukan meliputi penetrasi (SNI 2456:2011), titik lembek (SNI 2434:2011), titik nyala (SNI 2433:2011), berat jenis (SNI 2441:2011), daktilitas (SNI 2432: 2011), serta stabilitas penyimpanan (ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011). Pengujian stabilitas penyimpanan diawali dengan memasukkan aspal ke dalam tabung pengujian stabilitas penyimpanan. Tabung pengujian yang digunakan dalam penelitian ini di modifikasi menyesuaikan kebutuhan sampel. Tabung pengujian terbuat dari material aluminium dengan ukuran diameter 90 mm dan tinggi tabung 180 mm. Kemudian tabung yang telah berisi aspal modifikasi tersebut dioven pada suhu 160 °C dan lama pemanasan hingga 24, 48 dan 72 jam. Setelah pemanasan berakhir, sampel bagian atas (top) dan bawah (bottom) diambil dalam keadaan panas dan dilakukan karakterisasi berupa pengujian titik lembek.



**Tabel 2. 1.** Karakteristik Aspal Karet Alam Padat

| No. | Jenis Pengujian                                     | Metoda Pengujian                      | Aspal PEN 60-70 |
|-----|-----------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 1.  | Penetrasi 25 <sup>0</sup> C (0,1 mm)                | SNI 2456-2011                         | 60-70           |
| 2.  | Viskositas Kinematis 135 <sup>0</sup> C [cst]       | ASTM D 2170-10                        | ≥ 300           |
| 3.  | Titik Lembek [ <sup>0</sup> C]                      | SNI 2434:2011                         | ≥ 48            |
| 4.  | Daktilitas pada 25 <sup>0</sup> C, [cm]             | SNI 2432:2011                         | ≥ 100           |
| 5.  | Titik Nyala [ <sup>0</sup> C]                       | SNI 2433:2011                         | ≥ 232           |
| 6.  | Kelarutan dalam Trichloroethylene [%]               | AASHTO T44-14                         | ≥ 99            |
| 7.  | Berat Jenis                                         | SNI 2441:2011                         | ≥ 1,0           |
| 8.  | Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek [0C] | ASTM D5976 part 6.1 dan SNI 2434:2011 | -               |

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2020 Revisi 1

## 2.6. Agregat

Agregat merupakan komponen utama dalam campuran aspal beton. Agregat memberikan stabilitas, kekuatan, dan sifat mekanis lainnya pada perkerasan. Pemilihan jenis, ukuran, dan distribusi agregat memiliki dampak signifikan terhadap sifat fisik dan mekanis aspal beton.

ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan prosentase berat atau 75- 85% agregat berdasarkan prosentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Pemilihan agregat yang akan digunakan harus memperhatikan ketersediaan bahan di lokasi, jenis konstruksi, gradasi, ukuran maksimum, kebersihan, daya tahan, bentuk, tekstur, daya lekat agregat terhadap aspal, dan berat jenisnya. Agregat yang digunakan dalam perkerasan jalan ini memiliki diameter agregat antara 19 mm sampai 0.075 mm. Atau agregat yang lolos saringan no. 2 sampai no. 200.

Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 (tiga) kelompok yaitu :

- Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh gradasi, ukuran maksimum, kadar lempung, kekerasan dan ketahanan (*toughness and durability*) bentuk butir serta tekstur permukaan.
- Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, yang dipengaruhi oleh porositas, kemungkinan basah dan jenis agregat yang digunakan.
- Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, yang dipengaruhi oleh tahanan geser (*skidresistance*) serta campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminous mix workability*).

Agregat dengan kadar pori besar akan membutuhkan jumlah aspal yang lebih banyak karena banyak aspal yang terserap akan mengakibatkan aspal menjadi lebih tipis. Penentuan banyak pori ditentukan berdasarkan air yang dapat terabsorpsi oleh agregat. Nilai penyerapan adalah perubahan berat agregat karena penyerapan air oleh pori-pori dengan agregat pada kondisi kering, yang didapat dengan persamaan sebagai berikut :

Penyerapan Agregat Kasar

$$= \frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\% \quad (2.1)$$

Penyerapan Agregat Halus

$$= \frac{B_s}{B + B_s - B_t} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan :

B : Berat piknometer berisi air, (gram)

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

Bj : Berat sample kering permukaan jenuh Bk: Berat sample kering oven

### 2.6.1. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus. Agregat halus adalah agregat yang terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah yang lolos saringan no.8 (2,36mm). Agregat halus harus merupakan bahan yang

bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya  
Ketentuan agregat halus menurut Spesifikasi Bina Marga dapat dilihat pada tabel 2.2.

**Tabel 2. 2.** Persyaratan 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 2020 Revisi 1

### 2.6.2. Agregat Kasar

Fraksi Agregat kasar untuk rancangan adalah yang tertahan saringan No. 4 (4,75 mm) dan haruslah bersih, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi persyaratan pada tabel 2.3. Agregat kasar yang mempunyai bentuk butiran yang bulat memudahkan proses pemadatan tetapi rendah stabilitasnya, sedangkan yang berbentuk menyudut angular sulit dipadatkan tetapi mempunyai stabilitas tinggi. Agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap abrasi bila digunakan sebagai campuran *wearing course*, untuk itu nilai *los angles abrasion test* harus dipenuhi.

**Tabel 2. 3.** Persyaratan Agregat Kasar untuk AC-WC

| Pengujian                                 |                                | Metoda Pengujian | Nilai     |
|-------------------------------------------|--------------------------------|------------------|-----------|
| Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan | Natrium sulfat                 | SNI 3807:2008    | Maks. 12% |
|                                           | Magnesium sulfat               |                  | Maks. 18% |
| Abrasi dengan mesin Los                   | Campuran AC Modifikasi dan SMA | SNI 2417:2008    | Maks. 6%  |
|                                           | 100 Putaran                    |                  | Maks. 30% |
| Angeles                                   | Semua jenis campuran           | 500 Putaran      | Maks. 8%  |

|                                  |             |                  |           |
|----------------------------------|-------------|------------------|-----------|
| beraspal                         |             |                  |           |
| bergradasi                       | 500 Putaran |                  | Maks. 40% |
| lainnya                          |             |                  |           |
| Kelekatan agregat terhadap aspal |             | SNI 2439:2011    | Min. 95%  |
| Butir pecah pada agregat kasar   | SMA         |                  | 100/90    |
|                                  | Lainnya     | SNI 7619:2012    | 95/90     |
| Partikel pipih dan lonjong       | SMA         | ASTM D4791-10    | Maks. 5%  |
|                                  | Lainnya     | Perbandingan 1:5 | Maks. 10% |
| Material lolos Ayakan No.200     |             | SNI C117:2012    | Maks. 1%  |

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2020 Revisi 2

Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat.

**Tabel 2. 4.** Amplop Gradasi Agregat Campuran untuk AC-WC

| Pengujian                                 |                    | Metoda Pengujian | Nilai     |
|-------------------------------------------|--------------------|------------------|-----------|
| Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan |                    | Natrium sulfat   | Maks. 12% |
|                                           |                    | Magnesium sulfat | Maks. 18% |
| Abrasi dengan mesin Los Angeles           | Campuran AC        | 100 Putaran      | Maks. 6%  |
|                                           | Modifikasi dan SMA | 500 Putaran      | Maks. 30% |

|                                                   |             |                    |           |
|---------------------------------------------------|-------------|--------------------|-----------|
| Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya  | 100 Putaran |                    | Maks. 8%  |
| Kelekatan agregat terhadap aspal                  |             | SNI 2439:2011      | Min. 95%  |
| Butir pecah pada agregat kasar                    | SMA         |                    | 100/90    |
|                                                   | Lainnya     | SNI 7619:2012      | 95/90     |
| Partikel pipih dan lonjong                        | SMA         | ASTM D4791-10      | Maks. 5%  |
|                                                   | Lainnya     | Perbandingan 1:5   | Maks. 10% |
| Material lolos Ayakan No.200                      |             | SNI ASTM C117:2012 | Maks. 1%  |
| Sumber : Spesifikasi Umum Binamarga 2020 Revisi 1 |             |                    |           |

**Catatan:**

1. Abrasi dengan mesin Los Angeles dengan 100 putaran harus dilakukan untuk mengetahui keseragaman mutu agregat dan nilai abrasi dengan 100 putaran tidak boleh melampaui 20% dari nilai abrasi dengan 500 putaran.
2. 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

**2.7. Filler**

*Filler* adalah material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, portland semen dan abu batu. *Filler* dapat berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran dan meningkatkan kepadatan campuran, namun demikian jumlah



*filler* harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampaui tinggi kadar *filler* maka cenderung menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas. Pada sisi lain kadar *filler* yang terlampaui rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Jumlah *filler* ideal antara 0.6 sampai 1.2, yaitu perbandingan prosentase *filler* dengan prosentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah *Dust Proportion*. *Filler* yang baik adalah yang tidak tercampur dengan kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dan dalam keadaan kering (kadar air maks 1%). *Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah semen. Fungsi *filler* dalam campuran adalah:

1. Untuk memodifikasi agregat halus sehingga berat jenis campuran meningkat dan jumlah aspal yang diperlukan untuk mengisi rongga akan berkurang.
2. *Filler* dan aspal secara bersamaan akan membentuk suatu pasta yang akan membalut dan mengikat agregat halus untuk membentuk mortar. Dan mengisi ruang antara agregat halus dan kasar serta meningkatkan kepadatan dan kestabilan.

## **2.8. Marshall test**

Alat Marshall merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji). *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran. Di samping itu terdapat arloji kelelahan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Benda uji ini berbentuk silinder dengan diameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm dipersiapkan di laboratorium, dalam cetakan benda uji dengan menggunakan *hammer* (penumbuk) dengan berat 10 pon (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inci (45,7 cm), dibebani dengan kecepatan tetap 50 mm/menit.

Kinerja beton aspal padat ditentukan melalui pengujian benda uji yang meliputi :

1. Penentuan berat volume benda uji
2. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai kelelahan plastis.

3. Pengujian kelelahan (*flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan.
4. Perhitungan kepadatan berat isi campuran aspal.
5. Perhitungan perbandingan rasio partikel bahan lolos saringan no.200 dengan kadar aspal efektif
6. Perhitungan berbagai jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA, VFA)
7. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

## 2.9. Uji Karakteristik Marshall

Uji Karakteristik Marshall adalah salah satu metode yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas campuran aspal, terutama untuk mengetahui sifat fisik dan mekanik dari campuran aspal panas. Uji ini mengukur beberapa parameter penting, antara lain *Marshall Stability* (stabilitas), *Flow* (aliran), dan *Void in Mineral Aggregate* (VMA) serta *Void Filled with Asphalt* (VFA). Uji *Marshall Stability* digunakan untuk menentukan kemampuan campuran aspal untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami kerusakan atau deformasi plastis yang berlebihan, sedangkan *Flow* mengukur tingkat deformasi plastis yang terjadi pada campuran aspal di bawah beban. Sifat-sifat ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi, beban lalu lintas yang berat, dan kondisi lingkungan yang ekstrem. Proses uji Marshall dilakukan dengan memadatkan campuran aspal ke dalam silinder, kemudian memberikan beban tekan secara vertikal pada suhu tertentu, umumnya pada 60°C. Hasil dari uji ini digunakan untuk menentukan proporsi campuran aspal yang optimal yang dapat memenuhi persyaratan teknis dan ketahanan terhadap kerusakan.

Adapun persyaratan campuran beraspal dingin dengan Asbuton butir menurut Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga tentang pemanfaatan Asbuton, campuran beraspal panas dengan Aspal minyak butir peremaja emulsi. Persyaratan briket hasil pemadatan dengan  $2 \times 50$  tumbukan sedangkan pada SNI 06- 2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat marshall  $2 \times 75$  tumbukan untuk lalu lintas berat.

## 2.10. Metode Pengujian

Aspal beton dibentuk dengan menggunakan agregat, aspal, dan material lainnya yang dicampur sampai homogen pada alat dengan suhu tertentu. Adapun perhitungan yang digunakan pada campuran aspal beton, sebagai berikut :

### 2.10.1. Metode Pengujian Aspal

#### 1. Berat Jenis *bulk* Beton Aspal Padat (Gmb)

Hukum Archimedes dapat digunakan untuk menghitung ukurannya, yaitu

$$Gmb = \frac{\text{Berat Uji Kering}}{\text{Berat Uji Kering Permukaan} - \text{Berat Uji dalam Air}} \dots\dots\dots (2.2)$$

#### 2. Berat Jenis Maksimum beton Aspal yang belum dipadatkan (Gmm/*The Maximum Specific Gravity of the Asphalt Mixture*)

Beton aspal yang tidak dimampatkan memiliki berat jenis maksimum yang diizinkan untuk campuran beton aspal tanpa udara.

$$Gmm = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} + \frac{Pb}{Gb}} \dots\dots\dots (2.3)$$

Dimana :

Gmm = Berat Jenis Maksimum Material Campuran

Pb = Jumlah Aspal sebagai Persentase dari Total Berat Campuran

Ps = Jumlah Agregat sebagai Persentase dari Total Berat Campuran

Gb = Kepadatan Aspal

Gse= Kepadatan Efektif Agregat

### 2.10.2. Metode Pengujian Agregat

Dasar perhitungan dalam menghitung agregat sesuai dengan standar Bina Marga Edisi 2020 adalah seperti berikut :

#### a. Berat Jenis

Berat jenis agregat didefinisikan sebagai rasio kepadatan agregat terhadap kepadatan air. Spesifikasi Umum Bina Marga memiliki persyaratan terkait berat

jenis agregat. Terdapat empat jenis berat jenis agregat yang harus diperhatikan sesuai dengan spesifikasi tersebut, meliputi :

1. Berat jenis *Bulk* (*bulk Specific gravity*) adalah menentukan volume total agregat dan berat keringnya.

Perhitungan berat jenis *bulk* pada agregat kasar:

$$Gsb = \frac{Bk}{(B_j - Ba)} \dots\dots\dots (2.4)$$

Perhitungan berat jenis *bulk* pada agregat halus:

$$Gsb = \frac{Bk}{(B + 500 - Bt)} \dots\dots\dots (2.5)$$

2. Berat jenis kering permukaan (*saturated surface dry*) adalah perhitungan berat agregat dalam keadaan kering permukaan.

Perhitungan berat jenis kering permukaan pada agregat kasar:

$$Gssd = \frac{B_j}{(B_j - Ba)} \dots\dots\dots (2.6)$$

Perhitungan berat jenis kering permukaan pada agregat halus:

$$Gssd = \frac{500}{(B + 500 - Bt)} \dots\dots\dots (2.7)$$

3. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) adalah perhitungan berat kering agregat dan volume yang tidak dapat diresapi dengan air.

Perhitungan berat jenis semu pada agregat kasar dan halus:

$$Gse = \frac{Gsb + Gsa}{2} \dots\dots\dots (2.8)$$

Perhitungan berat jenis pada material pengisi (*filler*):

$$Berat\ jenis = \frac{Wt}{W5 - W3} \dots\dots\dots (2.9)$$

#### b. Penyerapan

Nilai ekonomis dari suatu campuran dapat dipengaruhi melalui penyerapan. Agregat dengan daya serap tinggi menyebabkan aspal terdegradasi. dikarenakan agregat akan terus menyerap aspal selama proses pencampuran aspal dan agregat

berlangsung. Sementara itu, agregat dengan daya serap rendah akan menyebabkan adanya keterikatan yang kuat antara aspal dan agregat. Kuantitas air yang dapat ditampung oleh agregat digunakan sebagai proksi untuk kapasitas penyerapannya.

$$\text{Penyerapan agregat kasar} = \frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\text{Penyerapan agregat kasar} = \frac{500 - B_k}{B_k} \times 100\% \dots\dots\dots(2.11)$$

Syarat-syarat mengenai berat jenis dan penyerapan agregat sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga pada tahun 2020.

**Tabel 2. 5.** Syarat Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

| Jenis Pengujian  | Metode Pengujian | Syarat   |
|------------------|------------------|----------|
| Berat Jenis Bulk | SNI 03-1969-1990 | Min. 2,5 |
| Berat Jenis SSD  |                  |          |
| Berat Jenis Semu |                  |          |
| Penyerapan (%)   |                  | Maks. 3% |



### 2.11. Penelitian Terdahulu yang Sejenis

Penelitian tentang teknologi dan inovasi perkerasan jalan aspal telah dilakukan sebelumnya, tetapi sejauh penelusuran yang telah dilakukan penelitian, belum ada penelitian yang sama dengan penelitian yang peneliti lakukan. Penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya antara lain :

**Tabel 2. 6.** Keaslian Tugas Akhir

| No | Penulis                                                                      | Judul                                                                                                 | Metode                                                                                                                                                                                                                      | Variabel                                                                                                                          | Hasil                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | Birahmatika<br>Afriyanto, Eva<br>Wahyu Indriyati,<br>Probo Hardini<br>(2019) | Pengaruh<br>Limbah Plastik<br>Low Density<br>Polyethylene<br>Terhadap<br>Karakteristik<br>Dasar Aspal | Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Transportasi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purbalingga. Pembuatan benda uji dilakukan dengan menggunakan metode pencampuran aspal panas dan plastik dingin. | Penelitian ini menggunakan variasi kadar plastik LDPE sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% | Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan, kadar penambahan plastik LDPE maksimal yang memenuhi persyaratan untuk aspal modifikasi adalah 5%. Hal tersebut karena hasil-hasil pengujian penetrasi, pengujian berat jenis, pengujian daktilitas, pengujian titik leleh, pengujian titik nyala dan titik bakar, serta pengujian viskositas untuk aspal dengan kadar plastik antara 0% sampai 5%, memenuhi persyaratan spesifikasi umum Bina Marga 2010. |
| 2  | Kartika Indah<br>Sari, (2021)                                                | Pengaruh<br>Serbuk Abu                                                                                | Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian                                                                                                                                                                           | Variabel menggunakan abu cangkang kerang dara                                                                                     | Dari hasil penelitian pengaruh penggantian sebagian filler cangkang kerang sebesar                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|   |                                                                                                  |                                                                    |                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                                                                                  | Cangkang Kerang Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Aspal | ini adalah eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara.                                                                                      | yang digunakan sebagai pengganti filler pada campuran aspal dengan variasi campuran 15% dan 25%                                                                                                                                             | 15% dan 25% yang menunjukkan perubahan nilai stabilitas untuk campuran 15% sebesar 1192 kg dan 25 % sebesar 1245 kg sedangkan Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga 2010 revisi 1 sebesar 800 kg telah memenuhi syarat spesifikasi.                     |
| 3 | Yuetan Ma, Hongyu Zhou, Xi Jiang, Pawel Polaczyk, Rui Xiao, Miaomiao Zhang, Baoshan Huang (2021) | The utilization of waste plastics in asphalt pavements: A review   | Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur atau review sistematis, yang mengumpulkan, membandingkan, dan menganalisis hasil-hasil penelitian sebelumnya terkait penggunaan plastik limbah dalam campuran aspal. | Variabel dalam tinjauan ini berkaitan dengan jenis limbah plastik yang digunakan dalam campuran aspal. Beberapa jenis plastik yang dibahas meliputi:<br>- Plastik PE, seperti LDPE & HDPE<br>- Plastik PET<br>- Plastik PP<br>- Plastik PVC | Berbagai penelitian mengenai perkerasan aspal yang mengandung plastik menunjukkan bahwa penggabungan plastik dalam perkerasan aspal dapat meningkatkan ketahanan kelembaban, meningkatkan sifat pengikatan, dan memfasilitasi kinerja suhu tinggi tanpa meningkatkan biaya konstruksi. |

|   |                                          |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                          |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | - Plastik lainnya, seperti polistiren, dll.                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| 4 | Chao Hu, Daojun Zhong, Shilong Li (2022) | A study on effect of oyster shell powder on mechanical properties of asphalt and multiple degrees of modification mechanism | Pertama, <i>oyster shell powder</i> (OSP) diolah terlebih dahulu: bahan baku OSP dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dan perlakuan pemanasan awal 80°C, kemudian aspal matriks dipanaskan hingga 140°C. OSP yang dipanaskan ditambahkan ke aspal matriks dengan metode pencampuran eksternal sesuai dengan proporsi yang ditetapkan. | Variabel yang digunakan yaitu modifikasi aspal dengan menambahkan OSP dengan kehalusan 40 mesh ke dalam aspal sebanyak 3%, 6%, 9%, 12%, 15%, dan 18%. | Hasil penelitian menunjukkan bahwa <i>oyster shell powder</i> (OSP) memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat mekanik aspal, dan penggabungan OSP berpengaruh positif terhadap peningkatan kinerja teknis aspal. Dari penelitian makalah ini, ketika kandungan OSP 12%, OSP memiliki pengaruh terbesar pada sifat mekanik aspal dan efek modifikasi terbaik pada aspal. |
| 5 | Ida Farida, Padia Rachadiba, (2023)      | Pengaruh Filler Abu Cangkang Kerang Terhadap Campuran                                                                       | Metodologi yang digunakan adalah dimulai dari persiapan alat dan bahan, lalu pengujian karakteristik campuran beton aspal dengan filler kapur cangkang kerang pada                                                                                                                                                                      | Abu cangkang kerang sebagai filler dalam campuran aspal. Variasi abu cangkang kerang yang digunakan yaitu 4%, 6% dan 8% dari berat filler.            | Nilai stabilitas mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya prosentase abu cangkang kerang. Untuk nilai stabilitas pada persentase 4 % sebesar 1337.2kg, untuk persentase 6% nilai stabilitasnya sebesar 1497.2 kg, dan prosentase 8% sebesar                                                                                                                              |

|   |                                    |                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   |                                    | Aspal Daerah Pesisir Pantai                                                                                                              | campuran beton aspal lapis permukaan (AC-BC).                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                      | 1531.3 kg merupakan stabilitas tertinggi. Dengan demikian bertambahnya abu cangkang kerang yang mengandung kalsium hidroksida memberikan pengaruh positif pada campuran beraspal karena membuat rongga dalam aspal semakin kecil dan campuran semakin padat.             |
| 6 | Alfitri Ratnasari,<br>Alwi Hapsari | Analisis Ashpalt Laston Ac-Wc Dengan Bahan Tambah Oyster Shell dan Limbah Plastik Low Density Polyethylene (Ldpe) untuk Perkerasan Jalan | Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental yang dilakukan di Laboratorium Transportasi Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung. | Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu penambahan limbah <i>Oyster Shell Powder</i> dengan presentase campuran 0%, 2%, 4%, dan 6% serta penambahan limbah LDPE dengan presentase campuran 0%, 3%, dan 6%. | Hasil job mix formula pada pengujian marshall yang terbaik dan memenuhi semua parameter dari pemanfaatan bahan tambah berupa limbah plastik LDPE (Low Density Polyethylene) dan Oyster Shell yaitu pada komposisi LDPE 3% dengan Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, dan 6%. |

## **BAB III**

### **METODOLOGI**

#### **3.1 Metode Penelitian**

Metodologi yang digunakan untuk penelitian tugas akhir ini adalah metode eksperimen. Teknik eksperimen adalah pendekatan studi yang digunakan untuk menemukan dan memahami dampak dari perlakuan khusus terhadap variabel lain dibawah pengaturan yang terkendali dengan baik. Studi eksperimental dapat dibedakan menjadi 2, yaitu studi laboratorium atau studi lapangan. Dalam penelitian ini, pengujian aspal dan agregat dilakukan di laboratorium sebagai bagian dari metodologi eksperimental.

Langkah pertama dalam penelitian ini adalah melakukan tinjauan literatur yang ada, diikuti dengan pengumpulan data. Untuk perkerasan jalan, sumber primer dan sekunder digunakan untuk analisis ini. Data primer diperoleh dari percobaan yang dilakukan secara langsung oleh peneliti di laboratorium, mengacu pada petunjuk manual yang telah tersedia. Data sekunder, di sisi lain merupakan informasi yang dikumpulkan secara tidak langsung dari penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas topik dan/jenis data yang serupa dan karenanya masih relevan dengan penelitian saat ini. Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Transportasi di Universitas Islam Sultan Agung di Semarang.

#### **3.2 Metode Persiapan**

##### **1. Persiapan Peralatan Penelitian**

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Satu Set Saringan (*Sieve*) Penggunaan alat saringan digunakan untuk memisahkan agregat berdasarkan gradasi agregat
2. Alat Uji Pemeriksaan Aspal Pemakaian alat ini digunakan untuk pemeriksaan aspal antara lain seperti uji penetrasi, uji titik lembek, uji kehilangan berat, uji berat jenis (piknometer dan timbangan).
3. Alat Uji Pemeriksaan Agregat Peralatan yang digunakan untuk pengujian agregat antara lain mesin *Los Angeles* (tes abrasi), alat pengering yaitu oven, timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer, timbangan, pemanas).



4. Alat Uji Karakteristik Campuran Agregat dan Aspal Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode Marshall, meliputi :
- a. Alat tekan Marshall yang terdiri dari kepala penekan berbentuk lengkung, cincin penguji berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) yang dilengkapi dengan arloji pengukur *flowmeter*.
  - b. Alat cetak benda uji berbentuk silinder diameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 3 inchi (7,5 cm).
  - c. *Marshall automatic compactor* yang digunakan untuk pemadatan campuran sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi (atas dan bawah).
  - d. *Ejektor* untuk mengeluarkan benda uji setelah proses pemadatan.
  - e. Bak perendam (*water bath*) yang dilengkapi pengatur suhu.
  - f. Alat-alat penunjang yang meliputi penggorengan pencampur, kompor pemanas, termometer, sendok pengaduk, sarung tangan anti panas, kain lap, timbangan, ember untuk merendam benda uji, jangka sorong, pan, dan tipe-x yang digunakan untuk menandai benda uji.

## **2. Persiapan Bahan Penelitian**

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. Penggunaan Material Agregat Kasar, Agregat Halus, yang digunakan berasal dari PT. Mohandas Oeloeng Kendal
2. Aspal yang digunakan yaitul Aspal Pen 60/70
3. Bahan Pengisi atau material lolos saringan No.200 (Filler)
4. Filler yang digunakan dalam penelitian ini adalah Portland Cement.
5. Bahan yang digunakan untuk subtitusi filler yaitu *Oyster Shell* yang telah dihaluskan dan telah lolos saringan No.200, diambil dari daerah pesisir Pantai Ngebum, Kendal.
6. Bahan tambah yang digunakan adalah Plastik *Low Density Polyetilen* (LDPE)

## **3.3 Metode Pemeriksaan**

### **1. Pemeriksaan Agregat**

Pemeriksaan agregat diperlukan sebagai bahan pengisi pada campuran beraspal dengan komposisi gradasi sesuai dengan gradasi terpakai yang memenuhi

spesifikasi yang ada. Untuk agregat kasar, agregat halus, dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, penyerapan dan filler yang digunakan adalah semen. Berikut adalah standar ketentuan pemeriksaan agregat pada **Tabel 3.1** dibawah ini

**Tabel 3. 1.** Stadar Pemeriksaan Agregat

| No | Jenis Pengujian                                                                                   | Standar Pengujian |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|
| 1  | Analisa Saringan                                                                                  | SNI 03-1968-1990  |
| 2  | Berat Jenis (berat jenis bulk, berat jenis SSD dan berat jenis semu) dan penyerapan agregat kasar | SNI 03-1979-1990  |
| 3  | Berat Jenis (berat jenis bulk, berat jenis SSD dan berat jenis semu) dan penyerapan agregat halus | SNI 03-1970-1990  |
| 4  | <i>Los Angeles Test</i>                                                                           | SNI 03-2417-2008  |

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, Spesifikasi Umum 2020 Revisi 1

## 2. Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir agregat kasar dengan menggunakan satu set saringan. Berikut langkah-langkah prosedur pengujian analisa saringan :

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

## 3. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan berat jenis (*Bulk*), berat jenis permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*), berat jenis semu (*Apparent*) dan

prosentase air yang dapat diserap terhadap berat agregat kasar. Berikut langkah-langkah pemeriksaan agregat kasar :

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

#### **4. Pengujian Abrasi**

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

1. Mempersiapkan peralatan dan bahan yang akan digunakan dalam pengujian keausan agregat dengan mesin los angeles.
2. Ambil agregat kasar sebanyak 5000 gr, yaitu agregat yang lolos saringan 12,5 mm dan tertahan saringan 9,5 mm.
3. Cuci agregat tersebut hingga bersih dan oven selama 24 jam, dan setelah dioven dinginkan agar suhunya sama dengan suhu ruangan.
4. Setelah dingin masukkan benda uji kedalam mesin *los angeles* dan 6 buah bola baja.
5. Nyalakan mesin dengan kecepatan putaran 30 – 33 rpm yaitu sekitar 500 putaran selama 15 menit.
6. Setelah selesai keluarkan agregat dari mesin *los angeles* dan saring dengan menggunakan saringan 2,36 mm.
7. Timbang berat agregat yang lolos dan tertahan saringan 2,36 mm tersebut.
8. Lakukan pengolahan data.

## 5. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

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

1. Rendam benda uji selama 24 jam.
2. Buang air perendam hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat diatas talang, keringkan diudara panas dengan cara membalik-balikkan benda uji. Lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh.
3. Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji kedalam kerucut terpacung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpacung. Keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
4. Segera setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan benda uji kedalam piknometer. Masukkan air suling kedalam piknometer kira-kira 3/4 bagian, putar sambil guncang sampai tidak terlihat gelembung udara didalamnya.
5. Tambahkan air sampai mencapai tanda batas.
6. Timbang piknometer berisi air dan benda uji (Bt).
7. Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu 110°C, kemudian dinginkan benda uji lalu timbang (Bk).
8. Tentukan berat piknometer berisi air penuh dan ukuran suhu air guna penyesuaian dengan suhu standar 25°C.

## 6. Pemeriksaan Kadar Lumpur

Pemeriksaan ini bertujuan untuk menentukan jumlah bahan yang terdapat dalam agregat lewat saringan no. 200 dengan cara pencucian. Berikut langkah-langkah prosedur pemeriksaan kadar lumpur agregat :

1. Masukkan benda uji kedalam wadah, dan diberi air pencuci secukupnya sehingga benda uji terendam.

2. Guncangkan wadah dan tuangkan air cucian kedalam susunan saringan no 16 dan no 200. Pada waktu menuang air cucian, usahakan agar bahan yang kasar tidak ikut tertuang.
3. Masukkan air pencuci baru, dan ulanglah pekerjaan (b) sampai air cucian menjadi jernih.
4. Semua bahan yang tertahan saringan no. 16 dan no. 200 kembalikan kedalam wadah, kemudian masukkan seluruh bahan tersebut kedalam talam yang telah diketahui beratnya ( $w_2$ ) dan keringkan dalam oven, dengan suhu  $(110 \pm 5)^\circ\text{C}$  sampai berat tetap.
5. Setelah kering timbang dan catatlah beratnya ( $w_3$ ).
6. Hitunglah berat bahan kering tersebut ( $w_4 = w_3 - w_2$ ).

## 7. Pemeriksaan Aspal

Pengujian aspal dilakukan dengan melakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, dan kehilangan berat. Standar pengujian aspal seperti tertera pada **Tabel 3.2** dibawah ini.

**Tabel 3. 2.** Standar Pengujian Aspal

| No | Jenis Pengujian                   | Standar uji      |
|----|-----------------------------------|------------------|
| 1  | Penetrasi $25^\circ\text{C}$ (mm) | SNI 06-2456-1991 |
| 2  | Titik Lembek ( $^\circ\text{C}$ ) | SNI 06-2434-1991 |
| 3  | Daktilitas pada $25^\circ$ (mm)   | SNI 06-2432-1991 |
| 4  | Berat Jenis                       | SNI 06-2441-1991 |
| 5  | Kehilangan Berat                  | SNI 06-2440-1991 |

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga, Spesifikasi Umum 2020 Revisi 1

## 8. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

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

1. Timbang piknometer kosong dalam keadaan bersih dan kering.
2. Mengisi bejana dengan air suling sehingga diperkirakan bagian atas piknometer yang terendam 40 mm, kemudian rendam dan jepitlah bejana



tersebut dalam bak perendam sekurang-kurangnya 100 mm, kemudian mengatur suhu bak perendaman pada suhu 25 °C

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

#### **9. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal**

Pemeriksaan ini bertujuan untuk memeriksa temperatur pada saat dimana aspal menjadi lunak atau lembek. Berikut langkah-langkah prosedur pemeriksaan titik lembek aspal :

1. Pasang dan atur benda uji diatas kedua kedudukannya dan letakkan pengarah bola keatasnya. Kemudian masukkan seluruh peralatan tersebut kedalam bejana gelas. Isi bejana dengan air suling dengan suhu 5°C dan tinggi permukaan air berkisar antara 101.6 – 108 mm, letakkan thermometer yang sesuai untuk pekerjaan ini diantara kedua benda uji. Atur jarak antara permukaan pelat dasar dengan dasar benda uji sehingga menjadi 25.4 mm.
2. Panaskan bejana sehingga kenaikan suhu menjadi 5°C/menit.
3. Catat suhu dan waktu pada saat bola menyentuh pelat dasar.

## 10. Pemeriksaan Penetrasi Aspal

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

1. Letakkan benda uji dalam tempat air yang kecil dan masukkan tempat air tersebut dalam bak perendam yang telah berada pada suhu 25°C.
2. Letakkan pemberat 100 gram diatas jarum untuk memperoleh beban sebesar  $(110 \pm 0.1)$  gram.
3. Pindahkan tempat air dari bak perendam tepat dibawah alat penetrasi.
4. Turunkan jarum perlahan-lahan sehingga jarum tersebut menyentuh permukaan benda uji. Kemudian aturlah angka 0 di arloji penetrometer, sehingga jarum penunjuk berimpit dengannya.
5. Lepaskan pemegang jarum.
6. Putarlah arloji penetrometer dan bacalah angka penetrasi yang berimpit dengan jarum penunjuk.
7. Lepaskan jarum dari pemegang jarum dan siapkan alat penetrasi untuk pekerjaan berikutnya.
8. Lakukan pekerjaan 1 sampai dengan 6 diatas tidak kurang dari 3 kali untuk benda uji yang sama dengan ketentuan setiap titik pemeriksaan berjarak satu sama lain dan dari tepi dinding lebih dari 1 cm.

### 3.4 Perencanaan Campuran

Untuk mendapatkan campuran yang ideal dan memberikan kinerja perkerasan yang optimal maka sebelum membuat campuran diperlukan perencanaan campuran untuk menentukan komposisi masing-masing bahan penyusun campuran agar diperoleh campuran beraspal yang memenuhi spesifikasi antara lain :

- a. Pada Penelitian ini gradasi campuran agregat yang digunakan, adalah gradasi campuran AC-WC. Perencanaan campuran beraspal AC-WC ini dilakukan dengan mengambil batas atas dan batas tengah dari setiap persen berat lolos saringan, sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2020.

- b. Melakukan analisa perhitungan komposisi yang ideal dan memenuhi persyaratan spesifikasi. Komposisi didapat dari hasil trial and error dan didasarkan pada nilai spesifikasi pada campuran beraspal tipe AC-WC. Berikut cara menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) dengan persamaan sebagai berikut :

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

Keterangan:

- Pb : Kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran  
CA : Persen agregat tertahan saringan No.8 (2,36 mm)  
FA : Persen agregat lolos saringan No.8 (2,36 mm) dan tertahan saringan No.200 (0,075 mm)  
Filler : Persen agregat minimal 75% lolos No.200 (0,075 mm)  
K : Nilai Konstanta untuk besar nilai konstanta diperkirakan antara 0,5 sampai 1,0 untuk Laston

- c. Hasil perhitungan nilai Pb dibulatkan, perkiraan nilai P sampai 0,5% terdekat. Contohnya jika hasil perhitungan diperoleh 5,95 % maka dibulatkan menjadi 6 %.
- d. Setelah proses analisa didapatkan komposisi masing-masing fraksi gregat, kemudian dilanjutkan proses pengayakan agregat sesuai dengan nomor saringan yang dibutuhkan, dan sesuai berat yang telah kita hitung dari proses analisa.

### 3.5 Pembuatan Benda Uji

- a. Benda Uji dan Kadar Aspal Awal

Menyiapkan benda uji marshall pada kadar aspal sebagai berikut :

- Untuk dua sampel pada kadar aspal berada diatas nilai Pb.
- Untuk dua sampel pada kadar aspal berada diatas nilai Pb.
  - a. Kadar aspal (Pb)-1,0%
  - b. Kadar aspal (Pb)-0,5%
  - c. Kadar aspal (Pb)
  - d. Kadar aspal (Pb)+0,5%
  - e. Kadar aspal (Pb)+1,0%

- b. Setelah diperoleh nilai kadar aspal, selanjutnya menghitung berat jenis maksimum (BJ Max) dengan cara mengambil data dari percobaan berat jenis agregat kasar dan agregat halus.
- c. Jika semua data telah diperoleh, selanjutnya dilakukan perhitungan berat sampel, berat aspal, berat agregat dan menghitung kebutuhan agregat tiap sampel berdasarkan presentase tertahan.
- d. Komposisi campuran agregat, aspal, *filler* dengan suhu standar pencampuran yaitu 145°C, pada gradasi kasar batas atas dan batas tengah. Aspal yang digunakan untuk pembuatan benda uji adalah aspal pen 60/70. Benda uji dibuat sebanyak 3 tiap masing-masing variasi kadar aspal yang telah ditentukan.

**Tabel 3. 3.** Pembuatan benda uji pemadatan laston  
AC-WC untuk menentukan nilai KAO

| Variasi Kadar Aspal | Jumlah benda uji |
|---------------------|------------------|
| (Pb)-1,0%           | 3                |
| (Pb)-0,5%           | 3                |
| (Pb) %              | 3                |
| (Pb)+0,5%           | 3                |
| (Pb)+1,0%           | 3                |
| Jumlah              | 15               |

Pencampuran bahan dilakukan dengan diaduk diatas wajan yang dipanaskan. Dilanjutkan proses pemadatan standart dengan *Automatic Marshall Compactor* terhadap sampel sebanyak 2 x 75 kali tumbukan ( 2 sisi atas dan bawah) dengan suhu 145°C. Dan diamkan benda uji selama 24 jam hingga mengeras.

- e. Benda uji kadar aspal optimum

Dari pembuatan benda uji dengan kadar aspal awal sesuai perhitungan Pb didapatkan nilai kadar aspal dan nilai VIM (*Void In Mix*). Setelah itu dilanjutkan dengan pengujian dengan uji marshall sehingga didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO).

- f. Dilanjutkan dengan pembuatan benda uji dengan campuran abu cangkang kerang dengan variasi presentase abu cangkang kerang yang digunakan yaitu 0%, 2%, 4% dan 6% dan limbah plastik LDPE sebesar 0%, 3%, 6% dengan kadar

aspal optimum mengikuti langkah-langkah yang sama seperti yang disebutkan diatas. Setelah itu dilanjutkan dengan uji marshall kembali menggunakan kadar aspal optimum sebanyak 3 sampel pada tiap variasinya (**Tabel 3.4**).

### 3.6 Pengujian dengan alat Marshall

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (*stabilitas*) terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal sesuai dengan prosedur SNI 06- 2489-1991.

Berikut langkah-langkah pengujian dengan alat Marshall :

- a. Benda uji direndam dalam bak perendaman pada suhu  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$  selama 30 menit
- b. Bagian dalam permukaan kepala penekan dibersihkan dan dilumasi agar benda uji mudah dilepaskan setelah pengujian.
- c. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam, letakkan benda uji tepat di tengah pada bagian bawah kepala penekan kemudian letakkan bagian atas kepala penekan dengan memasukkan lewat batang penuntun, kemudian letakkan pemasangan yang sudah lengkap tersebut tepat ditengah alat pembebanan, arloji kelelahan (flow meter) dipasang pada dudukan diatas salah satu batang penuntun.
- d. Kepala penekan dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur kedudukan jarum arloji penekan dan arloji kelelahan pada angka nol.
- e. Pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 51 mm (2 inch.) per menit, dibaca pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali menurun, itu merupakan nilai stabilitas Marshall.
- f. Setelah pengujian selesai, kepala penekan diambil, bagian atas dibuka dan benda uji dikeluarkan.

Setelah pengujian Marshall selesai serta nilai stabilitas dan flow didapat, selanjutnya menghitung parameter Marshall yaitu VIM, VMA, dan parameter lainnya sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran.



### 3.7 Pengolahan Hasil

Dari data hasil penelitian di Laboratorium akan membandingkan nilai stabilitas dan karakteristik campuran (rongga dalam campuran, rongga antar agregat dan rongga terisi aspal) akibat pengaruh penambahan *Oyster Shell Powder* dengan variasi presentasi 0%,2%,4%,6% dan penambahan limbah LDPE pada campuran AC-WC bergradasi halus dengan variasi prosentase 0%, 3%, 6%.

Hasil pengolahan akan diuraikan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter Marshall, yaitu gambar grafik hubungan antara:

- Kadar aspal terhadap Stabilitas
- Kadar aspal terhadap VIM
- Kadar aspal terhadap VMA
- Kadar aspal terhadap VFA
- Kadar aspal terhadap *flow*
- Kadar aspal terhadap *Marshall Quotient* (MQ)

### 3.8 Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*)

Komposisi Aspal Beton yang direncanakan yaitu *Oyster Shell Powder* dengan kadar 0%, 2%, 4%, 6% dan LDPE dengan kadar 0%,3%,6%.

**Tabel 3. 4.** Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

| No     | Kadar Aspal (%) | Jumlah Sampel |
|--------|-----------------|---------------|
| 1.     | 4%              | 3             |
| 2.     | 4,5%            | 3             |
| 3.     | 5%              | 3             |
| 4.     | 5,5%            | 3             |
| 5.     | 6%              | 3             |
| Jumlah |                 | 15            |

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

| NO | Komposisi | %    | Hasil (gram) |
|----|-----------|------|--------------|
| 1. | Aspal     | 5,8% | 69,6 g       |
| 2. | Abu Batu  | 40%  | 480 g        |

|                     |                    |             |               |
|---------------------|--------------------|-------------|---------------|
| 3.                  | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g         |
| 4.                  | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g         |
| 5.                  | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g        |
| 6.                  | Pasir              | 3%          | 36 g          |
| <b>Jumlah</b>       |                    | <b>100%</b> | <b>1200 g</b> |
| <b>Total Sampel</b> |                    | <b>3</b>    |               |

**Tabel 3. 6.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 0% dan LDPE 0%

| NO                      | Komposisi          | %           | Hasil (gram) |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1.                      | Aspal              | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.                      | Abu Batu           | 40%         | 480 g        |
| 3.                      | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g        |
| 4.                      | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g        |
| 5.                      | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.                      | Pasir              | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b>           |                    | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
| Keterangan bahan tambah |                    |             |              |
| <i>Oyster Shell</i>     |                    | 0%          | 0            |
| Plastik LDPE            |                    | 0%          | 0            |
| <b>Total Sampel</b>     |                    | <b>3</b>    |              |

**Tabel 3. 7.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 2% dan LDPE 0%

| No. | Komposisi          | %    | Hasil (gram) |
|-----|--------------------|------|--------------|
| 1.  | Aspal              | 5,8% | 69,6 g       |
| 2.  | Abu Batu           | 40%  | 480 g        |
| 3.  | Coarse Agregat 3/4 | 25%  | 300 g        |
| 4.  | Medium Agregat 1/2 | 25%  | 300 g        |
| 5.  | Filler (semen)     | 1,2% | 14,4 g       |
| 6.  | Pasir              | 3%   | 36 g         |

|                         |             |             |
|-------------------------|-------------|-------------|
| <b>Jumlah</b>           | <b>100%</b> | <b>1200</b> |
| Keterangan bahan tambah |             |             |
| <i>Oyster Shell</i>     | 2%          | 1,392       |
| Plastik LDPE            | 0%          | 0           |

**Tabel 3. 8.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 4% dan LDPE 0%

| No.                     | Komposisi          | %           | Hasil (gram) |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1.                      | Aspal              | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.                      | Abu Batu           | 40%         | 480 g        |
| 3.                      | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g        |
| 4.                      | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g        |
| 5.                      | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.                      | Pasir              | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b>           |                    | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
| Keterangan bahan tambah |                    |             |              |
| <i>Oyster Shell</i>     |                    | 4%          | 2,784        |
| Plastik LDPE            |                    | 0%          | 0            |
| <b>Total Sampel</b>     |                    | <b>3</b>    |              |

**Tabel 3. 9.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 6% dan LDPE 0%

| No            | Komposisi          | %           | Hasil (gram) |
|---------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1.            | Aspal              | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.            | Abu Batu           | 40%         | 480 g        |
| 3.            | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g        |
| 4.            | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g        |
| 5.            | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.            | Pasir              | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b> |                    | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |

|                                         |          |       |
|-----------------------------------------|----------|-------|
| Keterangan bahan tambah                 |          |       |
| <i>Oyster Shell</i>                     | 6%       | 4,176 |
| Plastik Low Density Polyethylene (LDPE) | 0%       | 0     |
| <b>Total Sampel</b>                     | <b>3</b> |       |

**Tabel 3. 10.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 0% dan LDPE 3%

| No                      | Komposisi          | %           | Hasil (gram) |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1.                      | Aspal              | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.                      | Abu Batu           | 40%         | 480 g        |
| 3.                      | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g        |
| 4.                      | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g        |
| 5.                      | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.                      | Pasir              | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b>           |                    | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
| Keterangan bahan tambah |                    |             |              |
| <i>Oyster Shell</i>     |                    | 0%          | 0            |
| Plastik LDPE            |                    | 3%          | 2,088        |
| <b>Total Sampel</b>     |                    | <b>3</b>    |              |

**Tabel 3. 11.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 2% dan LDPE 3%

| No            | Komposisi          | %           | Hasil (gram) |
|---------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1.            | Aspal              | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.            | Abu Batu           | 40%         | 480 g        |
| 3.            | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g        |
| 4.            | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g        |
| 5.            | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.            | Pasir              | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b> |                    | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
|               |                    |             |              |

|                         |          |       |
|-------------------------|----------|-------|
| Keterangan bahan tambah |          |       |
| <i>Oyster Shell</i>     | 2%       | 1,392 |
| Plastik LDPE            | 3%       | 2,088 |
| <b>Total Sampel</b>     | <b>3</b> |       |

**Tabel 3. 12.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 4% dan LDPE 3%

| No                      | Komposisi           | %           | Hasil (gram) |
|-------------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1.                      | Aspal               | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.                      | Abu Batu            | 40%         | 480 g        |
| 3.                      | Coarse Agregat 3/4  | 25%         | 300 g        |
| 4.                      | Medium Agregat 1/2  | 25%         | 300 g        |
| 5.                      | Filler (semen)      | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.                      | Pasir               | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b>           |                     | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
| Keterangan bahan tambah |                     |             |              |
|                         | <i>Oyster Shell</i> | 4%          | 1,392        |
|                         | Plastik LDPE        | 3%          | 2,088        |
| <b>Total Sampel</b>     |                     | <b>3</b>    |              |

**Tabel 3. 13.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 6% dan LDPE 3%

| No                      | Komposisi           | %           | Hasil (gram) |
|-------------------------|---------------------|-------------|--------------|
| 1.                      | Aspal               | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.                      | Abu Batu            | 40%         | 480 g        |
| 3.                      | Coarse Agregat 3/4  | 25%         | 300 g        |
| 4.                      | Medium Agregat 1/2  | 25%         | 300 g        |
| 5.                      | Filler (semen)      | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.                      | Pasir               | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b>           |                     | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
| Keterangan bahan tambah |                     |             |              |
|                         | <i>Oyster Shell</i> | 6%          | 1,392        |



|                     |          |       |
|---------------------|----------|-------|
| Plastik LDPE        | 3%       | 2,088 |
| <b>Total Sampel</b> | <b>3</b> |       |

**Tabel 3. 14.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 0% dan LDPE 6%

| No.                     | Komposisi          | %           | Hasil (gram) |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1.                      | Aspal              | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.                      | Abu Batu           | 40%         | 480 g        |
| 3.                      | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g        |
| 4.                      | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g        |
| 5.                      | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.                      | Pasir              | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b>           |                    | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
| Keterangan bahan tambah |                    |             |              |
| <i>Oyster Shell</i>     |                    | 0%          | 0            |
| Plastik LDPE            |                    | 6%          | 4,176        |
| <b>Total Sampel</b>     |                    | <b>3</b>    |              |

**Tabel 3. 15.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 2% dan LDPE 6%

| No                      | Komposisi          | %           | Hasil (gram) |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1.                      | Aspal              | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.                      | Abu Batu           | 40%         | 480 g        |
| 3.                      | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g        |
| 4.                      | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g        |
| 5.                      | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.                      | Pasir              | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b>           |                    | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
| Keterangan bahan tambah |                    |             |              |
| <i>Oyster Shell</i>     |                    | 2%          | 1,392        |
| Plastik LDPE            |                    | 6%          | 4,176        |
| <b>Total Sampel</b>     |                    | <b>3</b>    |              |

**Tabel 3. 16.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* % dan LDPE 6%

| No                      | Komposisi          | %           | Hasil (gram) |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1.                      | Aspal              | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.                      | Abu Batu           | 40%         | 480 g        |
| 3.                      | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g        |
| 4.                      | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g        |
| 5.                      | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.                      | Pasir              | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b>           |                    | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
| Keterangan bahan tambah |                    |             |              |
| <i>Oyster Shell</i>     |                    | 4%          | 2,784        |
| Plastik LDPE            |                    | 6%          | 4,176        |
| <b>Total Sampel</b>     |                    | <b>3</b>    |              |

**Tabel 3. 17.** Rancangan Campuran Aspal Beton (*Job Mix Design*) dengan *Oyster Shell* 6% dan LDPE 6%

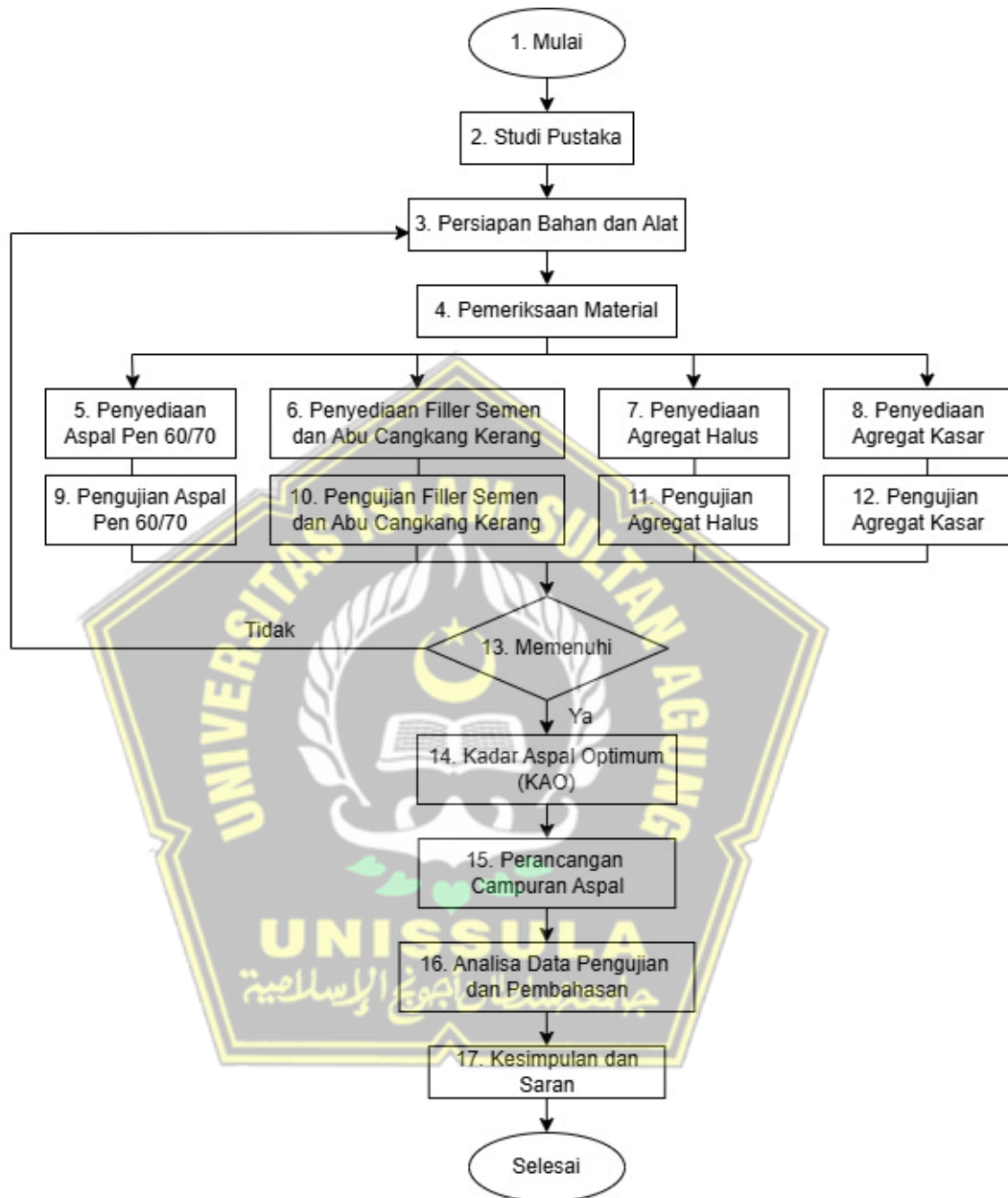
| No                      | Komposisi          | %           | Hasil (gram) |
|-------------------------|--------------------|-------------|--------------|
| 1.                      | Aspal              | 5,8%        | 69,6 g       |
| 2.                      | Abu Batu           | 40%         | 480 g        |
| 3.                      | Coarse Agregat 3/4 | 25%         | 300 g        |
| 4.                      | Medium Agregat 1/2 | 25%         | 300 g        |
| 5.                      | Filler (semen)     | 1,2%        | 14,4 g       |
| 6.                      | Pasir              | 3%          | 36 g         |
| <b>Jumlah</b>           |                    | <b>100%</b> | <b>1200</b>  |
| Keterangan bahan tambah |                    |             |              |
| <i>Oyster Shell</i>     |                    | 6%          | 4,176        |
| Plastik LDPE            |                    | 6%          | 4,176        |
| <b>Total Sampel</b>     |                    | <b>3</b>    |              |

Masing – masing benda uji yaitu 3 buah benda uji untuk perbandingan setiap benda uji dimana jika salah satu sampel ada yang tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2020 revisi 1 dan dua sampel lainnya memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2020 revisi 1 maka dapat dibandingkan hasilnya dari ketiga sampel tersebut

**Tabel 3. 18.** Perhitungan Jumlah Sampel Penentuan Kadar Aspal Optimum

| Nama Sampel                       | Agg batu $\frac{3}{4}$ |     | Agg batu $\frac{1}{2}$ |     | Abu batu |     | Filler |       | Pasir |     | Aspal |       | Oyster Shell |     | LDPE  |     | Total Agg |      | Jumlah Sempel |
|-----------------------------------|------------------------|-----|------------------------|-----|----------|-----|--------|-------|-------|-----|-------|-------|--------------|-----|-------|-----|-----------|------|---------------|
|                                   | (gr)                   | (%) | (gr)                   | (%) | (gr)     | (%) | (gr)   | (%)   | (gr)  | (%) | (gr)  | (%)   | (gr)         | (%) | (gr)  | (%) | (gr)      | (%)  |               |
| C0L0                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 0            | 0%  | 0     | 0%  | 0         | 100% | 3             |
| C2L0                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 1,392        | 2%  | 0     | 0%  | 1,392     | 100% | 3             |
| C4L0                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 2,784        | 4%  | 0     | 0%  | 2,784     | 100% | 3             |
| C6L0                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 4,176        | 6%  | 0     | 0%  | 4,176     | 100% | 3             |
| C0L3                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 0            | 0%  | 2,088 | 3%  | 2,088     | 100% | 3             |
| C2L3                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 1,392        | 2%  | 2,088 | 3%  | 3,48      | 100% | 3             |
| C4L3                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 2,784        | 4%  | 2,088 | 3%  | 4,872     | 100% | 3             |
| C6L3                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 1,392        | 6%  | 2,088 | 3%  | 3,48      | 100% | 3             |
| C0L6                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 0            | 0%  | 4,176 | 6%  | 4,176     | 100% | 3             |
| C2L6                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 1,392        | 2%  | 4,176 | 6%  | 5,568     | 100% | 3             |
| C4L6                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 2,784        | 4%  | 4,176 | 6%  | 6,96      | 100% | 3             |
| C6L6                              | 300                    | 25% | 300                    | 25% | 480      | 40% | 14,4   | 1,20% | 36    | 3%  | 69,6  | 5,80% | 4,176        | 6%  | 4,176 | 6%  | 8,352     | 100% | 3             |
| Jumlah Sampel Kadar Aspal Optimum |                        |     |                        |     |          |     |        |       |       |     |       |       |              |     |       |     |           |      | 15            |
| Jumlah Sampel Modifikasi          |                        |     |                        |     |          |     |        |       |       |     |       |       |              |     |       |     |           |      | 36            |
| Total Jumlah Sampel               |                        |     |                        |     |          |     |        |       |       |     |       |       |              |     |       |     |           |      | 51            |

### 3.9 Diagram Alir Penelitian



Pada tahap awal dilakukan riset serta mempersiapkan peralatan dan bahan yang dibutuhkan. Pemeriksaan sesuai dengan standar dari Laboratorium Penelitian Laboratorium Riset PT. Mohandas Oeloeng Kaliwungu Kendal.

Guna memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan, dilakukan pemeriksaan material campuran aspal. Semua pengujian yang dilakukan sesuai dengan standar

dan mengacu kepada *American Society for Testing Material* (ASTM) dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Pemeriksaan agregat baik kasar maupun halus meliputi:

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

Setelah dilakukan semua pengujian material, dilakukan perancangan dan pembuatan *sample* yang akan digunakan untuk penelitian dengan benda uji Marshall. Proses pengujian pada benda uji Marshall dilakukan secara rutin, mengikuti ketentuan yang diatur dalam prosedur SNI 06-2489-1991 (PA-0305-76, AASHTO T-44-81, ASTM D-2042-76). Pembuatan benda uji atau campuran aspal dilakukan sesuai dengan perubahan jumlah aspal. Kandungan Pb atau kadar aspal tengah/ideal ditentukan dengan menggunakan persamaan dalam perhitungan.

Pembuatan sampel benda uji dilakukan setelah didapatkan komposisi campuran aspal. Apabila viskositas kinematik aspal berada dalam rentang  $170 \pm 20$  centistokes, maka aspal tersebut optimal untuk diinkorporasikan dalam proses pencampuran dengan agregat; sementara jika viskositas kinematik mencapai  $280 \pm 30$  centistokes, aspal tersebut lebih sesuai untuk proses pemadatan. Pada penelitian ini tidak dilakukannya uji viskositas kinematis aspal.



Untuk mendapatkan data *volumetric bituminous* (densitas, VIM, VMA, dan VFA), spesimen direndam dalam air selama 24 jam sebelum ditimbang baik dalam air maupun dalam kondisi kering permukaan jenuh. Setelah itu, sampel direndam selama 30 menit dalam air pada suhu 60°C. Untuk stabilitas, leleh dan *Marshall Quotient* diukur menggunakan alat *Marshall*. Komposisi optimal dalam campuran aspal dapat ditentukan melalui analisis hasil uji *Marshall*, yang mencakup evaluasi parameter seperti stabilitas, kelelahan, VIM, VMA, VFA, dan *Marshall Quotient*.

Setelah melakukan serangkaian penelitian dan pengumpulan data, langkah-langkah berikutnya dapat dijabarkan sebagai berikut:

- a. Memastikan bahwa agregat dan aspal dalam komponen campuran aspal telah memenuhi persyaratan yang diatur dalam Umum Bina Marga 2020.
- b. Menyajikan informasi mengenai parameter *Marshall Quotient* (MQ), kelelahan (*flow*), stabilitas (*stability*), rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam agregat mineral (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA).

### **3.10 Tahap Pelaksanaan**

Memulai tahap penelitian sesuai dengan prosedur yang telah ditentukan.

#### **1. Mulai**

#### **2. Persiapan Bahan dan Alat**

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

- 1) Menyiapkan bahan seperti agregat, aspal.
- 2) Menyiapkan peralatan.
- 3) Menyiapkan formulir pengujian dan mengolah hasil pengujian.

#### **3. Pemeriksaan Material**

Pemeriksaan agregat yang dilakukan meliputi:

- Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dan halus
- Pemeriksaan analisa saringan agregat kasar dan halus.
- Pemeriksaan berat jenis aspal.
- Pemeriksaan penetrasi
- Pemeriksaan titik lembek.

- Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar
- Pemeriksaan daktilitas

#### 4. Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal optimum (KAO) didapatkan melalui pengujian *Marshall* terlebih dahulu. Pada tahap ini benda uji dengan variasi kadar aspal yang berbeda dilakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan data *stability* dan *flow*. Sebelum itu, benda uji telah ditimbang terlebih dahulu untuk mendapatkan berat kering, berat SSD dan berat sampel air.

#### 5. Perencanaan Campuran Aspal (*Job Mix Design*)

Komposisi agregat dalam campuran, dan jumlah sampel uji yang akan digunakan untuk pengujian merupakan elemen integral dalam tahapan perancangan AC-WC. Dalam desain lapis aspal beton, atau yang dikenal sebagai lapis perantara Laston/AC-WC, gradasi menerus, yang disebut sebagai gradasi ideal, digunakan sebagai gradasi agregat dalam penelitian ini. Sebelum dicampur, setiap fraksi agregat diayak dan dianalisis. Komposisi campuran agregat ditetapkan oleh proporsi antara agregat halus (FA) dan agregat kasar (CA). Perancangan campuran (*Mix Design*) Pada tahap ini dilakukan perencanaan campuran (*mix design*) dan pembuatan benda uji menggunakan kadar aspal 5,8% dengan bahan tambah *cangkang kerang tiram* dengan kadar presentase 0%, 2%, 4%, 6% serta plastic *Low Density Polyethylene* (LDPE) dengan kasar presentase 0%,3%,6% untuk menentukan kadar aspal optimum.

#### 6. Analisa Data Pengujian dan Pembahasan

Melakukan Pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO). Pada tahap ini benda uji dengan variasi yang berbeda dilakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan data *stability* dan *flow*. Sebelum itu, benda uji telah ditimbang berat kering, berat SSD dan berat sampel dalam air. Kemudian dilakukan pengujian dan analisa *Marshall* untuk mengetahui *stability*, *flow*, VIM, VMA, VFB, MQ.

## 1) Pembuatan Benda Uji

- a. Mempersiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian. Kemudian menentukan persentase masing-masing material yang digunakan agar mempermudah dalam proses pencampuran dan melakukan penimbangan secara kumulatif agar didapatkan proporsi campuran yang tepat.
- b. Memisahkan setiap agregat ke dalam fraksi-fraksi yang telah ditentukan dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan.
- c. Pencampuran benda uji
  - Total dari setiap benda uji diperlukan agregat dan aspal sebanyak  $\pm 1200$  gram yang mana akan dibuat benda uji dengan tinggi kira-kira  $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$  ( $2,5 \pm 0,05 \text{ inc}$ ).
  - Memanaskan agregat sampai suhu  $150^\circ\text{C}$ .
  - Menuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kelelehan sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan, kemudian aduk dengan cepat sampai agregat tercampur aspal dengan merata.
- d. Pemadatan benda uji
  - Membersihkan perlengkapan dari cetakan yang akan digunakan untuk membuat benda uji dan panaskan hingga mencapai suhu antara  $90^\circ\text{C}$  –  $150^\circ\text{C}$ .
  - Meletakkan cetakan pada atas landasan pemadat dan tahan menggunakan pemegang cetakan.
  - Meletakkan kertas saring atau kertas penghisap sesuai dengan ukuran dasar cetakan.
  - Memasukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan padatkan dengan menusuk-nusuk campuran menggunakan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali sekeliling pinggirannya dan 10 kali bagian tengahnya.
  - Letakkan kertas saring atau kertas penghisap yang sesuai dengan ukuran cetakan pada atas permukaan benda uji.

- Memadatkan campuran menggunakan temperatur yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk sisi atas dan 75 kali untuk sisi bawah.
- Setelah kira-kira temperatur sudah tidak terlalu panas, keluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan alat Extruder dan letakkan benda uji pada permukaan yang rata serta beri tanda pengenal untuk setiap benda uji lalu biarkan selama 24 jam pada temperatur ruang.

## 2) Tahap Pengujian Sampel

Prosedur pengujian sampel *Marshall test* harus sesuai dengan prosedur yang dikeluarkan oleh RSNI M-01-2003.

- a. Alat uji Marshall merupakan alat uji listrik yang memiliki kekuatan 220 volt dan dirancang untuk memberikan beban pada sampel untuk uji *semi circular testing head* dengan kecepatan konstan 51 mm (2 inci) permenit. Untuk mengukur stabilitas pada beban pengujian tertinggi, alat ini dilengkapi dengan *proving ring* dengan arloji tekan. Selain itu, dilengkapi dengan *flow meter*, atau arloji kelelahan, yang dapat digunakan untuk mengukur tingkat kelelahan pada beban pengujian yang paling tinggi.
- b. *Water Bath*, sebuah alat yang dilengkapi pengaturan suhu minimum 20°C dan memiliki kedalaman 150 mm serta dilengkapi rak bawah 50 mm.
- c. *Thermometer*, alat pengukur suhu air dalam *water bath* yang mampu menahan suhu sampai  $\pm 200^{\circ}\text{C}$ .

Setelah uji Marshall dilakukan, maka dilanjutkan dengan perhitungan untuk menentukan :

- a. *Marshall Quotient*, adalah *ratio* antara nilai stabilitas dan kelelahan
- b. Berat volume benda uji
- c. Volume pori dalam benda uji (VIM)
- d. Volume antara agregat dalam benda uji (VMA)
- e. Volume antara agregat yang terisi oleh aspal (VFB)
- f. Tebal selimut aspal

### 3) Pengujian *Stability and Flow*

Pengujian *stability* dan *flow* dilaksanakan dengan menggunakan alat uji *Marshall* sebagai berikut:

1. Merendam selama 30-40 menit benda uji kedalam air dengan temperatur tetap  $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
2. Dalam konteks pemeliharaan peralatan pengujian, telah dilakukan pembersihan menyeluruh pada permukaan internal dari *testing head*. Adalah penting untuk mempertahankan suhu operasional dalam kisaran  $21^{\circ}\text{C}$  hingga  $37^{\circ}\text{C}$ , dan penggunaan bak air direkomendasikan sebagai salah satu metode untuk menjaga kisaran suhu ini. Untuk memastikan pengoperasian yang lancar, *guide road* telah dilumasi menggunakan minyak dengan viskositas rendah, yang memfasilitasi pelepasan bagian atas *head* dengan mudah tanpa risiko terhambat atau terjepit. Terdapat juga langkah-langkah pemeriksaan yang harus diikuti untuk instrumen pengukur beban, yaitu *proving ring*. Penting untuk memeriksa dan memastikan bahwa dial pada *proving ring* diatur sedemikian rupa sehingga jarum penunjuk berada pada angka nol ketika tidak ada beban yang diterapkan, hal ini untuk menjamin akurasi pengukuran yang konsisten.
3. Setelah perendaman sampel dalam *water bath* letakkan ditengah bagian bawah dari *test head*. *Flow* meter diletakkan diatas tanpa *guide road* dan jarum petunjuk dinolkan.
4. Memasang bagian atas alat penekan *Marshall Test* di atas sampel dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*.
5. Dalam prosedur ini, selongsong arloji harus dipegang secara stabil di bagian atas kepala penekan. Kemudian, arloji yang digunakan untuk mengukur lelehan (*Flow*) perlu dipasang pada salah satu batang pemandu. Langkah penting berikutnya adalah menyesuaikan posisi jarum pada arloji tersebut sehingga menunjuk pada angka nol, yang merupakan langkah kritis untuk memastikan pengukuran awal yang akurat.

6. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
7. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
8. Terapkan pembebanan pada spesimen secara stabil pada kecepatan sekitar 50,8 mm per menit sampai pembebanan maksimum diperoleh. Kemudian, seperti yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk tekanan, kurangi pembebanan dan catat pembebanan maksimum (stabilitas) yang dicapai. Jika ketebalan benda uji kurang dari 63,5 mm, faktor pengali harus diterapkan untuk menyesuaikan beban.
9. Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai. Bersihkan alat dan selesai.

## **7. Kesimpulan dan Saran**

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





## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1. Pendahuluan**

Bab ini menguraikan hasil penelitian yang meliputi berbagai tahapan yang dilakukan, mulai dari persiapan bahan, pembuatan benda uji, hingga pelaksanaan pengujian Marshall di laboratorium. Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian tahap yang terstruktur, dengan tujuan untuk menilai kualitas dan sifat-sifat material yang digunakan dalam campuran aspal. Tahap pertama dalam penelitian ini adalah penyediaan bahan, yang terdiri dari agregat batu pecah, aspal, dan bahan tambahan lainnya. Agregat batu pecah diambil dari Asphalt Mixing Plant (AMP) PT. Mohandas Oeloeng Kendal, sementara cangkang kerang sebagai bahan tambahan diperoleh dari limbah yang ada di pesisir Pantai Ngebum Kendal. Selain itu, aspal yang digunakan adalah jenis penetrasi 60/70.

Setelah bahan-bahan tersebut siap, langkah berikutnya adalah pembuatan benda uji, yang terdiri dari pencampuran agregat, aspal, dan bahan tambah lainnya dalam komposisi yang telah ditentukan. Proses ini dilakukan dengan teliti untuk memastikan kualitas dan konsistensi material yang digunakan dalam pengujian.

Seluruh tahapan pembuatan benda uji, pengujian kadar aspal, serta pengujian Marshall dilaksanakan di Laboratorium Transportasi Jalan Universitas Islam Sultan Agung (UNISSULA) Semarang. Pengujian yang dilakukan meliputi uji kadar aspal, analisa saringan serta pengujian Marshall untuk menilai kualitas campuran berdasarkan beberapa parameter seperti stabilitas, kelelahan (*flow*), rongga udara (VIM) dan *voids in mineral aggregate* (VMA). Selain itu, evaluasi terhadap karakteristik material juga dilakukan untuk memperoleh data mendalam mengenai sifat fisik dan mekanik material aspal yang digunakan.

#### **4.2. Pengujian Aspal dan Agregat**

Sebelum pembuatan sampel, penting untuk melakukan pemeriksaan terhadap bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan *split mastic asphalt*. Pemeriksaan tersebut meliputi analisis terhadap aspal dan agregat.

#### 4.2.1. Pengujian Sifat Fisik dan Mekanis Aspal Pen 60/70

Pada pemeriksaan aspal ini dilakukan beberapa pengujian pada aspal diantaranya yaitu pengujian penetrasi, pengujian titik leleh, dan pengujian berat jenis aspal. Aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat pada pembuatan benda uji campuran aspal dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina Penetrasi 60/70. Data hasil pemeriksaan uji aspal didapat dari data sekunder. Dari pemeriksaan propertis aspal keras yang telah dilakukan dan diuji di Laboratorium maka diperoleh hasilnya seperti pada **Tabel 4.1**.

**Tabel 4. 1.** Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70

| No. | Jenis Pengujian                | Metode Pengujian | Hasil Pengujian | Spesifikasi | Satuan |
|-----|--------------------------------|------------------|-----------------|-------------|--------|
| 1   | Penetrasi pada (25°C, 5 detik) | SNI-06-2456-1991 | 64,2            | 60-70       | 0.1 mm |
| 2   | Titik leleh                    | SNI-06-2434-1991 | 56,25           | ≥ 48        | °C     |
| 3   | Berat Jenis (25°C)             | SNI-06-2441-1991 | 1.033           | ≥ 1,0       | Gr/ml  |

Sumber : Hasil Penelitian Laboratorium, 2024

#### 4.2.2. Pengujian Agregat

Pengujian material yang dilakukan bertujuan untuk mengidentifikasi karakteristik dan sifat-sifat material yang digunakan, serta memastikan apakah material tersebut memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Pengujian ini mengacu pada pedoman yang tercantum dalam Spesifikasi Umum 2020 Revisi 1 dari Direktorat Jenderal Bina Marga, serta merujuk pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan pedoman dari *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.

Dalam pembuatan aspal beton (laston) AC-WC, komponen utama yang membentuk campuran adalah aspal dan agregat. Untuk menentukan gradasi agregat pada lapisan AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course), terdapat agregat kasar yang terdiri dari batu pecah dengan ukuran  $\frac{3}{4}$  dan  $\frac{1}{2}$ , agregat halus berupa abu batu dan pasir, serta bahan pengisi seperti filler. Agar aspal beton yang dihasilkan memiliki kualitas yang baik, perlu dilakukan pemeriksaan terhadap gradasi agregat

terlebih dahulu, yang harus memenuhi spesifikasi umum Bina Marga 2020 (Revisi 1) dan sesuai dengan acuan (SNI-ASTM-C136-2012). Hasil dari percobaan analisis saringan gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 4.2 – 4.6.

#### 4.2.2.1. Pengujian Gradasi Agregat Kasar (CA)

Pengujian gradasi dilakukan untuk menguji agregat kasar yang digunakan dalam komposisi AC-WC. Penentuan gradasi agregat pada lapisan AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) melibatkan penggunaan batu pecah dengan ukuran maksimal  $\frac{3}{4}$ " sebagai agregat kasar. Hasil detail gradasi dapat dilihat pada tabel berikut, yang disusun sesuai dengan peraturan dari (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88).

**Tabel 4. 2.** Hasil Analisa Saringan Aagregat Kasar (CA)  $\frac{3}{4}$ ''

| PERCOBAAN 1    |             |         | PERCOBAAN 2    |             |         |
|----------------|-------------|---------|----------------|-------------|---------|
| Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos | Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos |
| 11/2"          | 37.5        |         | 11/2"          | 37.5        |         |
| 1"             | 25.0        |         | 1"             | 25.0        |         |
| 3/4"           | 19.0        | 100.00  | 3/4"           | 19.0        | 100.00  |
| 1/2"           | 12.5        | 54.49   | 1/2"           | 12.5        | 49.22   |
| 3/8"           | 9.5         | 15.52   | 3/8"           | 9.5         | 13.82   |
| # 4            | 4.75        | 4.05    | # 4            | 4.75        | 0.96    |
| # 8            | 2.36        | 0.92    | # 8            | 2.36        | 0.76    |
| # 16           | 1.15        | 0.84    | # 16           | 1.15        | 0.68    |
| # 30           | 0.6         | 0.84    | # 30           | 0.6         | 0.68    |
| # 50           | 0.3         | 0.84    | # 50           | 0.3         | 0.60    |
| #100           | 0.15        | 0.76    | #100           | 0.15        | 0.48    |
| # 200          | 0.075       | 0.52    | # 200          | 0.075       | 0.32    |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

#### 4.2.2.2. Pengujian Gradasi Agregat Sedang (MA)

Agregat Sedang terdiri dari material agregat yang lolos saringan nomor  $1\frac{1}{2}$  -  $\frac{1}{2}$  dan tertahan pada saringan nomor 3/8 hingga saringan #200. Hasil pengujian secara rinci dapat dilihat pada **Tabel 4.3** di bawah ini.

**Tabel 4. 3.** Hasil Analisa Saringan Agregat Sedang (MA) ½

| PERCOBAAN 1    |             |         | PERCOBAAN 2    |             |         |
|----------------|-------------|---------|----------------|-------------|---------|
| Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos | Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos |
| 1 1/2"         | 37.5        |         | 1 1/2"         | 37.5        |         |
| 1"             | 25.0        |         | 1"             | 25.0        |         |
| 3/4"           | 19.0        | 100.00  | 3/4"           | 19.0        | 100.00  |
| 1/2"           | 12.5        | 100.00  | 1/2"           | 12.5        | 100.00  |
| 3/8"           | 9.5         | 63.46   | 3/8"           | 9.5         | 60.88   |
| # 4            | 4.75        | 20.71   | # 4            | 4.75        | 21.40   |
| # 8            | 2.36        | 3.41    | # 8            | 2.36        | 4.32    |
| # 16           | 1.15        | 1.96    | # 16           | 1.15        | 2.08    |
| # 30           | 0.6         | 1.76    | # 30           | 0.6         | 1.24    |
| # 50           | 0.3         | 1.64    | # 50           | 0.3         | 1.04    |
| #100           | 0.15        | 1.04    | #100           | 0.15        | 0.76    |
| # 200          | 0.075       | 0.40    | # 200          | 0.075       | 0.28    |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

**4.2.2.3. Pengujian Gradasi Agregat Halus (FA)**

Material agregat halus yang digunakan terdiri dari agregat yang lolos saringan 1 ½ - #4 dan tertahan pada saringan nomor #8, yang terdiri dari abu batu. Hasil pengujian terhadap agregat halus ini menunjukkan distribusi ukuran partikel yang sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan. Hasil pengujian secara rinci dapat dilihat pada **Tabel 4.4** di bawah ini.

**Tabel 4. 4.** Hasil Analisa Saringan Agregat Halus (Abu Batu)

| PERCOBAAN 1    |             |         | PERCOBAAN 2    |             |         |
|----------------|-------------|---------|----------------|-------------|---------|
| Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos | Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos |
| 1 1/2"         | 37.5        |         | 1 1/2"         | 37.5        |         |
| 1"             | 25.0        |         | 1"             | 25.0        |         |
| 3/4"           | 19.0        | 100.00  | 3/4"           | 19.0        | 100.00  |
| 1/2"           | 12.5        | 100.00  | 1/2"           | 12.5        | 100.00  |
| 3/8"           | 9.5         | 100.00  | 3/8"           | 9.5         | 100.00  |
| # 4            | 4.75        | 76.60   | # 4            | 4.75        | 80.53   |
| # 8            | 2.36        | 55.20   | # 8            | 2.36        | 56.39   |

|       |       |       |       |       |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| # 16  | 1.15  | 36.00 | # 16  | 1.15  | 41.99 |
| # 30  | 0.6   | 25.80 | # 30  | 0.6   | 29.01 |
| # 50  | 0.3   | 13.40 | # 50  | 0.3   | 17.65 |
| #100  | 0.15  | 7.40  | #100  | 0.15  | 9.33  |
| # 200 | 0.075 | 2.80  | # 200 | 0.075 | 4.26  |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

#### 4.2.3. Pengujian Pasir

Pasir merupakan material agregat halus yang lolos pada saringan nomor 1 ½ - #30. Hasil pengujian saringan pasir dapat dilihat pada **tabel 4.5** di bawah ini.

**Tabel 4. 5.** Hasil Analisa Saringan Pasir

| PERCOBAAN 1    |             |         | PERCOBAAN 2    |             |         |
|----------------|-------------|---------|----------------|-------------|---------|
| Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos | Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos |
| 11/2"          | 37.5        |         | 11/2"          | 37.5        |         |
| 1"             | 25.0        |         | 1"             | 25.0        |         |
| 3/4"           | 19.0        | 100.00  | 3/4"           | 19.0        | 100.00  |
| 1/2"           | 12.5        | 100.00  | 1/2"           | 12.5        | 100.00  |
| 3/8"           | 9.5         | 100.00  | 3/8"           | 9.5         | 100.00  |
| # 4            | 4.75        | 100.00  | # 4            | 4.75        | 100.00  |
| # 8            | 2.36        | 97.59   | # 8            | 2.36        | 98.60   |
| # 16           | 1.15        | 80.08   | # 16           | 1.15        | 84.40   |
| # 30           | 0.6         | 51.51   | # 30           | 0.6         | 57.40   |
| # 50           | 0.3         | 28.57   | # 50           | 0.3         | 31.60   |
| #100           | 0.15        | 7.44    | #100           | 0.15        | 7.40    |
| # 200          | 0.075       | 4.23    | # 200          | 0.075       | 2.20    |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

#### 4.2.4. Pengujian Filler

Semen merupakan material yang digunakan sebagai filler pada komposisi aspal, yang digunakan adalah semen portland, yang lolos saringan #200, hasil pengujian dapat dilihat pada **tabel 4.5** di bawah ini.

**Tabel 4. 6.** Hasil Analisa Pembagian Butiran Filler Semen

| PERCOBAAN 1    |             |         | PERCOBAAN 2    |             |         |
|----------------|-------------|---------|----------------|-------------|---------|
| Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos | Nomor Saringan | Ukuran (mm) | % Lolos |
| 11/2"          | 37.5        |         | 11/2"          | 37.5        |         |
| 1"             | 25.0        |         | 1"             | 25.0        |         |
| 3/4"           | 19.0        | 100.00  | 3/4"           | 19.0        | 100.00  |
| 1/2"           | 12.5        | 100.00  | 1/2"           | 12.5        | 100.00  |
| 3/8"           | 9.5         | 100.00  | 3/8"           | 9.5         | 100.00  |
| # 4            | 4.75        | 100.00  | # 4            | 4.75        | 100.00  |
| # 8            | 2.36        | 100.00  | # 8            | 2.36        | 100.00  |
| # 16           | 1.15        | 100.00  | # 16           | 1.15        | 100.00  |
| # 30           | 0.6         | 100.00  | # 30           | 0.6         | 100.00  |
| # 50           | 0.3         | 100.00  | # 50           | 0.3         | 100.00  |
| #100           | 0.15        | 100.00  | #100           | 0.15        | 100.00  |
| # 200          | 0.075       | 100.00  | # 200          | 0.075       | 100.00  |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

#### **4.2.5. Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Campuran Normal**

Gradasi agregat campuran beraspal ditentukan berdasarkan persen berat yang lolos dari total agregat dan bahan pengisi, yang harus memenuhi rentang antara batas maksimum dan minimum sesuai dengan spesifikasi campuran laston AC-WC yang telah ditetapkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2020. Hasil analisis saringan menunjukkan kombinasi gradasi agregat yang diperoleh, yang dapat dilihat pada Tabel 4.6 dan Tabel 4.7.



**Tabel 4. 7. Perhitungan Kombinasi Agregat Campuran Normal**

| Uraian                     |              | Ukuran Saringan |               |              |              |              |              |              |              |              |             |             |
|----------------------------|--------------|-----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
|                            |              | 1"              | 3/4"          | 1/2"         | 3/8"         | # 4          | # 8          | # 16         | # 30         | # 50         | # 100       | # 200       |
|                            |              | 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 3/4'        |              | 100.00          | 100.00        | 51.85        | 14.67        | 2.51         | 0.84         | 0.76         | 0.76         | 0.72         | 0.62        | 0.42        |
| Batu Pecah Max 1/2'        |              | 100.00          | 100.00        | 100.00       | 62.17        | 21.06        | 3.86         | 2.02         | 1.50         | 1.34         | 0.90        | 0.34        |
| Abu Batu                   |              | 100.00          | 100.00        | 100.00       | 100.00       | 78.56        | 55.79        | 38.99        | 27.40        | 15.52        | 8.37        | 3.53        |
| Pasir                      |              | 100.00          | 100.00        | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 98.09        | 82.24        | 54.45        | 30.09        | 7.42        | 3.21        |
| Filler Semen               |              | 100.00          | 100.00        | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00       | 100.00      | 100.00      |
| <b>Batu Pecah Max 3/4'</b> | <b>15.0%</b> | 15.00           | 15.00         | 7.78         | 2.20         | 0.38         | 0.13         | 0.11         | 0.11         | 0.11         | 0.09        | 0.06        |
| <b>Batu Pecah Max 1/2'</b> | <b>25.0%</b> | 25.00           | 25.00         | 25.00        | 15.54        | 5.26         | 0.97         | 0.51         | 0.38         | 0.34         | 0.23        | 0.09        |
| <b>Abu Batu</b>            | <b>46.0%</b> | 46.00           | 46.00         | 46.00        | 46.00        | 36.14        | 25.67        | 17.94        | 12.61        | 7.14         | 3.85        | 1.62        |
| <b>Pasir</b>               | <b>12.0%</b> | 12.00           | 12.00         | 12.00        | 12.00        | 12.00        | 11.77        | 9.87         | 6.53         | 3.61         | 0.89        | 0.39        |
| <b>Filler Semen</b>        | <b>2.0%</b>  | 2.00            | 2.00          | 2.00         | 2.00         | 2.00         | 2.00         | 2.00         | 2.00         | 2.00         | 2.00        | 2.00        |
| <b>Total Campuran</b>      | <b>100%</b>  | <b>100.00</b>   | <b>100.00</b> | <b>92.78</b> | <b>77.74</b> | <b>55.78</b> | <b>40.53</b> | <b>30.43</b> | <b>21.63</b> | <b>13.19</b> | <b>7.06</b> | <b>4.16</b> |
| 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           |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

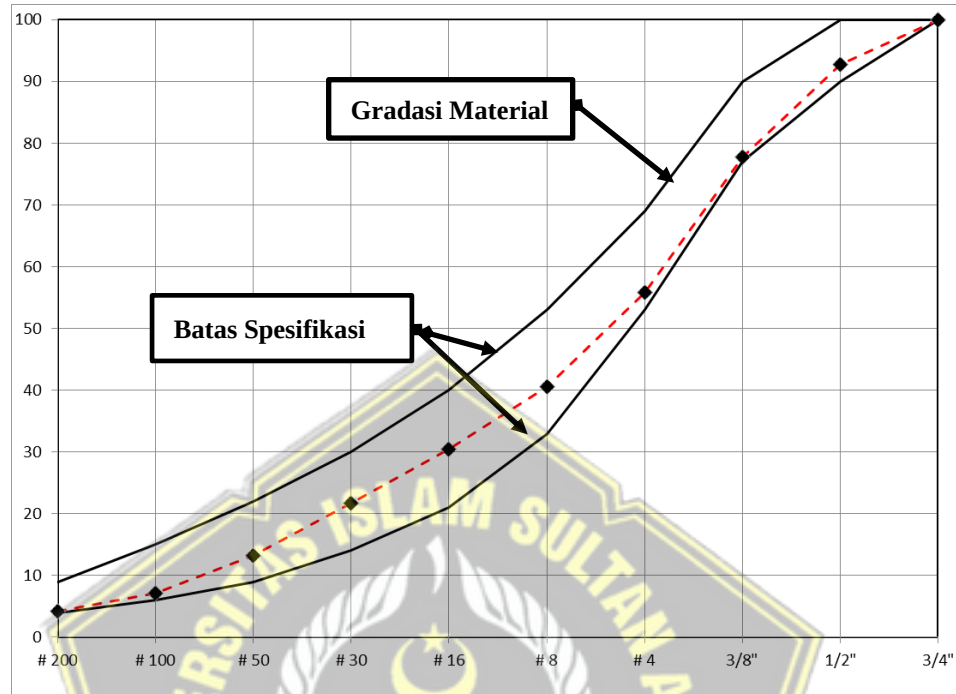
**Tabel 4. 8. Spesifikasi Batas Kombinasi Lolos Saringan (SNI 03-1968-1990/AASHTO T.27-88)**

| No Saringan | Spesifikasi |            | Prosentase Lolos (Kombinasi) |
|-------------|-------------|------------|------------------------------|
|             | Batas Atas  | Batas Atas |                              |
| # 200       | 7           | 3          | 4.16                         |
| # 100       | 12          | 5          | 7.06                         |
| # 50        | 18          | 8          | 13.19                        |
| # 30        | 25          | 12         | 21.63                        |
| # 16        | 35          | 23         | 30.43                        |
| # 8         | 48          | 33         | 40.53                        |
| # 4         | 65          | 50         | 55.78                        |
| 3/8"        | 80          | 70         | 77.74                        |
| 1/2"        | 95.0        | 85         | 92.78                        |
| 3/4"        | 100.0       | 100        | 100.00                       |
| 1"          | 100.0       | 100.00     | 100.00                       |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan hasil tabel 4.7 didapatkan hasil total campura gradasi kombinasi agregat yang tidak boleh melampaui batas maksimal dan minimal dari spesifikasi

yang sudah ditetapkan, hasil grafik kombinasi gradasi agregat dan batas spesifikasi dapat dilihat pada grafik 4.1 di bawah ini.



**Grafik 4. 1.** Kombinasi Agregat

Dari Gambar 4.3 terlihat bahwa kombinasi agregat dengan persentase lolos saringan No. 200 atau 0,075 mm hingga 1" tidak diperbolehkan melebihi batas maksimal dan minimal yang telah ditentukan untuk masing-masing agregat yang telah diuji melalui saringan. Apabila terdapat agregat yang melewati batas atas atau bawah, maka agregat tersebut tidak diizinkan digunakan sebagai material pengisi dalam campuran AC-WC.

#### 4.3. Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal

Pengujian berat jenis campuran aspal dilakukan dengan menggunakan lima variasi kadar aspal yang berbeda, yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Setiap variasi kadar aspal diuji dengan dua benda uji GMM (*Maximum Specific Gravity*) untuk setiap kadar berat jenis campuran aspal.

**Tabel 4. 9. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran Maksimum GMM Campuran Komposisi Normal**

| No.                   | Normal                                  |       | Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|-----------------------|-----------------------------------------|-------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                       | Contoh No :                             |       | 1                                          | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    |
| 1                     | Berat Botol + Contoh                    | gr    | 1,367                                      | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 |
| 2                     | Berat Botol                             | gr    | 767                                        | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   |
| 3                     | Berat Contoh ( 1 - 2 )                  | gr    | 600                                        | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   |
| 4                     | Berat Botol+Contoh+Air(batas kalibrasi) | gr    | 2,250                                      | 2,249 | 2,247 | 2,248 | 2,241 | 2,242 | 2,234 | 2,235 | 2,232 | 2,233 |
| 5                     | Berat botol + Air ( batas kalibrasi )   | gr    | 1,897                                      | 1,897 | 1,897 | 1,897 | 1,897 | 1,897 | 1,897 | 1,897 | 1,897 | 1,897 |
| 6                     | Berat air ( 4 - 5 )                     | gr    | 353                                        | 352   | 350   | 351   | 344   | 345   | 337   | 338   | 335   | 336   |
| 7                     | Volume contoh ( 3 - 6 )                 | gr    | 247                                        | 248   | 250   | 249   | 256   | 256   | 263   | 262   | 265   | 265   |
| 8                     | Max Specific Gravity (Gmm) ( 3 : 7 )    | gr/cc | 2.429                                      | 2.419 | 2.400 | 2.410 | 2.344 | 2.348 | 2.281 | 2.290 | 2.264 | 2.268 |
| 9                     | Temperatur air T °C                     | gr    | 25                                         | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    |
| 10                    | Koreksi suhu                            | gr    | 1                                          | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 11                    | Max Specific Gravity (Gmm) ( 8 x 10 )   | gr/cc | 2.429                                      | 2.419 | 2.400 | 2.410 | 2.344 | 2.348 | 2.281 | 2.290 | 2.264 | 2.268 |
| Rata - rata GMM       |                                         |       | 2.424                                      |       | 2.405 |       | 2.346 |       | 2.286 |       | 2.266 |       |
| Variasi Kadar Aspal % |                                         |       | 4.00%                                      |       | 4.50% |       | 5.00% |       | 5.50% |       | 6.00% |       |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Hasil pengujian berat jenis campuran aspal dengan komposisi normal yang terdiri dari lima variasi kadar aspal, yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%, menunjukkan bahwa berat jenis maksimum campuran aspal yang diperoleh adalah 2,424 gr/cc.

#### 4.4. Pengujian Kadar Aspal dan Ekstraksi (SNI 03-3640-1994)

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

**Tabel 4.10. Pengujian Ekstraksi**

| NO | URAIAN PEMERKSAAN            | Rumus           | Benda uji<br>1 | SAT |
|----|------------------------------|-----------------|----------------|-----|
| A  | Berat Pan / Cawan            |                 | 105,6          | gr  |
| B  | Berat Material + Pan Sebelum |                 | 548,35         | gr  |
| C  | Berat Material + Pan Sesudah |                 | 529,15         | gr  |
| D  | Berat Sebelum Ekstraksi      | ( B - A )       | 442,75         | gr  |
| E  | Berat Setelah Ekstraksi      | ( C - A )       | 423,55         | gr  |
| F  | Berat Kertas Filter          |                 | 6,5            | gr  |
| G  | Berat Total Mineral          | ( C - A - F )   | 417,05         | gr  |
| H  | Berat Aspal Dalam Campuran   | ( D - G )       | 25,7           | gr  |
| I  | Persen Aspal Dalam Campuran  | ( H / D x 100 ) | 5,80           | %   |

Berdasarkan **Tabel 4.9.** hasil dari pengujian kadar aspal dan ekstrasi digunakan sebagai penentuan kadar aspal optimum sebesar 5,80% untuk campuran modifikasi *Oyster Shell* dan Plastik LDPE sebagai bahan tambah. Hasil ini dianggap memenuhi dikarenakan nilai KAO tersebut telah memenuhi syarat karakteristik *marshall* sesuai dengan spesifikasi bina marga 2020 revisi 1 terkait dengan campuran aspal modifikasi.

#### 4.5. Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) dalam campuran aspal beton (Laston) dilakukan dengan menguji beberapa variasi kadar aspal, yaitu 4%, 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Setiap variasi kadar aspal diuji dengan menggunakan 3 benda uji, sehingga total benda uji sebanyak 15 benda uji. Hasil pengujian dan analisis parameter dapat dilihat pada Tabel 4.9. Penentuan KAO dilakukan berdasarkan standar Bina Marga dengan mempertimbangkan enam parameter, yaitu stabilitas, kelelahan (*flow*), *marshall quotient* (MQ), rongga terisi aspal (VFB), rongga dalam campuran (VIM), dan rongga dalam agregat (VMA).

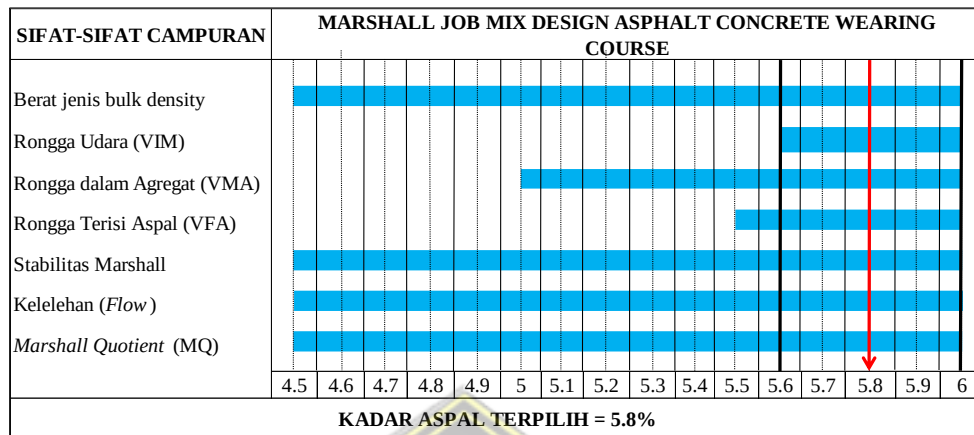
**Tabel 4.9.** Data Hasil Pengujian Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

| Karakteristik Campuran | Satuan | Kadar Aspal % |          |          |          |         | Spek. Bina Marga |
|------------------------|--------|---------------|----------|----------|----------|---------|------------------|
|                        |        | 4             | 4,5      | 5        | 5,5      | 6       |                  |
| VIM                    | %      | 9.203         | 8.390    | 6.805    | 4.974    | 3.617   | 3-5              |
| VMA                    | %      | 14.383        | 14.540   | 15.105   | 15.588   | 15.195  | ≥15              |
| VFA                    | %      | 36.181        | 42.819   | 55.399   | 68.101   | 76.229  | ≥65              |
| Stability              | Kg     | 1001.867      | 1078.933 | 1112.650 | 1035.583 | 919.983 | ≥800             |
| Flow                   | mm     | 3.107         | 3.300    | 3.700    | 3.767    | 3.500   | 3                |
| MQ                     | Kg/mm  | 323.399       | 321.229  | 298.352  | 274.705  | 263.903 | ≥250             |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

Berdasarkan hasil pengujian, penentuan kadar aspal optimum (KAO) menunjukkan bahwa kadar aspal yang paling sesuai adalah 5,8%. Hasil ini diperoleh setelah menguji beberapa variasi kadar aspal yang berbeda. Sementara itu, kadar aspal efektif ditemukan pada variasi kadar 5,6% dan 6%, yang masih memenuhi persyaratan teknis yang ditetapkan. Penentuan kadar aspal optimum ini mengacu pada nilai VIM (*Void in Mix*) yang dihasilkan dari pengujian Marshall, di mana nilai VIM minimum yang disyaratkan adalah 3 dan nilai maksimum yang

diperbolehkan adalah 5. Berdasarkan hasil ini, kadar aspal optimum dapat ditentukan sesuai dengan gambar di bawah ini.



**Grafik 4. 2.** Penentuan Kadar Aspal Optimum

Dari Grafik diatas menunjukkan bahwa hasil dari *Bulk Density*, VIM, VMA, Stabilitas, VMA, VFB, *Flow* dan MQ memiliki hasil kadar aspal optimum 5,8%.

#### 4.6. Ringkasan Hasil Pegujian AC-WC

Setelah mengetahui persentase masing-masing fraksi agregat dan aspal dalam komposisi campuran, langkah selanjutnya adalah menentukan berat material yang diperlukan untuk merancang campuran aspal sesuai dengan kapasitas mold yang tersedia. Perhitungan ini dilakukan dengan mengalikan persentase masing-masing bahan dengan total berat campuran yang diinginkan, sehingga dapat diperoleh berat dari setiap komponen yang diperlukan. Berikut adalah perhitungan rinciannya.

- Kadar Aspal = 5,8%
- Kapasitas Mold = 1200 gr
- Berat Aspal = 5,8% x 1200 = 69,6 gr
- Berat Total Agregat = (100-5,8)% x 1200 = 1130,4 gr
  - Coarse Agregat (3/4") = 25% x 1200 gr = 300 gr
  - Medium Agregat (1/2") = 25% x 1200 gr = 300 gr
  - Pasir = 3 % x 1200 gr = 36 gr
  - Abu Batu = 40 % x 1200 gr = 480 gr
  - Filler = 1,2% x 1200 gr = 14,4 gr
  - Total Agregat = 11304,4 gr

Selanjutnya untuk berat aspal dan berat agregat pada kadar aspal yang digunakan dalam percobaan ini dapat dilihat pada **Tabel 4.10**

**Tabel 4. 10.** Komposisi Material AC - WC

| Jenis Material            | Komposisi | Berat | Kumulatif |
|---------------------------|-----------|-------|-----------|
| <i>Course Agg. (1/2')</i> | 25 %      | 300   | 300       |
| <i>Medium Agg. (3/8')</i> | 25 %      | 300   | 300       |
| Abu Batu                  | 40 %      | 480   | 480       |
| Pasir                     | 3 %       | 36    | 1116      |
| <i>Filler Semen</i>       | 1,2 %     | 14,4  | 1130.4    |
| Aspal                     | 5,8 %     | 69,6  | 1200      |

#### 4.7. Pembuatan Benda Uji

Dari hasil pengujian kadar aspal optimum (KAO) didapatkan hasil kadar aspal terpilih sebesar 5,8% dan dengan modifikasi *Oyster Shell* dan plastic LDPE (sebagai bahan tambah). Terdapat 12 variasi dengan setiap variasi dibuat sebanyak 3 benda uji, sehingga benda yang dihasilkan sebanyak 36 sampel.

**Tabel 4. 11.** Rincian Benda Uji

| No.          | Variasi                                 | Benda Uji |
|--------------|-----------------------------------------|-----------|
| 1            | C0L0 ( <i>Oyster Shell</i> 0%, LDPE 0%) | 3         |
| 2            | C2L0 ( <i>Oyster Shell</i> 2%, LDPE 0%) | 3         |
| 3            | C4L0 ( <i>Oyster Shell</i> 4%, LDPE 0%) | 3         |
| 4            | C6L0 ( <i>Oyster Shell</i> 6%, LDPE 0%) | 3         |
| 5            | C0L3 ( <i>Oyster Shell</i> 0%, LDPE 3%) | 3         |
| 6            | C2L3 ( <i>Oyster Shell</i> 2%, LDPE 3%) | 3         |
| 7            | C4L3 ( <i>Oyster Shell</i> 4%, LDPE 3%) | 3         |
| 8            | C6L3 ( <i>Oyster Shell</i> 6%, LDPE 3%) | 3         |
| 9            | C0L6 ( <i>Oyster Shell</i> 0%, LDPE 6%) | 3         |
| 10           | C2L6 ( <i>Oyster Shell</i> 2%, LDPE 6%) | 3         |
| 11           | C4L6 ( <i>Oyster Shell</i> 4%, LDPE 6%) | 3         |
| 12           | C6L6 ( <i>Oyster Shell</i> 6%, LDPE 6%) | 3         |
| TOTAL SAMPEL |                                         | 36        |

Pada pembuatan benda uji setiap variasi dibuat 3 buah sampel untuk dilakukan perbandingan apabila salah satu sampel ada yang tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2020 revisi 1 dan dua sampel lainnya memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2020 revisi 1 maka dapat dibandingkan hasilnya dari ketiga sampel tersebut.



#### 4.8. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran (gravity) Pada Aspal Modifikasi

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi 12 variasi *Oyster Shell* dan plastic LDPE dengan benda uji *Maximum specific gravity* (GMM) sebanyak 2 buah untuk masing – masing variasi.

**Tabel 4. 12. Pemeriksaan Berat Jenis Campuran GMM Pada Aspal Modifikasi**

| No.                        | Modifikasi                                      |  |            |          | Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM) |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------|--|------------|----------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            | Contoh No :                                     |  |            |          | 1                                          | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     |
| 1                          | Berat Botol + Contoh                            |  |            | Grm      | 1,367                                      | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 |
| 2                          | Berat Botol                                     |  |            | Grm      | 767                                        | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   |
| 3                          | Berat Contoh                                    |  | ( 1 - 2 )  | Grm      | 600                                        | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   |
| 4                          | Berat Botol + Contoh + Air ( batas kaliberasi ) |  |            | Grm      | 2223                                       | 2224  | 2223  | 2220  | 2222  | 2220  | 2221  | 2220  |
| 5                          | Berat botol + Air ( batas kaliberasi )          |  |            | Grm      | 1,885                                      | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 |
| 6                          | Berat air                                       |  | ( 4 - 5 )  | Grm      | 338                                        | 339   | 338   | 335   | 337   | 335   | 336   | 335   |
| 7                          | Volume contoh                                   |  | ( 3 - 6 )  | Grm      | 262                                        | 261   | 262   | 265   | 263   | 265   | 264   | 265   |
| 8                          | Max Specific Gravity ( Gmm )                    |  | ( 3 : 7 )  | Grm / cc | 2,290                                      | 2,299 | 2,290 | 2,264 | 2,281 | 2,264 | 2,273 | 2,264 |
| 9                          | Temperatur air T °C                             |  |            | Grm      | 25                                         | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    |
| 10                         | Koreksi suhu                                    |  |            | Grm      | 1                                          | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 11                         | Max Specific Gravity ( Gmm )                    |  | ( 8 x 10 ) | Grm / cc | 2,290                                      | 2,299 | 2,290 | 2,264 | 2,281 | 2,264 | 2,273 | 2,264 |
| Rata - rata GMM            |                                                 |  |            |          | 2,294                                      |       | 2,277 |       | 2,273 |       | 2,268 |       |
| Variasi Kadar MODIFIKASI % |                                                 |  |            |          | C0L0                                       |       | C2L0  |       | C4L0  |       | C6L0  |       |

| No.                        | Modifikasi                                      |  |            |          | Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM) |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------|--|------------|----------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            | Contoh No :                                     |  |            |          | 9                                          | 10    | 11    | 12    | 13    | 14    | 15    | 16    |
| 1                          | Berat Botol + Contoh                            |  |            | Grm      | 1,367                                      | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 |
| 2                          | Berat Botol                                     |  |            | Grm      | 767                                        | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   |
| 3                          | Berat Contoh                                    |  | ( 1 - 2 )  | Grm      | 600                                        | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   |
| 4                          | Berat Botol + Contoh + Air ( batas kaliberasi ) |  |            | Grm      | 2228                                       | 2220  | 2223  | 2224  | 2222  | 2222  | 2225  | 2221  |
| 5                          | Berat botol + Air ( batas kaliberasi )          |  |            | Grm      | 1,885                                      | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 |
| 6                          | Berat air                                       |  | ( 4 - 5 )  | Grm      | 343                                        | 335   | 338   | 339   | 337   | 337   | 340   | 336   |
| 7                          | Volume contoh                                   |  | ( 3 - 6 )  | Grm      | 257                                        | 265   | 262   | 261   | 263   | 263   | 260   | 264   |
| 8                          | Max Specific Gravity ( Gmm )                    |  | ( 3 : 7 )  | Grm / cc | 2,335                                      | 2,264 | 2,290 | 2,299 | 2,281 | 2,281 | 2,308 | 2,273 |
| 9                          | Temperatur air T °C                             |  |            | Grm      | 25                                         | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    |
| 10                         | Koreksi suhu                                    |  |            | Grm      | 1                                          | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 11                         | Max Specific Gravity ( Gmm )                    |  | ( 8 x 10 ) | Grm / cc | 2,335                                      | 2,264 | 2,290 | 2,299 | 2,281 | 2,281 | 2,308 | 2,273 |
| Rata - rata GMM            |                                                 |  |            |          | 2,299                                      |       | 2,294 |       | 2,281 |       | 2,290 |       |
| Variasi Kadar MODIFIKASI % |                                                 |  |            |          | C0L3                                       |       | C2L3  |       | C4L3  |       | C6L3  |       |

| No.                        | Modifikasi                                      |  |            |          | Pengujian Berat Jenis Campuran Aspal (GMM) |       |       |       |       |       |       |       |
|----------------------------|-------------------------------------------------|--|------------|----------|--------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                            | Contoh No :                                     |  |            |          | 17                                         | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    |
| 1                          | Berat Botol + Contoh                            |  |            | Grm      | 1,367                                      | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 | 1,367 |
| 2                          | Berat Botol                                     |  |            | Grm      | 767                                        | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   | 767   |
| 3                          | Berat Contoh                                    |  | ( 1 - 2 )  | Grm      | 600                                        | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   | 600   |
| 4                          | Berat Botol + Contoh + Air ( batas kaliberasi ) |  |            | Grm      | 2223                                       | 2221  | 2228  | 2220  | 2227  | 2223  | 2227  | 2229  |
| 5                          | Berat botol + Air ( batas kaliberasi )          |  |            | Grm      | 1,885                                      | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 | 1,885 |
| 6                          | Berat air                                       |  | ( 4 - 5 )  | Grm      | 338                                        | 336   | 343   | 335   | 342   | 338   | 342   | 344   |
| 7                          | Volume contoh                                   |  | ( 3 - 6 )  | Grm      | 262                                        | 264   | 257   | 265   | 258   | 262   | 258   | 256   |
| 8                          | Max Specific Gravity ( Gmm )                    |  | ( 3 : 7 )  | Grm / cc | 2,290                                      | 2,273 | 2,335 | 2,264 | 2,326 | 2,290 | 2,326 | 2,344 |
| 9                          | Temperatur air T °C                             |  |            | Grm      | 25                                         | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    | 25    |
| 10                         | Koreksi suhu                                    |  |            | Grm      | 1                                          | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     |
| 11                         | Max Specific Gravity ( Gmm )                    |  | ( 8 x 10 ) | Grm / cc | 2,290                                      | 2,273 | 2,335 | 2,264 | 2,326 | 2,290 | 2,326 | 2,344 |
| Rata - rata GMM            |                                                 |  |            |          | 2,281                                      |       | 2,299 |       | 2,308 |       | 2,335 |       |
| Variasi Kadar MODIFIKASI % |                                                 |  |            |          | C0L6                                       |       | C2L6  |       | C4L6  |       | C6L6  |       |

Pemeriksaan berat jenis campuran aspal modifikasi dengan 12 variasi *Oyster Shell* dan plastic LDPE dengan berat maksimum aspal adalah 2,335 gr/cc.

#### 4.9. Hasil Pemeriksaan Pengujian Marshall

Setelah menentukan Job Mix Design (JMD) dan formula desain campuran, dilakukan pembuatan benda uji aspal modifikasi sebanyak 12 variasi, dengan setiap variasi terdiri dari 3 benda uji, sehingga totalnya mencapai 36 benda uji. Setiap

benda uji ditimbang dalam keadaan kering. Selanjutnya, benda uji direndam selama 24 jam, kemudian ditimbang kembali dalam keadaan kering bebas air (SSD). Setelah memperoleh berat benda uji, dilakukan perendaman dalam waterbath (pemanasan cairan dengan merendamnya dalam air yang sudah dipanaskan sebelumnya) pada suhu 60°C selama 60 menit.

Semua sampel benda uji direndam dalam waterbath dan langsung diuji menggunakan alat Marshall untuk memperoleh nilai stabilitas dan *flow* (kelelahan). Pemeriksaan Marshall bertujuan untuk mendapatkan parameter aspal, yang meliputi VMA (Void in Mineral Aggregate), VIM (Void in Mixture), VFB (Void Filled Bitumen), stabilitas, flow, dan MQ (Marshall Quotient).

Hasil pemeriksaan dan grafik dari semua parameter Marshall Test dapat dilihat pada tabel dan rekap berikut. Parameter yang dicantumkan adalah VMA, VIM, VFB, stabilitas, flow, dan MQ yang telah memenuhi persyaratan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2020 (revisi 1).

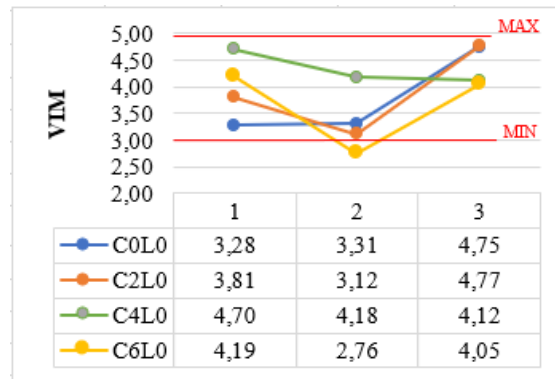
#### 4.9.1. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi LDPE 0% dengan Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, dan 6%

Hasil pengujian *Marshall* untuk benda uji komposisi LDPE 0% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%, dengan masing-masing memiliki 3 buah benda uji dapat dilihat pada **tabel 4.10.** di bawah ini.

**Tabel 4. 13.** Hasil *Marshall* Komposisi LDPE 0% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%.

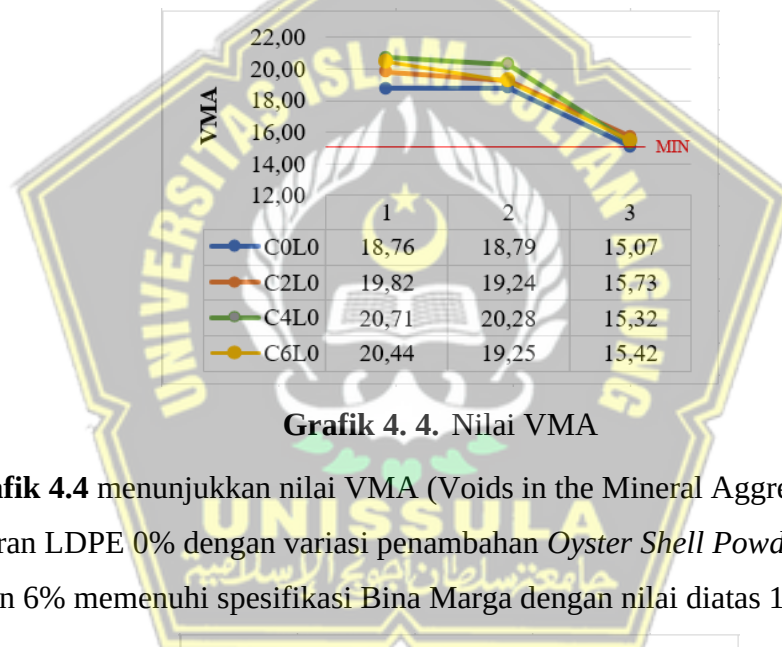
| No. Benda Uji                         | Kadar Aspal (%) | Bj. Maks Kombinasi Agg. Camp (Gmm) | BERAT GRAM |           |           | Volume Benda Uji (cc) | Bj. Bulk Komb. Camp. (gr/cc) | Rongga Udara (%) | Rongga Dlm Min Agregat (%) | Rongga Terisi Aspal (%) | STABILITAS (KG)      |           | Kelelahan (mm) | Hasil Bagi Marshall (kg/mm) |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------------------|------------------|----------------------------|-------------------------|----------------------|-----------|----------------|-----------------------------|
|                                       |                 |                                    | Di Udara   | Dalam Air | SSD       |                       |                              |                  |                            |                         | Baca kalibrasi 14,45 | Sesuaikan |                |                             |
|                                       |                 |                                    | F          | G         | H         | J                     | K                            | L                | M                          | N                       | O                    | P         | M              | R                           |
|                                       |                 |                                    | Dari Lab.  | Dari Lab. | Dari Lab. | H - G                 | F : J                        | 100(E-K)E        | 100-K x (100-A)C           | 100x (M-L)M             | Dari Lab.            | Dari Lab. | Dari Lab.      | P                           |
|                                       |                 |                                    |            |           |           |                       |                              |                  |                            |                         |                      |           |                | Q                           |
| C0L0 (OYSTER SHELL POWDER 0% LDPE 0%) |                 |                                    |            |           |           |                       |                              |                  |                            |                         |                      |           |                |                             |
| 1                                     | 5.80            | 2.727                              | 1154.0     | 642.0     | 1162.0    | 520.0                 | 2.22                         | 3.28             | 18.76                      | 82.52                   | 89                   | 1286.05   | 3.3            | 386.20                      |
| 2                                     |                 |                                    | 1127.0     | 640.0     | 1148.0    | 508.0                 | 2.22                         | 3.31             | 18.79                      | 82.38                   | 78                   | 1127.1    | 3.2            | 352.22                      |
| 3                                     |                 |                                    | 1167.0     | 641.0     | 1175.0    | 534.0                 | 2.19                         | 4.75             | 15.07                      | 68.48                   | 66                   | 953.7     | 3.9            | 243.29                      |
|                                       |                 |                                    |            |           |           |                       | 2.21                         | 3.78             | 17.54                      | 77.79333                | 84                   | 1206.6    | 3.3            | 369.55                      |
| C2L0 (OYSTER SHELL POWDER 2% LDPE 0%) |                 |                                    |            |           |           |                       |                              |                  |                            |                         |                      |           |                |                             |
| 1                                     | 5.80            | 2.560                              | 1185.0     | 650.0     | 1191.0    | 541.0                 | 2.2                          | 3.8              | 19.8                       | 80.8                    | 54                   | 780.3     | 5.2            | 150.64                      |
| 2                                     |                 |                                    | 1167.0     | 640.0     | 1169.0    | 529.0                 | 2.2                          | 3.1              | 19.2                       | 83.8                    | 57                   | 823.65    | 7.5            | 110.41                      |
| 3                                     |                 |                                    | 1132.0     | 670.0     | 1192.0    | 522.0                 | 2.2                          | 4.8              | 15.7                       | 69.7                    | 79                   | 1141.55   | 5.0            | 230.15                      |
|                                       |                 |                                    |            |           |           |                       | 2.2                          | 3.9              | 18.3                       | 78.1                    | 46                   | 802.0     | 6.3            | 126.90                      |
| C4L0 (OYSTER SHELL POWDER 4% LDPE 0%) |                 |                                    |            |           |           |                       |                              |                  |                            |                         |                      |           |                |                             |
| 1                                     | 5.80            | 2.659                              | 1148.0     | 630.0     | 1160.0    | 530.0                 | 2.2                          | 4.7              | 20.7                       | 77.3                    | 76.0                 | 1098.2    | 3.7            | 300.1                       |
| 2                                     |                 |                                    | 1176.0     | 637.0     | 1177.0    | 540.0                 | 2.2                          | 4.2              | 20.3                       | 79.4                    | 47.0                 | 679.2     | 3.8            | 180.1                       |
| 3                                     |                 |                                    | 1144.0     | 623.0     | 1148.0    | 525.0                 | 2.2                          | 4.1              | 15.3                       | 73.1                    | 68.0                 | 982.6     | 3.7            | 267.0                       |
|                                       |                 |                                    |            |           |           |                       | 2.2                          | 4.3              | 18.8                       | 76.6                    | 63.7                 | 920.0     | 3.7            | 249.1                       |
| C6L0 (OYSTER SHELL POWDER 6% LDPE 0%) |                 |                                    |            |           |           |                       |                              |                  |                            |                         |                      |           |                |                             |
| 1                                     | 5.80            | 2.532                              | 1141.0     | 622.0     | 1147.0    | 525.0                 | 2.2                          | 4.2              | 20.4                       | 79.5                    | 47.0                 | 679.2     | 3.1            | 220.5                       |
| 2                                     |                 |                                    | 1136.0     | 630.0     | 1145.0    | 515.0                 | 2.2                          | 2.8              | 19.3                       | 85.7                    | 67.0                 | 968.2     | 2.3            | 424.6                       |
| 3                                     |                 |                                    | 1134.0     | 622.0     | 1143.0    | 521.0                 | 2.2                          | 4.1              | 15.4                       | 73.7                    | 84.0                 | 1213.8    | 3.4            | 353.9                       |
|                                       |                 |                                    |            |           |           |                       | 2.2                          | 3.7              | 18.4                       | 79.6                    | 66.0                 | 953.7     | 2.9            | 333.0                       |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)



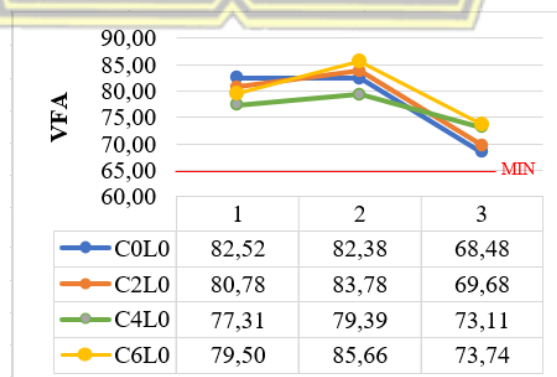
**Grafik 4. 3.** Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.3**, dapat dilihat bahwa nilai Air Voids pada komposisi LDPE 0% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi batas spesifikasi Bina Marga, dengan nilai batas antara 3%-5%.



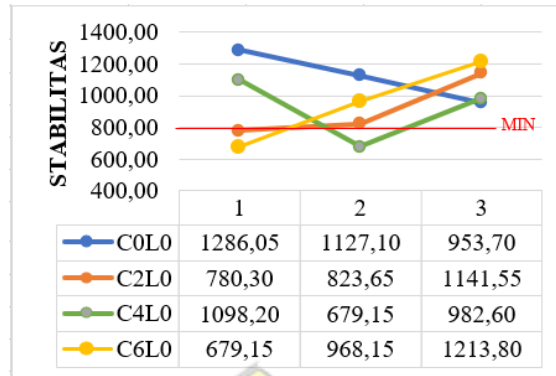
**Grafik 4. 4.** Nilai VMA

**Grafik 4.4** menunjukkan nilai VMA (Voids in the Mineral Aggregate) pada campuran LDPE 0% dengan variasi penambahan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6% memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai diatas 15%.



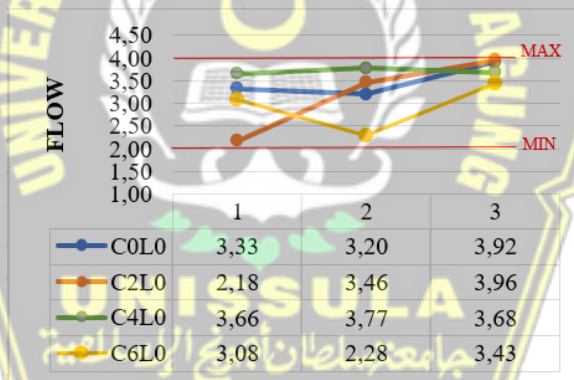
**Grafik 4. 5.** Nilai VFA

**Grafik 4.5** menampilkan nilai VFA (*Void Filled Asphalt*) pada campuran LDPE 0% dengan variasi *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6% dengan hasil memenuhi spesifikasi bina marga di mana semua komposisi diatas 65%.



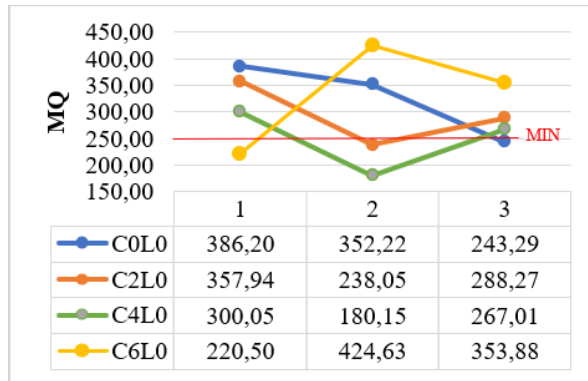
**Grafik 4. 6.** Nilai Stabilitas

**Grafik 4.6.** di atas menunjukkan nilai stabilitas pada campuran LDPE 0% dengan variasi penambahan *Oyster Shell Powder* sebanyak 0%, 2%, 4%, dan 6%. Sebagian besar variasi telah memenuhi standar spesifikasi Bina Marga yaitu diatas 800 kg.



**Grafik 4. 7.** Nilai Flow

Pada **Grafik 4.7.** di atas menampilkan nilai *flow* pada campuran LDPE 0% dengan variasi *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Semua variasi benda uji masuk kedalam spesifikasi nilai kelelehan (*flow*) yaitu 2% - 4%.



**Grafik 4. 8.** Nilai Marshall Quotient

**Grafik 4.8** menunjukkan nilai *Marshall Quotient* pada campuran LDPE 0% dengan variasi penambahan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Semua variasi mendapatkan 2 benda uji yang memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai *Marshall Quotient* melebihi 250 kg/mm.

#### 4.9.2. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi LDPE 3% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%

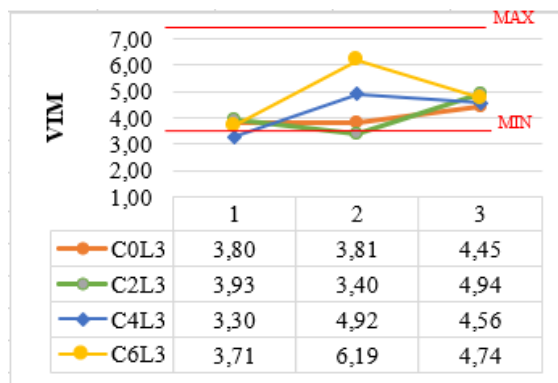
Hasil pengujian *Marshall* untuk benda uji komposisi LDPE 0% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%, dengan masing-masing memiliki 3 buah benda uji dapat dilihat pada tabel 4.11 di bawah ini.

**Tabel 4.11.** Hasil *Marshall* Komposisi LDPE 3% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%

| No.                                   | Benda Uji | Kadar Aspal (%) | Bj. Maks Kombinasi Agg. Camp (Gmm) | BERAT GRAM |           |       | Volume Benda Uji (cc) | Bj. Bulk Camp. (gr/cc) | Rongga Udara Agregat (%) | Rongga Dlm Min Agregat (%) | Rongga Terisi Aspal | STABILITAS (KG) |                 |                | Hasil Bagi Marshall (kg/mm) |
|---------------------------------------|-----------|-----------------|------------------------------------|------------|-----------|-------|-----------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------------------|
|                                       |           |                 |                                    | Di Udara   | Dalam Air | SSD   |                       |                        |                          |                            |                     | Baca kalibrasi  | Sesuaikan 14,45 | Kelelahan (mm) | Bagi Marshall               |
|                                       | A         | E               | F                                  | G          | H         | J     | K                     | L                      | M                        | N                          | O                   | P               | M               | R              |                             |
|                                       | Total     |                 | Dari Lab.                          | Dari Lab.  | Dari Lab. | H - G | F : J                 | 100(E-K)               | 100-K x E                | 100-K x (100-A)/C          | 100x (M-L)/M        | Dari Lab.       | Dari Lab.       | Dari Lab.      | P                           |
| C0L3 (OYSTER SHELL POWDER 0% LDPE 3%) |           |                 |                                    |            |           |       |                       |                        |                          |                            |                     |                 |                 |                |                             |
| 1                                     | 5.80      | 2.612           | 1148.0                             | 635.0      | 1154.0    | 519.0 | 2.2                   | 3.8                    | 19.0                     | 80.0                       | 59.0                | 852.6           | 3.3             | 261.5          |                             |
| 2                                     |           |                 | 1212.0                             | 670.0      | 1218.0    | 548.0 | 2.2                   | 3.8                    | 19.0                     | 80.0                       | 78.0                | 1127.1          | 3.3             | 340.5          |                             |
| 3                                     |           |                 | 1160.0                             | 638.0      | 1166.0    | 528.0 | 2.2                   | 4.5                    | 14.6                     | 69.6                       | 77.0                | 1112.7          | 3.2             | 344.5          |                             |
|                                       |           |                 |                                    |            |           |       | 2.2                   | 4.0                    | 17.6                     | 76.5                       | 71.3                | 1030.8          | 3.3             | 315.5          |                             |
| C2L3 (OYSTER SHELL POWDER 2% LDPE 3%) |           |                 |                                    |            |           |       |                       |                        |                          |                            |                     |                 |                 |                |                             |
| 1                                     | 5.80      | 2.537           | 1155.0                             | 637.0      | 1161.0    | 524.0 | 2.2                   | 3.9                    | 19.3                     | 79.7                       | 150.0               | 2167.5          | 3.5             | 621.1          |                             |
| 2                                     |           |                 | 1137.0                             | 635.0      | 1148.0    | 513.0 | 2.2                   | 3.4                    | 18.9                     | 82.0                       | 76.0                | 1098.2          | 3.6             | 301.7          |                             |
| 3                                     |           |                 | 1180.0                             | 655.0      | 1196.0    | 541.0 | 2.2                   | 4.9                    | 15.2                     | 67.6                       | 119.0               | 1719.6          | 3.3             | 521.1          |                             |
|                                       |           |                 |                                    |            |           |       | 2.2                   | 4.1                    | 17.8                     | 76.4                       | 115.0               | 1661.8          | 3.5             | 481.3          |                             |
| C4L3 (OYSTER SHELL POWDER 4% LDPE 3%) |           |                 |                                    |            |           |       |                       |                        |                          |                            |                     |                 |                 |                |                             |
| 1                                     | 5.80      | 2.598           | 1167.0                             | 650.0      | 1179.0    | 529.0 | 2.2                   | 3.3                    | 19.2                     | 82.9                       | 54.0                | 780.3           | 2.4             | 322.4          |                             |
| 2                                     |           |                 | 1193.0                             | 657.0      | 1207.0    | 550.0 | 2.2                   | 4.9                    | 20.6                     | 76.1                       | 84.0                | 1213.8          | 3.4             | 352.8          |                             |
| 3                                     |           |                 | 1117.0                             | 627.0      | 1140.0    | 513.0 | 2.2                   | 4.6                    | 15.4                     | 70.4                       | 185.0               | 2673.3          | 3.6             | 734.4          |                             |
|                                       |           |                 |                                    |            |           |       | 2.2                   | 4.3                    | 18.4                     | 76.4                       | 107.7               | 1555.8          | 3.2             | 469.9          |                             |
| C6L3 (OYSTER SHELL POWDER 6% LDPE 3%) |           |                 |                                    |            |           |       |                       |                        |                          |                            |                     |                 |                 |                |                             |
| 1                                     | 5.80      | 2.575           | 1160.0                             | 637.0      | 1163.0    | 526.0 | 2.2                   | 3.7                    | 19.3                     | 80.8                       | 55.0                | 794.8           | 3.4             | 231.7          |                             |
| 2                                     |           |                 | 1143.0                             | 650.0      | 1182.0    | 532.0 | 2.1                   | 6.2                    | 21.4                     | 71.0                       | 86.0                | 1242.7          | 3.2             | 387.1          |                             |
| 3                                     |           |                 | 1141.0                             | 662.0      | 1185.0    | 523.0 | 2.2                   | 4.7                    | 15.2                     | 68.9                       | 135.0               | 1950.8          | 3.3             | 587.6          |                             |
|                                       |           |                 |                                    |            |           |       | 2.2                   | 4.9                    | 18.6                     | 73.5                       | 92.0                | 1329.4          | 3.3             | 402.1          |                             |

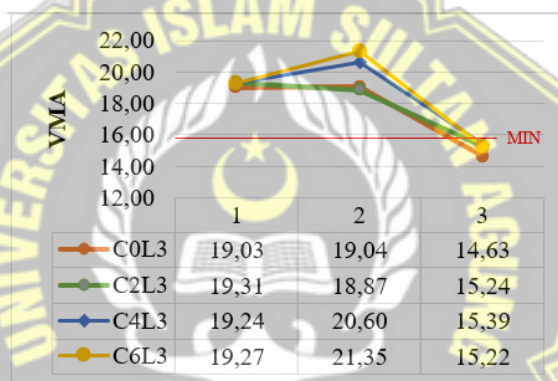
(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)





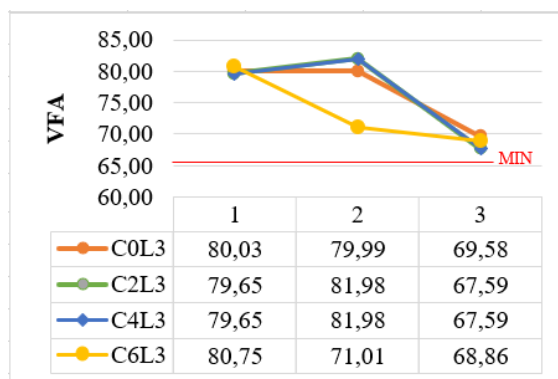
**Grafik 4. 9.** Nilai VIM

Berdasarkan **Grafik 4.9**, dapat dilihat bahwa nilai Air Voids pada komposisi LDPE 3% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%, dari nilai tersebut sebagian besar benda uji memenuhi batas spesifikasi Bina Marga, dengan nilai batas antara 3%-5%.



**Grafik 4. 10.** Nilai VMA

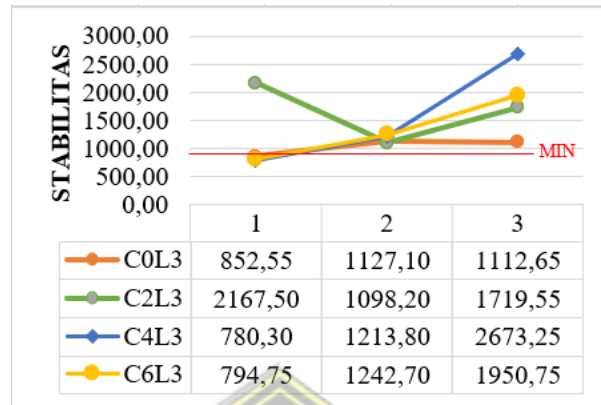
Gambar **Grafik 4.10** menunjukkan nilai VMA (*Void in Mineral Agreggate*) pada campuran LDPE 3% dengan variasi *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Semua variasi memenuhi spesifikasi dengan nilai VMA diatas 15%.



**Grafik 4. 11.** Nilai VFA

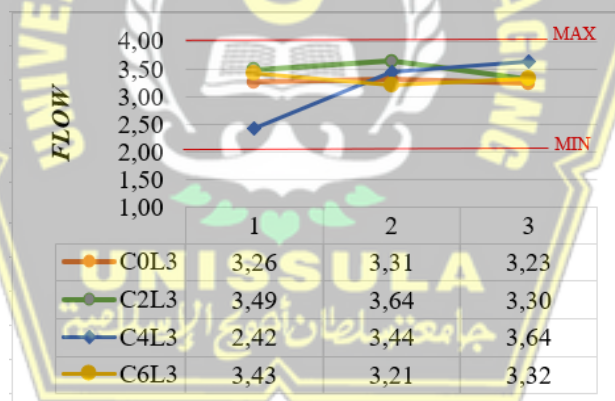


**Grafik 4.11** menunjukkan nilai VFA (*Void Filled Asphalt*) pada campuran LDPE 3% dengan variasi Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, dan 6%. Semua hasil VFA memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai VFA diatas 65%.



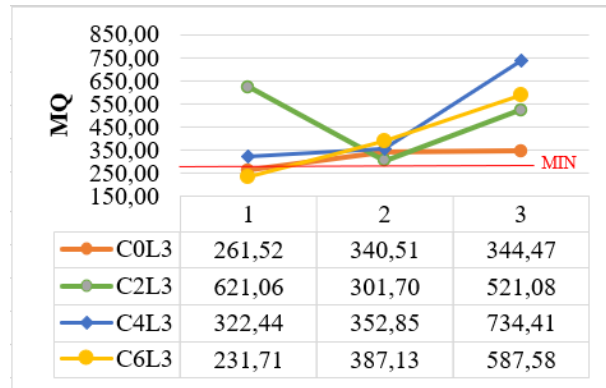
**Grafik 4. 12.** Nilai Stabilitas

**Grafik 4.12** menunjukkan nilai stabilitas pada campuran LDPE 3% dengan variasi penambahan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Sebagian besar benda uji yang memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai stabilitas melebihi 800 kg.



**Grafik 4. 13.** Nilai Flow

**Grafik 4.13** menunjukkan nilai kelelehan (*flow*) pada campuran LDPE 3% dengan variasi Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, dan 6%. Semua nilai *flow* memenuhi spesifikasi bina marga dengan batas nilai flow yaitu 2%-4%



**Grafik 4. 14.** Nilai Marshall Quotient

**Grafik 4.14** menunjukkan nilai *Marshall Quotient* pada campuran LDPE 0% dengan variasi penambahan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Semua variasi memenuhi spesifikasi Bina Marga karena nilai *Marshall Quotient* melebihi 250 kg/mm.

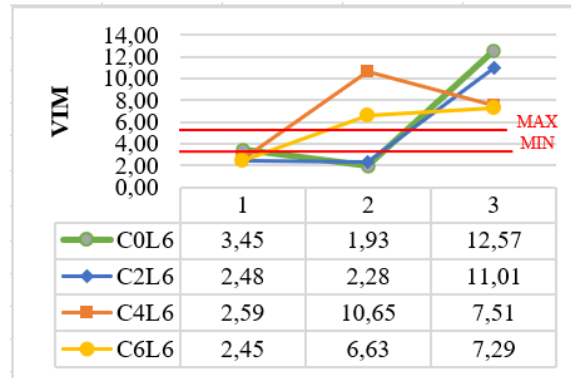
#### 4.9.3. Hasil Marshall Benda Uji Kombinasi LDPE 6% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%

Hasil pengujian *Marshall* untuk benda uji komposisi LDPE 6% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%, dengan masing-masing memiliki 3 buah benda uji dapat dilihat pada tabel 4.12 di bawah ini.

**Tabel 4.12.** Hasil *Marshall* Komposisi LDPE 6% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%

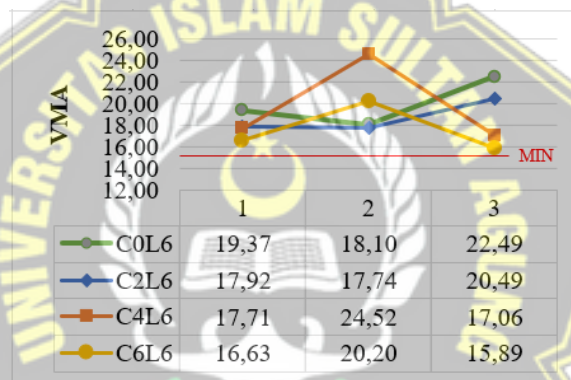
| No. Benda Uji                         | Kadar Aspal (%) | Bj. Maks Kombinasi Agg. Camp (Gmm) | BERAT GRAM |           |           | Volume Benda Uji (cc) | Bj. Bulk Komb. Camp. (gr/cc) | Rongga Udara (%)    | Rongga Dlm Min Agregat (%) | Rongga Terisi Aspal | STABILITAS ( KG ) |                     | Kelelahan ( mm ) | Hasil Bagi Marshall (kg/mm) |
|---------------------------------------|-----------------|------------------------------------|------------|-----------|-----------|-----------------------|------------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|-------------------|---------------------|------------------|-----------------------------|
|                                       |                 |                                    | Di Udara   | Dalam Air | SSD       |                       |                              |                     |                            |                     | Baca              | Sesuaikan kalibrasi |                  |                             |
|                                       |                 |                                    | F          | G         | H         |                       |                              |                     |                            |                     | O                 | P                   |                  |                             |
|                                       | A               | E                                  |            |           |           | J                     | K                            | L                   | M                          | N                   |                   |                     | M                | R                           |
|                                       | Total           |                                    | Dari Lab.  | Dari Lab. | Dari Lab. | H - G                 | F : J                        | 100(E-K) / (100-A)C | 100-K x (M-L)/M            | 100x                | Dari Lab.         | Dari Lab.           | Dari Lab.        | P                           |
|                                       | Brt             |                                    |            |           |           |                       |                              | E                   |                            |                     |                   |                     |                  | Q                           |
| C0L6 (OYSTER SHELL POWDER 0% LDPE 6%) |                 |                                    |            |           |           |                       |                              |                     |                            |                     |                   |                     |                  |                             |
| 1                                     | 5.80            | 2.575                              | 1130.0     | 675.0     | 1188.0    | 513.0                 | 2.2                          | 3.5                 | 19.4                       | 82.2                | 70.0              | 1011.5              | 3.4              | 294.0                       |
| 2                                     |                 |                                    | 1112.0     | 661.0     | 1158.0    | 497.0                 | 2.2                          | 1.9                 | 18.1                       | 89.3                | 52.0              | 751.4               | 3.5              | 216.5                       |
| 3                                     |                 |                                    | 1109.0     | 616.0     | 1172.0    | 556.0                 | 2.0                          | 12.6                | 22.5                       | 44.1                | 87.0              | 1257.2              | 3.4              | 368.7                       |
|                                       |                 |                                    |            |           |           |                       | 2.1                          | 6.0                 | 20.0                       | 71.9                | 69.7              | 1006.7              | 3.4              | 293.1                       |
| C2L6 (OYSTER SHELL POWDER 2% LDPE 6%) |                 |                                    |            |           |           |                       |                              |                     |                            |                     |                   |                     |                  |                             |
| 1                                     | 5.80            | 2.542                              | 1175.0     | 660.0     | 1184.0    | 524.0                 | 2.2                          | 2.5                 | 17.9                       | 86.2                | 96.0              | 1387.2              | 2.9              | 480.0                       |
| 2                                     |                 |                                    | 1146.0     | 652.0     | 1162.0    | 510.0                 | 2.2                          | 2.3                 | 17.7                       | 87.2                | 106.0             | 1531.7              | 3.8              | 399.9                       |
| 3                                     |                 |                                    | 1109.0     | 670.0     | 1212.0    | 542.0                 | 2.0                          | 11.0                | 20.5                       | 46.3                | 109.0             | 1575.1              | 5.7              | 274.9                       |
|                                       |                 |                                    |            |           |           |                       | 2.2                          | 5.3                 | 18.7                       | 73.2                | 103.7             | 1498.0              | 4.2              | 384.9                       |
| C4L6 (OYSTER SHELL POWDER 4% LDPE 6%) |                 |                                    |            |           |           |                       |                              |                     |                            |                     |                   |                     |                  |                             |
| 1                                     | 5.80            | 2.554                              | 1133.0     | 645.0     | 1149.0    | 504.0                 | 2.2                          | 2.6                 | 17.7                       | 85.4                | 45.0              | 650.3               | 3.7              | 174.3                       |
| 2                                     |                 |                                    | 1163.0     | 615.0     | 1179.0    | 564.0                 | 2.1                          | 10.7                | 24.5                       | 56.6                | 65.0              | 939.3               | 3.9              | 242.7                       |
| 3                                     |                 |                                    | 1191.0     | 645.0     | 1203.0    | 558.0                 | 2.1                          | 7.5                 | 17.1                       | 56.0                | 70.0              | 1011.5              | 3.5              | 287.4                       |
|                                       |                 |                                    |            |           |           |                       | 2.1                          | 6.9                 | 19.8                       | 66.0                | 60.0              | 867.0               | 3.7              | 234.8                       |
| C4L6 (OYSTER SHELL POWDER 4% LDPE 6%) |                 |                                    |            |           |           |                       |                              |                     |                            |                     |                   |                     |                  |                             |
| 1                                     | 5.80            | 2.647                              | 1157.0     | 652.0     | 1160.0    | 508.0                 | 2.3                          | 2.5                 | 16.6                       | 85.3                | 199.0             | 2875.6              | 3.9              | 733.6                       |
| 2                                     |                 |                                    | 1175.0     | 650.0     | 1189.0    | 539.0                 | 2.2                          | 6.6                 | 20.2                       | 67.2                | 186.0             | 2687.7              | 4.0              | 671.9                       |
| 3                                     |                 |                                    | 1132.0     | 645.0     | 1168.0    | 523.0                 | 2.2                          | 7.3                 | 15.9                       | 54.1                | 192.0             | 2774.4              | 3.9              | 711.4                       |
|                                       |                 |                                    |            |           |           |                       | 2.2                          | 5.5                 | 17.6                       | 68.9                | 192.3             | 2779.2              | 3.9              | 705.6                       |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)



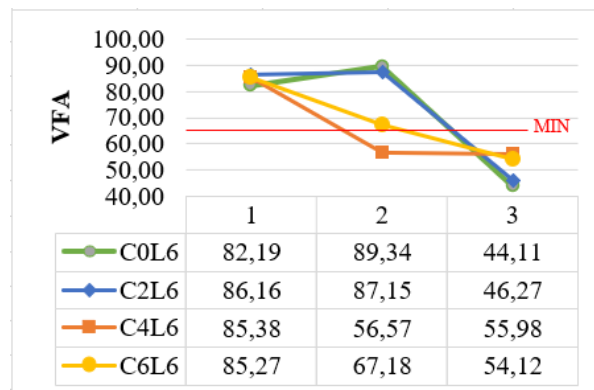
**Grafik 4. 15. Nilai VIM**

Berdasarkan **Grafik 4.15**, nilai VIM (*Void in Mix*) pada komposisi LDPE 6% dengan Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, dan 6% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga, karena dua benda uji dari setiap variasi berada di luar batas VIM (*Void in Mix*) antara 3-5%.



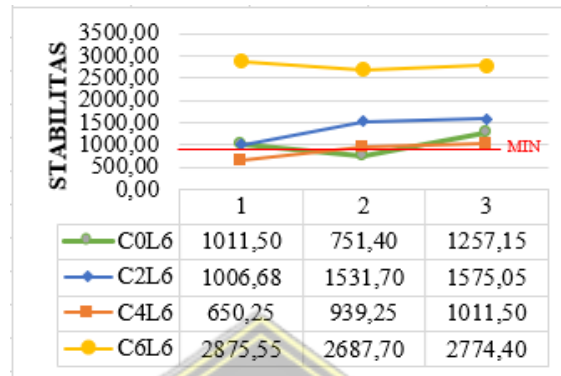
**Grafik 4. 16. Nilai VMA**

**Grafik 4. 17** menunjukkan nilai VMA (*Void in Mineral Agreggate*) pada campuran LDPE 6% dengan variasi Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, dan 6%. Semua variasi memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai VMA diatas 15%.



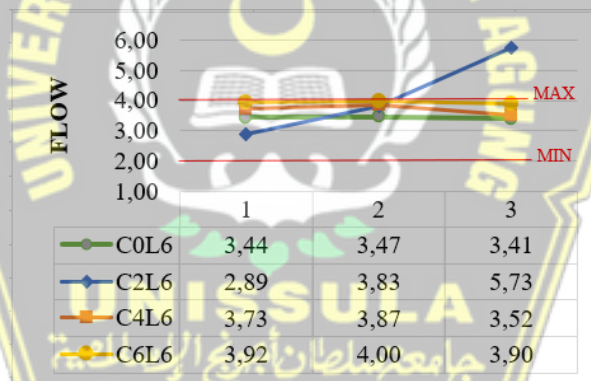
**Grafik 4. 18. Nilai VFA**

**Grafik 4. 19** menunjukkan nilai VFA (*Void Filled Asphalt*) pada campuran LDPE 6% dengan variasi *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Pada variasi C0L6, C2L6, dan C6L6 mendapatkan dua benda uji yang memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai VFA (*Void Filled Asphalt*) diatas 65%



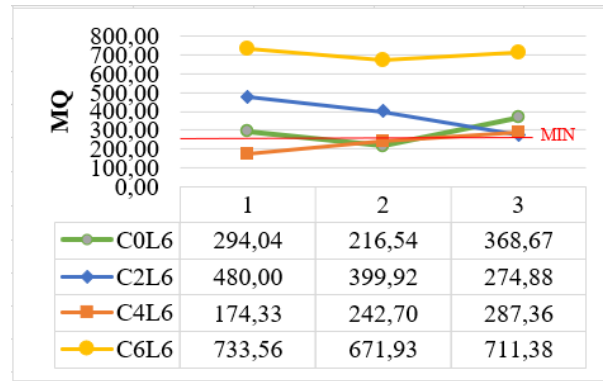
**Grafik 4. 20.** Nilai Stabilitas

**Grafik 4.18** menunjukkan nilai stabilitas pada campuran LDPE 6% dengan variasi penambahan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Semua variasi memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai stabilitas di atas 800 kg.



**Grafik 4. 21.** Nilai Flow

**Grafik 4.19** menunjukkan nilai flow pada campuran LDPE 6% dengan variasi *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%. Semua nilai *flow* memenuhi spesifikasi bina marga dengan batas nilai flow yaitu 2%-4%.



**Grafik 4. 22.** Nilai Marshall Quotient

**Grafik 4.20** menunjukkan nilai *Marshall Quotient* pada campuran LDPE 6% dengan variasi penambahan Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, dan 6%. Pada variasi C2L6 dan C6L6 memenuhi spesifikasi Bina Marga, namun pada variasi C0L6 dan C4L6 tidak memenuhi spesifikasi dikarenakan terdapat dua benda uji yang nilainya dibawah 250 kg/mm.

#### 4.9.4. Rekap Hasil Pengujian *Marshall Test* Benda Uji dengan Kombinasi LDPE 0%, 3% dan 6% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%

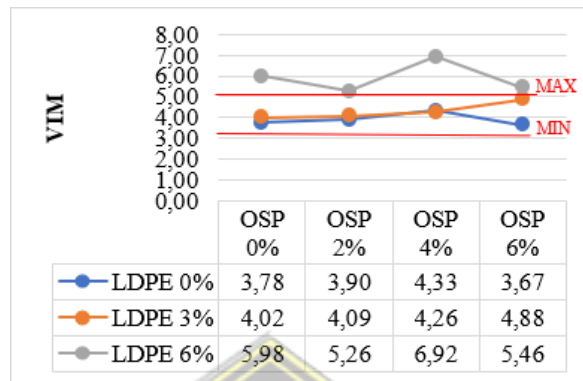
Untuk hasil rekap rata-rata tiap parameter *test marshall* yaitu VMA (*Void In Mineral Aggregate*), VIM (*Void In Mixture*), VFB (*Void Filled Bitumen*), stabilitas, *flow* (kelelehan), dan MQ (*Marshall Quotient*) dapat dilihat pada table 4.13 di bawah ini.

**Tabel 4. 13.** Rekap Hasil Rata-Rata *Marshall*

| Karakteristik <i>Marshall</i><br>Campuran Beraspal |      | VIM  | VMA   | VFA   | STABILITAS | FLOW | MQ      |
|----------------------------------------------------|------|------|-------|-------|------------|------|---------|
|                                                    |      | (%)  | (%)   | (%)   | (Kg)       | mm   | (Kg/mm) |
| Spesifikasi                                        | Min  | 3    | 15    | 65    | 800        | 2    | 250     |
|                                                    | Maks | 5    | -     | -     | -          | 4    | -       |
| C0L0                                               |      | 3.78 | 17.54 | 77.79 | 1122.28    | 3.48 | 327.24  |
| C2L0                                               |      | 3.90 | 18.26 | 78.08 | 915.17     | 3.20 | 294.75  |
| C4L0                                               |      | 4.33 | 18.77 | 76.60 | 919.98     | 3.70 | 249.07  |
| C6L0                                               |      | 3.67 | 18.37 | 79.63 | 953.70     | 2.93 | 333.00  |
| C0L3                                               |      | 4.02 | 17.57 | 76.53 | 1030.77    | 3.27 | 315.50  |
| C2L3                                               |      | 4.09 | 17.81 | 76.41 | 1661.75    | 3.48 | 481.28  |
| C4L3                                               |      | 4.26 | 18.41 | 76.45 | 1555.78    | 3.17 | 469.90  |
| C6L3                                               |      | 4.88 | 18.61 | 73.54 | 1329.40    | 3.32 | 402.14  |
| C0L6                                               |      | 5.98 | 19.99 | 71.88 | 1006.68    | 3.44 | 293.08  |

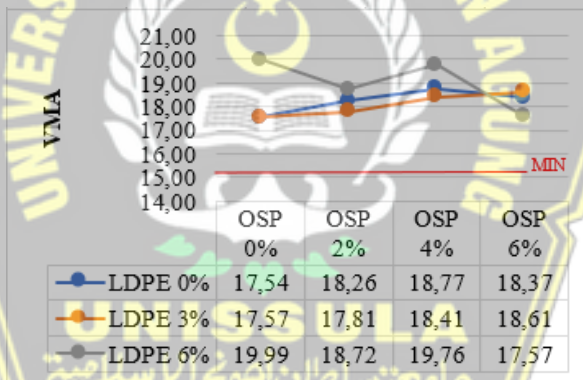
|      |      |       |       |         |      |        |
|------|------|-------|-------|---------|------|--------|
| C2L6 | 5.26 | 18.72 | 73.19 | 1497.98 | 4.15 | 384.93 |
| C4L6 | 6.92 | 19.76 | 65.98 | 867.00  | 3.71 | 234.80 |
| C6L6 | 5.46 | 17.57 | 68.86 | 2779.22 | 3.94 | 705.62 |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)



Grafik 4. 23. Nilai VIM

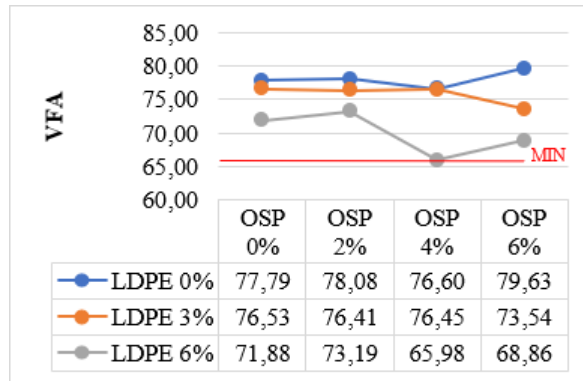
Berdasarkan **Grafik 4.21** hanya pada kombinasi LDPE 0% dan 3% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6% yang memiliki hasil nilai rata-rata VIM yang memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai batas VIM 3%-5%.



Grafik 4. 24. Nilai VMA

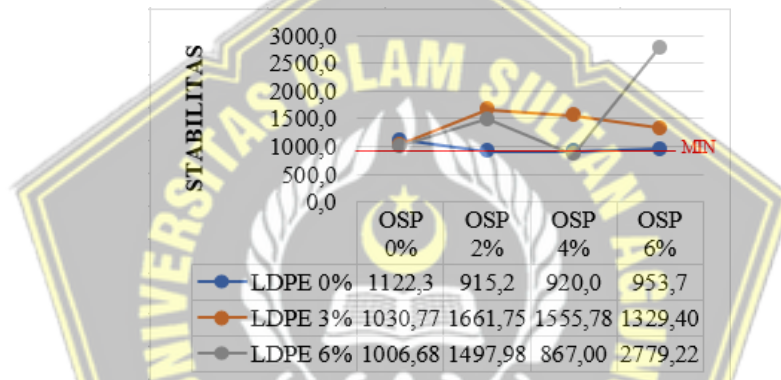
Hasil pengujian Marshall untuk nilai VMA (*Void in Mineral Aggregate*) menunjukkan nilai rata-rata yang bervariasi. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga yang menetapkan batas minimum VMA 15%, semua variasi memenuhi spesifikasi.





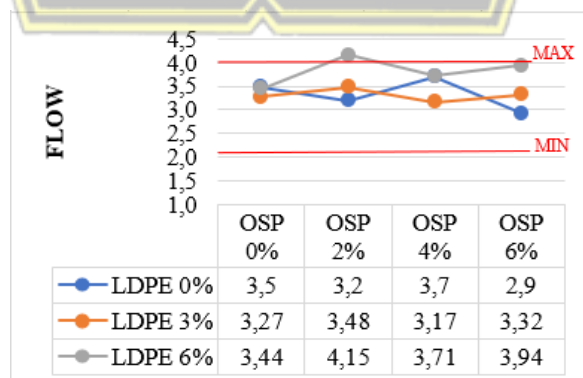
**Grafik 4. 25. Nilai VFA**

Berdasarkan **Grafik 4.23** secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi campuran dengan LDPE 0% menghasilkan nilai VFA menunjukkan variasi dengan nilai VFA diatas batas minimum yaitu 65%.



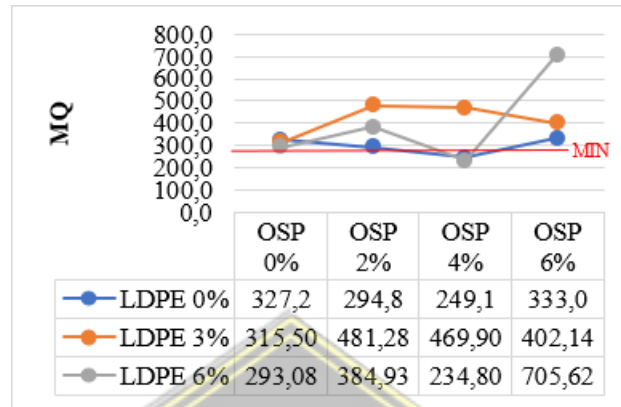
**Grafik 4. 26. Nilai Stabilitas**

Berdasarkan **Grafik 4.24** hasil pengujian Marshall untuk nilai stabilitas menunjukkan semua variasi memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan nilai stabilitas yaitu diatas 800 kg.



**Grafik 4. 27. Nilai Flow**

Berdasarkan **Grafik 4.25** hasil pengujian Marshall untuk nilai kelelehan (*flow*) menunjukkan sebagian besar nilai memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan batas nilai *flow* yaitu 2 mm - 4 mm kecuali pada variasi dengan campuran OSP 2% dan LDPE 6% dengan nilai kelelehan (*flow*) diatas 4 mm.



**Grafik 4. 28.** Nilai Marshall Quotient

Berdasarkan **Grafik 4.26** hasil pengujian Marshall untuk nilai *Marshall Quotient* menunjukkan sebagian besar memenuhi spesifikasi Bina Marga dengan batas minimum nilai *Marshall Quotient* yaitu 250 kg/mm kecuali pada variasi C4L0 (OSP 4% & LDPE 0%) dan C4L6 (OSP 4% & LDPE 6%) tidak memenuhi spesifikasi.

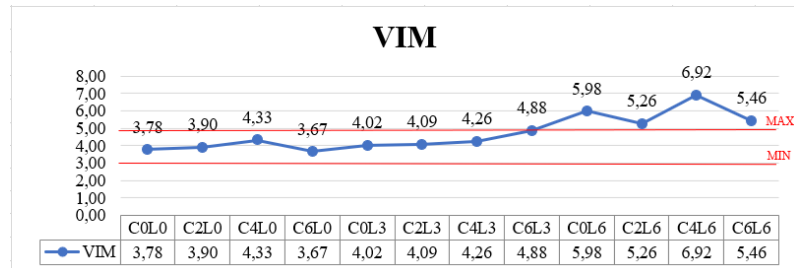
#### 4.9.5. Rekap Hasil Nilai Marshall Test dengan Kombinasi LDPE 0%, 3% dan 6% dengan Oyster Shell Powder 0%, 2%, 4%, dan 6%.

##### a. Nilai Void in Mix (VIM)

| No  | Variasi | VIM  |
|-----|---------|------|
| 1.  | C0L0    | 3.78 |
| 2.  | C2L0    | 3.90 |
| 3.  | C4L0    | 4.33 |
| 4.  | C6L0    | 3.67 |
| 5.  | C0L3    | 4.02 |
| 6.  | C2L3    | 4.09 |
| 7.  | C4L3    | 4.26 |
| 8.  | C6L3    | 4.88 |
| 9.  | C0L6    | 5.98 |
| 10. | C2L6    | 5.26 |

|     |      |      |
|-----|------|------|
| 11. | C4L6 | 6.92 |
| 12. | C6L6 | 5.46 |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

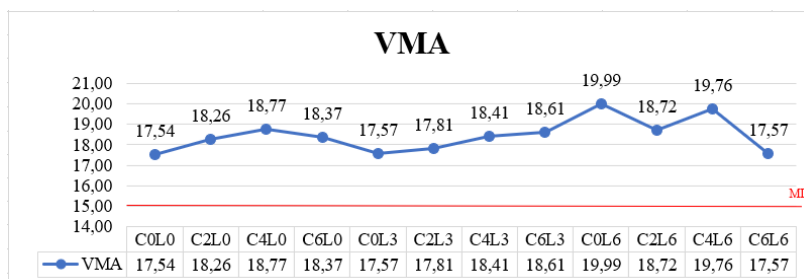


**Grafik 4.29.** Nilai VIM

**b. Nilai Void in the Mineral Agregat (VMA)**

| No  | Variasi | VMA   |
|-----|---------|-------|
| 1.  | C0L0    | 17.54 |
| 2.  | C2L0    | 18.26 |
| 3.  | C4L0    | 18.77 |
| 4.  | C6L0    | 18.37 |
| 5.  | C0L3    | 17.57 |
| 6.  | C2L3    | 17.81 |
| 7.  | C4L3    | 18.41 |
| 8.  | C6L3    | 18.61 |
| 9.  | C0L6    | 19.99 |
| 10. | C2L6    | 18.72 |
| 11. | C4L6    | 19.76 |
| 12. | C6L6    | 17.57 |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

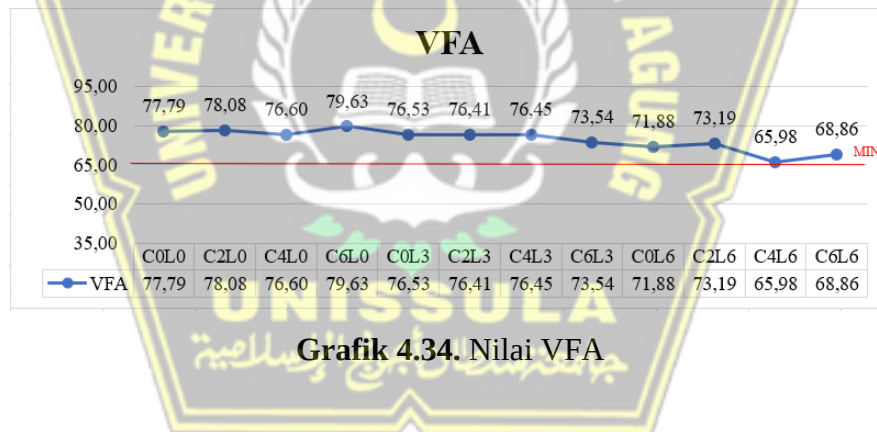


**Grafik 4.32.** Nilai VMA

c. Nilai Void Filled Asphalt (VFA)

| No  | Variasi | VFA   |
|-----|---------|-------|
| 1.  | C0L0    | 77.79 |
| 2.  | C2L0    | 78.08 |
| 3.  | C4L0    | 76.60 |
| 4.  | C6L0    | 79.63 |
| 5.  | C0L3    | 76.53 |
| 6.  | C2L3    | 76.41 |
| 7.  | C4L3    | 76.45 |
| 8.  | C6L3    | 73.54 |
| 9.  | C0L6    | 71.88 |
| 10. | C2L6    | 73.19 |
| 11. | C4L6    | 65.98 |
| 12. | C6L6    | 68.86 |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

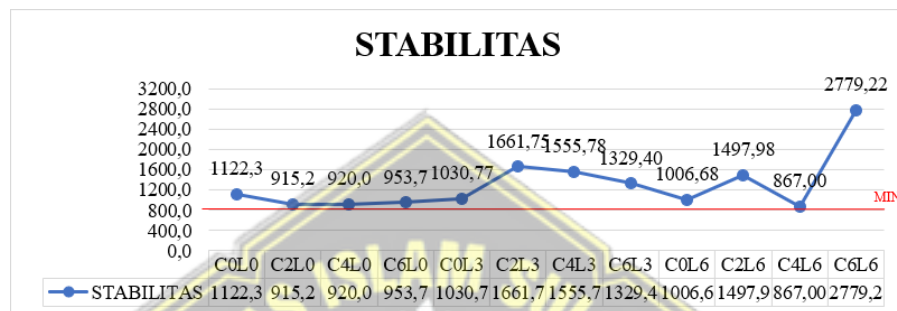


d. Nilai Stabilitas

| No | Variasi | Stabilitas |
|----|---------|------------|
| 1. | C0L0    | 1122.28    |
| 2. | C2L0    | 915.17     |
| 3. | C4L0    | 919.98     |
| 4. | C6L0    | 953.70     |
| 5. | C0L3    | 1030.77    |
| 6. | C2L3    | 1661.75    |

|     |      |         |
|-----|------|---------|
| 7.  | C4L3 | 1555.78 |
| 8.  | C6L3 | 1329.40 |
| 9.  | C0L6 | 1006.68 |
| 10. | C2L6 | 1497.98 |
| 11. | C4L6 | 867.00  |
| 12. | C6L6 | 2779.22 |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

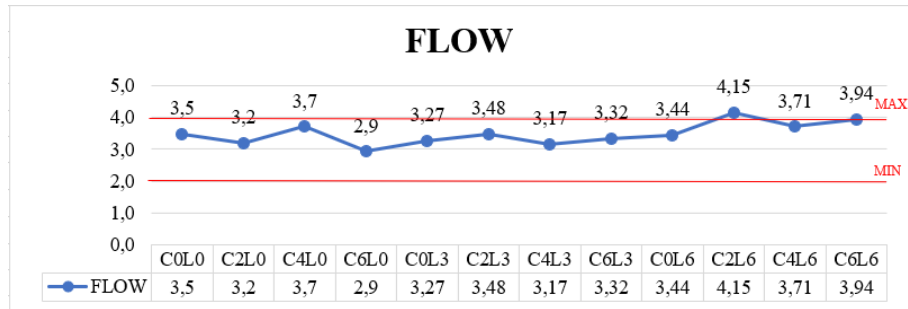


**Grafik 4.37. Nilai Stabilitas**

**e. Nilai Flow**

| No  | Variasi | Flow |
|-----|---------|------|
| 1.  | C0L0    | 3.48 |
| 2.  | C2L0    | 3.20 |
| 3.  | C4L0    | 3.70 |
| 4.  | C6L0    | 2.93 |
| 5.  | C0L3    | 3.27 |
| 6.  | C2L3    | 3.48 |
| 7.  | C4L3    | 3.17 |
| 8.  | C6L3    | 3.32 |
| 9.  | C0L6    | 3.44 |
| 10. | C2L6    | 4.15 |
| 11. | C4L6    | 3.71 |
| 12. | C6L6    | 3.94 |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)

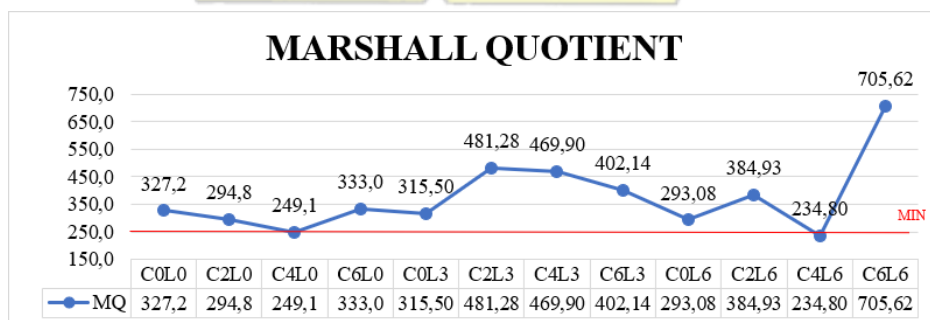


**Grafik 4.40.** Nilai Flow

**f. Nilai Marshall Quotient**

| No  | Variasi | MQ     |
|-----|---------|--------|
| 1.  | C0L0    | 327.24 |
| 2.  | C2L0    | 294.75 |
| 3.  | C4L0    | 249.07 |
| 4.  | C6L0    | 333.00 |
| 5.  | C0L3    | 315.50 |
| 6.  | C2L3    | 481.28 |
| 7.  | C4L3    | 469.90 |
| 8.  | C6L3    | 402.14 |
| 9.  | C0L6    | 293.08 |
| 10. | C2L6    | 384.93 |
| 11. | C4L6    | 234.80 |
| 12. | C6L6    | 705.62 |

(Sumber : Hasil Penelitian, 2024)



**Grafik 4.43.** Nilai MQ



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1. Kesimpulan**

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

1. Hasil *job mix formula* pada pengujian marshall yang terbaik dan memenuhi semua parameter dari pemanfaatan bahan tambah berupa limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan *Oyster Shell* yaitu pada komposisi LDPE 3% dengan *Oyster Shell Powder* 0%, 2%, 4%, dan 6%, variasi C0L3 (*Oyster Shell Powder* 0% dan LDPE 3%), C2L3 (*Oyster Shell Powder* 2% dan LDPE 3%), C4L3 (*Oyster Shell Powder* 4% dan LDPE 3%) dan C6L3 (*Oyster Shell Powder* 6% dan LDPE 3%).
2. Hasil nilai stabilitas pengujian marshall masih memenuhi standar spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 revisi ke -2 dimana nilai hasil *Marshall* di atas 800 kg. Nilai stabilitas terbaik dari *penampungan Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan limbah plastik LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan *Oyster Shell Powder* yaitu pada komposisi *Oyster Shell Powder* 6% dan LDPE 6% dengan nilai stabilitas 2779,22 kg. Dengan nilai stabilitas *Marshall* terendah berada di komposisi campuran *Oyster Shell Powder* 4% dan LDPE 6% dengan nilai rata-rata stabilitas adalah 867 kg.

#### **5.2. Saran**

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat diambil beberapa saran untuk membuat hasil yang lebih akurat pada penelitian berikutnya :

1. Berdasarkan hasil penelitian ini, ada peluang untuk mencoba variasi *Oyster Shell Powder* yang lebih beragam dengan menggunakan persentase bahan yang lebih tinggi agar dapat menghasilkan campuran yang lebih beragam.
2. Pembuatan benda uji menggunakan alat tumbuk sebaiknya tidak dilakukan secara manual untuk menghindari ketidak konsistensian pada saat menumbukkan. Disarankan untuk menggunakan alat kompaktor marshall

otomatis yang dapat memastikan jumlah tumbukan dan tekanan tumbukan yang sesuai standar dan sama di setiap tumbukan nya sehingga hasil pengujian nya lebih sesuai dan sama rata.

3. Penting untuk melakukan pemeriksaan menyeluruh pada alat yang digunakan agar tidak terjadi kesalahan yang dapat mempengaruhi hasil pengambilan data. Dengan memastikan bahwa alat dalam kondisi baik dan berfungsi dengan tepat, kita dapat mengurangi kemungkinan adanya gangguan yang dapat mengarah pada ketidakakuratan data yang diperoleh selama pengujian.
4. Sebelum melaksanakan pengujian Marshall Test, sangat disarankan untuk melakukan proses kalibrasi pada mesin yang akan digunakan. Kalibrasi yang tepat akan memastikan bahwa mesin bekerja sesuai dengan standar yang ditetapkan, sehingga pengambilan data dapat berlangsung dengan akurat dan hasil yang diperoleh dapat diandalkan.



## DAFTAR PUSTAKA

- Afriyanto, B., Indriyati, E. W., & Hardini, P. (2019). Pengaruh Limbah Plastik Low Density Polyethylene Terhadap Karakteristik Dasar Aspal. *Jurnal Transportasi*, 19(1), 59–66.
- Al Madani, Mf., Kusumadi, & Yulfalentino. (2022). *Pengaruh Penggunaan Kulit Kerang Sebagai Pengganti Filler Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Ac-Wc*.
- Bellei, P., Torres, I., Solstad, R., & Flores-Colen, I. (2023). Potential Use Of Oyster Shell Waste In The Composition Of Construction Composites: A Review. In *Buildings* (Vol. 13, Issue 6). Mdpi. <https://doi.org/10.3390/Buildings13061546>
- Bunjamin, B., Hendrifa, N., & Ridha, M. (2021). Pengaruh Substitusi Cangkang Tiram Sebagai Pengganti Sebahagian Semen Dan Pasir Halus Terhadap Kuat Tarik Belah Beton. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 11(2), 272. <https://doi.org/10.29103/Tj.V11i2.486>
- Dalhat, M. A., & Al-Abdul Wahhab, H. I. (2017). Performance Of Recycled Plastic Waste Modified Asphalt Binder In Saudi Arabia. *International Journal Of Pavement Engineering*, 18(4), 349–357. <https://doi.org/10.1080/10298436.2015.1088150>
- Fahrul Al-Amri. (2016). Studi Perbandingan Penggunaan Aspal Minyak Dengan Aspal Buton Lawele Pada Campuran Aspal Concrete Base Course (Ac-Bc) Menggunakan Metode Marshall Test. *Radial: Jurnal Peradaban Sains, Rekayasa Dan Teknologi*, Volume 4 No. 2.
- Farida, I., & Rachmadiba, P. (2023). Pengaruh Filler Abu Cangkang Kerang Terhadap Campuran Aspal Daerah Pesisir Pantai. *Teras Jurnal : Jurnal Teknik Sipil*, 13(2), 365. <https://doi.org/10.29103/Tj.V13i2.896>
- Hidayati, H. N., Rifqi, M. G., & Shofi'ul Amin, M. (2021). *Pengaruh Penambahan Plastik Ldpe Pada Campuran Aspal Beton Lapis Ac-Bc*. 2(2), 1–6. <http://journal.isas.or.id/index.php/jaceit>
- Hu, C., Zhong, D., & Li, S. (2023). A Study On Effect Of Oyster Shell Powder On Mechanical Properties Of Asphalt And Multiple Degrees Of Modification

- Mechanism. *Case Studies In Construction Materials*, 18.  
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.E01786>
- Indah Sari, K. (2021). Pengaruh Serbuk Abu Cangkang Kerang Sebagai Bahan Pengganti Filler Pada Campuran Aspal. *Jcebt*, 5(2).  
<http://ojs.uma.ac.id/index.php/jcebt>
- K.Ayyapan. (2018). Study On Structural Behavior Of Oyster Shell Powder In Concrete. *Journal Of Engineering And Applied Science* 13, 8116–8118.
- Ma, Y., Zhou, H., Jiang, X., Polaczyk, P., Xiao, R., Zhang, M., & Huang, B. (2021). The Utilization Of Waste Plastics In Asphalt Pavements: A Review. In *Cleaner Materials* (Vol. 2). Elsevier Ltd.  
<https://doi.org/10.1016/j.clema.2021.100031>
- Mashuri, & R. Rahman. (2020). Pengaruh Penuaan Aspal Pada Karakteristik Campuran Beton Aspal Lapis Aus Ac – Wc. *Civil Engineering Journal On Research And Development*, 1(2), 47–56.  
<http://new.jurnal.untad.ac.id/index.php/renstra>
- Nciri, N., Shin, T., Lee, H., & Cho, N. (2018). Potential Of Waste Oyster Shells As A Novel Biofiller For Hot-Mix Asphalt. *Applied Sciences (Switzerland)*, 8(3).  
<https://doi.org/10.3390/app8030415>
- Oh, S. E., Chung, S. Y., Kim, K., & Han, S. H. (2024). Comparative Analysis Of The Effects Of Waste Shell Aggregates On The Material Properties Of Cement Mortars. *Construction And Building Materials*, 412.  
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.134887>
- Putra, A., Mulyono, T., & Chrisnawati, Y. (2020). Kajian Parameter Marshall Dengan Menggunakan Limbah Serbuk Kerang Hijau Sebagai Filler Campuran Lapis Aspal Beton. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 15(1).
- Ruslan, H. N., Muthusamy, K., Syed Mohsin, S. M., Jose, R., & Omar, R. (2021). Oyster Shell Waste As A Concrete Ingredient: A Review. *Materials Today: Proceedings*, 48, 713–719. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.02.208>
- Sitompul, O. H., Alamsyah, W., & Basrin, D. (2024). Pengaruh Pemanfaatan Abu Cangkang Kerang Darah Sebagai Bahan Tambah Filler Campuran Aspal Terhadap Nilai Marshall Pada Perkerasan Jalan Ac-Wc. *Jurnal Komposit:*

*Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(2), 241–248.  
<https://doi.org/10.32832/Komposit.V8i2.15126>

Sulistyo, J. A., Pratikso, P., & Mudiyo, R. (2023). Performance Of Asphalt Wearing Course Against The Immersion Effect Of Tide Water (Rob) With Added Materials Polyethylene And Fine Aggregate Slag. *Journal Of Advanced Civil And Environmental Engineering*, 6(1), 24–32.  
<https://doi.org/10.30659/Jacee.6.1.24-32>

Susilowati, A., Wiyono, E., & Pratiko. (2021). *Pemanfaatan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal Campuran Panas*.

Wiyogo, A., Syaiful Amal, A., & Ansyori Alamsyah, A. (2021). *Pengaruh Pemakaian Plastik Ldpe Sebagai Substitusi Aspal Terhadap Karakteristik Marshall Hrs-Wc*. 5, 45–52.

