

TESIS

**KAJIAN KINERJA ASPAL PORUS DENGAN
MENGUNAKAN *GILSONITE ADDITIVE***

***PERFORMANCE STUDY OF POROUS ASPHALT USING
GILSONITE ADDITIVE***



Disusun oleh:

**MUHAMAD ANUGERAH RAMADHAN
18914042**

**PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI
PROGRAM PASCA SARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2022

TESIS

KAJIAN KINERJA ASPAL PORUS DENGAN
MENGUNAKAN *GILSONITE ADDITIVE*

*PERFORMANCE STUDY OF POROUS ASPHALT USING
GILSONITE ADDITIVE*



Diperiksa dan disetujui oleh:

MIFTAHUL FAUZIAH, S.T., M.T., Ph.D.

Dosen Pembimbing I



Tanggal: 7 Feb 2022

Ir. SUBARKAH, M.T.

Dosen Pembimbing II



Tanggal: _____

TESIS

KAJIAN KINERJA ASPAL PORUS DENGAN
MENGUNAKAN *GILSONITE ADDITIVE*
*PERFORMANCE STUDY OF POROUS ASPHALT USING
GILSONITE ADDITIVE*



MUHAMAD ANUGERAH RAMADHAN
1891 4042

Telah diuji di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 24 Januari 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dosen Penguji

(Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.)

(Ir. Subarkah, M.T.)

(Prof. Ir. M. Teguh, MSCE., Ph.D.)

Yogyakarta, 14 FEB 2022

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Magister Teknik Sipil

Ketua Program,



(Ir. Fitri Nugrahani, S.T., M.T., Ph.D., IP-M.)

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

Laporan Tesis yang saya susun ini merupakan gagasan, dan hasil penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan dari Dosen Pembimbing. Pada penulisan karya ini ada bagian-bagian karya atau pendapat orang lain yang saya kutip, dan sumbernya tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan menyebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku.

Yogyakarta, 24 Januari 2022

Yang membuat pernyataan,



MUHAMAD ANUGERAH RAMADHAN

NIM: 18914042

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul Kajian Kinerja Aspal Porus Dengan Menggunakan *Gilsonite Additive*. Laporan Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Perencanaan Teknik Transportasi (S-2) di Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tesis ini banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat doa, saran, serta dukungan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Ir. Subarkah, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan II, yang telah memberikan bimbingan, dan pengarahan demi terselesaikannya penyusunan tesis ini,
2. Bapak Prof. Ir. M. Teguh, MSCE., Ph.D. selaku Dosen Penguji, yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari,
3. Ibu Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dan
4. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tesis ini.

Penulis berharap agar Tesis ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 24 Januari 2022

Penulis



Muhamad Anugerah Ramadhan
(18914042)

DAFTAR ISI

| | |
|--|------|
| Halaman Persetujuan..... | i |
| Halaman Pengesahan | ii |
| PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN | iii |
| KATA PENGANTAR | iv |
| DAFTAR ISI..... | v |
| DAFTAR GAMBAR | viii |
| DAFTAR TABEL..... | x |
| DAFTAR LAMPIRAN..... | xii |
| ABSTRAK | xv |
| <i>ABSTRACT</i> | xvi |
| 1 BAB I PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Rumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan Penelitian | 3 |
| 1.4 Manfaat Penelitian..... | 4 |
| 1.5 Batasan Penelitian | 4 |
| 2 BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... | 5 |
| 2.1 Campuran Aspal Porus..... | 5 |
| 2.2 Campuran Aspal Porus Dengan Penambahan Zat Aditif..... | 6 |
| 2.3 <i>Gilsonite</i> Sebagai Zat Aditif Pada Campuran Aspal | 8 |
| 2.4 Durabilitas pada Campuran Aspal..... | 9 |
| 2.5 Deformasi Permanen | 10 |
| 2.6 Perbandingan Penelitian Tentang Campuran Aspal Porus dengan penelitian yang akan dilaksanakan..... | 12 |
| 3 BAB III LANDASAN TEORI..... | 15 |
| 3.1 Campuran Aspal Porus..... | 15 |
| 3.1.1 Agregat Campuran | 15 |
| 3.1.2 Aspal..... | 18 |
| 3.2 Bahan Aditif <i>Gilsonite</i> | 19 |
| 3.3 Perencanaan Campuran Aspal Porus..... | 20 |
| 3.4 Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> | 20 |
| 3.4.1 Stabilitas (<i>Stability</i>)..... | 20 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.4.2 | Kelelahan (<i>Flow</i>)..... | 21 |
| 3.4.3 | <i>Marshall Question (MQ)</i> | 21 |
| 3.4.4 | <i>Void in the Total Mix (VIM)</i> | 21 |
| 3.5 | <i>Cantabro Loss (CL)</i> | 22 |
| 3.6 | <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i> | 22 |
| 3.7 | Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)..... | 23 |
| 3.8 | Pengujian Durabilitas Campuran Aspal | 23 |
| 3.8.1 | Pengujian <i>Immersion Test (IRS)</i> | 24 |
| 3.8.2 | Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> | 25 |
| 3.8.3 | Pengujian <i>Wheel Tracking Test</i> | 27 |
| 3.9 | Analisis Statistik..... | 29 |
| 4 | BAB IV METODE PENELITIAN..... | 30 |
| 4.1 | Metode dan Lokasi Penelitian | 30 |
| 4.2 | Bahan dan Alat Penelitian | 30 |
| 4.2.1 | Bahan Penelitian..... | 30 |
| 4.2.2 | Alat Penelitian | 30 |
| 4.3 | Langkah-Langkah Penelitian..... | 32 |
| 4.3.1 | Pengujian Bahan..... | 32 |
| 4.3.2 | Perencanaan Campuran Benda Uji..... | 33 |
| 4.3.3 | Pembuatan Benda Uji..... | 39 |
| 4.3.4 | Pengujian Campuran Aspal Porus..... | 41 |
| 4.4 | Bagan Alir Penelitian | 45 |
| 5 | BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN..... | 46 |
| 5.1 | Hasil Penelitian | 46 |
| 5.1.1 | Hasil Pengujian Karakteristik Aspal | 46 |
| 5.1.2 | Hasil Pengujian Karakteristik Agregat..... | 47 |
| 5.1.3 | Hasil Pengujian Penyusun Aspal + Gilsonite..... | 48 |
| 5.1.4 | Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum | 49 |
| 5.1.5 | Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> pada KAO | 52 |
| 5.1.6 | Rekapitulasi Hasil Uji Statistik <i>Anova</i> untuk Pengaruh Penggunaan <i>Gilsonite</i> pada Campuran Aspal Porus..... | 55 |
| 5.2 | Pembahasan..... | 55 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 5.2.1 | Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> | 55 |
| 5.2.2 | Karakteristik Agregat Kasar | 62 |
| 5.2.3 | Karakteristik Agregat Halus | 64 |
| 5.2.4 | Hasil Pengujian Penyusun Aspal + <i>Gilsonite</i> | 65 |
| 5.2.5 | Karakteristik <i>Marshall</i> Standar, <i>Cantabro Loss</i> dan <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Mencari Kadar Aspal Optimum | 66 |
| 5.2.6 | Karakteristik <i>Marshall</i> Standar Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> pada KAO | 74 |
| 5.2.7 | Karakteristik Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i> Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> pada KAO | 82 |
| 5.2.8 | Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> pada KAO | 86 |
| 5.2.9 | Karakteristik <i>Wheel Tracking</i> Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> pada KAO | 90 |
| 5.2.10 | Karakteristik <i>Cantabro Loss</i> Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> pada KAO | 95 |
| 5.2.11 | Karakteristik <i>Asphalt Flow Down</i> Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> pada KAO | 96 |
| 6 | BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN | 98 |
| 6.1 | Kesimpulan | 98 |
| 6.2 | Saran | 99 |
| | DAFTAR PUSTAKA | 100 |
| | LAMPIRAN | |



DAFTAR GAMBAR

| | |
|--|----|
| Gambar 3. 1 Pengujian Tarik Tidak Langsung (<i>ITS</i>)..... | 26 |
| Gambar 3. 2 Hubungan Waktu dan Deformasi..... | 28 |
| Gambar 4. 1 Rencana Gradasi Campuran Aspal Porus..... | 34 |
| Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian | 45 |
| Gambar 5. 1 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VIM</i> | 50 |
| Gambar 5. 2 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Cantabro Loss</i> | 50 |
| Gambar 5. 3 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Asphalt Flow Down</i> | 51 |
| Gambar 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal | 56 |
| Gambar 5. 5 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal | 57 |
| Gambar 5. 6 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal..... | 58 |
| Gambar 5. 7 Hasil Pengujian Titik Nyala Aspal..... | 58 |
| Gambar 5. 8 Hasil Pengujian Titik Bakar Aspal..... | 59 |
| Gambar 5. 9 Hasil Pengujian Kelarutan TCE | 60 |
| Gambar 5. 10 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal | 60 |
| Gambar 5. 11 Nilai Indeks Penetrasi..... | 61 |
| Gambar 5. 12 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan <i>VIM</i> | 67 |
| Gambar 5. 13 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan <i>VFWA</i> | 68 |
| Gambar 5. 14 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan <i>VMA</i> | 68 |
| Gambar 5. 15 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Density</i> | 69 |
| Gambar 5. 16 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas..... | 70 |
| Gambar 5. 17 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Flow</i> | 71 |
| Gambar 5. 18 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>MQ</i> | 72 |
| Gambar 5. 19 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Cantabro Loss</i> | 73 |
| Gambar 5. 20 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Asphalt Flow Down</i> | 74 |
| Gambar 5. 21 Hasil Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>VIM</i> | 75 |
| Gambar 5. 22 Hasil Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>VFWA</i> | 76 |
| Gambar 5. 23 Hubungan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>VMA</i> | 77 |
| Gambar 5. 24 Hubungan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>Density</i> | 78 |
| Gambar 5. 25 Hasil Penambahan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Stabilitas | 79 |

| | |
|---|----|
| Gambar 5. 26 Hubungan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>Flow</i> | 80 |
| Gambar 5. 27 Hubungan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>MQ</i> | 81 |
| Gambar 5. 28 Perbandingan Hasil Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>IRS</i> 24 jam | 82 |
| Gambar 5. 29 Perbandingan Hasil Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>IRS</i> 48 jam | 83 |
| Gambar 5. 30 Hasil Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>IDP</i> 24 jam..... | 84 |
| Gambar 5. 31 Hasil Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>IDP</i> 48 jam..... | 85 |
| Gambar 5. 32 Hasil Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>IDK</i> 24jam..... | 85 |
| Gambar 5. 33 Hasil Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>IDK</i> 48jam..... | 86 |
| Gambar 5. 34 Hubungan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>ITS</i> | 87 |
| Gambar 5. 35 Hubungan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>TSR</i> 24 jam..... | 88 |
| Gambar 5. 36 Hubungan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Nilai <i>TSR</i> 48 jam..... | 90 |
| Gambar 5. 37 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Nilai Stabilitas Dinamis..... | 91 |
| Gambar 5. 38 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar <i>Gilsonite</i> dengan Nilai Kecepatan Deformasi | 91 |
| Gambar 5. 39 Hubungan Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Waktu Pembebanan dan Deformasi pada Campuran Aspal Porus..... | 92 |
| Gambar 5. 40 Hubungan Penambahan <i>Gilsonite</i> dengan Jumlah Lintasan dan Deformasi pada Campuran Aspal Porus..... | 93 |
| Gambar 5. 41 Hasil Pengujian Stabilitas <i>Marshall</i> | 94 |
| Gambar 5.42 Hasil Pengujian Stabilitas Dinamis | 95 |
| Gambar 5.43 Hubungan Nilai <i>Cantabro Loss</i> dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> . | 96 |
| Gambar 5. 44 Hubungan Nilai <i>Asphalt Flow Down</i> dengan Bahan Tambah <i>Gilsonite</i> | 97 |

DAFTAR TABEL

| | |
|---|----|
| Tabel 2. 1 Perbandingan penelitian tentang Campuran Aspal Porus dengan penelitian yang akan dilaksanakan | 12 |
| Tabel 3. 1 Spesifikasi Agregat Kasar..... | 16 |
| Tabel 3. 2 Spesifikasi Agregat Halus..... | 17 |
| Tabel 3. 3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus | 17 |
| Tabel 3. 4 Persyaratan Aspal Keras | 19 |
| Tabel 3. 5 Spesifikasi Aspal Porus..... | 20 |
| Tabel 3. 6 Spesifikasi Penentuan KAO..... | 23 |
| Tabel 4. 1 Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus..... | 33 |
| Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5% | 35 |
| Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5% | 36 |
| Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6% | 36 |
| Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5% | 37 |
| Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7% | 37 |
| Tabel 4. 7 Jenis Campuran Aspal Porus dengan bahan <i>Gilsonite additive</i> | 38 |
| Tabel 4. 8 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum..... | 38 |
| Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian <i>Asphalt Fall Down</i> , dan <i>Cantabro Test</i> | 39 |
| Tabel 4. 10 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian <i>Immersion Test (IRS)</i> , <i>ITS</i> serta <i>TSR</i> , dan <i>Wheel Tracking Test</i> | 39 |
| Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70..... | 46 |
| Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar <i>Gilsonite</i> 1%..... | 46 |
| Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar <i>Gilsonite</i> 2%..... | 47 |
| Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar <i>Gilsonite</i> 3%..... | 47 |
| Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Agregat Kasar | 47 |
| Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Agregat Halus | 48 |
| Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Aspal + <i>Gilsonite</i> | 48 |
| Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO..... | 49 |
| Tabel 5. 9 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> untuk Menentukan KAO..... | 49 |
| Tabel 5. 10 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Menentukan KAO | 49 |

| | |
|--|----|
| Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik <i>VIM</i> , <i>Cantabro Loss</i> , dan <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Menentukan KAO | 51 |
| Tabel 5. 12 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> | 52 |
| Tabel 5. 13 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> | 52 |
| Tabel 5. 14 Hasil Pengujian <i>Marshall Standar</i> | 52 |
| Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Perendaman <i>Marshall 24 jam (Immersion Test)</i> | 53 |
| Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Perendaman <i>Marshall 48 jam (Immersion Test)</i> | 53 |
| Tabel 5. 17 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio 24 jam (TSR)</i> | 53 |
| Tabel 5. 18 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio 48 jam (TSR)</i> | 54 |
| Tabel 5. 19 Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking Machine (WTM)</i> | 54 |
| Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Deformasi Campuran Aspal Porus | 54 |
| Tabel 5. 21 Hasil Uji Statistik <i>Annova</i> | 55 |
| Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Indeks Penetrasi..... | 62 |



DAFTAR LAMPIRAN

| | |
|---|-----|
| Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal 60/70..... | 104 |
| Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal+ <i>Gilsonite</i> 1 %..... | 105 |
| Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal+ <i>Gilsonite</i> 2 %..... | 106 |
| Lampiran 4 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal+ <i>Gilsonite</i> 3 %..... | 107 |
| Lampiran 5 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal 60/70 | 108 |
| Lampiran 6 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal+ <i>Gilsonite</i> 1% | 109 |
| Lampiran 7 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal+ <i>Gilsonite</i> 2% | 110 |
| Lampiran 8 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal+ <i>Gilsonite</i> 3% | 111 |
| Lampiran 9 Pemeriksaan Penetrasi Aspal 60/70..... | 112 |
| Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal+ <i>Gilsonite</i> 1% | 113 |
| Lampiran 11 Pemeriksaan Penetrasi Aspal+ <i>Gilsonite</i> 2% | 114 |
| Lampiran 12 Pemeriksaan Penetrasi Aspal+ <i>Gilsonite</i> 3% | 115 |
| Lampiran 13 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal..... | 116 |
| Lampiran 14 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal+ <i>Gilsonite</i> 1% | 117 |
| Lampiran 15 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal+ <i>Gilsonite</i> 2% | 118 |
| Lampiran 16 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal+ <i>Gilsonite</i> 3% | 119 |
| Lampiran 17 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam Ccl4/Tce | 120 |
| Lampiran 18 Pemeriksaan Kelarutan Dalam Ccl4/Tce Aspal+ <i>Gilsonite</i> 1% | 121 |
| Lampiran 19 Pemeriksaan Kelarutan Dalam Ccl4/Tce Aspal+ <i>Gilsonite</i> 2% | 122 |
| Lampiran 20 Pemeriksaan Kelarutan Dalam Ccl4/Tce Aspal+ <i>Gilsonite</i> 3% | 123 |
| Lampiran 21 Pemeriksaan Daktilitas Aspal..... | 124 |
| Lampiran 22 Pemeriksaan Daktilitas Aspal+ <i>Gilsonite</i> 1%..... | 125 |
| Lampiran 23 Pemeriksaan Daktilitas Aspal+ <i>Gilsonite</i> 2%..... | 126 |
| Lampiran 24 Pemeriksaan Daktilitas Aspal+ <i>Gilsonite</i> 3%..... | 127 |
| Lampiran 25 Pemeriksaan Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat..... | 128 |
| Lampiran 26 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal | 129 |
| Lampiran 27 Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan Mesin <i>Los Angeles</i> | 130 |
| Lampiran 28 Pemeriksaan Butiran Kasar Agregat Kasar | 131 |
| Lampiran 29 Pemeriksaan Partikel Pipih Dan Lonjong..... | 132 |
| Lampiran 30 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar..... | 133 |

| | |
|---|-----|
| Lampiran 31 Pemeriksaan Material Lolos Saringan 200..... | 134 |
| Lampiran 32 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus..... | 135 |
| Lampiran 33 Pemeriksaan Setara Pasir..... | 136 |
| Lampiran 34 Pemeriksaan Material Lolos Saringan No. 200 | 137 |
| Lampiran 35 Pemeriksaan Gumpalan Lempung dan Kumpulan Butir-Butir Mudah Pecah Dalam Agregat | 138 |
| Lampiran 36 Pengujian <i>Marshall</i> Dalam Mencari Kao Pada Campuran Aspal Porus | 139 |
| Lampiran 37 Pengujian <i>Cantabro Loss</i> Dalam Mencari Kao Pada Campuran Aspal Porus | 140 |
| Lampiran 38 Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> Dalam Mencari Kao Pada Campuran Aspal Porus | 141 |
| Lampiran 39 Pengujian <i>Marshall</i> Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 142 |
| Lampiran 40 Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> 24 Jam Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 143 |
| Lampiran 41 Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> 48 Jam Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 144 |
| Lampiran 42 Pengujian <i>IRS</i> 24 Jam Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 145 |
| Lampiran 43 Pengujian <i>IRS</i> 48 Jam Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 146 |
| Lampiran 44 Pengujian <i>ITS</i> Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 147 |
| Lampiran 45 Pengujian <i>TSR</i> 24 Jam Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 148 |
| Lampiran 46 Pengujian <i>TSR</i> 48 Jam Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 149 |
| Lampiran 47 Pengujian <i>Cantabro Loss</i> Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 150 |
| Lampiran 48 Pengujian <i>AFD</i> Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> | 151 |

| | |
|---|-----|
| Lampiran 49 Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> 0% | 152 |
| Lampiran 50 Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> 1% | 153 |
| Lampiran 51 Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> 2% | 154 |
| Lampiran 52 Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Pada Campuran Aspal Porus Dengan Aditif <i>Gilsonite</i> 3% | 155 |
| Lampiran 53 Hasil Uji Statistik Anova..... | 156 |



ABSTRAK

Aspal porous merupakan salah satu teknologi campuran perkerasan lentur yang memiliki rongga-rongga yang besar, berfungsi untuk mengalirkan air melalui pori-pori sebagai sistem drainase. Namun, kadar rongga yang besar pada campuran aspal porous mengakibatkan kekuatan dan ketahanan lebih rendah. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan aditif *Gilsonite* untuk mengatasi kelemahan tersebut. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari aditif *Gilsonite* sebagai terhadap kinerja campuran aspal porous. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada sifat material terhadap agregat, aspal pen 60/70, dan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah *Gilsonite*. Menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal porous, kemudian melakukan pengujian *Cantabro Loss*, *AFD*, *Marshall*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio* dan *Wheel Tracking* dengan variasi kadar aditif *Gilsonite* 0%; 1%; 2%; dan 3% terhadap kadar aspal optimum.

Berdasarkan dari hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan aditif *Gilsonite* meningkatkan nilai stabilitas *Marshall* dengan peningkatan tertinggi pada penambahan kadar *Gilsonite* 3% yaitu sebesar 24,7%. Pada pengujian perendaman *Marshall* (*immersion test*) nilai *IRS* menunjukkan peningkatan yang tidak signifikan pada kadar 3% sebesar 0,55%, namun untuk perendaman *Marshall* 48 jam tidak memenuhi persyaratan Bina Marga >90%. Nilai *ITS* mengalami kenaikan pada penambahan kadar *Gilsonite* 3% yaitu sebesar 36,4% sedangkan nilai *TSR* meningkat secara tidak signifikan pada kadar 3% sebesar 13,4%. Hasil pengujian *Wheel Tracking* menunjukkan campuran aspal porous dengan penambahan aditif *Gilsonite* mengalami peningkatan nilai stabilitas dinamis dan penurunan kecepatan deformasi, penambahan kadar *Gilsonite* 3% meningkatkan nilai stabilitas dinamis sebesar 47,84% dan menurunkan kecepatan deformasi. Semakin bertambahnya kadar *Gilsonite* pada campuran aspal membuat ikatan campuran menjadi lebih baik, dan ketahanan bertambah. Berdasarkan dari nilai pengujian *Cantabro Loss* dan *AFD* yang menurun.

Kata-kata Kunci: *Aspal Porus, Cantabro Loss, AFD, Marshall, Indirect Tensile Strength, Gilsonite, dan Wheel Tracking*

ABSTRACT

Porous asphalt is a type of flexible pavement mix that contains big voids that allow water to drain through the pores as a drainage system. The porous asphalt mixture's high void content, on the other hand, results in reduce strength and resistance. As a result, Gilsonite additives were used in this work to address these flaws. The goal of this research was to see how the Gilsonite ingredient affect the performance of a porous asphalt mixture. The material properties of aggregate, pen asphalt 60/70, and asphalt pen 60/70 with Gilsonite were investigated in this study. Determining the ideal asphalt content in the porous asphalt mixture, then testing Cantabro Loss, AFD, Marshall, Immersion Test, Indirect Tensile Strength, Tensile Strength Ratio, and Wheel Tracking with different Gilsonite additive amounts of 0%, 1%, 2%, and 3% of the optimum asphalt content.

According to the test results, adding Gilsonite additives raises the Marshall stability value, with the significant increase being 24.7% when added 3% of Gilsonite content. The IRS value indicates a minor raise at 3% levels of 0.55 % in the Marshall (immersion test). However, Marshall did not fulfill the standards of Highways > 90% for 48 hours. By adding 3% Gilsonite content, the ITS value increases to 36.4%, but the TSR value increases only to 13.4%. The findings of the Wheel Tracking test reveal that adding Gilsonite additives to the porous asphalt mixture enhanced the dynamic stability value and lowered the deformation speed. Adding 3% of Gilsonite content increases the dynamic stability value by 47.84% and decreased the deformation speed. As the amount of Gilsonite in the asphalt mixture grows, the mixture bonds better, and the test object's durability improves. It can be seen from the decreasing test result value of Cantabro Loss and AFD.

Keywords: Porous asphalt, Cantabro Loss, AFD, Marshall, Indirect Tensile Strength, Gilsonite, and Wheel Tracking

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang penting bagi masyarakat yang meliputi berbagai bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*) dan perkerasan komposit (*composite pavement*). Pada suatu saat perkerasan jalan pastinya mengalami kerusakan yang disebabkan oleh meningkatnya beban lalu lintas dan repetisi beban, sistem drainase jalan yang tidak baik, material konstruksi dan sistem pelaksanaan yang kurang perlengkapannya yang dipergunakan untuk lalu lintas yang berada pada permukaan tanah (Peraturan Pemerintah, 2006). Iklim tropis Indonesia yang umumnya memiliki curah hujan yang tinggi dapat mengakibatkan adanya genangan air pada permukaan perkerasan jalan. Akibatnya, di Indonesia dituntut untuk menciptakan perkerasan jalan dengan sistem drainase yang baik agar tidak mengakibatkan kerusakan jalan yang dikarenakan tidak meresapnya air hujan atau disebut juga *aquaplaning*, dimana kondisi genangan air antara permukaan jalan dan ban yang dapat mengakibatkan kerusakan pada permukaan lapisan perkerasan jalan. Kerusakan jalan yang terjadi di Indonesia 40% diakibatkan oleh air dan yang diakibatkan oleh kelebihan muatan sebesar 30%. Oleh karena itu dibutuhkan campuran perkerasan yang dapat mengalirkan air ke samping secara langsung ke saluran drainase agar membuat air secepat mungkin keluar dari permukaan perkerasan, mempunyai durabilitas, stabilitas yang tinggi, tahan oksidasi, tahan pada rembesan air hujan. Untuk mengatasi permasalahan itu dilakukan berbagai penelitian modifikasi aspal salah satunya adalah dengan menggunakan aspal porus.

Menurut Saleh, dkk (2014) Aspal porus merupakan campuran aspal terbaru yang telah banyak dikembangkan di negara-negara maju untuk lapisan permukaan jalan. Aspal porus adalah teknologi perkerasan yang sedang dikembangkan yang bisa meminimalisir kerusakan pada lapisan perkerasan yang diakibatkan oleh air, aspal porus didesain dengan porositas yang tinggi, sehingga dapat meloloskan air masuk ke dalam lapisan perkerasan secara vertikal dan horizontal melewati rongga-

rongga sebagai sistem drainase. Aspal porus merupakan campuran aspal dengan agregat kasar yang lebih banyak dibandingkan dengan agregat halus yang lebih sedikit, sehingga menghasilkan rongga yang dapat mengalirkan air (Noris, 2017). Perkerasan aspal porus di desain dengan porositas yang tinggi dibandingkan dengan jenis perkerasan lainnya, dikarenakan campuran aspal porus menggunakan agregat halus yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan campuran lainnya. Rongga-rongga yang besar menghasilkan permukaan aspal yang agak kasar, sehingga memiliki kekesatan yang tinggi. Kandungan rongga-rongga yang tinggi berfungsi untuk meloloskan air atau sebagai saluran drainase pada lapisan perkerasan (Djumari & Sarwono, 2009)

Menurut Prawiro dan Tarigan (2014) Aspal porus memiliki stabilitas yang rendah tetapi memiliki permeabilitas tinggi yang disebabkan oleh adanya rongga antar agregat. Untuk meningkatkan stabilitas pada aspal porus dibutuhkan adanya modifikasi pada campuran aspal dengan tambahan bahan aditif.

Tipe campuran aspal yang mempunyai tingkat kekesatan yang tinggi yaitu aspal porus. Hal tersebut disebabkan karena nilai rongga (*porosity*) yang terdapat pada campuran aspal porus cukup besar. Rongga-rongga yang besar itu dapat mengakibatkan turunnya nilai karakteristik pada campuran aspal porus itu sendiri. Kemampuan memikul beban (*stability*) pada campuran aspal porus yang berkurang secara drastis jika dibandingkan dengan campuran aspal konvensional (Zuliansyah & Muis, 2011).

Agar dapat meningkatkan nilai karakteristik campuran aspal porus, diperlukan campuran aspal dengan material yang baik dan bisa juga digunakan modifikasi aspal dengan menambahkan bahan aditif, sehingga dapat meningkatkan kinerja pada campuran aspal tersebut, terutama nilai stabilitasnya. Salah satunya adalah bahan aditif *Gilsonite*, penambahan *Gilsonite* dapat memberikan keuntungan pada lapisan perkerasan jalan, yaitu untuk meningkatkan daya lekat antar agregat.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dibuat suatu rumusan masalah yang digunakan sebagai pertanyaan penelitian (*research question*). Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penambahan *gilsonite* pada campuran aspal porus terhadap karakteristik *Marshall*?
2. Bagaimana nilai *Index of Retained Strength (IRS)* campuran aspal porus dengan *gilsonite additive*?
3. Bagaimana nilai kuat tarik tidak langsung (*ITS*) campuran aspal porus dengan *gilsonite additive*?
4. Bagaimana nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* campuran aspal porus dengan *gilsonite additive*?
5. Bagaimana pengaruh penambahan *gilsonite* pada campuran aspal porus terhadap ketahanan stabilitas dinamis?
6. Bagaimana nilai ketahanan campuran aspal porus dengan penambahan *gilsonite* terhadap deformasi akibat beban dinamis?
7. Bagaimana pengaruh penambahan *gilsonite* pada campuran aspal porus terhadap nilai *Cantabro Loss*?
8. Bagaimana pengaruh penambahan *gilsonite* pada campuran aspal porus terhadap nilai *Asphalt Flow Down*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh *gilsonite additive* pada campuran aspal porus terhadap karakteristik *Marshall*.
2. Mengetahui nilai *Index of Retained Strength (IRS)* pada campuran aspal porus dengan *gilsonite additive*.
3. Mengetahui nilai kuat tarik tidak langsung (*ITS*) pada campuran aspal porus dengan *gilsonite additive*.
4. Mengetahui nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada campuran aspal porus dengan *gilsonite additive*.
5. Mengetahui pengaruh *gilsonite additive* pada campuran aspal porus terhadap nilai ketahanan stabilitas dinamis.
6. Mengetahui nilai ketahanan terhadap deformasi pada pengujian *wheel tracking* terhadap campuran aspal porus dengan *gilsonite additive*.

7. Mengetahui pengaruh *gilsonite additive* pada campuran aspal porus terhadap nilai *Cantabro Loss*.
8. Mengetahui pengaruh *gilsonite additive* pada campuran aspal porus terhadap nilai *Asphalt Flow Down*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, antara lain sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan tentang perkerasan lentur pada campuran aspal porus.
2. Mengembangkan kualitas pada campuran aspal porus.
3. Meningkatkan nilai guna dari bahan tambah *Gilsonite*.
4. Mengembangkan variasi bahan tambah pada campuran aspal porus.
5. Menambah pengetahuan tentang pengaruh penggunaan bahan tambah *Gilsonite* terhadap durabilitas aspal porus.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini dibutuhkan agar pembahasan tidak keluar dari tujuan awal yang ingin dicapai. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kadar aspal yang digunakan untuk menentukan KAO yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% terhadap berat campuran total, menggunakan aspal pen 60/70.
2. Melakukan penelitian terhadap reaksi kimia dari bahan yang dipakai pada penelitian ini.
3. Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini adalah *Gilsonite* dengan kadar 0 %; 1 %; 2% dan 3% terhadap berat aspal.
4. Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan berasal dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
5. Rendaman yang digunakan adalah 0,5 jam, 24 jam dan 48 jam.
6. Permeabilitas aspal porus tidak ditinjau.
7. Mengacu pada spesifikasi aspal porus sesuai *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Campuran Aspal Porus

Aspal porus merupakan campuran beton aspal dengan kadar rongga udara yang tinggi di dalam campuran. Digunakan sebagai lapis permukaan jalan yang memungkinkan air menembus perkerasan jalan melalui rongga di dalam campuran sehingga dapat meningkatkan keselamatan lalu lintas terutama pada musim hujan (Busnial, 2005).

Menurut Veranita (2016) Aspal porus merupakan campuran beraspal panas antara agregat bergradasi terbuka dengan aspal berviskositas tinggi. Campuran Aspal porus ini sedang dikembangkan untuk konstruksi *wearing course*. Aspal porus direncanakan untuk mengatasi pengaruh air hujan sehingga permukaan jalan tidak tergenang oleh air.

Aspal porus merupakan aspal yang dapat mengalirkan air melewati rongga aspal, sehingga air tidak menggenang, setelah itu masuk ke dalam hingga ke lapisan *geotextile* yang kemudian mengalirkan air untuk dibuang (Fauziah & Wijayati, 2016).

Aspal porus adalah campuran bergradasi terbuka merupakan campuran yang memiliki rongga udara yang tinggi dan hanya sedikit memiliki kandungan agregat halus. Kestabilan campuran gradasi terbuka tergantung pada fraksi dan keadaan saling mengunci dari butiran agregat dan kohesi dari aspal sebagai pengikat (Nurchahya & Rahman, 2015).

Aspal porus adalah campuran beraspal yang didesain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain. Campuran Aspal porus memiliki ciri komposisi agregat kasar yang lebih banyak dari pada agregat halus, Hal ini menyebabkan aspal porus memiliki rongga yang besar. Perkerasan aspal porus memiliki fungsi khusus. Dengan memanfaatkan pori yang ada dalam campuran, dapat mengalirkan air dipermukaan jalan ke lapisan bawah sehingga tidak terjadi genangan dipermukaan jalan (Ramadhan & Reza, 2014).

2.2 Campuran Aspal Porus Dengan Penambahan Zat Aditif

Pada masa ini banyak bahan tambah atau modifikasi atau bahan aditif, yang merupakan suatu bahan yang dicampurkan maupun ditambahkan pada campuran aspal. Semua itu mempunyai tujuan untuk meningkatkan kualitas pada aspal yang akan digunakan pada saat perencanaan atau perbaikan jalan.

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2004), aspal modifikasi merupakan aspal yang dibuat dengan cara mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah yang bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis aspal. Oleh karena itu, Untuk meningkatkan kekuatan Dalam upaya meningkatkan kekuatan struktur perkerasan jalan disamping perlu adanya penggunaan campuran beraspal panas dengan pemilihan jenis material yang baik dapat pula dengan memodifikasi dengan menggunakan bahan tambahan sehingga diharapkan bisa meningkatkan kinerja campuran aspal khususnya pada nilai stabilitasnya. Menurut Prastanto, dkk (2015), mengatakan bahwa aspal modifikasi merupakan salah satu jenis formula aspal dengan penambahan aditif (*plastomer* atau *elastomer*) untuk mendapatkan sifat perkerasan jalan yang lebih baik.

Penambahan zat aditif pada campuran aspal memiliki banyak keuntungan, yaitu dapat membuat stabilitas perkerasan meningkat, meningkatnya ketahanan deformasi pada perkerasan dan berkurangnya kepekaan terhadap suhu. Banyak penelitian tentang campuran aspal porus dengan penambahan berbagai zat aditif sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya. Adapun beberapa penelitian diuraikan sebagai berikut.

Babagoli dkk (2015) melakukan penelitian tentang keefektifan bahan *gilsonite* pada kinerja campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Metode yang digunakan adalah uji karakteristik *Marshall Test*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Wheel Tracking Test*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aspal porus yang mengandung *Gilsonite* memiliki nilai Stabilitas, *ITS*, *TSR*, dan Stabilitas dinamis yang lebih tinggi, serta memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh air dibandingkan dengan campuran konvensional tanpa bahan aditif.

Nasrekani, dkk (2017) meneliti tentang pengaruh penambahan *gilsonite* pada campuran *Supervape*. Metode yang digunakan adalah pengujian *Indirect Tensile*

Strength (ITS), *Tensile Strength Ratio (TSR)*. Hasil Penelitian menunjukkan variasi penambahan kadar Gilsonite pada campuran *Supervape* memiliki nilai *ITS* dan *TSR* yang tinggi. Hal ini menunjukkan *Gilsonite* dianggap sebagai *anti-stripping* yang baik.

Gupta, dkk (2019) meneliti tentang aspal porus dengan tambahan bahan aditif. Aditif yang dipakai adalah nano-silika dan karet sedangkan *fibers* menggunakan selulosa, kaca, baja dan serat sintetis. Pada penelitian ini pengujian yang dilakukan adalah *Cantabro Test*, *RSAT*, *Draindown Test*, *Wheel Tracking*, *ITS*, *Modulus Resilen*, *TSRST*, *Permeability Test*, *VIM*, *DFT*, dan *Walking Friction Test*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap aditif yang berbeda memiliki efek yang berbeda juga pada sifat-sifat aspal porus. Kombinasi zat aditif dan aspal porus menghasilkan manfaat dan meningkatkan kinerja aspal porus itu sendiri, terutama pada perkerasan jalan di perkotaan.

Hafidz dan Fauziah (2019) melakukan penelitian tentang campuran aspal porus dengan aditif *Wetfix-be*. Metode penelitian yang digunakan adalah Metode *Marshall*, Uji *Marshall Immersion*, *Cantabro Loss*, *Asphalt Flow Down* dan Pengujian *Indirect Tensile Strength*. Hasil penelitian yang telah diperoleh, secara umum campuran aspal porus memakai *wetfix-be* dengan kadar 0,3% memberikan kinerja campuran yang terbaik jika dibandingkan persentase kadar *wetfix-be* lainnya. Hal ini dibuktikan dari nilai Stabilitas *Marshall* tertinggi (612,77 kg), persentase nilai Stabilitas Sisa (90,19%) dan nilai *Indirect Tensile Strength* tertinggi dengan kadar 0,3% yaitu sebesar 8,89kg/cm².

Rizal dkk (2018) melakukan penelitian tentang pengaruh penggunaan *gilsonite* terhadap kinerja campuran aspal beton (*AC-WC*). Metode pengujian yang digunakan adalah pengujian *Marshall*, Stabilitas, Kelelahan (*Flow*), *Marshall Question (MQ)*, *Voids in mix (VIM)*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar presentase *Gilsonite* nilai stabilitas campuran juga semakin meningkat. Pada kadar aspal optimum terbaik 6% dengan substitusi 3% *gilsonite* dimana semua parameternya telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan *AAPA* (2004).

Sobhi, dkk (2019) meneliti tentang campuran *Warm Mix Asphalt (WMA)* dengan bahan aditif *Gilsonite* dan *Sasobit*. Metode pengujian yang dilakukan adalah

pengujian *Marshall*, *Resilien Modulus*, *Dynamic Creep*, *Indirect Tensile Strength*, dan *Tensile Strength Ratio*. Penambahan *Gilsonite* dapat meningkatkan kekakuan pada campuran aspal. Hasil pengujian *Stabilitas Marshall*, *ITS*, *Modulus Resilien*, *Dynamic Creep* menunjukkan bahwa dengan penambahan *Gilsonite* dapat meningkatkan kinerja campuran aspal dibandingkan dengan campuran konvensional.

2.3 *Gilsonite* Sebagai Zat Aditif Pada Campuran Aspal

Gilsonite adalah suatu hidrokarbon alami yang mempunyai warna coklat. Terkandung dalam bentuk yang murni sebesar lebih dari 99%, untuk kadar abunya berkisar diantara 0,65%-1%. Aditif *gilsonite* tidak berbahaya untuk kesehatan karena tidak mengandung racun. Titik lelehnya *gilsonite* yaitu pada suhu 175°. Titik nyala *gilsonite* pada suhu 315°, itu menjelaskan *gilsonite* di dalam hot mix tidak akan mudah terbakar. Kandungan dalam *gilsonite* adalah *asphaltene* sebesar 70,9%, ada juga *malthene* 27% dan *oil* 2%. Kandungan *asphaltene gilsonite* merupakan yang tertinggi daripada bahan *additive* lainnya, seperti *Trinidad* (17,4%), *Rose* (67,1%), dan *SDA* (35,9%). Kandungan nitrogen *gilsonite* juga yang tertinggi yaitu 3,2%, daripada bahan *additive* lain yang memiliki kandungan nitrogen, seperti aspal *Trinidad* (1,01%), *Rose* (0,80%), maupun *SDA* (1,10%). Oleh karena itu *gilsonite* diperlukan agar bisa mengurangi *water stripping* dan *adhesi* pada agregat. *Gilsonite* dan aspal yang memiliki sifat yang sama mengindikasikan bahwa *gilsonite* memiliki kapasitas untuk dipakai sebagai bahan tambah atau *additive* untuk meningkatkan karakteristik sifat fisik dan sifat kimia pada aspal. Oleh karena itu, apabila menginginkan hasil yang lebih baik harus melakukan desain dalam meningkatkan kualitas mutu aspal. *Gilsonite* dengan komponen kimia yang ada didalamnya diharapkan bisa meningkatkan kualitas aspal (American *Gilsonite* Company, 2004).

Beberapa penelitian tentang aspal modifikasi dengan penambahan *Gilsonite* pada campuran aspal telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, berikut beberapa penelitiannya.

Penelitian Prawiro dan Tarigan, (2014) yang membahas tentang campuran aspal porus dengan limbah beton sebagai agregat dan menggunakan *Gilsonite* sebagai bahan aditif, dengan pengujian karakteristik *Marshall* dan permeabilitas.

Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa bahan daur ulang beton dapat digunakan sebagai agregat di campuran aspal porus. Menambahkan *gilsonite* pada kisaran 8-10% meningkatkan karakteristik *Marshall* campuran, terutama stabilitasnya, tanpa mengurangi secara signifikan kemampuan permeabilitas campuran. Penelitian Ramadhan dan Reza, (2014) melakukan penelitian tentang penambahan *gilsonite additive* pada kinerja aspal porus, dengan metode pengujian karakteristik *Marshall* dan permeabilitas. Hasil penelitian yang didapat pada standar gradasi *British* memenuhi spesifikasi *Marshall AAPA*. Untuk meningkatkan karakteristik *Marshall* penelitian ini digunakan bahan tambah *Gilsonite* dengan kadar 6% - 10% dari berat Kadar Aspal Optimum yang di dapat. Setelah penambahan zat *Gilsonite* nilai stabilitas pada campuran Aspal Porus mengalami peningkatan yang signifikan pada semua suhu perendaman Waterbath 55°C - 75°C.

Penelitian yang dilakukan Djakfar, dkk (2016) tentang pengaruh aditif pada kinerja campuran beraspal porus. Menggunakan dua jenis bahan aditif yaitu *Gilsonite* dan Lateks dengan pengujian permeabilitas dan karakteristik *Marshall*. Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan aditif *Gilsonite* dapat meningkatkan kinerja karakteristik *Marshall* secara signifikan, terutama stabilitasnya. Aditif *Gilsonite* menghasilkan kinerja yang baik dibandingkan dengan lateks. Namun dengan penambahan aditif *Gilsonite* menurunkan kemampuan permeabilitas campuran.

2.4 Durabilitas pada Campuran Aspal

Menurut *Asphalt Institute*, (2001) Durabilitas perkerasan aspal yaitu suatu kemampuan tahan terhadap beberapa faktor seperti penuaan aspal, disintegritas agregat dan pelepasan pada lapisan aspal dari agregat yang disebabkan cuaca, beban pada lalu lintas atau karena keduanya. Durabilitas diperlukan untuk menahan keausan yang disebabkan oleh adanya pengaruh cuaca, air, dan perubahan temperatur atau keausan yang disebabkan gesekan antar roda kendaraan dengan permukaan aspal.

Menurut Tahir & Setiawan, (2009) Durabilitas campuran aspal beton mempunyai pengaruh terhadap kinerja dan umur layanan suatu jalan. Durabilitas yang tinggi memberikan indikasi bahwa jalan tersebut lebih awet dan mempunyai ketahanan dari pengaruh cuaca dan air.

Menurut Prabowo, (2003) Potensi keawetan dari campuran aspal dapat diartikan sebagai ketahanan suatu campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan yang disebabkan air dan suhu. Rendahnya keawetan lapisan permukaan dan lapisan aspal adalah merupakan salah satu penyebab utama rusak dan gagalnya pelayanan jalan perkerasan fleksibel. Tingginya keawetan biasanya memenuhi sifat-sifat mekanik dari campuran dan akan memberikan umur pelayanan yang lebih lama.

2.5 Deformasi Permanen

Menurut *Asphalt Institute MS-22, (2001)*, deformasi permanen adalah kejadian menurunnya pada lapisan struktur perkerasan jalan secara permanen. Deformasi dapat dikatakan permanen karena deformasi yang terjadi pada permukaan lapisan perkerasan tidak kembali lagi ke posisi atau bentuk awal setelah terjadinya pembebanan. Deformasi permanen sering terjadi pada jalur roda kendaraan, dengan berjalannya waktu deformasi permanen dapat menyebabkan *rutting* atau alur pada permukaan lapisan perkerasan jalan. Secara umum deformasi permanen terjadi akibat mekanisme berikut.

1. Konsolidasi alur pada lapisan beraspal, disebabkan pemadatan lapisan beraspal yang kurang baik selama pelaksanaan atau selama pencampuran. Pemadatan terus menerus akibat lalu lintas, sehingga menimbulkan terbentuknya jejak jalur roda kendaraan (alur).
2. Mekanisme deformasi menghasilkan konsolidasi pada lapisan tanah dasar. Pondasi bawah dan pondasi atas, yaitu pemadatan tanah dasar yang kurang baik atau pemadatan lapisan perkerasan lainnya yang tidak memadai.
3. Keausan pada lapis permukaan perkerasan yang diakibatkan oleh gesekan roda kendaraan
4. Deformasi plastis, yaitu depresi pada bidang pembebanan dengan tonjolan pada kedua sisi alur yang disebabkan sifat viscoelastis campuran beraspal.

Penelitian di laboratorium mengenai deformasi permanen yang terjadi pada campuran aspal dapat dilakukan dengan *Wheel Tracking Machine (WTM)*. Penelitian dengan menggunakan alat *Wheel Tracking Machine (WTM)* adalah sebagai berikut.

Penelitian Ameli, (2020) membahas tentang ketahanan deformasi pada *Stone Matrix Asphalt* dengan bahan aditif *Gilsonite*. Metode pengujian yang digunakan adalah *Indirect Tensile Strength* dan *Wheel Tracking Test*. Hasil dari pengujian *Wheel Tracking* menunjukkan campuran yang memiliki ketahanan terhadap deformasi, yang mempunyai nilai terkecil yaitu 2,1 mm, stabilitas dinamis terbesar 590 lintasan/mm. Penggunaan *Gilsonite* cocok digunakan pada campuran hangat SMA, karena dapat meningkatkan kinerja campuran tersebut.

Babagoli dkk (2015) melakukan penelitian untuk mengevaluasi keefektifan bahan *gilsonite* pada kinerja campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Metode yang digunakan adalah uji karakteristik *Marshall Test*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Wheel Tracking Test*. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa aspal porus yang mengandung *Gilsonite* memiliki nilai Stabilitas, *ITS*, *TSR* yang lebih tinggi. Pada campuran SMA memakai *Gilsonite* dengan kadar 15% memberikan kinerja campuran yang terbaik jika dibandingkan persentase kadar *Gilsonite* lainnya. Hal ini dibuktikan dari nilai Stabilitas Dinamis tertinggi (4000 lintasan/mm) dan kecepatan deformasi sebesar 4,9 mm dari percobaan *Wheel Tracking* pada suhu 60°C, yang menunjukkan bahwa campuran memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh air dibandingkan dengan campuran konvensional tanpa bahan aditif. Busnial (2005) melakukan penelitian tentang campuran aspal porus dengan aditif *Tafpack-Super* terhadap *Wheel Tracking Test*. Metode penelitian yang digunakan adalah Metode *Marshall*, Uji *Marshall Immersion* dan Pengujian *Wheel Tracking Test*. Hasil penelitian yang telah diperoleh, secara umum campuran aspal porus memakai *Tafpack-Super* dengan kadar 15% memberikan kinerja campuran yang terbaik jika dibandingkan persentase kadar *Tafpack-Super* lainnya. Hal ini dibuktikan dari nilai Stabilitas *Marshall* tertinggi (536,97 kg), persentase nilai Stabilitas Sisa (90,47%) dan nilai Stabilitas Dinamis tertinggi (15750 lintasan/mm dan 3938 lintasan/mm) dari percobaan *Wheel Tracking* pada suhu 45°C dan 60°C.

2.6 Perbandingan Penelitian Tentang Campuran Aspal Porus dengan penelitian yang akan dilaksanakan

Perbandingan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan penelitian yang akan penyusun lakukan dilihat pada

Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan penelitian tentang Campuran Aspal Porus dengan penelitian yang akan dilaksanakan

| No | Aspek | Prawiro, dkk (2014) | Ramadhan dan Reza (2014) | Rizal dkk (2018) | Nasrekani dkk (2017) | Busnial (2005) | Babagoli dkk (2015) | Ameli dkk (2020) | Sobhi dkk (2019) | Peneliti (2020) |
|----|------------------------|--|---|--|---|--|--|---|--|--|
| 1 | Judul | Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahkan <i>Gilsonite</i> | Pengaruh Penambahan <i>Additive Gilsonite HMA Modifier Grade</i> Terhadap Kinerja Aspal Porus | Pengaruh Penggunaan <i>Gilsonite</i> Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC) | <i>Improving Moisture Sensitivity of Asphalt Concrete Using Natural Bitumen (Gilsonite)</i> | Kajian Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Tackpack-Super Terhadap Wheel Tracking Test | <i>Laboratory Evaluation of The Effect of Gilsonite on The Performance of Stone Matrix Asphalt Mixtures</i> | <i>Investigation of The Performance Properties of Asphalt Binder and Mixture Modified by Crumb Rubber and Gilsonite</i> | <i>The Effects of Gilsonite and Sasobit on the Mechanical Properties and Durability of Asphalt Mixtures</i> | Kajian Kinerja Campuran Aspal Porus Dengan Menggunakan <i>Additive Gilsonite</i> |
| 2 | Jenis Campuran | <i>Mix Porous Asphalt</i> | <i>Mix Porous Asphalt</i> | AC-WC | <i>Supervape</i> | <i>Mix Porous Asphalt</i> | <i>Stone Matrix Asphalt</i> | <i>Stone Matrix Asphalt</i> | <i>Warm Mix Asphalt</i> | <i>Mix Porous Asphalt</i> |
| 3 | Bahan yang ditambahkan | <i>Gilsonite</i> | <i>Gilsonite</i> | <i>Gilsonite</i> | <i>Gilsonite</i> | <i>Tackpack-Super</i> | <i>Gilsonite</i> | <i>Gilsonite</i> | <i>Gilsonite and Sasobit</i> | <i>Gilsonite</i> |
| 4 | Parameter Yang Diukur | Karakteristik <i>Marshall</i> , Permeabilitas | Karakteristik <i>Marshall</i> , Permeabilitas | Karakteristik <i>Marshall</i> , <i>Marshall Immersion</i> | <i>Karakteristik Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR)</i> | Karakteristik <i>Marshall</i> , Uji <i>Marshall Immersion</i> , <i>Wheel Tracking Test</i> | <i>Drain down, Marshall Test, Indirect tensile strength (ITS), Tensile Strength Rasio, Wheel Tracking Test</i> | <i>Indirect Tensile Strength, Tensile Strength Ratio, Modulus Resilien, Wheel Tracking Test</i> | <i>Marshall Stability, Dynamic Creep, Modulus Resilien, Indirect Tensile Strength dan Tensile Strength Ratio</i> | <i>Marshall Test, Cantabro Loss, Asphalt Drain Down, Immersion Test (IRS), ITS serta TSR, dan Wheel Tracking</i> |

Sumber: Prawiro (2014), Ramadhan & Reza (2014), Rizal dkk (2018), Nasrekani dkk (2017), Busnial (2005), Babagoli dkk (2015), Ameli dkk (2020), dan Sobhi dkk (2019).

Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan penelitian tentang Campuran Aspal Porus dengan penelitian yang akan dilaksanakan

| No | Aspek | Prawiro, dkk (2014) | Ramadhan dan Reza (2014) | Rizal dkk (2018) | Nasrekani dkk (2017) | Busnial (2005) | Babagoli dkk (2015) | Ameli dkk (2020) | Sobhi dkk (2019) | Peneliti (2020) |
|----|-------|---|--|---|---|---|---|---|--|---|
| 5 | Hasil | Bahan daur ulang beton dapat digunakan sebagai agregat di campuran aspal porus. Menambahkan Gilsonite pada kisaran 8-10% meningkatkan Karakteristik <i>Marshall</i> campuran, terutama stabilitasnya, tanpa mengurangi secara signifikan kemampuan permeabilitas campuran | Hasil yang didapat pada standar gradasi <i>British</i> memenuhi spesifikasi <i>Marshall AAPA</i> . Untuk meningkatkan karakteristik <i>Marshall</i> , penelitian ini digunakan zat <i>gilsonite additive</i> dengan kadar 6%-10% dari KAO yang di dapat. Setelah penambahan zat <i>gilsonite additive</i> nilai stabilitas pada campuran aspal porus mengalami peningkatan yang signifikan pada semua suhu perendaman waterbath 55°C-75°C. | Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan aditif <i>gilsonite</i> dapat meningkatkan kinerja karakteristik <i>Marshall</i> secara signifikan, terutama stabilitasnya. Aditif <i>gilsonite</i> menghasilkan kinerja yang baik. | Hasil pengujian menunjukan bahwa variasi penambahan kadar <i>Gilsonite</i> pada campura <i>Supervape</i> memiliki nilai <i>Indirect Tensile Strength</i> dan <i>Tensile Strength Ratio</i> yang meningkat. Hal ini menunjukkan <i>Gilsonite</i> dianggap sebagai <i>anti-stripping</i> yang baik. | Hasil penelitian yang telah diperoleh, secara umum campuran aspal porus memakai Taspak-Super dengan kadar 15% memberikan kinerja campuran yang terbaik jika dibandingkan persentase kadar Taspak-Super lainnya. Hal ini dibuktikan dari nilai Stabilitas Marshall tertinggi (536,97 kg), persentase nilai Stabilitas Sisa (90,47%) dan nilai Stabilitas Dinamis tertinggi (15750 lintasan/mm dan 3938 lintasan/mm) dari percobaan Wheel Tracking pada suhu 45°C dan 60°C. | Hasil penelitian ini disimpulkan bahwa campuran SMA yang mengandung <i>Gilsonite</i> memiliki nilai <i>ITS</i> yang lebih tinggi, ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh air, serta meningkatkan ketahanan terhadap deformasi | Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar presentase <i>Gilsonite</i> nilai <i>ITS</i> campuran juga semakin meningkat, hasil pengujian <i>Wheel Tracking</i> menunjukkan peningkatan Stabilitas Dinamis, serta menurunkan kecepatan deformasi. | Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran WMA dengan bahan tambah <i>Gilsonite</i> dan <i>Sasobit</i> dapat meningkatkan kinerja campuran dibandingkan dengan campuran WMA konvensional. | Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar <i>Gilsonite</i> 3% adalah kadar yang optimum untuk meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Hal ini sejalan dengan meningkatnya nilai stabilitas, <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , mempunyai nilai stabilitas dinamis yang besar dan kecepatan deformasi terkecil. |

Sumber: Prawiro (2014), Ramadhan & Reza (2014), Rizal dkk (2018), Nasrekani dkk (2017), Busnial (2005), Babagoli (2015), Ameli dkk (2020), dan Sobhi dkk (2019).

Ada beberapa kesamaan dan perbedaan penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu seperti berikut.

1. Kesamaan pemakaian bahan aditif *Gilsonite* pada campuran aspal porus pada penelitian Prawiro & Tarigan, (2014), Ramadhan & Reza, (2014), namun ada beberapa perbedaan pada jenis parameter yang diukur.
2. Kesamaan pemakaian bahan aditif *Gilsonite*, dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan Rizal dkk (2018), Nasrekani dkk (2017), Babagoli dkk (2015), Ameli dkk (2020), dan Sobhi dkk (2019), namun berbeda dengan jenis campuran aspal yang dipakai.
3. Kesamaan pemakaian jenis campuran aspal porus pada penelitian Busnial (2005), namun berbeda pada pemakaian bahan aditif yang digunakan untuk campuran aspal porus.

Oleh karena itu, peneliti akan melakukan penelitian terhadap pengaruh bahan aditif *Gilsonite* pada campuran aspal porus, jadi pada penelitian yang akan dilaksanakan ini dapat dipertanggungjawabkan keasliannya.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Campuran Aspal Porus

Bahan pada campuran aspal porus ini merujuk pada spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2018 dan (Australian Asphalt Pavement Association, 2004). Spesifikasi tersebut digunakan untuk menjadi acuan pada pelaksanaan penelitian ini, serta meliputi berbagai kriteria bahan campuran aspal porus yang terdiri dari gradasi agregat campuran, sifat pada campuran, dan aspal.

3.1.1 Agregat Campuran

Agregat merupakan kumpulan berupa batu pecah, kerikil, pasir atau mineral yang lainnya, yang didapat dari hasil alam atau buatan. Manfaat agregat pada campuran aspal itu sendiri ialah menjadi penyusun yang dapat memberikan stabilitas pada campuran. Agregat menjadi komposisi atau penyusun pada lapisan perkerasan jalan yang mengandung 90% – 95% agregat yang berdasarkan persentase berat atau 75% – 85% agregat yang berdasarkan persentase volume (Sukirman S. , 2003).

Menurut Direktorat Jenderal Bina Marga (2018), agregat berdasarkan butirannya dibagi 2 macam yaitu agregat kasar dan agregat halus.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan yaitu agregat yang tertahan saringan atau yang ukuran butirannya lebih besar dari saringan No.4 (4,75 mm). Agregat kasar yang digunakan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bebas dari bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018). Persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 3.1** di bawah ini sebagai berikut.

Tabel 3. 1 Spesifikasi Agregat Kasar

| Pengujian | | Standar | Nilai | |
|---|----------------------|--------------------|---------------|------------|
| Berat Jenis | | SNI 1969:2008 | Min. 2,5% | |
| Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan | Natrium Sulfat | SNI 3407:2008 | Maks. 12 % | |
| | Magnesium sulfat | | Maks. 18 % | |
| Abrasi dengan Mesin Los Angles | Campuran AC | 100 putaran | SNI 2417:2008 | Maks. 6 % |
| | Modifikasi dan SMA | 500 putaran | | Maks. 30 % |
| | Semua jenis campuran | 100 putaran | | Maks. 8 % |
| | beraspal bergradasi | 500 putaran | | Maks. 40 % |
| Kelekatan Agregat Terhadap Aspal | | SNI 2439:2011 | Min. 95% | |
| Butiran Kasar Agregat Kasar | SMA | SNI 7619:2012 | 100/90 *) | |
| | Lainnya | | 95/90 **) | |
| Partikel Pipih dan Lonjong (**) | SMA | ASTM D-4791 | Maks. 5 % | |
| | Lainnya | | Maks. 10 % | |
| Material Lolos Saringan No. 200 | | SNI ASTM C117:2012 | Maks. 1% | |

(Sumber: Bina Marga, 2018)

Catatan:

(*) 100/95 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

(**) 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. Agregat Halus

Agregat halus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm). Pasir dapat digunakan dalam campuran aspal sebagai agregat halus dengan bahan yang bersih, bebas dari lempung, atau bebas dari bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Fraksi agregat halus dari pecahan mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar sehingga gradasi gabungan dan persentase pasir didalam campuran dapat dikendalikan dengan baik (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018).

Persyaratan agregat halus yang ditunjukkan dalam **Tabel 3.2** berikut.

Tabel 3. 2 Spesifikasi Agregat Halus

| Pengujian | Standar | Nilai |
|---|--------------------|-----------|
| Nilai Setara Pasir | SNI 03-4428-1997 | Min. 50% |
| Material Lolos Saringan No. 200 | SNI ASTM C117:2012 | Maks. 10% |
| Berat Jenis | SNI 3423:2008 | < 3% |
| Gumpalan Lempung dan Kumpalan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat | SNI 03-4141-1996 | Maks. 1% |

(Sumber: Bina Marga, 2018)

3. Gradasi

Menurut Sukirman, (2003) gradasi agregat didapat dari hasil analisa saringan atau ayakan dengan menggunakan satu set saringan, saringan yang paling kasar diletakkan di bagian atas dan yang halus diletakkan di bagian paling bawah. Pada penelitian ini menggunakan jenis gradasi terbuka (*open graded*) yang mengacu pada persyaratan menurut (Australian Asphalt Pavement Association, 2004), yang ditunjukkan dalam **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3. 3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

| Ukuran Ayakan (mm) | % Berat yang Lolos | |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Ukuran Maksimum Ukuran 10 mm | Ukuran Maksimum Ukuran 14 mm |
| 19,000 | 100 | 100 |
| 12,700 | 100 | 85 – 100 |
| 9,530 | 85 – 100 | 45 – 70 |
| 4,760 | 20 – 45 | 10 – 25 |
| 2,380 | 10 – 20 | 7 – 15 |
| 1,190 | 6 – 14 | 6 – 12 |
| 0,595 | 5 – 10 | 5 – 10 |
| 0,297 | 4 – 8 | 4 – 8 |
| 0,149 | 3 – 7 | 3 – 7 |

Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

| Ukuran Ayakan (mm) | % Berat yang Lolos | |
|-----------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| | Ukuran Maksimum Ukuran 10 mm | Ukuran Maksimum Ukuran 14 mm |
| 0,074 | 2 – 5 | 2 – 5 |
| Total | 100 | 100 |
| Kadar Aspal | 5,0 – 6,5 | 4,5 – 6,0 |

(Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*)

3.1.2 Aspal

Menurut Sukirman, (2003) aspal adalah suatu material hidrokarbon yang berbentuk padat pada temperatur ruang, bersifat termoplastis. Jika dipanaskan aspal akan mencair hingga mencapai suhu tertentu, lalu akan berbentuk padat pada suhu yang menurun. Dengan agregat, aspal menjadi material yang membentuk campuran perkerasan jalan. Menurut Permana, (2009) aspal merupakan material yang bersifat termoplastis yang digunakan sebagai perekat (*cementitious*), berwarna hitam atau coklat tua, yang mengandung unsur utama yaitu bitumen. Bitumen merupakan zat perekat yang diperoleh dari hasil alam maupun dari hasil produksi.

Berdasarkan jenisnya aspal di bedakan menjadi 3, yaitu sebagai berikut.

1. Aspal keras (*asphalt cement*)

Merupakan aspal yang digunakan dalam keadaan panas dan cair. Aspal keras berbentuk atau bersifat padat dalam situasi penyimpanan (temperatur ruang). Aspal yang sering digunakan di Indonesia adalah aspal penetrasi 60/70 atau 80/100.

2. Aspal cair (*cut back asphalt*)

Campuran aspal yang digunakan dalam keadaan dingin dan cair, untuk keperluan lapis resap pengikat (*prime coat*).

3. Aspal emulsi

Aspal emulsi merupakan campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi untuk memperlambat pemisahan. Aspal ini bisa digunakan dalam situasi panas maupun dingin. Aspal emulsi biasanya dapat digunakan pada campuran dingin.

Aspal yang digunakan harus memenuhi persyaratan seperti dalam **Tabel 3.4** berikut.

Tabel 3. 4 Persyaratan Aspal Keras

| No. | Jenis Pengujian | Metode Pengujian | Nilai Persyaratan |
|-----|--|------------------|-------------------|
| 1. | Penetrasi 25°C (0,1 mm) | SNI – 2456: 2011 | 60 - 70 |
| 2. | Titik Lembek (°C) | SNI – 2434: 2011 | ≥ 48 |
| 3. | Daktilitas 25° C (cm) | SNI – 2432: 2011 | ≥ 100 |
| 4. | Titik Nyala (°C) | SNI – 2433: 2011 | ≥ 232 |
| 5. | Kelarutan Dalam <i>Trichloroethylene</i> (%) | AASHTO T44-03 | ≥ 99 |
| 6. | Berat Jenis | SNI – 2441: 2011 | ≥ 1,0 |

(Sumber: Bina Marga, 2018)

3.2 Bahan Aditif *Gilsonite*

Gilsonite adalah suatu hidrokarbon alami yang mempunyai warna coklat. Terkandung dalam bentuk yang murni sebesar lebih dari 99%, untuk kadar abunya berkisar diantara 0,65%-1%. Aditif *gilsonite* tidak berbahaya untuk kesehatan karena tidak mengandung racun. Titik lelehnya *gilsonite* yaitu pada suhu 175°. Titik nyala *gilsonite* pada suhu 315°, itu menjelaskan *gilsonite* di dalam hot mix tidak akan mudah terbakar. Kandungan dalam *gilsonite* adalah *asphaltene* sebesar 70,9%, ada juga *malthene* 27% dan *oil* 2%. Kandungan *asphaltene gilsonite* merupakan yang tertinggi daripada bahan *additive* lainnya, seperti *Trinidad* (17,4%), *Rose* (67,1%), dan SDA (35,9%). Kandungan nitrogen *gilsonite* juga yang tertinggi yaitu 3,2%, daripada bahan *additive* lain yang memiliki kandungan nitrogen, seperti aspal *Trinidad* (1,01%), *Rose* (0,80%), maupun SDA (1,10%). Oleh karena itu *gilsonite* diperlukan agar bisa mengurangi *water stripping* dan adhesi pada agregat. *Gilsonite* dan aspal yang memiliki sifat yang sama mengindikasikan bahwa *gilsonite* memiliki kapasitas untuk dipakai sebagai bahan tambah atau *additive* untuk meningkatkan karakteristik sifat fisik dan sifat kimia pada aspal. Oleh karena apabila menginginkan hasil yang lebih baik, jadi harus melakukan desain dalam meningkatkan kualitas mutu aspal. *Gilsonite* dengan komponen kimia yang ada

didalamnya diharapkan bisa meningkatkan kualitas aspal (American Gilsonite Company, 2004).

3.3 Perencanaan Campuran Aspal Porus

Spesifikasi perencanaan agar dapat memperoleh hasil kinerja campuran aspal porus yang baik, beberapa persyaratan yang harus memenuhi yang mengacu pada (Australian Asphalt Pavement Association, 2004), pada **Tabel 3.5** berikut.

Tabel 3. 5 Spesifikasi Aspal Porus

| No | Spesifikasi Perencanaan | Nilai |
|----|---|-----------|
| 1 | Stabilitas <i>Marshall</i> (kg) | Min. 500 |
| 2 | Kelelehan <i>Marshall</i> (mm) | 2 – 6 |
| 3 | Kekakuan <i>Marshall</i> (<i>MQ</i> kg/mm) | Maks. 400 |
| 4 | Kadar Rongga Udara (<i>VIM</i> %) | 18 – 25 |
| 5 | Uji <i>Cantabro Loss</i> (%) | Maks. 35 |
| 6 | Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (%) | Maks. 0,3 |
| 7 | Jumlah Tumbukan Perbidang | 50 |

(Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*)

3.4 Pengujian Karakteristik *Marshall*

Parameter pengujian *Marshall* yang dilakukan berdasarkan (Standar Nasional Indonesia, 2003). Pengujian *Marshall* ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan daya ikat pada campuran aspal. Berikut beberapa parameter pengujian *Marshall*:

3.4.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah suatu campuran aspal sebagai bahan perkerasan jalan mampu untuk menahan deformasi yang terjadi akibat dari beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Menurut Sukirman (2003), stabilitas yang tinggi tidak terlalu baik pada perkerasan karena akan menjadi kaku. Nilai stabilitasnya diketahui dari pembacaan arloji stabilitas pada *Marshall Test*.

Nilai dari stabilitas ini masih harus dikoreksi lagi dengan alat kalibrasi dan ketebalan benda uji. Stabilitas yang dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

$$q = p \times s \times 0,4536 \quad (3.1)$$

Keterangan: q = Angka Stabilitas (kg)
 p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat
 s = Angka koreksi tebal benda uji
 0,4536 = Konversi satuan dari lb ke kg

3.4.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*flow*) merupakan besarnya deformasi pada benda uji yang terjadi pada awal pembebanan yang mengakibatkan stabilitas menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar aspal, viskositas, gradasi agregat, pemadatan dan permukaan pada agregat. Angka *flow* diperoleh dari hasil pembacaan arloji yang menunjukkan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm).

3.4.3 Marshall Question (*MQ*)

Marshall Question adalah hasil bagi atau perbandingan antara stabilitas dengan nilai *flow*. Uji *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas pada campuran perkerasan. Semakin tinggi nilai *Marshall Quotient* maka campuran semakin kaku, apabila nilai *Marshall Quotient* rendah maka campuran semakin lentur. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

Keterangan: *MQ* = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)
 q = Nilai stabilitas (kg)
 r = Nilai *flow* (mm)

3.4.4 Void in the Total Mix (*VIM*)

Void in the Total Mix (*VIM*) adalah presentase rongga yang terdapat dalam volume total campuran. Nilai *VIM* yang semakin tinggi mengakibatkan semakin besar rongga dalam campuran. Hal ini dapat menyebabkan air masuk ke dalam rongga-rongga campuran yang mengakibatkan aspal mudah teroksidasi, dan dapat mengakibatkan berkurangnya kadar aspal yang terdapat pada campuran. Dengan berkurangnya kadar aspal dalam campuran perkerasan mengakibatkan terlepasnya butiran-butiran pada agregat serta terjadi pengelupasan pada permukaan lapis

perkerasan. Untuk memperoleh nilai *VIM* dapat dilihat dari Persamaan 3.3 dan 3.4 sebagai berikut.

$$n = 100 - \left(100 - \frac{g}{h} \right) \quad (3.3)$$

$$h = 100 - \left(\frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}}} \right) \quad (3.4)$$

Keterangan: *n* = Nilai *VIM* (%)

g = Berat isi sampel (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum teoritis campuran (gr/cc)

3.5 *Cantabro Loss (CL)*

Metode Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan suatu benda uji terhadap beban lalu lintas yang mengakibatkan kekuatannya menurun, dan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi ini. Benda uji terlebih dahulu didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang. Diamkan benda uji minimal 6 jam pada suhu ruang, sebelum dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles* lakukan terlebih dahulu penimbangan untuk memperoleh nilai berat sebelum diabrasi (*M_o*). Setelah itu benda uji dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles* dijalankan dengan kecepatan 30-33 rpm sebanyak 300 putaran. Kemudian setelah itu benda uji ditimbang kembali untuk memperoleh nilai berat setelah diabrasi (*M_i*).

Nilai *Cantabro Test* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.5 seperti berikut ini.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100 \quad (3.5)$$

Keterangan: *L* = Persentase kehilangan berat (%)

M_o = Berat sebelum diabrasi (gr)

M_i = Berat setelah diabrasi (gr)

3.6 *Asphalt Flow Down (AFD)*

Metode pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal,

sehingga dilakukan uji *asphalt flow down* (*AFD*). Besarnya nilai *AFD* disyaratkan lebih kecil dari 0,3% untuk menentukan nilai *AFD* digunakan uji pengaliran *asphalt flow down* seperti pada Persamaan pada 3.6 yang mengacu pada AASHTO T 305 sebagai berikut.

$$AFD = \left(\frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \right) \times 100 \% \quad (3.6)$$

Keterangan: *AFD* = nilai *asphalt flow down* (%)

m_1 = Berat cetakan nampan (gr)

m_2 = Berat cetakan beserta campuran aspal sebelum dioven (gr)

m_3 = Berat cetakan beserta campuran aspal sesudah dioven (gr)

3.7 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran aspal porus dalam penelitian ini menggunakan metode (Australian Asphalt Pavement Association, 2004), penentuan KAO pada metode ini mensyaratkan tiga parameter yaitu, *Cantabro Loss* (ketahanan pelepasan butir), *Asphalt Flow Down* (aliran aspal ke bawah), *VIM* (kadar rongga). Nilai spesifikasi penentuan KAO metode AAPA disajikan pada **Tabel 3.6** berikut.

Tabel 3. 6 Spesifikasi Penentuan KAO

| No | Spesifikasi | Syarat |
|----|------------------------------------|--------|
| 1 | Kadar Rongga Udara (<i>VIM</i> %) | 18-25 |
| 2 | Uji <i>Cantabro Loss</i> (%) | < 35 |
| 3 | Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (%) | < 0,3 |

(Sumber: Australian Asphalt Pavement Association, 2004)

3.8 Pengujian Durabilitas Campuran Aspal

Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa pengujian durabilitas pada campuran aspal dengan bahan tambah *Gilsonite* adalah *Immersion Test* (*IRS*), *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) dan *Tensile Strength Ratio* (*TSR*), serta *Wheel Tracking Test*.

3.8.1 Pengujian *Immersion Test (IRS)*

Pengujian perendaman *Marshall (Immersion Test)* ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan atau perubahan karakteristik campuran aspal akibat kerusakan oleh air, suhu dan cuaca. Di dalam penelitian benda uji disimulasikan dengan dilakukan perendaman dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ selama 0,5 jam, dan 24 jam. Perbandingan rendaman selama 0,5 jam (perendaman standar) dengan 24 jam (stabilitas rendaman) dinyatakan dalam persen (%) yang disebut stabilitas *Marshall Sisa/Index of retained strength (IRS)*.

Index of retained strength (IRS) atau stabilitas *Marshall* sisa dilakukan untuk mengetahui daya tahan campuran aspal terhadap kerusakan oleh pengaruh air karena perendaman. Syarat menurut Bina Marga nilai minimum Indeks kekuatan sisa adalah sebesar 90 %. Setelah dapat nilai stabilitas dari pengujian perendaman, lalu melakukan perhitungan nilai *Index of Retained Strength (IRS)* dengan menggunakan Persamaan 3.7 berdasarkan RSNI M-01-2003 berikut.

$$\text{Index of Retained Strength (IRS)} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.7)$$

Keterangan: S_1 = Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam

S_2 = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam

1. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.8 berikut.

$$\text{IDP (r)} = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - (S_{i+1})}{(t_{i+1}) - 1} \times 100 \quad (3.8)$$

Keterangan:

r = indeks penurunan stabilitas (%),

S_i = persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%),

S_{i+1} = persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%), dan

T_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Nilai 'r' yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai "r" yang bernilai negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

2. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Nilai IDK didapatkan dengan perhitungan yang menggunakan Persamaan sebagai 3.9 berikut.

$$\text{IDK (a)} = \frac{1}{2tn} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - (S_i + 1)) [2tn - (t_i + (t_i + 1))] \quad (3.9)$$

Keterangan:

- a = kehilangan kekuatan rerata satu hari (%),
- tn = total waktu perendaman (jam),
- S_i = persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%),
- S_{i+1} = persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%), dan
- T_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari, nilai “a” yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai “a” yang bernilai negatif menggambarkan adanya pertambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai a < 100 yang memungkinkan untuk dapat menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a), dihitung berdasarkan Persamaan 3.10 berikut.

$$S_a = (100 - a) \quad (3.10)$$

Keterangan:

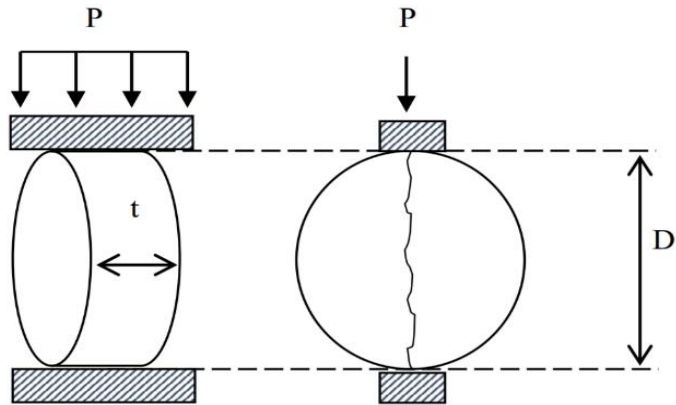
- S_a = kekuatan sisa rata-rata satu hari (%).

3.8.2 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Metode pengujian *Indirect Tensile Strength* dilakukan untuk mengetahui kemampuan aspal beton untuk menahan beban berupa gaya tarik. Dilakukan pada benda uji yang berbentuk silinder. Pengujian ini hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan adalah pada pengujian kuat tarik tak langsung tidak menggunakan cincin penguji namun menggunakan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*. Pengukuran kekuatan tarik dihentikan apabila jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam.

Mengacu pada SNI 6753: 2015, melakukan perendaman benda uji selama ± 0,5 jam agar menjadi jenuh dan 24 jam dengan suhu ± 60°C. Hasil Perbandingan

rendaman selama 0,5 jam (*ITS* standar) dengan 24 jam (*ITS* rendaman) yang dinyatakan dalam persen (%), disebut *Tensile Strength Ratio* (*TSR*).



Gambar 3. 1 Pengujian Tarik Tidak Langsung (ITS)

(Tajudin & Suparma, 2017)

Dari pembebanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami *failure*, maka didapatkan nilai *ITS* dengan menggunakan Persamaan 3.11 berikut.

$$ITS = \frac{2 \times P \text{ maks}}{\pi \times t \times d} \quad (3.11)$$

Keterangan: *ITS* = Kuat tarik tidak langsung (kg/cm²)
P maks. = Beban puncak (kg)
t = Tinggi sampel (cm)
d = Diameter benda uji (cm)

Nilai *ITS* pada tiap perendaman kemudian digunakan untuk mengetahui nilai indeks kuat tarik tidak langsung atau *Tensile Strength Ratio* (*TSR*) yang dihasilkan dari tiap perendaman. *Asphalt Institute* mensyaratkan nilai *TSR* harus lebih besar dari 80%. Nilai *TSR* diperoleh dari Persamaan 3.12 berikut.

$$TSR = \frac{ITS_o}{ITS_n} \times 100 \% \quad (3.12)$$

Keterangan: *TSR* = *Tensile Strength Ratio* (kg/cm²)
ITS_o = Kekuatan tarik tidak langsung awal (kg/cm²)
ITS_n = Kekuatan tarik tidak langsung rendaman (kg/cm²)

3.8.3 Pengujian *Wheel Tracking Test*

Metode pengujian *Wheel Tracking* dilakukan untuk mendapatkan hasil pengujian terhadap deformasi permanen yang dapat mensimulasikan kondisi di lapangan yang terjadi pada perkerasan aspal akibat dari lintasan kendaraan, di laboratorium disimulasikan dengan beban roda yang bergerak maju mundur melintas di atas benda uji. Uji *Wheel Tracking* bertujuan untuk mengetahui gambaran ketahanan campuran terhadap pemadatan dan perubahan bentuk deformasi serta mensimulasikan pembebanan yang akan diterima perkerasan di lapangan. Pengujian dilakukan pada temperatur 45°C atau 60°C. Pengujian *Wheel Tracking* mengacu pada (Japan Road Association, 1980) *Manual for Design and Contruction of Asphalt Pavement*.

Alat uji ini mempunyai sebuah roda besi dan dilapisi karet keras yang bergerak maju mundur di atas permukaan benda uji campuran aspal yang berukuran 30 x 30 x 5 cm. Masing-masing benda uji akan dilintasi oleh beban roda berjalan dengan kecepatan 21 siklus per menit (42 lintasan per menit) dan pengujian dilaksanakan selama 60 menit (1 jam) dengan jumlah total lintasan adalah 2.520. Roda *Wheel Tracking* memiliki ban karet dengan lebar 5 cm dan tekanan roda sebesar 6,55 kg/cm² yang diekivalenkan dengan beban sumbu tunggal roda ganda setara 8,16 ton. Alat ini dilengkapi dengan computer yang dapat memberikan laporan berkaitan antara jumlah lintasan dan jejak roda pada menit ke 1, 5, 10, 15, 30, 45 dan 60 menit. Kemampuan lapis perkerasan aspal menahan jejak roda dinyatakan dengan stabilitas dinamis (DS) yang menyatakan jumlah lintasan yang diperlukan untuk membuat jejak roda selama 1 jam. Stabilitas dinamis dan laju deformasi (RD), dapat dihitung dengan Persamaan 3.13 dan Persamaan 3.14 berikut.

Dynamic Stability/Stabilitas Dinamis (DS)

$$DS = 21 \times 2 \times \frac{(t_2 - t_1)}{(d_2 - d_1)} \quad (3.13)$$

Rate of Deformation/Laju Deformasi (RD)

$$RD = \frac{(t_2 - t_1)}{(d_2 - d_1)} \quad (3.14)$$

Keterangan:

DS = *Dynamic Stability* (lintasan/mm)

RD = *Rate of Deformation* (mm/menit)

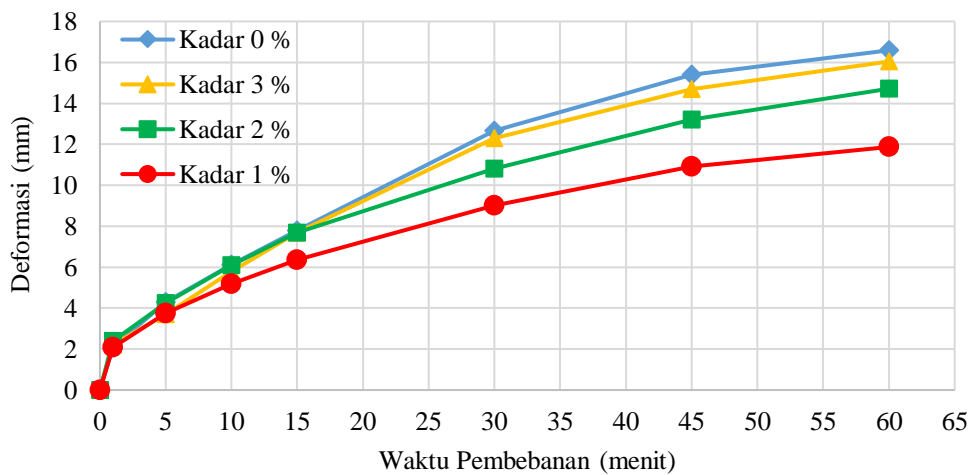
d_1 = Nilai deformasi (kedalamanya) pada menit ke t_1 45 menit (mm)

d_2 = Nilai deformasi (kedalamanya) pada menit ke t_2 60 menit (mm)

t_1 = Waktu pengujian 45 menit

t_2 = Waktu pengujian 60 menit

Kurva deformasi berbentuk lengkung dan berubah lurus, total deformasi diperoleh dengan menarik garis singgung pada titik perubahan sampai memotong sumbu nilai deformasi, titik perpotongan tersebut total deformasi permanen (d_0) adalah deformasi yang terjadi setelah pembebanan sebanyak 2.520 lintasan selama 1 jam. Hasil pengujian didasarkan pada hubungan antara nilai deformasi dengan waktu seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 3.2** berikut.



Gambar 3. 2 Hubungan Waktu dan Deformasi

(Sumber: Marizka, 2021)

3.9 Analisis Statistik

Statistik merupakan ilmu matematika yang membahas tentang pengolahan, pengorganisasian, pengumpulan, penyajian dan analisis data untuk menyimpulkan suatu hasil. Pada penelitian ini menggunakan analisis statistik *Anova*, untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat adanya pengaruh bahan tambah *Gilsonite* pada campuran aspal porous. Metode ini digunakan karena terdapat variabel bebas (*Gilsonite additive*) yang terbagi menjadi beberapa kelompok pada campuran aspal porous.

Data-data Karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, *AFD*, *Index of Retained Strength*, *Index Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, dan *Wheel Tracking* dengan parameter penggunaan *Gilsonite additive* terhadap kinerja campuran aspal porous dengan menggunakan bahan ikat aspal Pertamina Penetrasi 60/70, dianalisis dengan statistik *Anova* untuk dapat menyimpulkan hasil penelitian. Secara umum analisis statistik *Anova* adalah sebagai berikut.

1. Pada rumusan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) untuk melihat pengaruh masing-masing faktor variabel.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \dots \dots \mu_k \quad (4.1)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \dots \dots \neq \mu_k \quad (4.2)$$

2. Membandingkan antara nilai F-hitung dengan nilai F-tabel.
Jika nilai F-hitung $>$ F-tabel ; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.
Jika nilai F-hitung $<$ F-tabel ; maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

3. Menentukan nilai signifikan atau *P-Value*. Besarnya nilai α umumnya digunakan 5% atau 0,05.

Jika nilai signifikan atau *P-Value* $>$ 0,05 ; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

Jika nilai signifikan atau *P-Value* $<$ 0,05 ; maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

4. Perumusan keputusan H_0 dan H_1
 H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *Gilsonite additive* sebagai bahan tambah terhadap campuran aspal porous yang berbahan ikat Pertamina Pen 60/70.
 H_1 : Ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *Gilsonite additive* sebagai bahan tambah terhadap campuran aspal porous yang berbahan ikat Pertamina Pen 60/70.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode dan Lokasi Penelitian

Metode yang digunakan yaitu metode penelitian eksperimen. Metode penelitian eksperimen merupakan metode dengan cara membuat beberapa sampel benda uji dengan jumlah dan variasi tertentu yang dilakukan beberapa percobaan pengujian pada sampel untuk memperoleh data yang selanjutnya akan diolah untuk memperoleh hasil perbandingan dengan standar dan syarat-syarat yang sudah ada pada peraturan-peraturan Standar Nasional Indonesia, Bina Marga dan lainnya.

Untuk lokasi pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dan untuk pengujian *Wheel Tracking Machine (WTM)* dilaksanakan di Laboratorium Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan Kementerian PUPR Bandung.

4.2 Bahan dan Alat Penelitian

4.2.1 Bahan Penelitian

Pada penelitian ini agregat yang digunakan adalah agregat kasar, agregat halus dan *filler* yang diperoleh dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari PT. Pertamina, Cilacap. Untuk bahan penambah menggunakan zat aditif *gilsonite*.

4.2.2 Alat Penelitian

Pada penelitian ini alat-alat yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Alat untuk pengujian fisik agregat, diantaranya alat uji abrasi agregat, satu set saringan, alat uji penyerapan aspal, oven, timbangan dan satu set alat uji *sand equivalent*.
2. Alat untuk pengujian fisik aspal.
 - a. Alat ukur penetrasi aspal.
 - b. Alat uji berat jenis aspal.
 - c. Alat uji daktilitas aspal.
 - d. Alat uji titik lembek aspal.
 - e. Alat uji titik nyala dan titik bakar aspal.

- f. Alat uji kelarutan aspal dalam TCE
 - g. Alat uji berat jenis aspal
3. Alat pengujian *Marshall* dan *Immersion Test*.
- a. Alat penekan yang berbentuk lengkung.
 - b. Cincin penguji berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg.
 - c. Arloji pengukuran stabilitas.
 - d. Arloji pengukuran kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm
 - e. Oven yang dilengkapi pengatur suhu.
 - f. Cetakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm yang dilengkapi dengan plat atas dan leher sambung.
 - g. *Compactor*: Alat Penumbuk berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg.
 - h. Bak perendaman (*water bath*) dengan suhu minimum 20°C.
 - i. Spatula
4. Peralatan pengujian *Indirect Tensile Strength Test* dan *Tensile Strength Ratio*.
- a. Alat ukur tekan (*strip loading*) dengan lebar 0,5 inch.
 - b. Arloji pengukuran stabilitas.
 - c. arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm dengan perlengkapannya.
 - d. Oven yang dilengkapi pengatur suhu.
 - e. Cetakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10 cm yang dilengkapi dengan plat atas dan leher sambung.
 - f. *Compactor*: Alat Penumbuk berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg.
 - g. Bak perendaman (*water bath*) dengan suhu minimum 20°C.
 - h. Spatula
5. Peralatan untuk pengujian *Wheel Tracking*.
- a. *Wheel tracking Machine*.
 - b. Alat pencampur dilengkapi dengan alat pemanas.
 - c. Alat pemadat.
 - d. Cetakan berbentuk persegi ukuran 30 x 30 x 5 cm.
 - e. Termometer
 - f. Oven yang dilengkapi pengatur suhu.
 - g. Ruang tertutup dengan alat yang dilengkapi pengatur suhu.

4.3 Langkah-Langkah Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan standar spesifikasi dan prosedur penelitian yang mengacu pada (Standar Nasional Indonesia, 2003), spesifikasi (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018), (Australian Asphalt Pavement Association, 2004), (AASHTO T 305-14), (American Society for Testing And Materials , 2015), (Japan Road Association, 1980).

4.3.1 Pengujian Bahan

Pada penelitian ini material pada benda uji adalah campuran aspal pen 60/70, bahan aditif *gilsonite*. Pengujian bahan ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan material yang akan digunakan serta memenuhi persyaratan spesifikasi yang telah ditentukan sebagai berikut.

1. Pengujian karakteristik agregat.
 - a. Pengujian agregat kasar bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat yang didapat dari hasil pemecahan mesin pemecah batu. Mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 pada **Tabel 3.1**.
 - b. Pengujian agregat halus bertujuan untuk mengetahui karakteristik agregat yang didapat dari hasil pemecahan mesin pemecah batu. Mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 pada **Tabel 3.2**
2. Pengujian Aspal berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 pada **Tabel 3.4**
 - a. Pengujian penetrasi aspal (SNI 2456-2011)
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan pada aspal, termasuk aspal keras atau aspal lembek.
 - b. Pengujian berat jenis aspal (SNI 2441-2011)
Berat jenis aspal yaitu perbandingan antara volume aspal dan volume air.
 - c. Pengujian titik lembek (SNI 2434-2011)
Pengujian ini dilakukan untuk menentukan temperatur aspal dimana aspal mengalami batas perpindahan antara bentuk padat ke cair. Kepekaan aspal terhadap suhu terjadi dikarenakan aspal merupakan bahan/material yang bersifat termoplastis.

d. Pengujian daktilitas (SNI 2432-2011)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan aspal terhadap retak dalam penggunaannya sebagai lapisan perkerasan. Pengujian ini dilakukan dengan cara menarik suatu benda uji aspal keras dengan kecepatan tarik dan suhu tertentu.

e. Pengujian kelarutan dalam *Trichloroethylene* (AASHTO T44-03)

Tujuan pengujian ini untuk mengetahui kelarutan aspal dalam *Trichloroethylene*.

f. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI 2433-2011)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar.

4.3.2 Perencanaan Campuran Benda Uji

4.3.2.1 Perencanaan Gradasi Agregat

Perencanaan pada benda uji dilakukan dengan cara menentukan ukuran agregat dengan persentase yang telah ditetapkan terlebih dahulu dalam target gradasi. Bahan campuran aspal porus yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal dan *gilsonite* sebagai aditif diuji terlebih dahulu. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik material apakah telah memenuhi syarat yang telah ditentukan. Setelah itu dilakukan penyaringan agregat dengan menggunakan saringan yang telah ditentukan. Penyaringan dilakukan untuk merencanakan jenis agregat yang akan dipakai pada campuran. Oleh karena itu dibuat rencana gradasi agregat. Berikut rencana gradasi agregat dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut

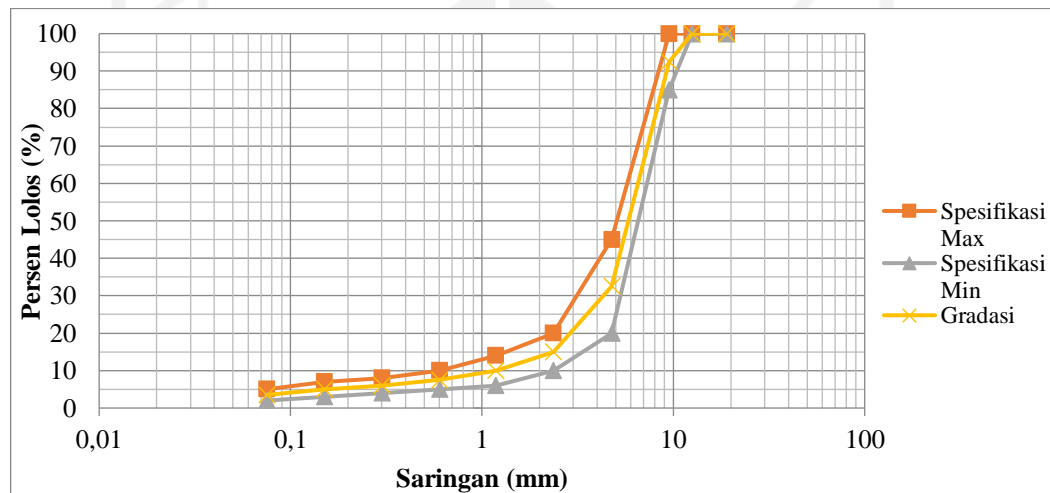
Tabel 4. 1 Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus

| Ukuran Saringan | Agregat Maksimum 10 mm | | |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| | Spesifikasi % Berat Lolos (AAPA 2004) | % Berat yang Lolos | % Berat yang Tertahan |
| 19,00 | 100 | 100 | 0,00 |
| 12,70 | 100 | 100 | 0,00 |
| 9,53 | 85 – 100 | 92,5 | 7,50 |
| 4,75 | 20 – 45 | 32,5 | 60,00 |
| 2,38 | 10 – 20 | 15 | 17,50 |
| 1,19 | 6 – 14 | 10 | 5,00 |
| 0,595 | 5 – 10 | 7,5 | 2,50 |

Tabel 4. 1 Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus

| Ukuran Saringan | Agregat Maksimum 10 mm | | |
|-----------------|---------------------------------------|--------------------|-----------------------|
| | Spesifikasi % Berat Lolos (AAPA 2004) | % Berat yang Lolos | % Berat yang Tertahan |
| 0,297 | 4 – 8 | 6 | 1,50 |
| 0,149 | 3 – 7 | 5 | 1,00 |
| 0,074 | 2 – 5 | 3,5 | 1,50 |
| Pan | | | 3,5 |
| Total | | | 100 |

Berikut merupakan grafik rencana gradasi yang akan digunakan, dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



Gambar 4. 1 Rencana Gradasi Campuran Aspal Porus

4.3.2.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal porus di dalam penelitian ini mengacu pada metode (Australian Asphalt Pavement Association, 2004). Penentuan KAO pada metode ini mensyaratkan tiga parameter yaitu *VIM*, *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down* seperti pada **Tabel 3.6**.

Tahap – tahap untuk menentukan KAO adalah sebagai berikut.

1. *Voids In Mix (VIM)* kadar rongga minimum pada campuran yaitu 18% yang dipakai sebagai batas atas untuk memperoleh kadar aspal maksimum (*OAC Max*).
2. Nilai dari *cantabro loss* maksimum yaitu sebesar 35% yang dipakai sebagai batas atas untuk memperoleh kadar aspal minimum (*OAC min*).

3. Membuat kadar aspal sementara yang didapat dari rata-rata nilai *OAC* maksimum dan *OAC* minimum.
4. Merencanakan kadar aspal sementara pada grafik *Asphalt Flow Down*.
5. Jika nilai hasil rencana melebihi nilai dari standar *asphalt flow down* sebesar 0,3%, maka perencanaan *OAC max* dan *OAC min* harus diulang.
6. Kadar aspal optimum didapat dengan cara menjumlahkan kadar aspal sementara dengan nilai *asphalt flow down*.

Menurut (Australian Asphalt Pavement Association, 2004), kadar aspal optimum untuk agregat dengan ukuran maksimum 10 mm adalah antara 5% - 6,5%. Oleh karena itu, dilakukan pengujian kadar air optimum (KAO) dengan menggunakan kadar aspal sebesar 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7% terhadap berat total campuran yang digunakan. Penentuan kebutuhan agregat disetiap kadar aspal pada **Tabel 4.2** sampai **Tabel 4.6** berikut.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%

| Ukuran Butiran (mm) | Spesifikasi (%) | | Jumlah | | Jumlah Tertahan (gr) |
|---------------------|-----------------|-------|-----------|--------------|----------------------|
| | Min | Max | Lolos (%) | Tertahan (%) | |
| 19 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 12,7 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 9,53 | 100 | 85,0 | 92,5 | 7,50 | 85,50 |
| 4,76 | 45 | 20,0 | 32,5 | 60,00 | 684,00 |
| 2,38 | 20 | 10,0 | 15,0 | 17,50 | 199,50 |
| 1,19 | 14 | 6,0 | 10,0 | 5,00 | 57,00 |
| 0,595 | 10 | 5,0 | 7,5 | 2,50 | 28,50 |
| 0,297 | 8 | 4,0 | 6,0 | 1,50 | 17,10 |
| 0,149 | 7 | 3,0 | 5,0 | 1,00 | 11,40 |
| 0,074 | 5 | 2,0 | 3,5 | 1,50 | 17,10 |
| Pan | | | | 3,50 | 39,90 |

Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%

| Ukuran Butiran (mm) | Spesifikasi (%) | | Jumlah | | Jumlah Tertahan (gr) |
|---------------------|-----------------|-------|-----------|--------------|----------------------|
| | Min | Max | Lolos (%) | Tertahan (%) | |
| 19 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 12,7 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 9,53 | 100 | 85,0 | 92,5 | 7,50 | 85,05 |
| 4,76 | 45 | 20,0 | 32,5 | 60,0 | 680,40 |
| 2,38 | 20 | 10,0 | 15,0 | 17,5 | 198,45 |
| 1,19 | 14 | 6,0 | 10,0 | 5,0 | 56,70 |
| 0,595 | 10 | 5,0 | 7,5 | 2,5 | 28,35 |
| 0,297 | 8 | 4,0 | 6,0 | 1,5 | 17,01 |
| 0,149 | 7 | 3,0 | 5,0 | 1,0 | 11,34 |
| 0,074 | 5 | 2,0 | 3,5 | 1,5 | 17,01 |
| Pan | | | | 3,50 | 39,69 |

Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%

| Ukuran Butiran (mm) | Spesifikasi (%) | | Jumlah | | Jumlah Tertahan (gr) |
|---------------------|-----------------|-------|-----------|--------------|----------------------|
| | Min | Max | Lolos (%) | Tertahan (%) | |
| 19 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 12,7 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 9,53 | 100 | 85,0 | 92,5 | 7,50 | 84,60 |
| 4,76 | 45 | 20,0 | 32,5 | 60,0 | 676,80 |
| 2,38 | 20 | 10,0 | 15,0 | 17,5 | 197,40 |
| 1,19 | 14 | 6,0 | 10,0 | 5,0 | 56,40 |
| 0,595 | 10 | 5,0 | 7,5 | 2,5 | 28,20 |
| 0,297 | 8 | 4,0 | 6,0 | 1,5 | 16,92 |
| 0,149 | 7 | 3,0 | 5,0 | 1,0 | 11,28 |
| 0,074 | 5 | 2,0 | 3,5 | 1,5 | 16,92 |
| Pan | | | | 3,50 | 39,48 |

Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%

| Ukuran Butiran (mm) | Spesifikasi (%) | | Jumlah | | Jumlah Tertahan (gr) |
|---------------------|-----------------|-------|-----------|--------------|----------------------|
| | Min | Max | Lolos (%) | Tertahan (%) | |
| 19 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 12,7 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 9,53 | 100 | 85,0 | 92,5 | 7,50 | 84,15 |
| 4,76 | 45 | 20,0 | 32,5 | 60,0 | 673,20 |
| 2,38 | 20 | 10,0 | 15,0 | 17,5 | 196,35 |
| 1,19 | 14 | 6,0 | 10,0 | 5,0 | 56,10 |
| 0,595 | 10 | 5,0 | 7,5 | 2,5 | 28,05 |
| 0,297 | 8 | 4,0 | 6,0 | 1,5 | 16,83 |
| 0,149 | 7 | 3,0 | 5,0 | 1,0 | 11,22 |
| 0,074 | 5 | 2,0 | 3,5 | 1,5 | 16,83 |
| Pan | | | | 3,50 | 39,27 |

Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%

| Ukuran Butiran (mm) | Spesifikasi (%) | | Jumlah | | Jumlah Tertahan (gr) |
|---------------------|-----------------|-------|-----------|--------------|----------------------|
| | Min | Max | Lolos (%) | Tertahan (%) | |
| 19 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 12,7 | 100 | 100,0 | 100,0 | 0,00 | 0,00 |
| 9,53 | 100 | 85,0 | 92,5 | 7,50 | 83,70 |
| 4,76 | 45 | 20,0 | 32,5 | 60,0 | 669,60 |
| 2,38 | 20 | 10,0 | 15,0 | 17,5 | 195,30 |
| 1,19 | 14 | 6,0 | 10,0 | 5,0 | 55,80 |
| 0,595 | 10 | 5,0 | 7,5 | 2,5 | 27,90 |
| 0,297 | 8 | 4,0 | 6,0 | 1,5 | 16,74 |
| 0,149 | 7 | 3,0 | 5,0 | 1,0 | 11,16 |
| 0,074 | 5 | 2,0 | 3,5 | 1,5 | 16,74 |
| Pan | | | | 3,50 | 39,06 |

4.3.2.3 Pencampuran Aspal dengan *Additive Gilsonite*

Pada penelitian ini dibuat dengan 4 jenis campuran menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan bahan penambah *Gilsonite*. Jenis campuran ditunjukkan pada **Tabel 4.7** berikut.

Tabel 4. 7 Jenis Campuran Aspal Porus dengan bahan *Gilsonite additive*

| No | Variasi Campuran | Komposisi Campuran |
|----|------------------|---|
| 1 | Aspal Porus – 1 | Campuran aspal porus tanpa bahan <i>Gilsonite additive</i> |
| 2 | Aspal Porus – 2 | Campuran aspal porus dengan bahan <i>Gilsonite additive</i> 1 % |
| 3 | Aspal Porus – 3 | Campuran aspal porus dengan bahan <i>Gilsonite additive</i> 2 % |
| 4 | Aspal Porus – 4 | Campuran aspal porus dengan bahan <i>Gilsonite additive</i> 3 % |

4.3.2.4 Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji dibuat pada masing-masing pengujiannya disesuaikan pada kebutuhan penelitian, seperti pada **Tabel 4.8**, **Tabel 4.9**, dan **Tabel 4.10** berikut.

Tabel 4. 8 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

| Variasi Kadar Aspal (%) | Jumlah Benda Uji | | |
|-------------------------|------------------|--------------------------|----------------------|
| | <i>Marshall</i> | <i>Asphalt Flow Down</i> | <i>Cantabro Test</i> |
| 5 | 3 | 3 | 3 |
| 5,5 | 3 | 3 | 3 |
| 6 | 3 | 3 | 3 |
| 6,5 | 3 | 3 | 3 |
| 7 | 3 | 3 | 3 |
| Jumlah | 15 | 15 | 15 |
| Total | 45 Buah | | |

Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian *Asphalt Fall Down*, dan *Cantabro Test*

| Variasi Kadar <i>Gilsonite</i> (%) | Jumlah Benda Uji | |
|---------------------------------------|--------------------------|----------------------|
| | <i>Asphalt Flow Down</i> | <i>Cantabro Test</i> |
| 0 | 3 | 3 |
| 1 | 3 | 3 |
| 2 | 3 | 3 |
| 3 | 3 | 3 |
| Jumlah | 12 | 12 |
| Total | 24 Buah | |

Tabel 4. 10 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian *Immersion Test (IRS)*, *ITS* serta *TSR*, dan *Wheel Tracking Test*

| Variasi Kadar <i>Gilsonite</i> (%) | Jumlah Benda Uji | | | | | | |
|---------------------------------------|---------------------------|--------|--------|--------------------|--------|--------|----------------------------|
| | <i>Immersion Test/IRS</i> | | | <i>ITS dan TSR</i> | | | <i>Wheel Tracking Test</i> |
| | 0,5 jam | 24 jam | 48 jam | 0,5 jam | 24 jam | 48 jam | |
| 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 1 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 2 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Jumlah | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 8 |
| Total | 80 buah | | | | | | |

Jumlah total benda uji yang dibutuhkan dalam penelitian ini sebanyak $45 + 24 + 80 = 149$ buah benda uji.

4.3.3 Pembuatan Benda Uji

4.3.3.1 Pembuatan Benda Uji *Marshall*, *CL*, *IRS*, *ITS*, *TSR*

Pembuatan benda uji dilakukan di Laboratorium Transportasi Universitas Islam Indonesia, bahan-bahan penelitian untuk pembuatan benda uji harus dipersiapkan sebelum digunakan. Semua itu dilakukan untuk memenuhi persyaratan yang sudah ditetapkan, berikut langkah-langkah dalam pembuatan benda uji.

1. Mempersiapkan agregat yang sudah dicampur untuk setiap benda uji.
2. Mempersiapkan peralatan seperti alat penumbuk, cetakan, dan lain-lain. Peralatan ini harus dipanaskan terlebih dahulu.
3. Melakukan penimbangan berat agregat yang akan digunakan sesuai dengan perencanaan campuran dengan berat total agregat benda uji sebesar 1200 gram.
4. Campuran aspal porous dengan *Gilsonite additive* dicampurkan secara bersamaan pada suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$, kemudian lakukan pengadukan secara merata lalu masukan kedalam cetakan.
5. Benda uji dipadatkan menggunakan alat penumbuk sebanyak 50 tumbukan pada tiap bidangnya.
6. Setelah benda uji di dinginkan, lalu dikeluarkan benda uji dari cetakan menggunakan *ejector*.
7. Benda uji disimpan pada suhu ruang selama 24 jam, setelah itu benda uji bisa dilakukan pengujian.

4.3.3.2 Pembuatan Benda Uji *Wheel Tracking Test*

Pembuatan benda uji ini rencananya dilakukan di Laboratorium Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan Kementerian PUPR Bandung. Sebelumnya persiapkan campuran aspal porous untuk membuat benda uji. Melakukan persiapan campuran aspal porous dengan cara menghitung jumlah bahan yang dibutuhkan untuk agregat dan jumlah aspal pada Kadar Aspal optimum (KAO). Bahan yang dibutuhkan disesuaikan dengan volume benda uji dengan ukuran cetakan 30 x 30 x 5 cm. Pada pembuatan benda uji *Wheel Tracking Test* mengacu pada (Japan Road Association, 1980), berikut langkah-langkah dalam pembuatan benda uji.

1. Mempersiapkan agregat yang sudah dicampur untuk setiap benda uji.
2. Melakukan penimbangan berat agregat yang akan digunakan sesuai dengan perencanaan jumlah bahan yang diperlukan. Jumlah bahan harus sesuai dengan cetakan yaitu sebesar 30 x 30 x 5 cm³ kemudian dikalikan dengan nilai *density* masing-masing campuran, volume pada benda uji ditambahkan dengan faktor koreksi sebesar 1,02.
3. Agregat yang telah ditimbang lalu di oven sesuai dengan temperatur masing-masing campuran, dilakukan minimal selama 4 jam dan campuran aspal dipanaskan sesuai temperatur masing-masing campuran.

4. Campuran aspal lalu dipanaskan sesuai dengan temperatur masing-masing campuran, lalu agregat dan aspal dicampur dengan pemanas selama 3 menit, agar suhu pada pencampuran bisa dipertahankan.
5. Campuran aspal tersebut dimasukkan kedalam cetakan, lalu letakan kertas saring pada cetakan.
6. Lalu ditusuk-tusuk pada bagian benda uji dengan menggunakan spatula dan diratakan.
7. Selanjutnya campuran dipadatkan pada suhu pemadatan campuran sesuai dengan variasi campuran dengan alat pemadat *Wheel Tracking Compactor*. Proses pemadatan pada benda uji ini dilakukan sebanyak 37 kali lintasan yang terdiri dari 4 kali lintasan untuk proses meratakan dan 33 kali lintasan untuk proses pemadatan dengan beban 100 kg, dan tekanan 3,33 kg/cm². Toleransi kepadatan yang masih diterima yaitu sebesar 2% atau $5 \pm 0,2$ cm, setelah itu sampel siap dilakukan pengujian.

4.3.4 Pengujian Campuran Aspal Porus

4.3.4.1 Pengujian *Marshall Standard* dan *Immersion Test*

Proses pengujian *Marshall Standard* dan *Immersion Test* sebenarnya hampir sama, yang membedakan hanyalah pada waktu perendaman yang dilakukan dalam bak perendam/*waterbath* untuk pengujian *Immersion Test*. Pengujian ini mengacu pada RSNI M-01-2003, berikut langkah-langkah yang dilakukan.

1. Benda uji dibersihkan kotoran yang menempel.
2. Tiap benda uji diberi tanda.
3. Tinggi benda uji diukur, dengan ketelitian pengukuran 0,01 mm, dan ukur diameter benda uji di rata-ratakan dari 3 kali pengukuran.
4. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat keringnya.
5. Merendam benda uji ke dalam air selama 24 jam pada temperatur ruang agar benda uji menjadi jenuh air.
6. Menimbang benda uji didalam air.
7. Benda uji diangkat dari dalam air. Lalu lap permukaan benda uji, kemudian menimbangnya pada kondisi kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*).
8. Benda uji direndam ke dalam *water bath* selama 0,5 jam dengan suhu 60°C.

9. Membersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan permukaan pada kepala penekan (*test head*). Setelah itu lumasi batang penuntun sehingga kepala penekan yang di atas bisa meluncur bebas.
10. Benda uji dikeluarkan dari *water bath* dan letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan.
11. Memasang segmen atas di atas benda uji dan meletakkannya pada mesin penguji.
12. Memasang arloji pengukur kelelahan (*flow*). Lalu atur keduanya
13. Kepala penekan dinaikkan dengan benda uji sehingga menyentuh alas cincin penguji, sebelum diberikan pembebanan. Atur posisi jarum arloji pada angka nol.
14. Pembebanan dilakukan pada benda uji dengan kecepatan tetap sampai pembebanan menurun sesuai yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat beban maksimum
15. Lakukan analisis hasil pengujian.

4.3.4.2 Pengujian *Cantabro*

Pada pengujian ini mengacu pada *ASTM C-131*, langkah-langkah pengujian *Cantabro Loss* adalah sebagai berikut.

1. Bahan-bahan dipersiapkan.
2. Dibuat benda uji dengan nilai KAO yang diperoleh dari *Marshall Test*.
3. Benda uji ditimbang sebelum dilakukan pengujian.
4. Benda uji dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles*.
5. Mesin *Los Angeles* dijalankan dengan putaran sebanyak 300 putaran.
6. Berat benda uji ditimbang setelah dilakukan pengujian.
7. Lakukan analisis hasil pengujian.

4.3.4.3 Pengujian *Asphalt Flow Down*

Pada pengujian ini mengacu pada *AASHTO T 305*. Berikut langkah-langkah pengujian *Asphalt Flow Down*.

1. Cetakan dilapisi dengan ukuran permukaan 20 x 40 cm menggunakan kertas *aluminium foil*, lalu timbang dan catat berat cetakan tersebut (m1).

2. Dibuat campuran aspal, selanjutnya campuran aspal dituangkan keatas cetakan yang dilapisi *aluminium foil*, ratakan permukaan dan catat beratnya (m2).
3. Cetakan yang berisi campuran aspal dimasukkan ke dalam oven selama ± 60 menit dengan suhu $\pm 160^{\circ}\text{C}$.
4. Cetakan dikeluarkan dari dalam oven lalu campuran aspal tersebut dituangkan dengan cepat, lalu berat cetakan dan campuran aspal yang melekat pada *aluminium foil* ditimbang dan dicatat (m3).
5. Lakukan analisis hasil pengujian.

4.3.4.4 Pengujian *Indirect Tensile Strength* dan *Tensile Strength Ratio*

Pada pengujian ini mengacu pada SNI 6753: 2015. Berikut langkah-langkah pengujian yang dilakukan.

1. Bahan-bahan dipersiapkan.
2. Dibuat benda uji dengan nilai KAO yang diperoleh dari *Marshall Test*.
3. Setelah dilakukan pemadatan, benda uji didiamkan selama ± 24 jam,
4. Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
5. Tinggi benda uji diukur dan ditimbang pada saat keadaan kering agar dapat mengetahui berat keringnya.
6. Rendam benda uji selama $\pm 0,5$ jam menjadi jenuh, lalu lap keringkan permukaannya kemudian ditimbang pada keadaan jenuh permukaan.
7. Benda uji *ITS*, didiamkan selama ± 30 menit pada suhu 25°C .
8. Benda uji *TSR*, direndam dalam bak perendam/*waterbath* selama 24 jam dengan suhu $(60\pm 1)^{\circ}\text{C}$.
9. Setelah dilakukan perendaman, benda uji didiamkan dahulu selama ± 24 jam dalam suhu ruang 25°C .
10. Benda uji diletakkan pada alat pengujian *Indirect Tensile Strength*, lalu nyalakan mesin penguji.
11. Catat angka yang ditunjukkan oleh arloji pada pembebanan maksimum.
12. Lakukan analisis hasil pengujian.

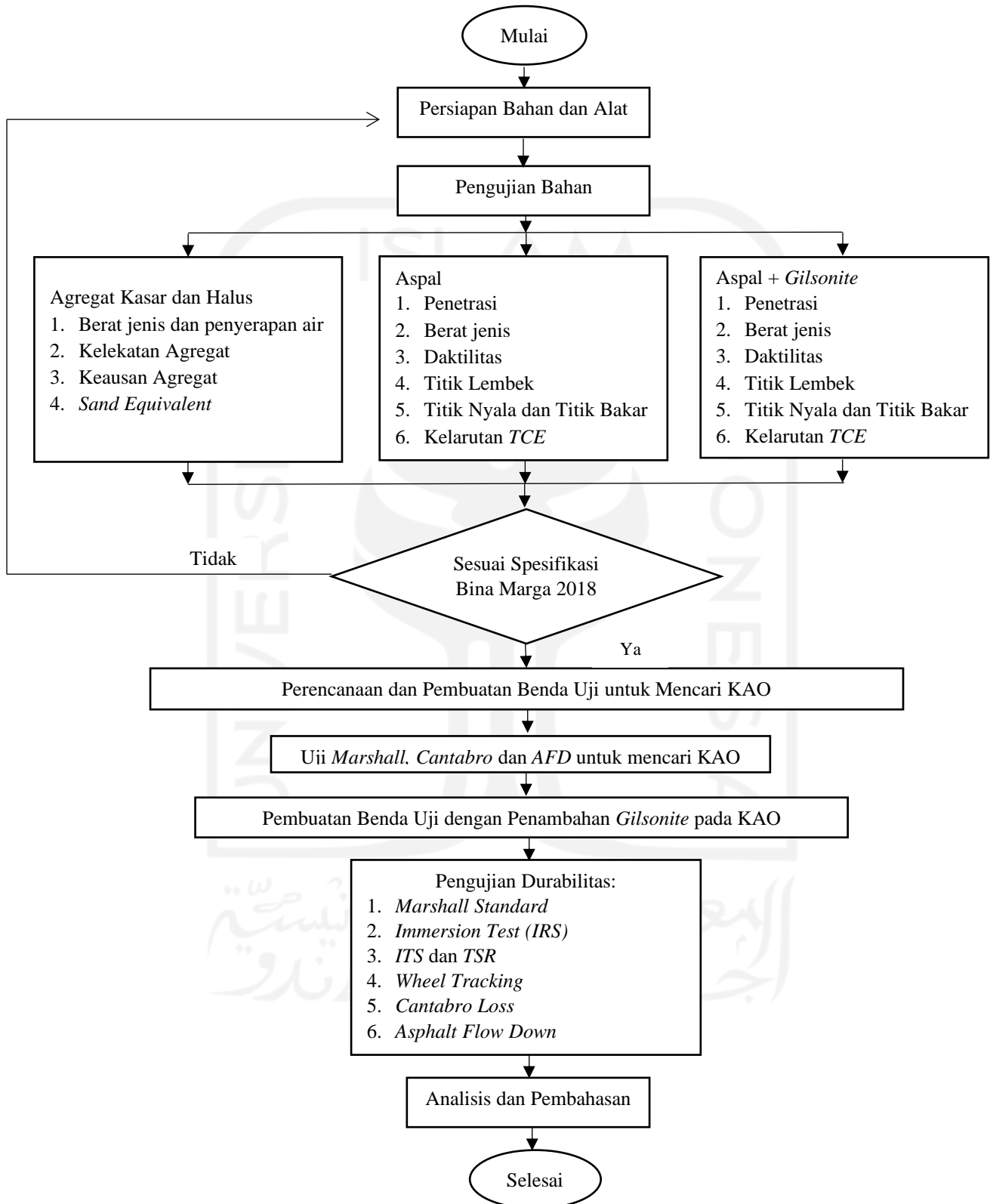
4.3.4.5 Pengujian *Wheel Tracking Test*

Pengujian ini mengacu pada *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement* (Japan Road Association, 1980). Pada pengujian ini dilaksanakan di laboratorium serta temperatur ruangan yang disesuaikan dengan kondisi di lapangan. Pengujian *Wheel Tracking Machine (WTM)* dilakukan pada temperatur ± 60 °C, dibuat benda uji pada Kadar Aspal Optimum (KAO) dan sesuai pada suhu pencampuran pemadatan optimum campuran. Berikut langkah-langkah pengujian yang dilakukan.

1. Proses pengujian ini dilakukan di laboratorium dengan temperatur ruangan yang disesuaikan dengan kondisi di lapangan.
2. Pengujian ini dilakukan dalam kondisi benda uji kering dengan temperatur pengujian dilakukan berdasarkan spesifikasi perkerasan yang ada di Indonesia, yaitu sekitar 60 °C supaya temperatur benda uji sama, sehingga benda uji diletakkan didalam ruangan pada temperatur pengujian selama ± 6 jam.
3. Selanjutnya benda uji diletakkan pada mesin uji dibawah roda karet yang bergerak maju mundur dengan beban sekitar 6,55 kg/cm² dengan frekuensi pembebanan 21 siklus (42 lintasan/menit) selama 1 jam.
4. Hasil pengujian ini secara otomatis dicatat dengan sensor yang terdapat di tungkai roda pembebanan yang langsung dihubungkan dengan alat kontrol dan data yang didapatkan seperti perubahan bentuk (*permanent deformation*) dalam satuan lintasan/mm serta laju deformasi (*rate of deformation*) dalam satuan mm/menit.
5. Lakukan analisis hasil pengujian.

4.4 Bagan Alir Penelitian

Bagan Alir merupakan tahapan dari penelitian yang disajikan pada **Gambar 4.2**



Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan beberapa tahapan penelitian yang telah dilaksanakan, diperoleh hasil dari tiap-tiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian karakteristik aspal menggunakan aspal pertamina pen 60/70, yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Adapun hasil yang telah diperoleh dari pengujian karakteristik aspal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.1** sampai dengan **Tabel 5.4** berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

| No | Jenis Pengujian | Spesifikasi | Aspal Pen 60/70 | Keterangan |
|----|-------------------------------------|-------------|-----------------|------------|
| 1 | Berat Jenis | $\geq 1,0$ | 1,040 | Memenuhi |
| 2 | Penetrasi (0,1 mm) | 60 - 70 | 63,1 | Memenuhi |
| 3 | Daktilitas (cm) | ≥ 100 | 164 | Memenuhi |
| 4 | Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$) | ≥ 232 | 285 | Memenuhi |
| 5 | Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$) | ≥ 232 | 295 | Memenuhi |
| 6 | Kelarutan TCE (%) | ≥ 99 | 99,20 | Memenuhi |
| 7 | Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$) | ≥ 48 | 49 | Memenuhi |

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar Gilsonite 1%

| No | Jenis Pengujian | Spesifikasi Aspal Modifikasi | Aspal Pen 60/70 + 1 % Gilsonite | Keterangan |
|----|-------------------------------------|------------------------------|---------------------------------|------------|
| 1 | Berat Jenis | 0,92 – 1,06 | 1,036 | Memenuhi |
| 2 | Penetrasi (mm) | - | 62,2 | Memenuhi |
| 3 | Daktilitas (cm) | - | 165 | Memenuhi |
| 4 | Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$) | ≥ 180 | 295 | Memenuhi |
| 5 | Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$) | - | 300 | Memenuhi |
| 6 | Kelarutan TCE (%) | - | 99,15 | Memenuhi |
| 7 | Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$) | - | 49,5 | Memenuhi |

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar *Gilsonite* 2%

| No | Jenis Pengujian | Spesifikasi Aspal Modifikasi | Aspal Pen 60/70 + 2 % <i>Gilsonite</i> | Keterangan |
|----|--------------------------|------------------------------|--|------------|
| 1 | Berat Jenis | 0,92 – 1,06 | 1,031 | Memenuhi |
| 2 | Penetrasi (mm) | - | 61,4 | Memenuhi |
| 3 | Daktilitas (cm) | - | 166 | Memenuhi |
| 4 | Titik Nyala (°C) | ≥ 180 | 302 | Memenuhi |
| 5 | Titik Bakar (°C) | - | 310 | Memenuhi |
| 6 | Kelarutan <i>TCE</i> (%) | - | 99,093 | Memenuhi |
| 7 | Titik Lembek (°C) | - | 50 | Memenuhi |

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar *Gilsonite* 3%

| No | Jenis Pengujian | Spesifikasi Aspal Modifikasi | Aspal Pen 60/70 + 3 % <i>Gilsonite</i> | Keterangan |
|----|--------------------------|------------------------------|--|------------|
| 1 | Berat Jenis | 0,92 – 1,06 | 1,022 | Memenuhi |
| 2 | Penetrasi (mm) | - | 60,2 | Memenuhi |
| 3 | Daktilitas (cm) | - | 167,5 | Memenuhi |
| 4 | Titik Nyala (°C) | ≥ 180 | 310 | Memenuhi |
| 5 | Titik Bakar (°C) | - | 320 | Memenuhi |
| 6 | Kelarutan <i>TCE</i> (%) | - | 99,012 | Memenuhi |
| 7 | Titik Lembek (°C) | - | 51 | Memenuhi |

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun hasil dari pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada **Tabel 5.5** sampai **Tabel 5.6** berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Agregat Kasar

| No | Jenis Pengujian | Syarat | Hasil | Keterangan |
|----|---|--------|-------|------------|
| 1 | Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat (%) | ≤ 12 | 5,61 | Memenuhi |
| 2 | Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%) | ≥ 95 | 98 | Memenuhi |
| 3 | Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> 100 putaran (%) | ≤ 8 | 5,75 | Memenuhi |

Lanjutan Tabel 5.5 Hasil Pengujian Agregat Kasar

| No | Jenis Pengujian | Syarat | Hasil | Keterangan |
|----|---|-------------|-------|------------|
| 4 | Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> 500 putaran (%) | ≤ 40 | 23,82 | Memenuhi |
| 5 | Butiran Kasar Agregat Kasar (%) | 95/90 | 95 | Memenuhi |
| 6 | Partikel Pipih dan Lonjong (%) | ≤ 10 | 5,04 | Memenuhi |
| 7 | Berat Jenis | $\geq 2,5$ | 2,659 | Memenuhi |
| 8 | Material Lolos Saringan 200 | $\leq 1 \%$ | 0,73 | Memenuhi |

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Agregat Halus

| No | Jenis Pengujian | Syarat | Hasil | Keterangan |
|----|---|------------|--------|------------|
| 1 | Berat Jenis | $\geq 2,5$ | 2,6261 | Memenuhi |
| 2 | Nilai Setara Pasir (%) | ≥ 50 | 90,612 | Memenuhi |
| 3 | Material Lolos Saringan No. 200 (%) | ≤ 10 | 7,17 | Memenuhi |
| 4 | Gumpalan Lempung dan Kumpulan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat (%) | ≤ 1 | 0,69 | Memenuhi |

5.1.3 Hasil Pengujian Penyusun Aspal + Gilsonite

Pengujian aspal dengan aditif *gilsonite* ini dilaksanakan di Laboratorium Kualitas Lingkungan FTSP Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Data yang diperoleh dari hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Aspal + *Gilsonite*

| No | Senyawa | Rumus Kimia | Hasil Uji (%) |
|----|-------------|--|---------------|
| 1 | Hidrokarbon | H-C | 70,8 |
| 2 | Maltenes | C ₆ H ₆ O ₆ | 25 |
| 3 | Sulfur | S | 2 |
| 4 | Oksigen | O | 1,2 |
| 5 | Nitrogen | N | 0,8 |
| 6 | Paraffin | C _n H _{2n+2} | 0,2 |

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari campuran aspal porus. Adapun data yang didapatkan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran yaitu Parameter *Marshall (VIM)*, *Asphalt Flow Down*, dan *Cantabro Loss*. Dari ketiga pengujian tersebut, parameter yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum dari campuran aspal porus dapat dilihat pada **Tabel 5.8** sampai **Tabel 5.10** berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO

| Kadar Aspal (%) | Stabilitas (kg) | Flow (mm) | <i>MQ</i> (kg/mm) | <i>VIM</i> (%) | <i>VFWA</i> (%) | <i>VMA</i> (%) | <i>Density</i> (gr/cc) |
|-----------------|-----------------|-----------|-------------------|----------------|-----------------|----------------|------------------------|
| 5 | 514,775 | 3,6 | 143,34 | 18,71 | 33,95 | 28,33 | 2,0004 |
| 5.5 | 556,299 | 3,7 | 150,48 | 18,28 | 36,90 | 28,70 | 2,0007 |
| 6 | 580,467 | 3,9 | 149,77 | 16,53 | 41,43 | 28,21 | 2,0250 |
| 6.5 | 524,636 | 4,3 | 121,98 | 15,37 | 45,83 | 28,11 | 2,0387 |
| 7 | 504,894 | 4,4 | 114,36 | 14,16 | 49,46 | 27,98 | 2,0535 |
| Spesifikasi | > 500 | 2 – 6 | < 400 | 18 – 25 | | | |

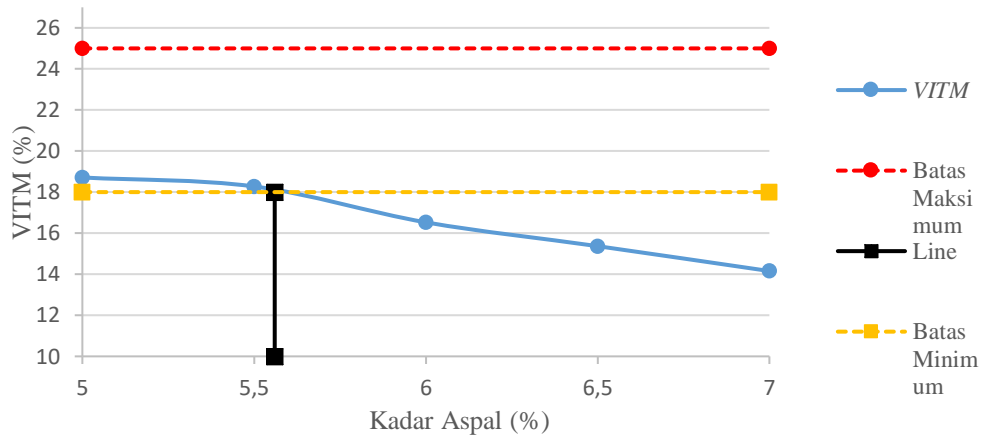
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* untuk Menentukan KAO

| Kadar Aspal (%) | <i>Cantabro Loss</i> (%) | Spesifikasi Maks |
|-----------------|--------------------------|------------------|
| 5 | 39,05 | 35 |
| 5,5 | 29,98 | 35 |
| 6 | 23,20 | 35 |
| 6,5 | 20,27 | 35 |
| 7 | 14,87 | 35 |

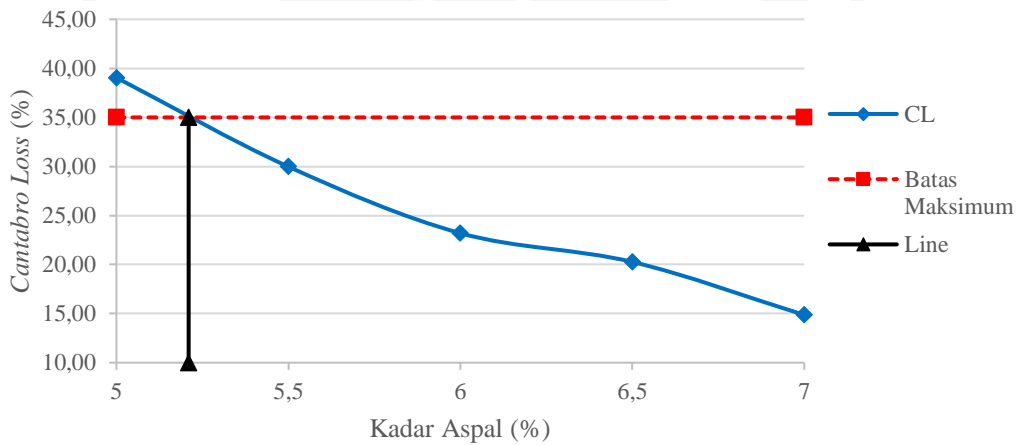
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* untuk Menentukan KAO

| Kadar Aspal (%) | Nilai <i>AFD</i> (%) | <i>Max AFD</i> |
|-----------------|----------------------|----------------|
| 5 | 0,110 | 0,3 |
| 5,5 | 0,230 | 0,3 |
| 6 | 0,631 | 0,3 |
| 6,5 | 1,243 | 0,3 |
| 7 | 1,396 | 0,3 |

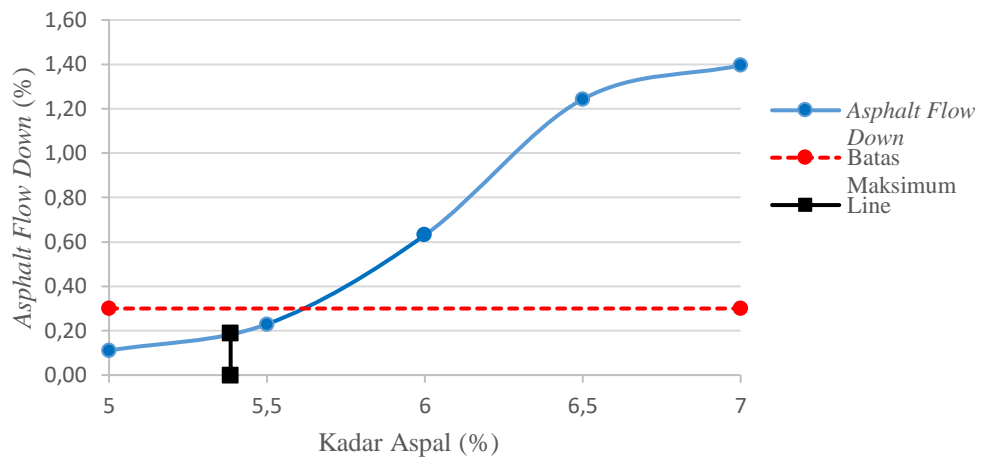
Berikut ini adalah grafik hubungan kadar aspal dengan nilai *VIM*, nilai *Cantabro Loss* dan nilai *AFD* untuk menentukan kadar aspal optimum. Grafik tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5.1** sampai **Gambar 5.3** di bawah ini.



Gambar 5. 1 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *VIM*



Gambar 5. 2 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *Cantabro Loss*



Gambar 5. 3 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *Asphalt Flow Down*

Adapun rekapitulasi hasil pembacaan dari ketiga grafik di atas dalam menentukan KAO campuran aspal porous, dapat dilihat pada **Tabel 5.11** di bawah ini.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik *VIM*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk Menentukan KAO

| Karakteristik Pengujian | Satuan (%) |
|---------------------------|------------|
| <i>VIM</i> | 5,56 |
| <i>Cantabro Loss</i> | 5,21 |
| Rata-rata | 5,39 |
| <i>Asphalt Flow Down</i> | 0,19 |
| Kadar Aspal Optimum (KAO) | 5,58 |

$$\begin{aligned} \text{Kadar Aspal Optimum} &= \frac{\text{Nilai } VIM + \text{Nilai } Cantabro Loss}{2} + \text{Nilai } AFD \\ &= \frac{5,56 + 5,21}{2} + 0,19 = 5,58 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan Gambar 5.1 sampai 5.3 diperoleh nilai *VIM* minimum sebesar 5,56%, nilai *Cantabro Loss* maksimum 5,21%, lalu diperoleh nilai rata-rata dari kedua nilai tersebut sebesar 5,39%. Nilai rata-rata di plotting pada grafik *AFD* diperoleh nilai 0,19%, sehingga didapatkan nilai kadar aspal optimum dari penjumlahan nilai rata-rata dan hasil plotting yaitu sebesar 5,58% dari berat total campuran.

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Gilsonite* pada KAO

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kadar aditif *Gilsonite* sebagai bahan tambah terhadap campuran aspal porus, yang meliputi pengujian karakteristik *Marshall*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, dan *Tensile Strength Ratio*, *Wheel Tracking*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 5.12** sampai **Tabel 5.16** berikut.

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian *Cantabro Loss*

| Kadar Aditif <i>Gilsonite</i> (%) | <i>Cantabro Loss</i> (%) |
|-----------------------------------|--------------------------|
| 0 | 28,43 |
| 1 | 18,49 |
| 2 | 13,12 |
| 3 | 10,55 |

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down*

| Kadar Aspal (%) | Nilai <i>AFD</i> (%) |
|-----------------|----------------------|
| 0 | 0,240 |
| 1 | 0,195 |
| 2 | 0,136 |
| 3 | 0,121 |

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian *Marshall* Standar

| Kadar <i>Gilsonite</i> (%) | Stabilitas (kg) | <i>Flow</i> (mm) | <i>MQ</i> (kg/mm) | <i>VITM</i> (%) | <i>VFWA</i> (%) | <i>VMA</i> (%) | <i>Density</i> (gr/cc) |
|----------------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-----------------|----------------|------------------------|
| 0 | 556,20 | 3,73 | 149,03 | 18,36 | 36,81 | 29,05 | 1,993 |
| 1 | 617,99 | 3,67 | 168,87 | 18,27 | 36,94 | 28,97 | 1,995 |
| 2 | 661,03 | 3,43 | 192,57 | 18,16 | 37,11 | 28,88 | 1,997 |
| 3 | 694,04 | 3,3 | 208,24 | 18,04 | 37,29 | 28,78 | 2,000 |
| Spesifikasi | > 500 | 2 – 6 | < 400 | 18 – 25 | - | - | - |

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Perendaman Marshall 24 jam (*Immersion Test*)

| Kadar <i>Gilsonite</i> (%) | Stabilitas (kg) | | <i>IRS</i> (%) | IDP | IDK |
|-------------------------------|-----------------|--------|----------------|-------|-------|
| | 0,5 jam | 24 jam | (%) | (%) | (%) |
| 0 | 556,20 | 502,39 | 90,33 | 0,412 | 4,736 |
| 1 | 617,99 | 560,12 | 90,64 | 0,398 | 4,585 |
| 2 | 661,03 | 599,38 | 90,67 | 0,397 | 4,566 |
| 3 | 694,04 | 630,43 | 90,83 | 0,390 | 4,487 |
| Spesifikasi | > 500 | | Min 90 % | | |

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian Perendaman Marshall 48 jam (*Immersion Test*)

| Kadar <i>Gilsonite</i> (%) | Stabilitas (kg) | | <i>IRS</i> (%) | IDP | IDK |
|-------------------------------|-----------------|--------|----------------|-------|--------|
| | 0,5 jam | 48 jam | (%) | (%) | (%) |
| 0 | 556,20 | 187,84 | 33,77 | 1,394 | 32,424 |
| 1 | 617,99 | 224,08 | 36,26 | 1,342 | 31,206 |
| 2 | 661,03 | 290,38 | 43,93 | 1,180 | 27,452 |
| 3 | 694,04 | 343,91 | 49,55 | 1,062 | 24,698 |
| Spesifikasi | > 500 | | Min 90 % | | |

Tabel 5. 17 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio 24 jam (TSR)*

| Kadar <i>Gilsonite</i> (%) | <i>ITS (Kpa)</i> | | <i>TSR</i> |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|------------|
| | <i>ITS standart</i> | <i>ITS 24 jam</i> | (%) |
| 0 | 258,81 | 162,78 | 62,89 |
| 1 | 288,26 | 196,24 | 68,08 |
| 2 | 316,86 | 223,88 | 70,66 |
| 3 | 353,20 | 251,97 | 71,34 |

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio 48 jam (TSR)*

| Kadar <i>Gilsonite</i> (%) | <i>ITS (Kpa)</i> | | <i>TSR</i> (%) |
|-------------------------------|---------------------|-------------------|-------------------|
| | <i>ITS standart</i> | <i>ITS 48 jam</i> | |
| 0 | 258,81 | 110,62 | 42,47 |
| 1 | 288,26 | 142,27 | 49,35 |
| 2 | 316,86 | 171,49 | 54,12 |
| 3 | 353,20 | 209,68 | 59,37 |

Tabel 5. 19 Hasil Pengujian *Wheel Tracking Machine (WTM)*

| Kadar <i>Gilsonite</i> (%) | Kecepatan Deformasi (mm/menit) | Stabilitas Dinamis (lintasan/mm) |
|----------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| 0 | 0,103 | 407,77 |
| 1 | 0,092 | 456,52 |
| 2 | 0,085 | 520,66 |
| 3 | 0,070 | 602,87 |

Tabel 5. 20 Hasil Pengujian Deformasi Campuran Aspal Porus

| Waktu (menit) | Lintasan | Deformasi (mm) | | | |
|------------------|----------|----------------|-----------|-----------|-----------|
| | | Kadar 0 % | Kadar 1 % | Kadar 2 % | Kadar 3 % |
| 0 | 0 | 0,00 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 21 | 2,57 | 2,64 | 1,78 | 2,03 |
| 5 | 105 | 4,19 | 4,22 | 3,16 | 3,30 |
| 10 | 210 | 5,85 | 5,48 | 4,07 | 4,13 |
| 15 | 315 | 6,64 | 6,83 | 4,78 | 4,83 |
| 30 | 630 | 9,92 | 10,12 | 6,54 | 6,45 |
| 45 | 945 | 13,95 | 12,72 | 9,38 | 7,76 |
| 60 | 1260 | 15,50 | 14,10 | 10,59 | 8,81 |

5.1.6 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *Anova* untuk Pengaruh Penggunaan *Gilsonite* pada Campuran Aspal Porus

Hasil statistik *Anova* ini bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat adanya pengaruh bahan tambah *Gilsonite* (variabel bebas) dengan variasi kadar yang berbeda pada campuran aspal porus. Data hasil rekapitulasi analisis statistik menggunakan *Anova* dapat dilihat pada **Tabel 5.21** di bawah ini.

Tabel 5. 21 Hasil Uji Statistik *Anova*

| No. | Parameter | Keterangan | Hasil Analisis |
|-----|---|-------------|------------------|
| 1 | <i>Void in the Total Mix (VIM)</i> | H0 Diterima | Tidak Signifikan |
| 2 | <i>Void filled with Asphalt (VFWA)</i> | H0 Diterima | Tidak Signifikan |
| 3 | <i>Voids in the Mineral Agregat (VMA)</i> | H0 Diterima | Tidak Signifikan |
| 4 | <i>Density</i> | H0 Diterima | Tidak Signifikan |
| 5 | Stabilitas | H0 Ditolak | Signifikan |
| 6 | <i>Flow</i> | H0 Diterima | Tidak Signifikan |
| 7 | <i>Marshall Quotient</i> | H0 Ditolak | Signifikan |
| 8 | <i>Index of Retained Strength</i> | H0 Diterima | Tidak Signifikan |
| 9 | Indeks Durabilitas Pertama | H0 Diterima | Tidak Signifikan |
| 10 | Indeks Durabilitas Kedua | H0 Diterima | Tidak Signifikan |
| 11 | <i>Indirect Tensile Strength</i> | H0 Ditolak | Signifikan |
| 12 | <i>Tensile Strength Ratio</i> | H0 Diterima | Tidak Signifikan |
| 13 | Stabilitas Dinamis | H0 Ditolak | Signifikan |
| 14 | Kecepatan Deformasi | H0 Ditolak | Signifikan |
| 15 | <i>Cantabro Loss</i> | H0 Ditolak | Signifikan |
| 16 | <i>Asphalt Flow Down</i> | H0 Ditolak | Tidak Signifikan |

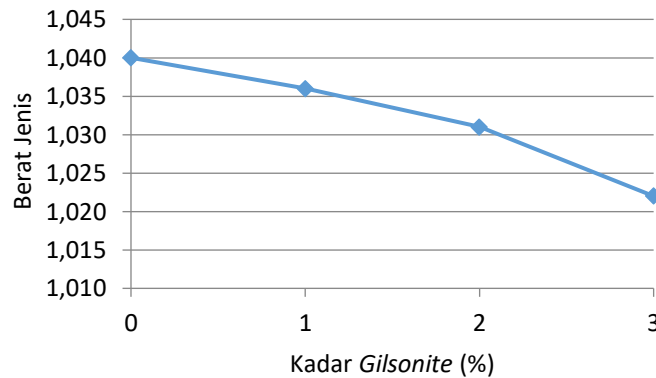
5.2 Pembahasan

5.2.1 Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi dengan Bahan Tambah *Gilsonite*

Pengujian karakteristik aspal ini dilakukan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal yang digunakan. Berikut ini merupakan pembahasan hasil pengujian karakteristik aspal yang telah dilakukan.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal adalah suatu perbandingan berat antara aspal dengan berat air pada volume dan temperatur yang sama. Nilai berat jenis aspal sangat berpengaruh terhadap pertimbangan dalam merancang campuran agregat dan aspal, terutama dalam hal penentuan kadar aspal. Adapun hasil pengujian berat jenis aspal yang diperoleh pada Lampiran 1 sampai Lampiran 4, dan di plotting ke dalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.

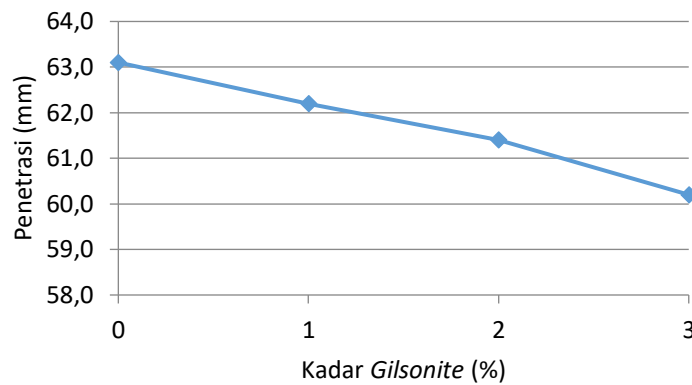


Gambar 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal

Hasil dari pengujian berat jenis aspal pertamina pen 60/70 atau kadar 0% *Gilsonite* diperoleh sebesar 1,040, sedangkan berat jenis aspal dengan bahan tambah *Gilsonite* 1%, 2% dan 3% adalah sebesar 1,036, 1,031 dan 1,022. Sejalan dengan penelitian Rizal dkk (2018), yang memperoleh nilai berat jenis aspal dengan bahan tambah *gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% mengalami penurunan secara berurutan sebesar 1,052, 1,046, 1,041, dan 1,036. Hal ini terjadi karena semakin mengecilnya rongga dalam campuran maka penyerapan aspal ke dalam pori akan semakin mengecil. Nilai berat jenis aspal pertamina pen 60/70 dan aspal dengan aditif memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $>1,00$.

2. Penetrasi aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan aspal dengan beban dan waktu yang ditentukan pada suhu ruang. Semakin rendah nilai penetrasinya maka semakin keras aspal tersebut, dan begitu juga sebaliknya. Adapun hasil pengujian penetrasi aspal yang diperoleh pada Lampiran 9 sampai Lampiran 12, dan di plotting dalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

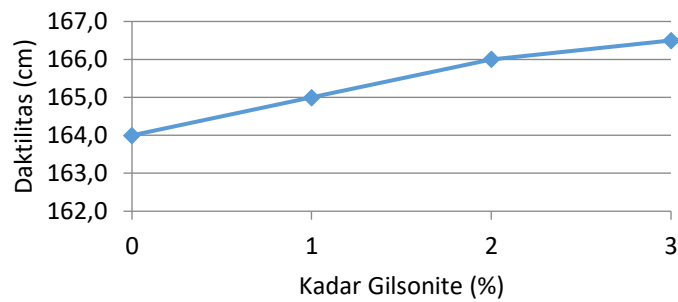


Gambar 5. 5 Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

Nilai penetrasi aspal kadar 0% *Gilsonite* diperoleh sebesar adalah 63,1 mm, sedangkan nilai penetrasi aspal dengan bahan aditif *Gilsonite* 1%, 2% dan 3% yaitu sebesar 62,2 mm, 61,4 mm dan 60,2 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal modifikasi dengan bahan tambah *Gilsonite* yang semakin besar mempunyai kekerasan paling tinggi. Hasil dari pengujian penetrasi aspal Pen 60/70 dan aspal dengan bahan tambah *Gilsonite* 1%, 2%, dan 3% memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 60 - 70 mm. Hal ini sejalan dengan penelitian Rizal dkk (2018), menyatakan bahwa aspal Pen 60/70 dengan penambahan kadar *Gilsonite* 3% mempunyai nilai penetrasi sebesar 62,2 mm lebih kecil dibandingkan aspal Pen 60/70 tanpa bahan tambah *Gilsonite* yaitu sebesar 67,1 mm.

3. Daktilitas

Pengujian nilai daktilitas aspal ini dilakukan untuk menunjukkan sifat kohesi aspal yang bisa mempengaruhi nilai fleksibilitas campuran, sehingga campuran ini memiliki kemampuan dalam menahan beban yang akan diterima tanpa mengalami kerusakan. Adapun hasil uji daktilitas aspal yang diperoleh pada Lampiran 21 sampai Lampiran 24, lalu di plotting dalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.

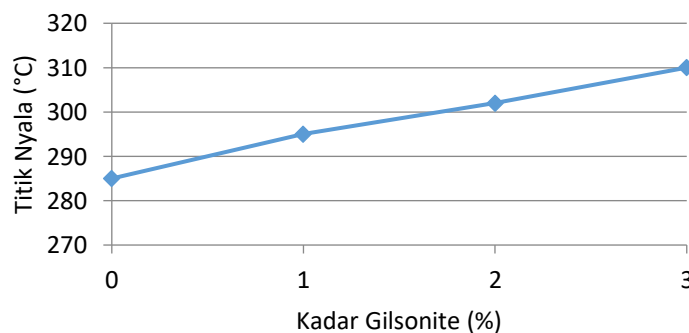


Gambar 5. 6 Hasil Pengujian Daktilitas Aspal

Hasil pengujian dari aspal pertamina pen 60/70 dan aspal modifikasi *Gilsonite* yang diperoleh sebesar >164 cm dan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu >100 cm. Penambahan *Gilsonite* dapat meningkatkan viskositas dan titik leleh aspal sehingga dapat mengatasi mengalirnya aspal pada campuran setelah dipadatkan, maka hal ini akan memberikan ikatan antar agregat yang lebih baik, sehingga ketahanan terhadap beban yang diterima akan bertambah. Penelitian Rizal dkk (2018) menyatakan bahwa semakin besar kadar *Gilsonite* pada aspal, maka nilai daktilitas juga semakin meningkat, nilai daktilitas aspal Pen 60/70 dengan penambahan kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2% dan 3% secara berurutan adalah 135 cm, 137 cm, 142,5 cm dan 148 cm.

4. Titik nyala

Pengujian titik nyala ini bertujuan untuk mengetahui batas suhu tertinggi atau menunjukkan batas temperatur dimana aspal mulai menyala singkat dan memercikkan api. Adapun hasil uji titik nyala aspal yang diperoleh dari Lampiran 13 sampai Lampiran 16, dan di plotting dalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.

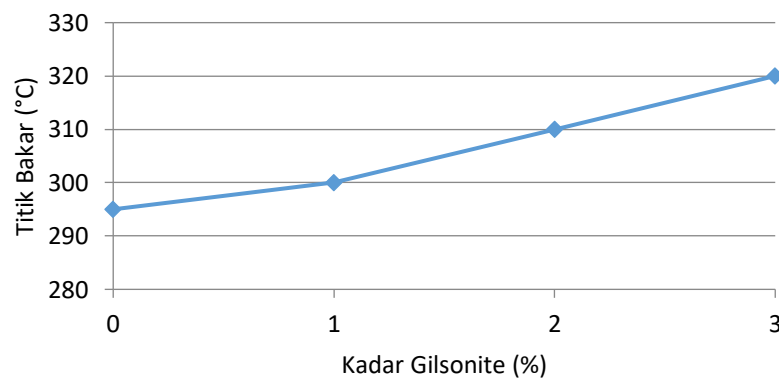


Gambar 5. 7 Hasil Pengujian Titik Nyala Aspal

Hasil pengujian aspal pertamina pen 60/70 yang diperoleh adalah sebesar 285°C, sedangkan untuk aspal modifikasi *Gilsonite* dengan kadar 1%, 2% dan 3% secara berurutan adalah 295°C, 302°C, 310°C yang menunjukkan aspal dengan penambahan *Gilsonite* mempunyai batas temperatur dimana aspal mulai menyala singkat dan memercikkan api semakin meningkat. Hasil pengujian aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu > 232°C.

5. Titik Bakar

Aspal merupakan bahan yang bersifat *thermoplastic*, dimana kekentalan yang dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur maka semakin lunak atau cair. Pengujian titik nyala aspal bertujuan untuk mengetahui batas temperatur dimana aspal menimbulkan api ketika dipanaskan. Adapun hasil uji titik bakar aspal diperoleh dari Lampiran 13 sampai Lampiran 16, dan di plotting dalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



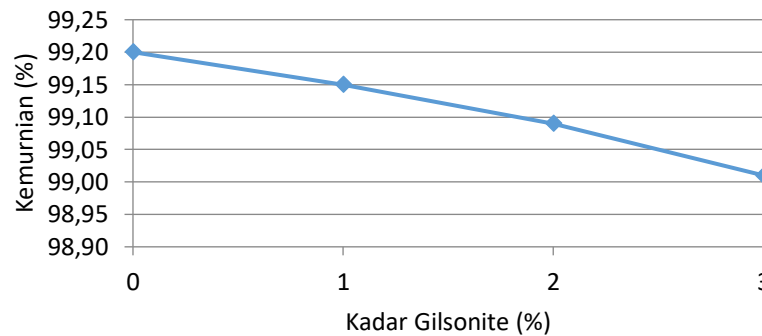
Gambar 5. 8 Hasil Pengujian Titik Bakar Aspal

Hasil pengujian aspal pertamina pen 60/70 yang diperoleh adalah sebesar 295°C, sedangkan aspal modifikasi *Gilsonite* dengan kadar 1%, 2% dan 3% secara berurutan adalah 300°C, 310°C, 320°C yang menunjukkan batas temperatur dimana aspal menimbulkan api ketika dipanaskan semakin meningkat. Hasil pengujian titik bakar tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 225^\circ\text{C}$.

6. Kelarutan dalam *Trichloroethylene* (TCE)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah persentase kelarutan aspal pada larutan *TCE* sehingga dapat diketahui jumlah persentase mineral lain yang terdapat dalam aspal. Semakin besar nilai kelarutan aspal dalam *TCE*

mengakibatkan semakin kecil kandungan mineral lain pada aspal, sehingga semakin kecil juga kemungkinan terganggunya ikatan aspal dengan agregat. Adapun hasil uji kelarutan aspal yang diperoleh dari Lampiran 17 sampai Lampiran 20, dan di plotting dalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

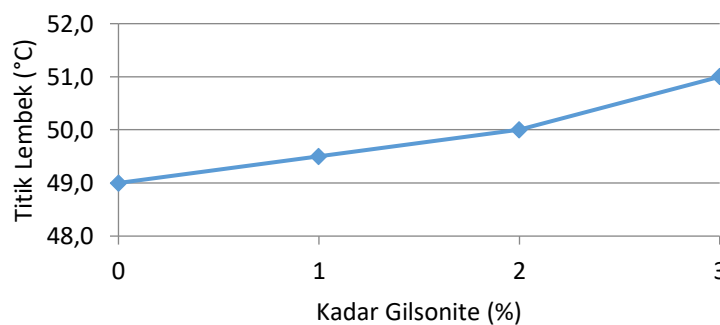


Gambar 5. 9 Hasil Pengujian Kelarutan TCE

Hasil pengujian kelarutan dalam TCE aspal Pertamina Pen 60/70 (Kadar *Gilsonite* 0%) adalah sebesar 99,20%, sedangkan pada aspal modifikasi dengan kadar *Gilsonite* 1%, 2% dan 3% adalah 99,15%, 99,093% dan 99,012%. Hal ini menunjukkan semakin besar kadar *Gilsonite* kemurnian aspal akan semakin kecil jika dibandingkan aspal pertamina pen 60/70. Hasil pengujian aspal pen 60/70 dan penambahan kadar *Gilsonite* 1%, 2%, dan 3% memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar >99%.

7. Titik Lembek

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui temperatur ketika aspal akan mulai melunak dan melembek. Adapun hasil uji titik lembek aspal yang diperoleh dari Lampiran 5 sampai Lampiran 8, dan di plotting dalam grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.

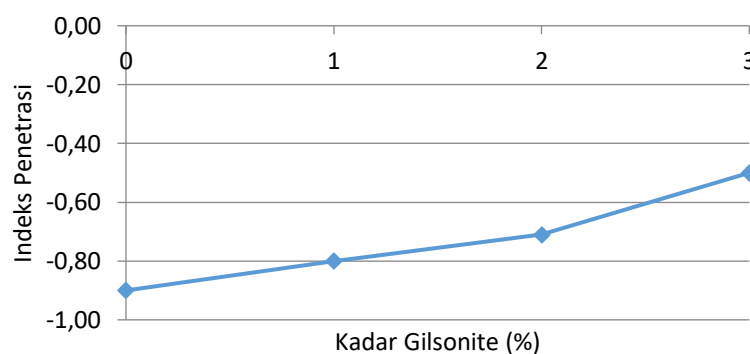


Gambar 5. 10 Hasil Pengujian Titik Lembek Aspal

Hasil pengujian titik lembek aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 49°C, sedangkan aspal modifikasi *Gilsonite* 1%, 2% dan 3% adalah sebesar 49,5°C, 50°C dan 51°C. Hal ini menunjukkan ketidakpekaan aspal dengan bahan tambah *Gilsonite* meningkat terhadap temperatur. Hasil pengujian aspal dengan kadar aditif *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, 3% tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 48^\circ\text{C}$. Sejalan dengan penelitian Rizal dkk (2018), menyimpulkan bahwa aspal Pen 60/70 yang ditambahkan dengan *Gilsonite* 1%, 2%, dan 3% sebesar 49,6°C, 50,1°C dan 50,75°C mengalami *trend* kenaikan titik lembek, yang mengakibatkan ketidakpekaan aspal terhadap temperatur.

8. Indeks Penetrasi

Indeks penetrasi merupakan parameter untuk mengetahui nilai konsistensi aspal dalam perubahannya yang dipengaruhi oleh temperatur. Kepekaan terhadap suhu adalah sensitivitas perubahan sifat viskoelastisitas aspal akibat perubahan suhu dimana sifat ini dinyatakan indeks penetrasi aspal (IP). Semakin tingginya nilai Indeks Penetrasi, maka kepekaan terhadap temperatur juga akan semakin tinggi dan mengurangi besar deformasi. Adapun nilai indeks penetrasi yang diperoleh pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5. 11 Nilai Indeks Penetrasi

Nilai Indeks Penetrasi dari hasil pengujian aspal pertamina pen 60/70 (Kadar *Gilsonite* 0%) adalah -0,90 sedangkan aspal modifikasi dengan penambahan *Gilsonite* 1%, 2%, dan 3% adalah -0,80, -0,71, -0,50. Nilai indeks penetrasi aspal modifikasi paling tinggi adalah pada kadar *Gilsonite* 3%, hal tersebut menunjukkan bahwa aspal yang dimodifikasi dengan bertambahnya kadar *Gilsonite*, kepekaan terhadap suhunya akan semakin tinggi dan mengurangi besar defromasi.

Adapun hasil pengujian IP berdasarkan angka penetrasi dan titik lembek dapat dilihat pada **Tabel 5.22** di bawah ini.

Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Indeks Penetrasi

| Benda Uji | Titik Lembek (°C) | Penetrasi (mm) | IP |
|---------------------------------------|-------------------|----------------|-------|
| Aspal Pen 60/70 | 49 | 63,1 | -0,90 |
| Aspal Pen 60/70 + 1% <i>Gilsonite</i> | 49,5 | 62,2 | -0,80 |
| Aspal Pen 60/70 + 2% <i>Gilsonite</i> | 50 | 61,4 | -0,71 |
| Aspal Pen 60/70 + 3% <i>Gilsonite</i> | 51 | 60,3 | -0,50 |

5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat kasar

Berat jenis agregat merupakan perbandingan berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Agregat yang memiliki berat jenis yang lebih rendah akan memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal lebih banyak dan menjadikan selimut aspal lebih tipis, yang berdampak pada penurunan durabilitas aspal dan jika sebaliknya akan meningkatkan durabilitas aspal juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat kasar yang diperoleh pada Lampiran 30 adalah sebesar 2,659. Nilai ini memenuhi yang disyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $>2,5$.

2. Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kekekalan agregat terhadap proses kimiawi sebagai akibat dari pengaruh perbedaan iklim dan cuaca, dalam hal ini simulasi dilakukan dengan menggunakan larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat jenuh untuk memperoleh indeks ketangguhan batu yang akan digunakan atau nilai kekekalan batu terhadap proses pelarutan serta disintegrasi yang disebabkan perendaman di dalam larutan natrium sulfat. Semakin rendah nilai indeks kekekalan agregat, maka kekekalan atau ketangguhan batu terhadap

larutan natrium sulfat semakin tinggi dan sebaliknya. Adapun hasil pengujiannya yang diperoleh dari Lampiran 25, persentase indeks kekekalan agregat kasar terhadap larutan natrium sulfat adalah 5,61% dan memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $< 12\%$.

3. Keausan dengan mesin *Los Angeles*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hasil pengujian keausan agregat diperoleh dari Lampiran 27, yang menunjukkan hasil sebesar 5,75% untuk 100 putaran dan 23,82% untuk 500 putaran. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $< 40\%$.

4. Kelekatan agregat terhadap aspal

Daya lekat agregat terhadap aspal akan dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal. Hasil pengujian kelekatan agregat dapat dilihat pada Lampiran 26, yang menunjukkan persentase permukaan agregat terselimuti oleh aspal sebesar 98%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $> 95\%$.

5. Butiran kasar agregat kasar

Pengujian ini untuk menentukan persentase butir pecah pada agregat kasar atau yang lebih dikenal dengan pengujian angularitas agregat kasar yang diperlukan untuk menentukan kualitas agregat kasar yang akan digunakan. Penggunaan butiran agregat kasar yang mempunyai bidang pecah akan menambah tahanan gesek antar butiran dalam campuran sehingga menambah stabilitas campuran, dan juga akan memberikan tekstur permukaan yang baik sehingga menambah kekesatan. Adapun hasil pengujiannya dapat dilihat pada Lampiran 28, persentase butiran kasar agregat kasar adalah sebesar 95%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $> 95/90\%$.

6. Partikel pipih dan lonjong

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan indeks kepipihan dan kelonjongan suatu agregat yang dapat digunakan dalam campuran beraspal, sehingga agregat yang digunakan bisa seragam. Adapun hasil pengujiannya dapat dilihat pada Lampiran 29, yang menunjukkan persentase partikel pipih dan lonjong agregat

kasar adalah sebesar 5,04%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu <10%.

7. Material lolos saringan no. 200

Pemeriksaan material lolos saringan no. 200 bertujuan untuk menentukan material dalam agregat halus yang lolos saringan no. 200 (agregat halus ukuran lebih kecil dari 0,075mm) dengan cara pencucian. Lempung koloidal dan lumpur biasanya tercampur pada agregat kasar maupun agregat halus. Apabila kandungan zat ini berada dalam jumlah yang cukup banyak, maka dapat mengurangi kekuatan campuran aspal. Adapun hasil pengujiannya dapat dilihat pada Lampiran 31, yang menunjukkan persentase Material lolos saringan no. 200 adalah sebesar 0,73%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu <1%.

5.2.3 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat halus yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan clereng yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat halus

Berat jenis agregat merupakan perbandingan berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Agregat yang memiliki berat jenis lebih rendah akan memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal lebih banyak dan menjadikan selimut aspal lebih tipis, yang berdampak pada penurunan durabilitas aspal, dan bila sebaliknya, maka akan meningkatkan durabilitas aspal juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat halus yang didapat dari Lampiran 32 yaitu sebesar 2,626, dan berat jenis *filler* abu batu Clereng yang didapatkan adalah sebesar 2,561. Nilai ini memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yang disyaratkan yaitu >2,5.

2. Nilai setara pasir (*Sand Equivalent*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat terhadap butir-butir halus lolos saringan no. 200 seperti lempung, lanau pada campuran agregat. Jika campuran pada pembuatan beton aspal banyak menggunakan

agregat halus yang mengandung material lolos saringan No. 200, maka akan menghasilkan aspal yang memiliki kualitas rendah. Hal ini terjadi karena material agregat halus menyelimuti agregat yang lebih kasar sehingga ikatan antara agregat dan bahan pengikat menjadi menurun. Adapun hasil pengujian *sand equivalent* diperoleh pada Lampiran 33, didapatkan nilai 90,612%. Hasil tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu >50%.

3. Material lolos saringan no. 200

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan material dalam agregat halus yang lolos saringan no. 200 (agregat halus ukuran lebih kecil dari 0.075mm) dengan cara pencucian. Lempung koloidal dan lumpur biasanya tercampur pada agregat kasar maupun agregat halus. Apabila kandungan zat ini berada dalam jumlah yang cukup banyak, maka dapat mengurangi kekuatan campuran aspal. Adapun hasil pengujiannya yang diperoleh dari Lampiran 34, menunjukkan persentase material lolos saringan 200 adalah sebesar 7,17%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu <10%.

4. Gumpalan lempung dan kumpulan butir-butir mudah pecah dalam agregat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui butir-butir agregat yang mudah pecah dengan cara ditekan di antara ibu jari dan jari telunjuk, setelah agregat tersebut direndam dalam air suling selama (24 ±4) jam dan memperoleh persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat halus maupun kasar, sehingga dapat digunakan oleh perencana dan pelaksana pembangunan jalan. Adapun hasil pengujiannya diperoleh dari Lampiran 35, menunjukkan persentase gumpalan lempung dan kumpulan butir-butir mudah pecah dalam agregat adalah sebesar 0,69%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu <1%.

5.2.4 Hasil Pengujian Penyusun Aspal + Gilsonite

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui penyusun apa saja yang terdapat pada campuran aspal yang ditambah aditif *Gilsonite*. Pada kandungan campuran aspal ini terdapat asphaltenes yang terdiri dari komposisi hidrokarbon yang kompleks sebesar 70%, yang terdiri dari cincin aromatik kental dan senyawa heteroaromatik mengandung belerang, terdapat kandungan paraffin yg menjadi penyusun hidrokarbon. Penyusun lainnya yang terdapat pada campuran ini adalah

maltene 25%, sulfur 2%, oksigen 1,2%, nitrogen 0,8%, dan paraffin 0,2%. Kandungan asphaltenes yang cukup tinggi dari aspal dan *Gilsonite* ini bisa membuat aspal campuran aspal menjadi semakin keras, titik lelehnya akan meningkat, dan menyebabkan penetrasinya semakin rendah.

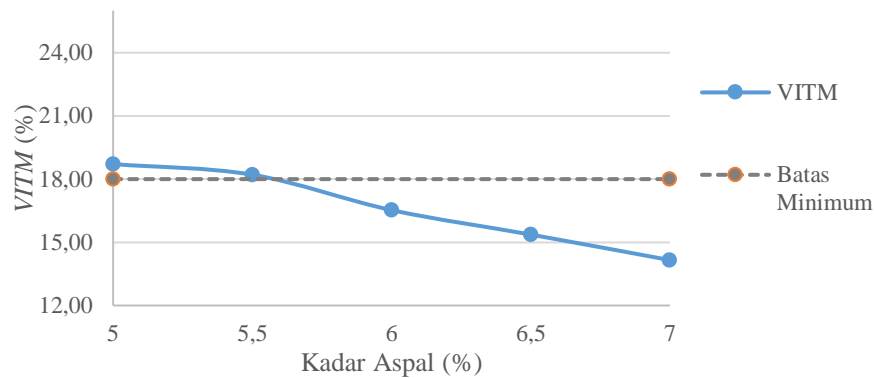
5.2.5 Karakteristik *Marshall* Standar, *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004), dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran Aspal Porus menggunakan tiga parameter, yaitu karakteristik *Marshall* Standar, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Berikut ini adalah pembahasan hasil pengujian *Marshall* Standar, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk menentukan KAO.

1. Karakteristik *Marshall* Standar

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

Void in the Total Mix (VIM) adalah persentase rongga udara dalam campuran terhadap total volume campuran agregat dan aspal. *VIM* berfungsi sebagai ruang bergesernya agregat akibat beban lalu lintas atau ruang bagi aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) mensyaratkan batas nilai *VIM* pada campuran aspal porus adalah sebesar 18% - 25%, sehingga campuran ini dapat dengan mudah meloloskan air melalui rongga yang cukup sesuai dengan fungsi campuran aspal porus, akan tetapi hal ini mengakibatkan air dapat dengan mudah memasuki campuran tersebut yang bisa mengurangi keawetan. Adapun nilai *VIM* seperti yang terdapat pada Lampiran 36, setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik pada **Gambar 5.12** berikut.

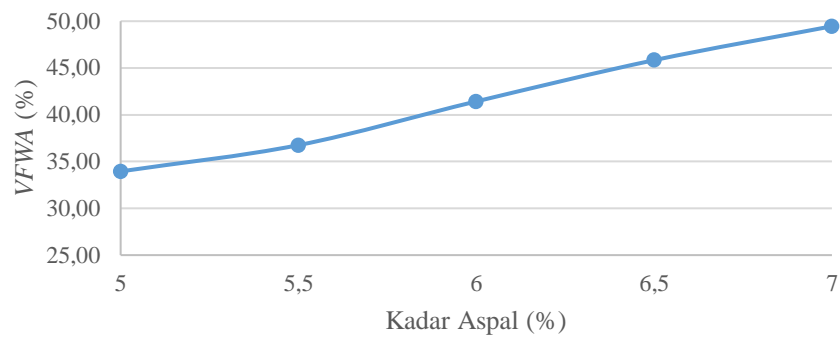


Gambar 5. 12 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan VIM

Berdasarkan Gambar 5.12 dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan pada campuran maka semakin rendah nilai *VIM* pada campuran tersebut. Penurunan nilai *VIM* terjadi disebabkan oleh semakin banyaknya aspal yang mengisi rongga pada campuran. Semakin rendah nilai *VIM* maka semakin tinggi resiko campuran mengalami *bleeding*. Hal ini sejalan dengan Prawiro dan Tarigan (2014), yang menyatakan bahwa menurunnya nilai *VIM* seiring dengan bertambahnya kadar aspal, karena aspal mempunyai sifat mengisi dan menyelimuti sehingga *void* pada campuran berkurang. Dapat disimpulkan bahwa kadar aspal optimum yang memenuhi nilai *VIM* sesuai spesifikasi *AAPA 2004* yaitu 18% - 25% pada kadar 5% sampai 5,6%, sedangkan nilai *KAO* yang didapat adalah 5,58%.

b. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

Void filled with asphalt merupakan volume pori pada campuran yang terisi oleh aspal setelah campuran dipadatkan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh suhu, rongga dalam mineral, kadar aspal dan gradasi agregat. Semakin besar nilai *VFWA* maka rongga yang terisi oleh aspal semakin banyak, kedapatan terhadap air dan udaranya meningkat, sehingga meningkatkan durabilitas campuran hingga kondisi tertentu dan sebaliknya jika nilai *VFWA* semakin rendah maka tingkat kedapatan terhadap air dan udara juga rendah. Adapun nilai *VFWA* yang diperoleh dari Lampiran 36, setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik pada **Gambar 5.13** berikut.

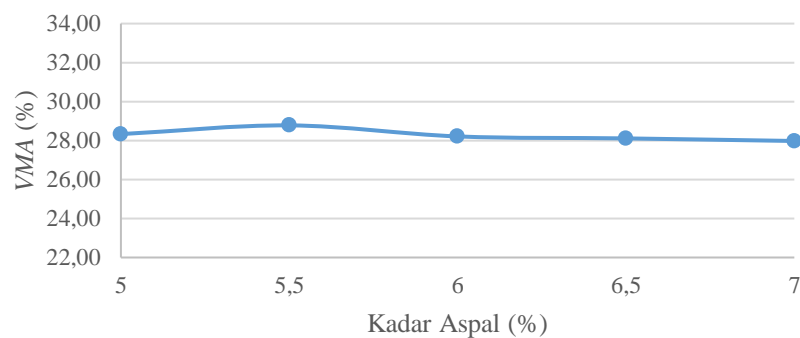


Gambar 5. 13 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan VFWA

Berdasarkan Gambar 5.13 dapat diketahui bahwa jika semakin besar kadar aspal maka nilai *VFWA* akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh aspal porus menggunakan gradasi terbuka dimana fraksi agregat kasar lebih banyak dibandingkan agregat halus yang mengakibatkan rongga pada aspal porus lebih besar, sehingga semakin besar kadar aspal rongga yang terisi aspal semakin banyak dan kedekatan terhadap air dan udaranya meningkat. Hasil pengujian di laboratorium, nilai *VFWA* tertinggi adalah 49,46% pada penggunaan kadar aspal 7% terhadap campuran dan nilai *VFWA* terendah adalah 33,95% pada penggunaan kadar aspal 5% terhadap campuran. Hal ini selaras dengan Rizal dkk (2018) pada campuran AC-WC.

c. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Void in the mineral aggregate merupakan jumlah pori diantara butir-butir agregat di dalam campuran padat yang dinyatakan dalam persen. Hasil pengujian nilai *VMA* dapat dilihat pada Lampiran 36, setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik pada **Gambar 5.14** berikut.

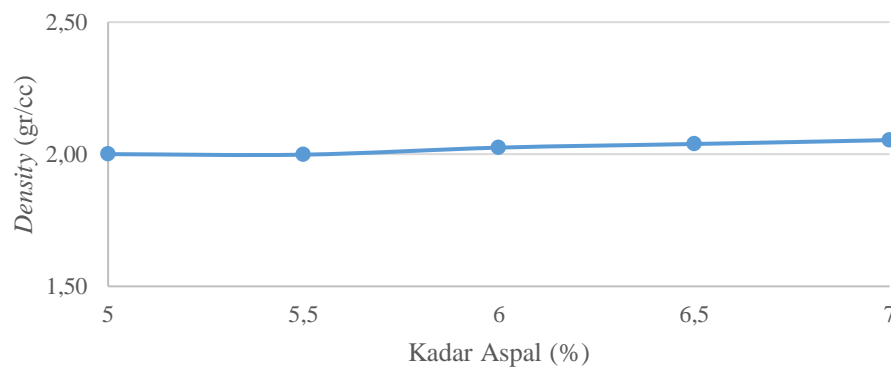


Gambar 5. 14 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan VMA

Berdasarkan Gambar 5.14 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini sejalan dengan Hafidz dan Fauziah (2019), disebabkan karena pada kadar aspal yang rendah, jumlah aspal yang mengisi pori diantara butir-butir agregat di dalam campuran akan semakin kecil, dan begitu pula sebaliknya pada kadar aspal yang tinggi maka jumlah aspal yang mengisi rongga antar agregat yang tersedia akan semakin besar. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, ukuran agregat, jumlah tumbukan, dan kadar aspal.

d. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*density*) merupakan nilai berat volume yang dapat menunjukkan kepadatan dari campuran. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai *density* adalah suhu pemadatan, komposisi penyusun, jumlah *filler*, dan kadar aspal. Nilai kepadatan ini menunjukkan kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *density* menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh pada Lampiran 36, dengan analisis metode *Marshall* didapatkan grafik nilai *density* pada **Gambar 5.15** berikut.



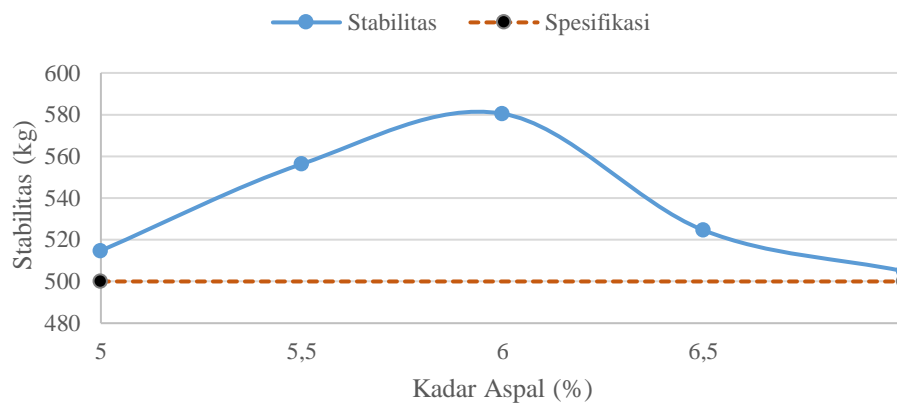
Gambar 5. 15 Hubungan Kadar Aspal dengan *Density*

Berdasarkan Gambar 5.15 dapat diketahui nilai *density* campuran mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar aspal. Hasil ini sejalan dengan Hafidz dan Fauziah (2109), yang menyimpulkan bahwa tingginya nilai *density* pada campuran ini dapat terjadi karena aspal yang digunakan memiliki sifat mengisi dan mengikat, sehingga semakin besar kadar aspal, maka aspal akan tercampur dengan agregat semakin merata dan rapat,

sebaliknya semakin rendah kadar aspal mengakibatkan rongga yang ada akan semakin besar, sehingga kepadatan campuran akan semakin kecil.

e. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan dalam menerima beban tanpa mengalami deformasi sampai terjadi kelelahan plastis. Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas perkerasan yaitu gesekan internal yang disebabkan oleh permukaan agregat, luas bidang kontak antar agregat dan atau bentuk/tekstur dari agregat, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal selimut aspal yang menyelubungi agregat, serta kohesi atau gaya ikat aspal, menyebabkan aspal mampu menahan tekanan kontak antar butir agregat. Kemampuan kohesi ditentukan berdasarkan hasil uji penetrasi aspal, perubahan temperatur, perubahan viskositas, tingkat pembebanan, kandungan bahan kimia dari aspal, dan umur aspal. Berikut ini adalah hasil nilai stabilitas seperti pada Lampiran 36, yang telah dianalisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik pada **Gambar 5.16** berikut.



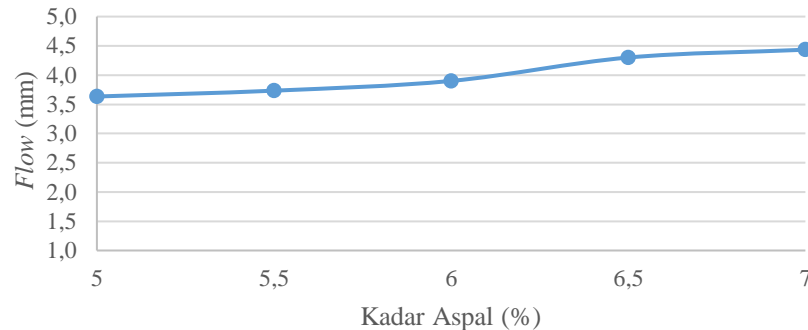
Gambar 5. 16 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas campuran pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu >500 kg. Nilai stabilitas pada campuran aspal porus mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai optimum pada kadar 5,58% dan mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena peran aspal sebagai pengikat agregat yang menyebabkan stabilitas campuran meningkat hingga mencapai optimum lalu mengalami penurunan setelah titik

optimum dikarenakan peran aspal berubah menjadi pelicin saat kadar aspal terlalu banyak pada campuran. Hasil yang sama pada penelitian yang dilakukan Ramadhan dan Reza (2014) pada campuran aspal porus.

f. *Flow*

Kelelehan (*flow*) menyatakan besarnya penurunan vertikal campuran akibat beban sampai batas runtuh. *Flow* diperlukan agar perkerasan memiliki daerah mulur akibat pembebanan, sehingga saat terjadi pembebanan, campuran memulur atau memanjang untuk mengikuti pembebanan agar perkerasan tidak retak. Semakin tinggi nilai *flow* suatu campuran, maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan campuran tersebut, hal tersebut dipengaruhi oleh persen kadar aspal. Semakin rendah nilai *flow* campuran, maka akan semakin kaku. *Flow* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu, gradasi agregat, kadar aspal dan temperatur saat pemadatan. Berikut ini adalah grafik nilai *flow* yang didapatkan dari pengujian seperti pada Lampiran 36, yang telah dianalisis dengan metode *Marshall* menghasilkan grafik pada **Gambar 5.17** berikut.

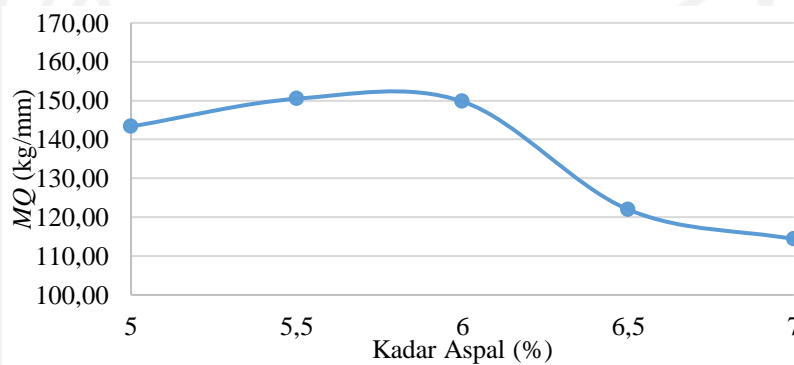


Gambar 5. 17 Hubungan Kadar Aspal dengan *Flow*

Berdasarkan Gambar 5.17 dapat disimpulkan bahwa nilai *flow* pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu berada diantara 2 mm – 6 mm. Pada grafik di atas dapat dilihat bahwa jika semakin besar kadar aspal pada campuran maka nilai *flow* akan semakin tinggi. Hasil ini disebabkan akibat semakin tebal lapis aspal yang menyelimuti agregat sehingga kelenturan aspal menjadi semakin lebih tinggi. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan Prawiro dan Tarigan (2014) pada campuran aspal porus.

g. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* dapat menyatakan kekakuan dan kelenturan dari suatu campuran. Nilai *MQ* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Jika nilai *MQ* suatu campuran tinggi maka campuran tersebut cenderung kaku dan memiliki nilai fleksibilitas yang rendah. Sebaliknya bila suatu campuran memiliki nilai *MQ* yang rendah maka campuran tersebut memiliki fleksibilitas tinggi tapi cenderung kurang stabil. Hasil Pengujian nilai *MQ* yang dianalisis dengan metode *Marshall* seperti pada Lampiran 36, yang menghasilkan grafik pada **Gambar 5.18** berikut.



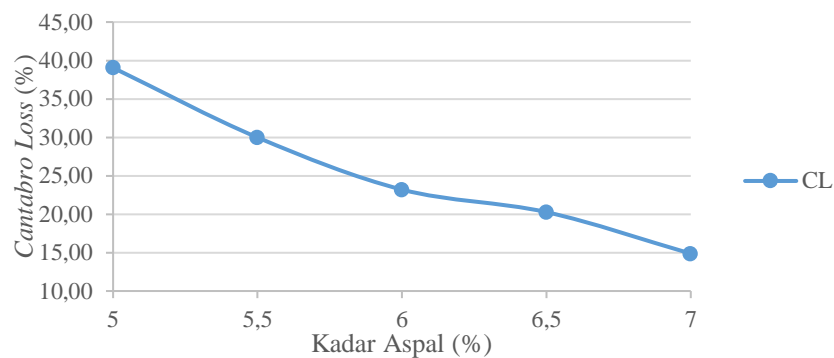
Gambar 5. 18 Hubungan Kadar Aspal dengan *MQ*

Berdasarkan Gambar 5.18 dapat diketahui semakin tinggi kadar aspal maka akan semakin rendah nilai *MQ*, hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi kadar aspal menyebabkan meningkatnya nilai *flow* pada campuran yang berarti fleksibilitas campuran semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai *flow* maka nilai *MQ* akan cenderung besar yang berarti campuran bersifat kaku. Hasil ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan dan Reza (2014) pada campuran aspal porus. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *MQ* adalah bentuk agregat, tekstur permukaan, gradasi agregat, temperatur dan jumlah pemadatan.

2. Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian *cantabro loss* ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat pada campuran dari keausan akibat repetisi beban yang diuji pada mesin *Loss Angeles*. Pengujian ini merupakan salah satu parameter dalam menentukan KAO aspal porus seperti yang disyaratkan oleh *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) yaitu kurang dari 35%. Adapun hasil pengujian *cantabro loss* seperti

dalam Lampiran 37 yang telah dianalisis, dan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.19** berikut.

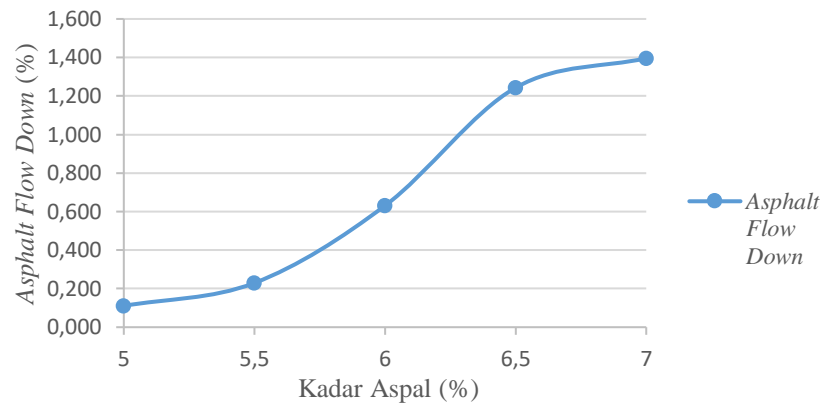


Gambar 5. 19 Hubungan Kadar Aspal dengan Cantabro Loss

Berdasarkan Gambar 5.19 dapat diketahui bahwa nilai *cantabro loss* akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya penggunaan kadar aspal. Bila nilai *cantabro loss* semakin menurun maka campuran akan semakin tahan terhadap keausan. Hal ini disebabkan oleh daya ikat campuran antara agregat dan aspal semakin baik sehingga meningkatkan kemampuan campuran aspal porus untuk tahan terhadap benturan. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi nilai *cantabro loss* sesuai spesifikasi AAPA 2004 adalah 5,5% – 7%, dan untuk KAO yang diperoleh yaitu 5,58% memenuhi persyaratan $< 35\%$. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hafidz dan Fauziah (2019) pada campuran aspal porus.

3. Pengujian *Asphalt Flow Down*

Pengujian *Asphalt Flow Down* bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang tercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Pengujian *Asphalt Flow Down* merupakan parameter untuk mengetahui banyak aspal yang efektif untuk menyelimuti agregat di dalam campuran, sehingga campuran memiliki durabilitas yang baik. Berdasarkan ketentuan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) besarnya nilai *Asphalt Flow Down* yaitu lebih kecil dari 0,3%. Adapun hasil pengujian *Asphalt Flow Down* seperti dalam Lampiran 38 yang telah dianalisis, dan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.20** berikut.



Gambar 5. 20 Hubungan Kadar Aspal dengan *Asphalt Flow Down*

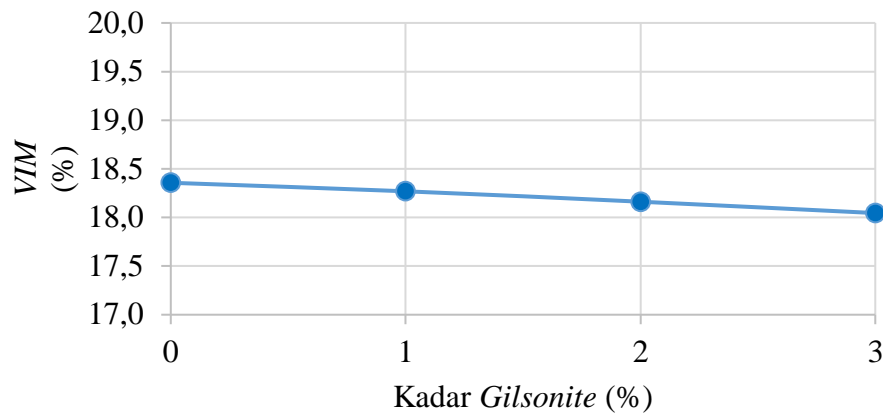
Berdasarkan Gambar 5.20 dapat diketahui bahwa nilai *Asphalt Flow Down* akan semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Meningkatnya jumlah persentase *Asphalt Flow Down* maka pemisahan antara agregat dan aspal akan meningkat juga, hal itu menunjukkan aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal dan mengakibatkan aspal yang melekat pada permukaan terluar akan meleleh dan terpisah dari campuran. Berdasarkan hasil pengujian nilai *AFD* dengan nilai *KAO* yang didapat sebesar 5,58% masih memenuhi batas maksimum *AFD* sesuai spesifikasi *AAPA 2004* yaitu $< 0,3 \%$. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hafidz dan Fauziah (2019) pada campuran aspal porus.

5.2.6 Karakteristik *Marshall* Standar Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Gilsonite* pada *KAO*

Uji *Marshall* dilakukan untuk mengetahui kinerja campuran dengan parameter dari uji *Marshall* diantaranya adalah stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient (MQ)*, *Void in the Total Mix (VIM)*, *Void Filler With Asphalt (VFWA)*, *Void in Mineral Agregat (VMA)* dan kepadatan (*density*). Adapun hubungan antara penambahan kadar *Gilsonite* dengan parameter uji *Marshall* adalah sebagai berikut.

1. *Void in the Total Mix (VIM)*

VIM menunjukkan banyaknya rongga dalam campuran, dinyatakan dalam persentase terhadap total volume campuran agregat dan aspal. Hasil pengujian *VIM* pada campuran aspal porus dengan variasi bahan tambah *Gilsonite* seperti pada Lampiran 39, setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.21** berikut.

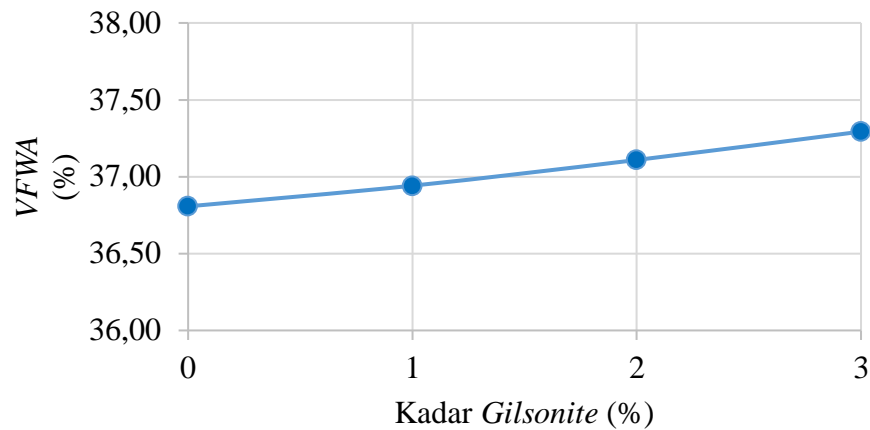


Gambar 5. 21 Hasil Penambahan *Gilsonite* dengan Nilai *VIM*

Berdasarkan Gambar 5.21 dapat diketahui bahwa campuran aspal porus dengan penambahan *Gilsonite* mengalami penurunan nilai *VIM* seiring penambahan penggunaan kadar *Gilsonite*. Kondisi ini disebabkan karena semakin banyak kadar *Gilsonite* yang ditambahkan memudahkan untuk mengisi rongga campuran. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai *VIM* dengan kadar aditif 0%, 1%, 2%, dan 3% sebesar 18,36%, 18,27%, 18,16% dan 18,04% menunjukkan perubahan yang tidak signifikan serta memenuhi persyaratan *AAPA* (2004) yaitu >18%. Sejalan dengan penelitian Rizal dkk (2018), campuran *AC-WC* dengan kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% mempunyai nilai *VIM* secara berurutan 3,96%, 3,89%, 3,75%, dan 3,69% yang menunjukkan kadar rongga benda uji *Marshall* menurun seiring dengan peningkatan kadar *Gilsonite*, hal ini terjadi dengan penambahan kadar *Gilsonite* memudahkan pelapisan agregat.

2. *Void Filler with Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah volume rongga campuran yang terisi aspal atau yang biasa disebut dengan selimut aspal. Nilai *VFWA* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan dalam campuran karena rongga dalam campuran yang terisi aspal akan semakin banyak. Hasil perhitungan nilai *VFWA* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan *Gilsonite* seperti pada Lampiran 39, setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.22** di bawah ini.



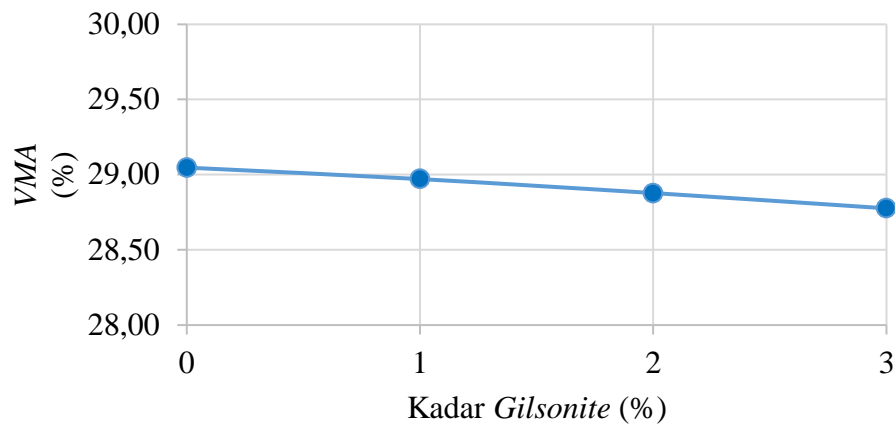
Gambar 5. 22 Hasil Penambahan *Gilsonite* dengan Nilai VFWA

Berdasarkan pada Gambar 5.22 dapat dilihat bahwa nilai VFWA yang meningkat dan menunjukkan perubahan yang tidak signifikan. Hal ini dikarenakan dengan semakin besar nilai kadar aditif *Gilsonite* membuat rongga pada campuran lebih terisi oleh aspal dan membuat agregat akan semakin mudah terlapisi aspal. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai VFWA dengan kadar aditif 0%, 1%, 2%, dan 3% sebesar 36,81%, 36,94%, 37,11% dan 37,29%. Nilai VFWA mengalami perubahan yang tidak signifikan. Sejalan dengan Rizal dkk (2018) menyatakan bahwa peningkatan nilai VFWA dengan seiring bertambahnya kadar aditif *Gilsonite* dengan kadar 0%, 1%, 2%, dan 3% mempunyai nilai sebesar 68,90%, 71,31%, 72,25% dan 72,68%, sehingga akan memberikan kemudahan pelapisan agregat. Rizal dkk (2018) menyatakan bahwa campuran dengan penambahan aditif *Gilsonite* meningkatkan nilai VFWA. Besarnya nilai VFWA menunjukkan persentase besarnya rongga yang dapat terisi oleh aspal. Besarnya nilai VFWA menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai VFWA akan menunjukkan nilai VIM yang semakin kecil.

3. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Void in Mineral Aggregate (VMA) adalah persen rongga udara yang terdapat di antara partikel-partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. Hasil perhitungan nilai VMA pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan *Gilsonite* seperti pada Lampiran 39, setelah dilakukan

analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.23** di bawah ini.

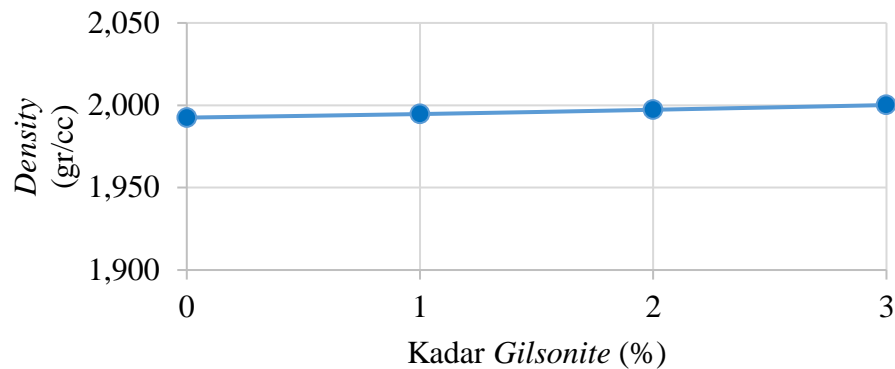


Gambar 5. 23 Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Nilai *VMA*

Berdasarkan Gambar 5.23 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* mengalami penurunan dengan penambahan kadar *Gilsonite* dan menunjukkan perubahan yang tidak signifikan berdasarkan uji *Annova*. Penurunan nilai *VMA* ini diakibatkan karena semakin banyak kadar *Gilsonite* yang digunakan akan memudahkan mengisi pori antar agregat dalam campuran dan menjadikan rongga antar agregat semakin kecil. Rizal dkk (2018) menyatakan bahwa campuran *AC-WC* dengan penambahan *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% mempunyai nilai *VMA* yang cenderung menurun yaitu 15,44%, 15,37%, 15,24%, dan 15,19%. Hal ini dikarenakan *Gilsonite* memberikan kemampuan kerja dan pepadatan yang lebih baik.

4. *Density*

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Nilai *density* yang besar menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik, tetapi nilai *density* sudah pada nilai optimum kemudian ditambah aspal yang berlebih maka nilai *density* cenderung mengalami penurunan. Hasil perhitungan nilai *density* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan *Gilsonite* seperti pada Lampiran 39, setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.24** di bawah ini.

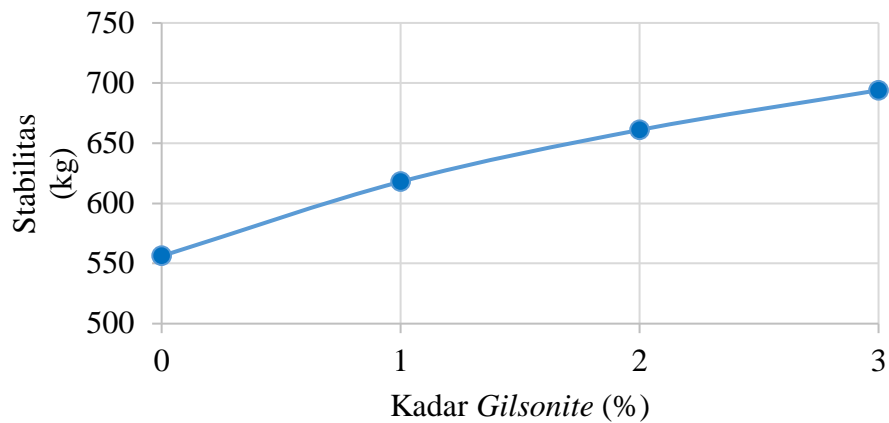


Gambar 5. 24 Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Nilai *Density*

Berdasarkan Gambar 5.24 dapat diketahui bahwa nilai *density* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *Gilsonite*. Nilai *density* yang meningkat diakibatkan karena semakin banyak kadar *Gilsonite* yang ditambahkan pada campuran, akan mengakibatkan campuran semakin kuat menahan beban. Hal ini dapat terjadi karena fungsi bahan tambah *Gilsonite* membuat pelapisan pengikat aspal yang efisien pada permukaan agregat, sifat ini memungkinkan pengikat untuk dengan mudah melapisi agregat dan campuran menjadi lebih padat dan rapat. Berbanding lurus dengan nilai *VIM* yang didapat semakin rendah, menunjukkan bahwa campuran semakin padat seiring dengan bertambahnya *Gilsonite*. Nilai *density* mengalami perubahan yang tidak signifikan.

5. Stabilitas

Stabilitas adalah nilai ketahanan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Menurut Sukirman (2003), nilai stabilitas campuran beton aspal dibentuk dari gesekan internal antar butiran agregat yang saling mengunci dan adanya aspal. Selain itu, kohesi atau gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Hasil pengujian stabilitas seperti pada Lampiran 39, setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 5.25** berikut.



Gambar 5. 25 Hasil Penambahan Kadar *Gilsonite* dengan Stabilitas

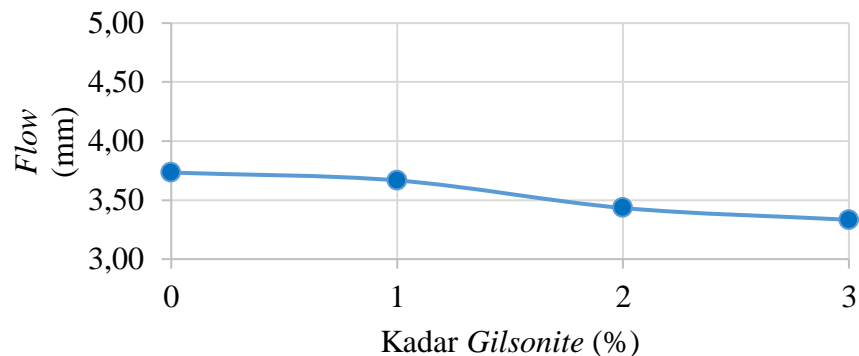
Berdasarkan pada Gambar 5.25 dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *Gilsonite* menyebabkan nilai stabilitas mengalami peningkatan dan perubahan yang signifikan pada kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% yaitu sebesar 556,20 kg, 617,99 kg, 661,03 kg, dan 694,04 kg, terjadi peningkatan sebesar 24,7%. Berdasarkan uji *Annova*, perubahan nilai stabilitas bersifat signifikan. Hal ini dikarenakan dengan penambahan *Gilsonite* menyebabkan kekuatan dan ketahanan campuran semakin meningkat akibat dari kelekatan aspal yang kuat dipengaruhi oleh *Gilsonite*, sehingga kemampuan untuk mempertahankan ikatan dan mencegah terjadinya deformasi semakin besar, dan tentunya akan lebih stabil dalam menahan beban. Peningkatan nilai stabilitas juga dipengaruhi oleh sifat fisik campuran berdasarkan nilai *VIM* dan *VMA* semakin rendah serta nilai *density* semakin tinggi dengan penambahan *Gilsonite*, yang menunjukkan bahwa rongga di dalam campuran semakin rendah dan campuran semakin padat. Hasil pengujian stabilitas semua variasi benda uji memenuhi persyaratan *AAPA* (2004) yaitu >500 kg.

Penelitian Babagoli dkk (2015) menyimpulkan bahwa campuran *SMA* dengan *Gilsonite* mempunyai nilai stabilitas lebih tinggi yaitu sebesar 6,31 kN, sedangkan campuran aspal kontrol memiliki nilai stabilitas sebesar 4,96 kN. Hal ini dikarenakan penambahan aditif *Gilsonite* meningkatkan kekerasan aspal AC-60/70 berdasarkan hasil pengujian penetrasi dengan nilai paling kecil yaitu 18 mm, sedangkan aspal AC-60/70 tanpa aditif *Gilsonite* mempunyai nilai penetrasi 64.

Hasil penelitian Rizal dkk (2018) yang menyimpulkan bahwa berdasarkan uji campuran AC-WC dengan kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% diperoleh nilai stabilitas secara berurutan sebesar 2408,94 kg, 2726,47 kg, 3216,46 kg, dan 3861,68 kg. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan persentase *Gilsonite* yang lebih tinggi menyebabkan kekuatan dan ketahanan campuran semakin meningkat akibat dari kelekatan aspal yang kuat. Basuki dan Machsus (2007) menyatakan bahwa *Gilsonite* dapat memperbaiki kualitas sifat-sifat fisik aspal dan meningkatkan kemampuan stabilitas *Marshall*.

6. Flow

Kelelehan (*flow*) merupakan parameter *Marshall* yang menyatakan besarnya penurunan campuran akibat beban vertikal hingga batas runtuh. Adapun hasil pembacaan nilai kelelehan (*flow*) pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan *Gilsonite* seperti pada Lampiran 39, setelah dilakukan analisis dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.26** di bawah ini.



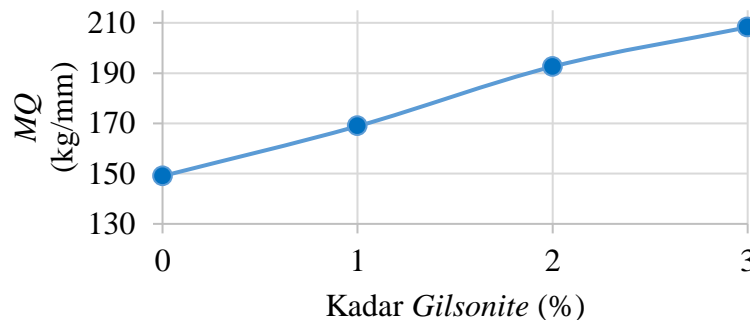
Gambar 5. 26 Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Nilai *Flow*

Berdasarkan Gambar 5.26 nilai *flow* mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *Gilsonite*. Hal ini disebabkan semakin tinggi penambahan kadar *Gilsonite* akan mengakibatkan campuran dengan nilai *flow* yang rendah dapat meningkatkan kekerasan pada campuran aspal, meskipun perubahan yang terjadi tidak signifikan. Berdasarkan hasil pengujian nilai *flow* campuran aspal porus dengan penambahan *Gilsonite* 0%, 1%, 2% dan 3% secara berurutan 3,73 mm, 3,67 mm, 3,43 mm dan 3,33 mm memenuhi spesifikasi *AAPA* 2004 yaitu 2 - 6 mm. Sejalan dengan penelitian Rizal dkk (2018), campuran AC-WC dengan

kadar aditif *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% mengalami penurunan nilai *flow* dengan nilai 3,57 mm, 3,52 mm, 3,38 mm, dan 2,83 mm. Hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar *Gilsonite* menyebabkan bahan ikat aspal menjadi keras, sehingga ketika menerima beban campuran aspal akan mereduksi deformasi yang terjadi.

7. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* merupakan rasio atau perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow* pada campuran beton aspal yang digunakan untuk menunjukkan tingkat fleksibilitas campuran. Hasil perhitungan *MQ* yang didapat dari Lampiran 39, dengan metode *Marshall* akan menghasilkan grafik dalam **Gambar 5.27** berikut ini.



Gambar 5. 27 Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Nilai *MQ*

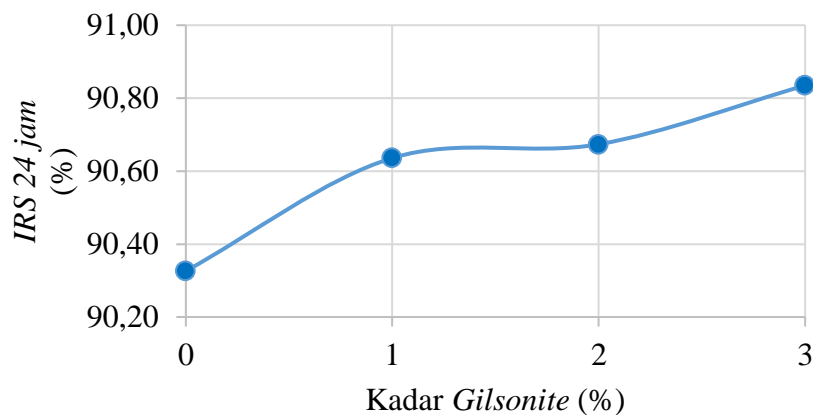
Berdasarkan Gambar 5.27 dapat diketahui bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar *Gilsonite*. Hal ini disebabkan karena penambahan *Gilsonite* memberikan nilai kekakuan aspal, sehingga kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan pada posisinya semakin bertambah dan campuran tidak mudah berdeformasi ketika menerima beban. Nilai *MQ* yang rendah menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki nilai stabilitas rendah dengan nilai kelelahan yang tinggi, sehingga mengakibatkan campuran menjadi fleksibel dan mudah mengalami perubahan deformasi dan sebaliknya. Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai *MQ* sebesar 149,03 kg/mm, 168.87 kg/mm, 192,57 kg/mm dan 208,24 kg/mm dan memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu <400 kg/mm. Perubahan nilai *MQ* pada campuran aspal porus sebesar 39,73% dan merupakan perubahan yang signifikan berdasarkan uji *Anova*. Sejalan dengan penelitian Rizal dkk (2018)

menyimpulkan bahwa campuran AC-WC menggunakan kadar *Gilsonite* yang lebih tinggi meningkatkan nilai *MQ* sebesar 675,82 kg/mm, 775,36 kg/mm, 951,26 kg/mm, dan 1364,62 kg/mm. Hal ini membuat campuran tidak mudah berdeformasi ketika menerima beban.

5.2.7 Karakteristik Perendaman *Marshall* (*Immersion Test*) Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Gilsonite* pada KAO

1. *Index of Retained Strength* 24 Jam dan 48 jam (*IRS*)

IRS adalah metode pengujian untuk mengetahui nilai kekuatan sisa yang dimiliki campuran aspal setelah mengalami proses perendaman. Perendaman yang dilakukan yaitu di dalam *waterbath* selama 0,5 jam, 24 jam, dan 48 jam pada suhu 60°C. Adapun hasil perhitungan dari *IRS* 24 jam dan 48 jam dengan penambahan *Gilsonite* seperti pada Lampiran 40 sampai Lampiran 43, akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.28** dan **Gambar 5.29** berikut.

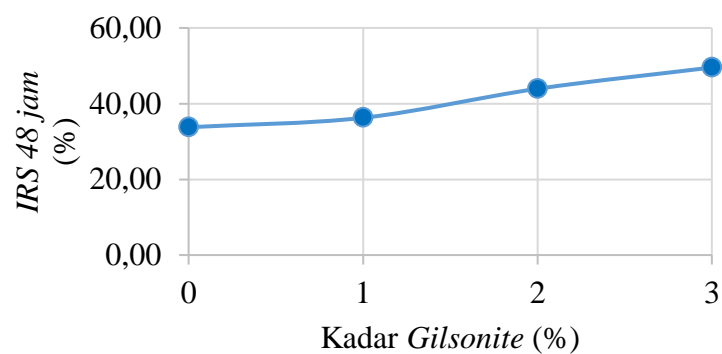


Gambar 5. 28 Perbandingan Hasil Penambahan *Gilsonite* dengan Nilai *IRS* 24 jam

Berdasarkan Gambar 5.28 dapat diketahui nilai kekuatan sisa (*IRS*) campuran aspal porus meningkat dengan penambahan kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2% dan 3% yaitu sebesar 90,33%, 90,64%, 90,67%, dan 90,83%. Hal ini menunjukkan bahwa dengan penambahan kadar *Gilsonite* akan meningkatkan *moisture resistance*, memberikan sifat tahan air dan tahan terhadap temperatur, selain itu dengan penambahan kadar *Gilsonite* pada campuran akan mengurangi besar deformasi berdasarkan indeks penetrasi Tabel 5.22, karena karakteristik

aspal porous yang mempunyai kadar rongga yang besar dan seiring bertambahnya kadar *Gilsonite* menyebabkan besarnya nilai *VFWA* menentukan keawetan suatu campuran beraspal panas, semakin besar nilai *VFWA* akan menunjukkan nilai *VIM* yang semakin kecil, yang berarti rongga yang terisi aspal semakin banyak, oleh karena itu campuran aspal akan semakin awet, campuran tidak akan mudah mengalami perubahan fisik dan kinerja akibat dari gangguan air dan temperatur tinggi. Nilai *IRS* pada penambahan kadar *Gilsonite* masih memenuhi spesifikasi syarat Bina Marga yaitu >90% dan menunjukkan perubahan yang tidak signifikan berdasarkan uji *Annova*. Perkerasan yang memiliki nilai *IRS* yang lebih dari 90% dapat dianggap bahwa perkerasan tersebut cukup tahan stabilitasnya terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air dan temperatur.

Sejalan dengan penelitian Rizal dkk (2018), campuran AC-WC dengan penambahan *Gilsonite* menunjukkan kekuatan sisa lebih besar dari pada kekuatan sisa campuran AC-WC tanpa *Gilsonite*, karena pengaruh *Gilsonite* meningkatkan adhesi aspal dan agregat mengakibatkan ketahanan terhadap temperatur dan air juga meningkat. Nilai indeks kekuatan tertinggi yang didapat sebesar 91,47%, lebih besar dari campuran tanpa aditif dengan nilai 90,40%. Hal ini menunjukkan bahwa berdasarkan pengujian campuran AC-WC dengan aditif *Gilsonite* dapat menaikkan indeks kekuatan sisa campuran.



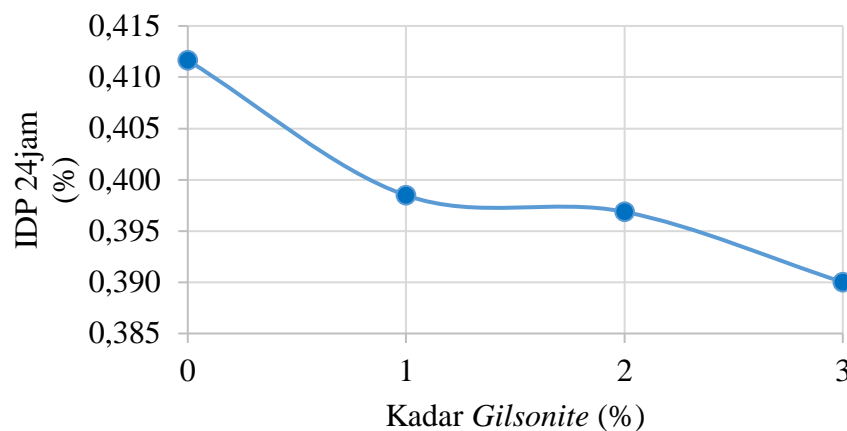
Gambar 5. 29 Perbandingan Hasil Penambahan *Gilsonite* dengan Nilai *IRS* 48 jam

Berdasarkan Gambar 5.29 dapat diketahui nilai kekuatan sisa 48 jam (*IRS*) campuran aspal porous meningkat dengan penambahan kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2% dan 3% yaitu sebesar 33,77%, 36,26%, 43,93%, dan 49,55%. Namun nilai

IRS 48 jam pada penambahan kadar *Gilsonite* ini tidak memenuhi spesifikasi syarat Bina Marga yaitu $>90\%$.

2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

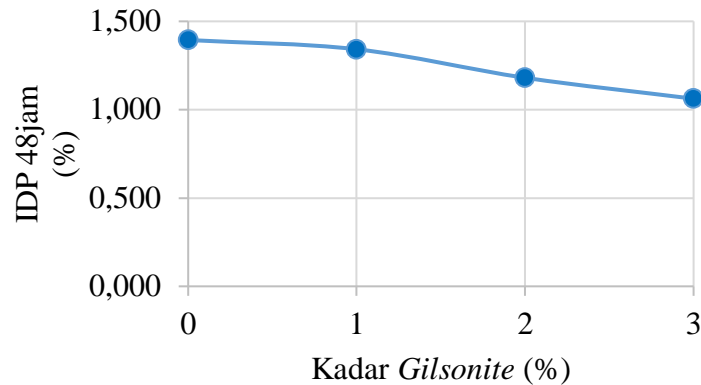
Indeks Durabilitas Pertama merupakan sebagai nilai sensitivitas campuran aspal terhadap durasi perendaman yang dinyatakan cukup *durable* apabila bernilai $< 1\%$. Adapun hasil perhitungan IDP 24 jam dan 48 jam dengan penambahan *Gilsonite* yang diperoleh dari Lampiran 42 dan Lampiran 43, menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.30 dan Gambar 5.31** berikut.



Gambar 5. 30 Hasil Penambahan *Gilsonite* dengan Nilai IDP 24 jam

Berdasarkan Gambar 5.30 dapat diketahui bahwa dengan kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% nilai IDP mengalami penurunan yaitu sebesar 0,412%, 0,398%, 0,397% dan 0,390% yang menunjukkan keawetan campuran seiring dengan bertambahnya kadar *Gilsonite*. Hal ini berbanding lurus dengan nilai indeks penetrasi pada Tabel 5.22 campuran aspal akan semakin awet, campuran tidak akan mudah mengalami perubahan fisik dan kinerja akibat dari gangguan air dan temperatur tinggi. Aspal dengan kadar *Gilsonite* lebih besar akan lebih tahan terhadap temperatur dan air, sehingga ketika menerima beban akan meningkatkan kekuatan dan ketahanan campuran. Berdasarkan pada perhitungan, semua variasi penambahan kadar *Gilsonite* memenuhi spesifikasi Bina Marga, yaitu $< 1\%$, sehingga dapat dikatakan campuran aspal porus dengan menggunakan *Gilsonite* sebagai bahan tambah cukup tahan hingga 24 jam. Sejalan dengan penelitian Rizal (2018), pengaruh *Gilsonite* meningkatkan adhesi aspal dan agregat yang mengakibatkan ketahanan terhadap

temperatur dan perendaman air juga meningkat. Perubahan nilai IDP tidak signifikan berdasarkan uji *Annova*.

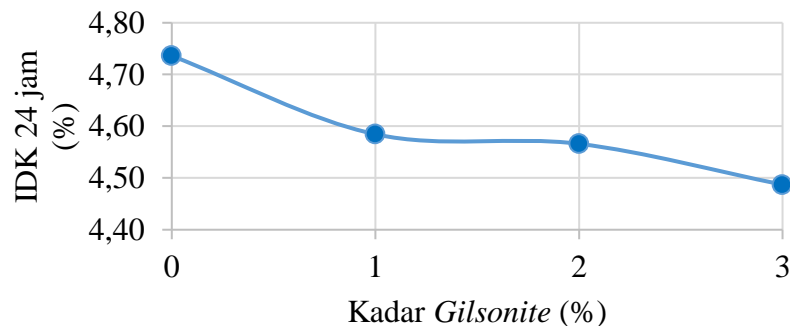


Gambar 5. 31 Hasil Penambahan *Gilsonite* dengan Nilai IDP 48 jam

Berdasarkan Gambar 5.31 dapat diketahui bahwa dengan kadar *Gilsonite* 0 %, 1%, 2%, dan 3%, nilai IDP 48 jam mengalami penurunan yaitu sebesar 1,394 %, 1,342 %, 1,180 % dan 1,062 %. Namun berdasarkan perhitungan semua variasi penambahan kadar *Gilsonite* tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga, yaitu <1%.

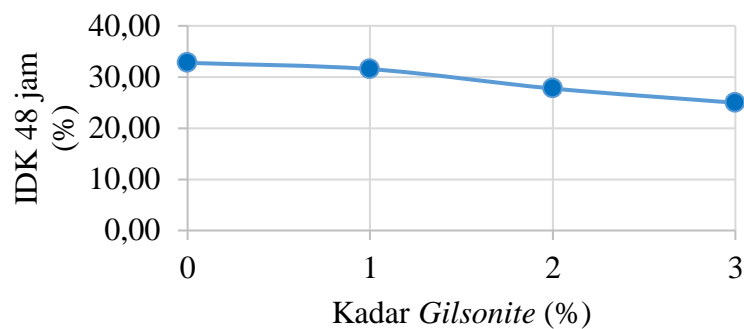
3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua merupakan persentase rata-rata kehilangan kekuatan campuran aspal berdasarkan nilai keawetan awal 100% untuk menunjukkan indeks durabilitas yang setara dengan satu hari. Adapun hasil perhitungan IDK 24 jam dan IDK 48 jam dengan penambahan *Gilsonite* diperoleh dari Lampiran 42 dan Lampiran 43, menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.32** dan **Gambar 5.33** berikut.



Gambar 5. 32 Hasil Penambahan *Gilsonite* dengan Nilai IDK 24jam

Berdasarkan Gambar 5.32 dapat diketahui bahwa nilai IDK mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *Gilsonite*, yang artinya campuran mengalami peningkatan durabilitas dengan meningkatnya kadar *Gilsonite* dalam satu hari seiring dengan lamanya perendaman. Nilai kehilangan kekuatan rata-rata satu hari pada campuran dengan penambahan kadar *Gilsonite* 0 %, 1 %, 2 %, dan 3 % yaitu sebesar 4,736 %, 4,585 %, 4,566 %, dan 4,487 % atau nilai kekuatan sisa satu hari secara berurutan adalah sebesar 95,264 %, 95,415 %, 95,434 %, dan 95,513 %. Dapat disimpulkan bahwa semua variasi penambahan aditif *Gilsonite* memenuhi spesifikasi yaitu >90%.



Gambar 5. 33 Hasil Penambahan *Gilsonite* dengan Nilai IDK 48jam

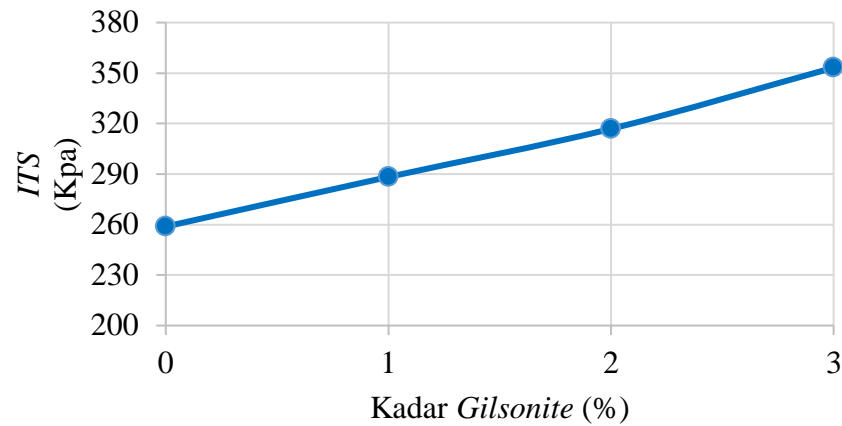
Berdasarkan Gambar 5.33 dapat diketahui bahwa nilai IDK 48 jam mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *Gilsonite*, hal ini menunjukkan nilai kehilangan kekuatan rata-rata dua hari pada campuran dengan penambahan kadar *Gilsonite* 0 %, 1 %, 2 %, dan 3 % yaitu sebesar 32,769% %, 31,538 %, 27,744 %, dan 24,961 % atau nilai kekuatan sisa dua hari secara berurutan adalah sebesar 67,231 %, 68,462 %, 72,256 %, dan 75,039 %. Dapat disimpulkan bahwa semua variasi penambahan aditif *Gilsonite* tidak memenuhi spesifikasi yaitu >90%.

5.2.8 Karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Gilsonite* pada KAO

1. *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect tensile strength merupakan metode untuk mengetahui besar gaya tarik yang mampu ditahan oleh campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak atau kerusakan pada perkerasan.

Adapun hasil pengujian *ITS* dengan penambahan *Gilsonite* seperti yang terdapat pada Lampiran 44, setelah dianalisis menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.34** berikut.



Gambar 5. 34 Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Nilai *ITS*

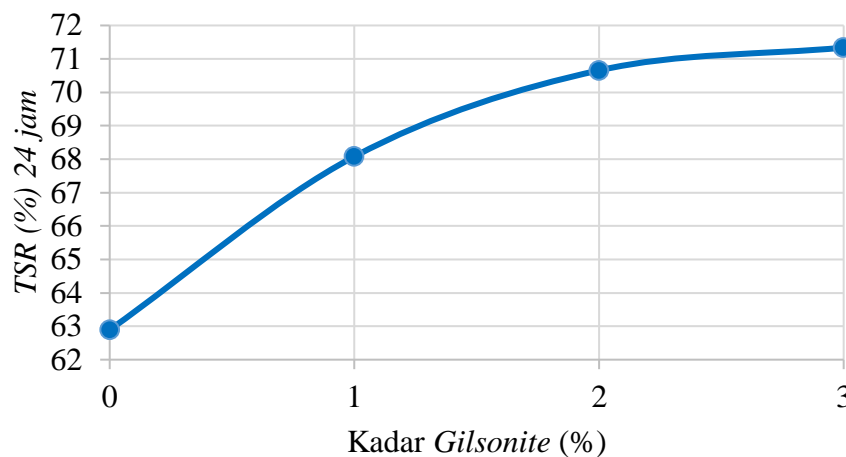
Berdasarkan Gambar 5.34 dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *Gilsonite* menyebabkan nilai ketahanan tarik mengalami peningkatan dan perubahan yang signifikan pada kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% dengan nilai *ITS* secara berurutan yaitu sebesar 258,81 kPa, 288,26 kPa, 316,86 kPa dan 353,20 kPa. Hal ini disebabkan campuran aspal yang telah dicampurkan dengan *Gilsonite* memiliki penetrasi yang lebih rendah sehingga menyebabkan kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan posisinya semakin bertambah dan mempunyai sifat saling mengunci (*interlock*) yang baik. Perubahan nilai *ITS* akibat penambahan aditif *Gilsonite* merupakan perubahan yang signifikan berdasarkan uji *Annova* yaitu sebesar 36,4%.

Penelitian Babagoli dkk (2015) menyimpulkan bahwa dengan bertambahnya kadar *Gilsonite* 0%, 5%, 10%, 15% meningkatkan nilai *ITS* campuran *SMA* secara berurutan yaitu sebesar ± 420 kPa, ± 498 kPa, ± 620 kPa, dan ± 650 kPa. Hal ini terjadi karena penambahan kadar *Gilsonite* menurunkan nilai penetrasi aspal sehingga aspal lebih kaku dan keras. Penelitian Ameli dkk (2020) menyatakan bahwa campuran *SMA* dengan penambahan aditif *Gilsonite* meningkatkan nilai *ITS* dibandingkan dengan campuran aspal kontrol, hal ini dikarenakan *Gilsonite* memungkinkan aspal untuk menciptakan ikatan kimiawi yang kuat antara agregat dan aspal. Penelitian Nasrekani (2017) menyatakan

bahwa nilai *ITS* pada campuran *Supervape* meningkat seiring bertambahnya kadar *Gilsonite* 0%, 5%, dan 10% secara berurutan yaitu sebesar 444,13 kPa, 615,05 kPa, dan 739,45 kPa.

2. *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Tensile Strength Ratio merupakan hasil perbandingan nilai *ITS* standar dengan nilai *ITS* rendaman dinyatakan dalam persen (%). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh air terhadap potensi retakan (*fatigue*) dan alur (*rutting*) dengan melakukan pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) campuran aspal. Adapun hasil perhitungan *TSR* 24 jam dan *TSR* 48 jam dengan penambahan *Gilsonite* seperti yang terdapat pada Lampiran 45 dan Lampiran 46, setelah dianalisis menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.35** dan **Gambar 5.36** berikut.



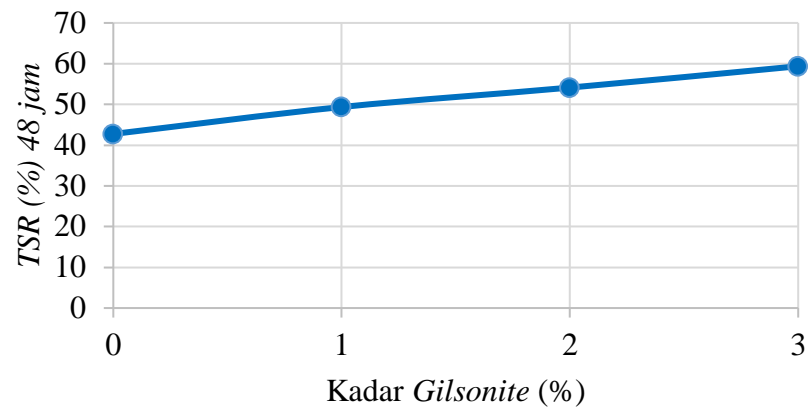
Gambar 5. 35 Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Nilai *TSR* 24 jam

Pada Gambar 5.35 dapat dilihat bahwa nilai *TSR* campuran aspal porus mengalami peningkatan pada kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% yaitu dengan nilai *TSR* sebesar 62,89 %, 68,08 %, 70,66 %, dan 71,34 %. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar *Gilsonite* memberikan pengaruh efisien tidak peka terhadap temperatur berdasarkan nilai indeks penetrasi yang semakin tinggi pada Tabel 5.22, sehingga memberikan ikatan aspal dengan agregat lebih baik serta memberikan sifat tahan air dan temperatur. Nilai perhitungan *TSR* mengalami perubahan yang tidak signifikan berdasarkan uji *Annova*.

Sejalan dengan penelitian Babagoli dkk (2015), campuran SMA dengan penambahan kadar *Gilsonite* 0%, 5%, 10%, dan 15% meningkatkan nilai *TSR* secara berurutan sebesar 70%, 82%, 91%, dan 94%. Peningkatan ini karena kandungan *asphaltenes* dan *maltenes* pada *Gilsonite* yang berperan sebagai *anti-stripping*, sehingga meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat yang meningkatkan ketahanan terhadap air serta temperatur tinggi.

Penelitian Nasrekani dkk (2017) menyimpulkan bahwa nilai *TSR* pada campuran aspal *Superpave* dengan *Gilsonite* adalah sebesar 91,81%, lebih besar dari pada campuran aspal kontrol yaitu 85,06%. Hal ini dikarenakan *Gilsonite* memudahkan pelapisan agregat, sehingga menyebabkan ikatan kimia yang tinggi terbentuk antara aspal dan agregat serta tahan terhadap air dan temperatur. Ameli dkk (2020), menyatakan bahwa campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan bertambahnya kadar *Gilsonite* meningkatkan nilai *TSR*.

AAPA (2004) tidak mensyaratkan nilai *TSR* untuk campuran aspal porus karena hanya bersifat non struktural, sedangkan menurut *Asphalt Institute* mensyaratkan nilai *TSR* sebesar >80% untuk campuran struktural, oleh sebab itu nilai *TSR* >80% tidak bisa digunakan sebagai acuan untuk campuran aspal porus yang mempunyai spesifikasi lebih rendah berdasarkan metode AAPA 2004. Sejalan dengan penelitian Masri dkk (2019) yang menyatakan bahwa campuran aspal porus dengan nilai *TSR* lebih besar dari 70% masih dapat diterima, karena campuran aspal porus mempunyai kadar rongga yang besar sebagai fungsi drainase. Oleh karena itu, dari hasil pengujian campuran aspal porus dengan penambahan kadar *Gilsonite* 2% dan 3% didapat nilai *TSR* >70% yang menunjukkan campuran aspal porus mempunyai ketahanan terhadap rendaman air dan temperatur.

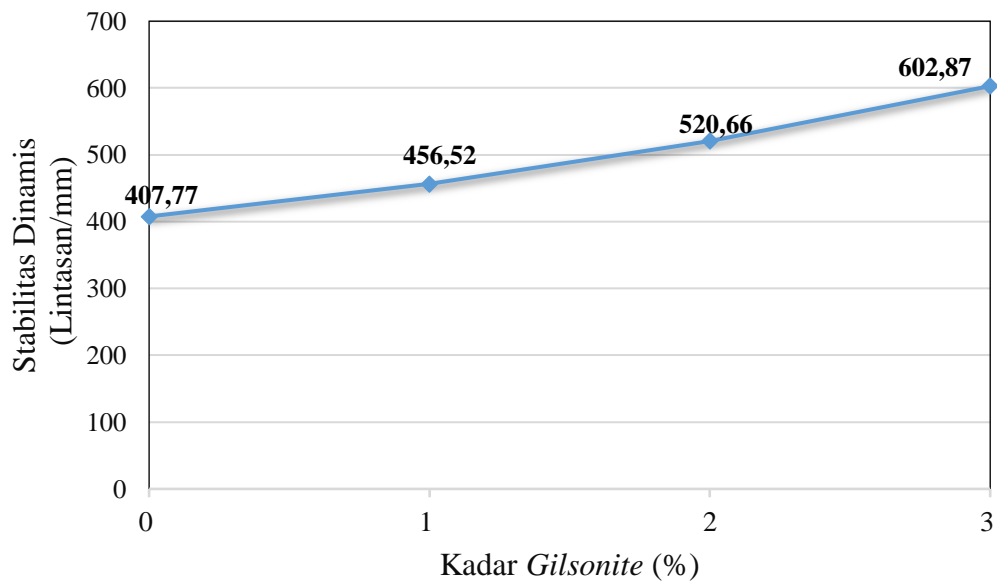


Gambar 5. 36 Hubungan Kadar *Gilsonite* dengan Nilai *TSR* 48 jam

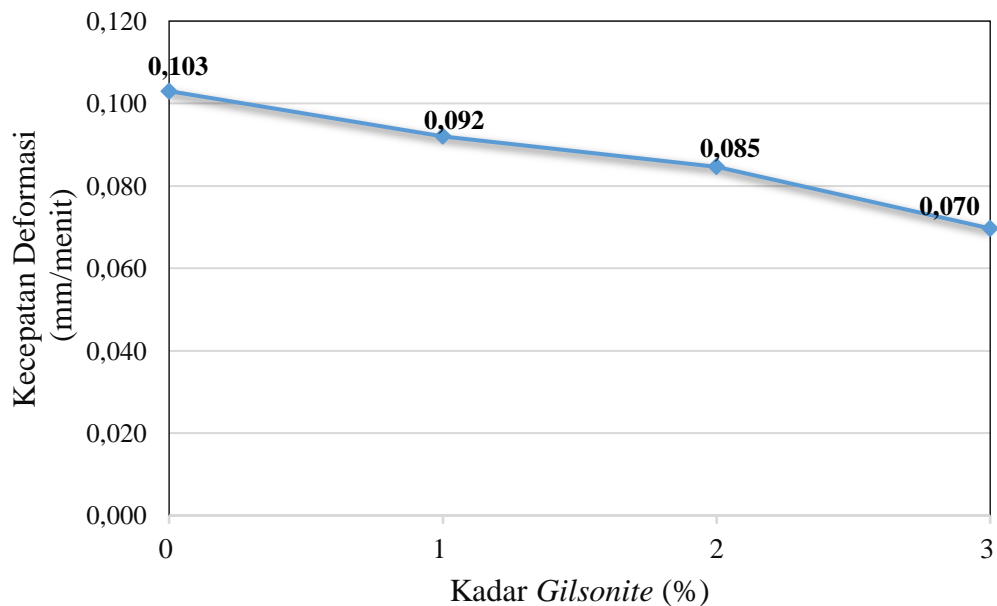
Berdasarkan Gambar 5.36 dapat diketahui nilai *TSR* 48 jam campuran aspal porus meningkat dengan penambahan kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2% dan 3% yaitu sebesar 42,74%, 49,35%, 54,12%, dan 59,37%. Namun nilai *IRS* 48 jam pada penambahan kadar *Gilsonite* ini tidak memenuhi spesifikasi *Asphalt Institute* mensyaratkan nilai *TSR* sebesar >80%. Nilai ini juga masih belum bisa memenuhi spesifikasi, karena menurut Masri dkk (2019) campuran aspal porus yang masih dapat diterima yaitu dengan nilai *TSR* lebih besar dari 70%.

5.2.9 Karakteristik *Wheel Tracking* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Gilsonite* pada KAO

Pengujian dengan *Wheel Tracking Machine (WTM)* digunakan untuk mendapatkan hasil pengujian terhadap deformasi permanen yang dipandang dapat mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan. Adapun hasil pengujian *Wheel Tracking* seperti yang terdapat di Lampiran 49 sampai Lampiran 52, setelah dilakukan analisis menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.37** dan **Gambar 5.38** berikut.



Gambar 5. 37 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar *Gilsonite* dengan Nilai Stabilitas Dinamis

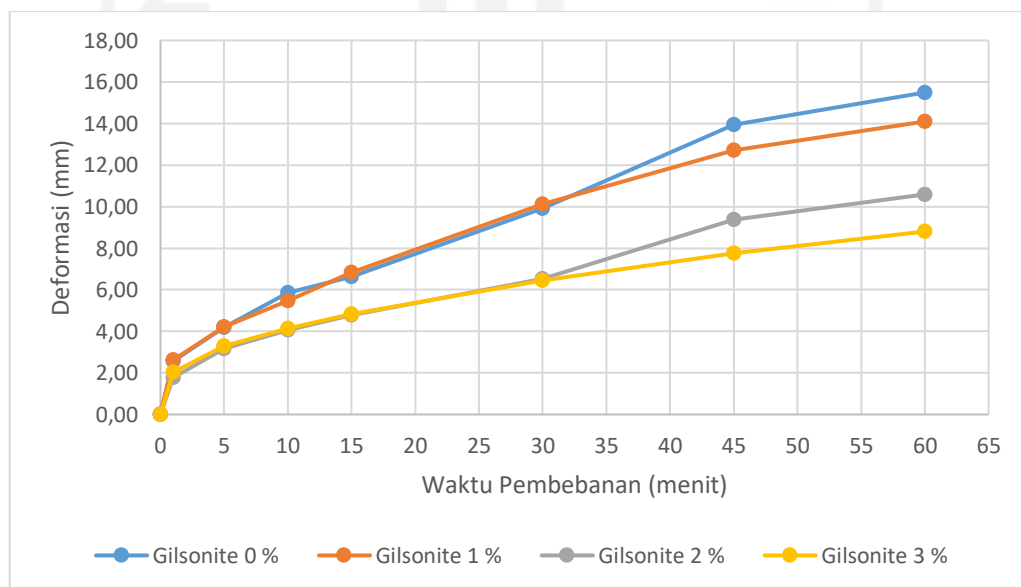


Gambar 5. 38 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar *Gilsonite* dengan Nilai Kecepatan Deformasi

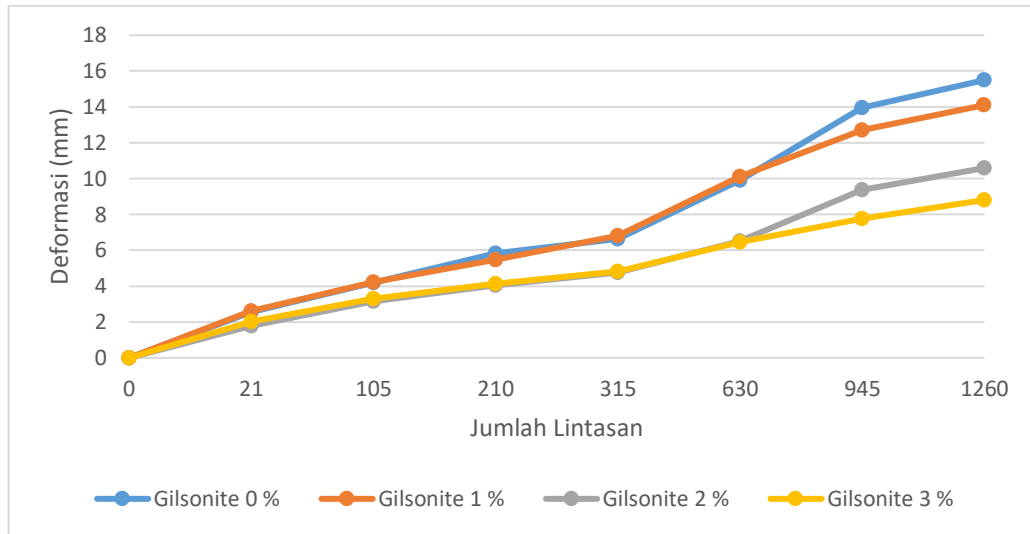
Berdasarkan Gambar 5.37 dan Gambar 5.38 dapat dijelaskan bahwa berdasarkan hasil pengujian *Wheel Tracking Machine* dengan suhu 60°C, penambahan aditif *Gilsonite* meningkatkan nilai stabilitas dinamis dan menurunkan kecepatan deformasi campuran aspal porus. Berdasarkan uji *Anova* terjadi peningkatan yang signifikan sebesar 47,84%, hal ini ditunjukkan pada penambahan

kadar *Gilsonite* 3% dengan nilai stabilitas dinamis yaitu 602,87 lintasan/mm dan dengan kecepatan deformasi yang paling kecil yaitu 0,070 mm/menit, sedangkan aspal porus kontrol dengan kadar *Gilsonite* 0% mempunyai nilai stabilitas 407,77 lintasan/mm dengan nilai kecepatan deformasi 0,103 mm/menit. Hal ini dikarenakan aspal dengan kadar *Gilsonite* 3% mempunyai nilai penetrasi yang tinggi, menyebabkan aspal menjadi keras dengan kekakuan bahan ikat paling besar, sehingga kemampuan mencegah terjadinya deformasi semakin besar dan ketahanan terhadap temperatur meningkat, serta penambahan *Gilsonite* menurunkan kadar rongga berdasarkan nilai *VIM* dan *VMA* semakin kecil serta nilai *VFMA* dan *density* semakin besar pada Tabel 5.14 menyebabkan kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan posisinya semakin bertambah dan mempunyai sifat saling mengunci (*interlock*) yang baik. Sejalan dengan penelitian Babagoli dkk (2015) melakukan pengujian *Hamburg Wheel Tracking* pada campuran SMA dengan bertambahnya kadar aditif *Gilsonite* meningkatkan nilai stabilitas dinamis paling tinggi yaitu sebesar ± 4100 lintasan/mm lebih besar dari campuran aspal kontrol sebesar ± 2200 lintasan/mm.

Adapun nilai penurunan deformasi setelah dilakukan pengujian *Wheel Tracking Machine* seperti yang terdapat di Lampiran 49 sampai Lampiran 52, setelah dilakukan analisis menghasilkan grafik yang bisa dilihat pada **Gambar 5.39** sampai **Gambar 5.40** berikut.



Gambar 5. 39 Hubungan Penambahan *Gilsonite* dengan Waktu Pembebanan dan Deformasi pada Campuran Aspal Porus



Gambar 5. 40 Hubungan Penambahan *Gilsonite* dengan Jumlah Lintasan dan Deformasi pada Campuran Aspal Porus

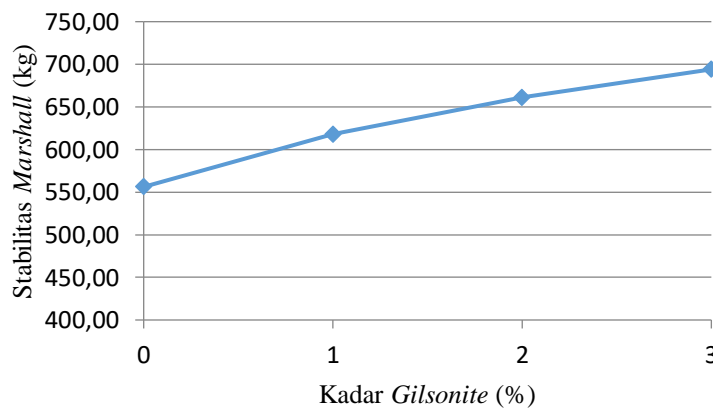
Berdasarkan Gambar 5.39 sampai Gambar 5.40 dapat dijelaskan bahwa semakin besar kadar *Gilsonite*, jumlah lintasan berulang dan lamanya waktu pembebanan yang dilakukan akan memperkecil nilai deformasi campuran aspal porus. Nilai deformasi tertinggi hingga terendah secara berurutan yaitu pada campuran aspal porus dengan kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2% dan 3% dengan masing-masing nilai deformasi sebesar 15,50 mm, 14,10 mm, 10,59 mm dan 8,81 mm. Pada campuran aspal porus nilai deformasi akan menurun seiring dengan penambahan kadar aditif *Gilsonite*, bila dibandingkan dengan nilai deformasi yang terjadi pada campuran aspal porus kadar *Gilsonite* 0% sebagai control.

Berdasarkan Gambar 5.39 dan Gambar 5.40 terlihat jika campuran aspal porus dengan kadar 3% mempunyai nilai deformasi yang paling kecil yaitu 8,81 mm dengan demikian campuran aspal porus kadar aditif 3% mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi dibandingkan campuran aspal porus dengan kadar 0%, 1% dan 2%. Hal itu disebabkan fungsi *Gilsonite* dapat meningkatkan kelekatan pada aspal dengan permukaan agregat sehingga ketika diberi beban secara berulang tidak akan mudah mengalami deformasi.

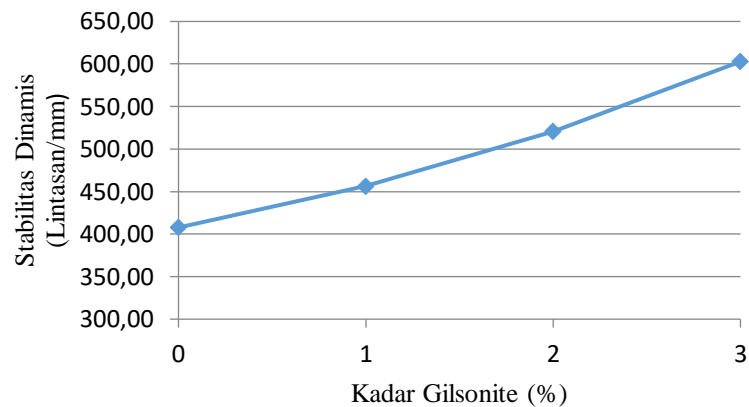
Sejalan dengan penelitian Babagoli dkk (2015), yang melakukan pengujian *Hamburg Wheel Tracking* pada campuran SMA dengan bertambahnya kadar aditif *Gilsonite* meningkatkan nilai stabilitas dinamis paling tinggi yaitu sebesar ± 4100 lintasan/mm lebih besar dari campuran aspal kontrol sebesar ± 2200 lintasan/mm, yang

menyebabkan pada campuran SMA dengan penambahan *Gilsonite* mempunyai nilai deformasi sebesar 4,9 mm, lebih kecil dari pada campuran SMA kontrol yang mempunyai nilai deformasi sebesar 6,15 mm. Hal ini terjadi karena aditif yang digunakan efektif untuk merekatkan aspal dan agregat serta membuat campuran menjadi kaku, sehingga mereduksi deformasi yang terjadi. Penelitian Ameli dkk (2020), menyatakan bahwa berdasarkan hasil uji *Hamburg Wheel Tracking Test*, campuran SMA dengan penambahan aditif *Gilsonite* menyebabkan kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan posisinya semakin bertambah dan mempunyai sifat saling mengunci yang baik, dan dapat meningkatkan ketahanan *rutting*. Menurut Soetikno dkk (2002), hasil dari pengujian *Wheel Tracking* yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penggunaan aditif *Gilsonite* pada campuran *Hot Rolled Sheet* meningkatkan stabilitas dinamis dan memperkecil deformasi.

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan untuk melihat hasil perbandingan stabilitas *Marshall* dengan stabilitas dinamis terhadap pengaruh penambahan *Gilsonite* pada campuran aspal porous dapat dilihat pada **Gambar 5.41** dan **Gambar 5.42** berikut.



Gambar 5. 41 Hasil Pengujian Stabilitas *Marshall*

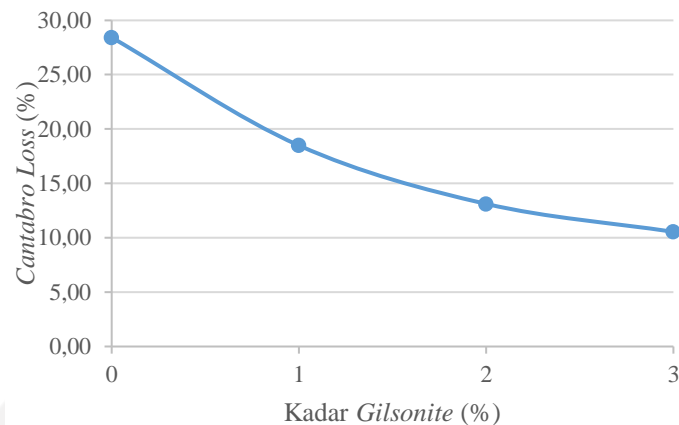


Gambar 5. 42 Hasil Pengujian Stabilitas Dinamis

Berdasarkan Gambar 5.41 dan Gambar 5.42 bisa diketahui bahwa dengan penambahan aditif *Gilsonite* dapat meningkatkan nilai stabilitas *Marshall* dan stabilitas dinamis pada campuran aspal porus dengan *trend* yang sama. Peningkatan tertinggi ditunjukkan pada penambahan kadar *Gilsonite* 3%. Hal ini berdasarkan pada kajian sebelumnya yang menyatakan bahwa penambahan aditif 3% merupakan kadar optimum penambahan *Gilsonite*.

5.2.10 Karakteristik *Cantabro Loss* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Gilsonite* pada KAO

Pengujian *Cantabro Loss* ini dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan campuran terhadap kehilangan berat atau keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hal ini dapat dijadikan sebagai ukuran ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Adapun hasil pengujian dari *Cantabro Loss* dengan penambahan *Gilsonite* pada campuran aspal porus seperti pada Lampiran 47, akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada Gambar 5.43 berikut ini.

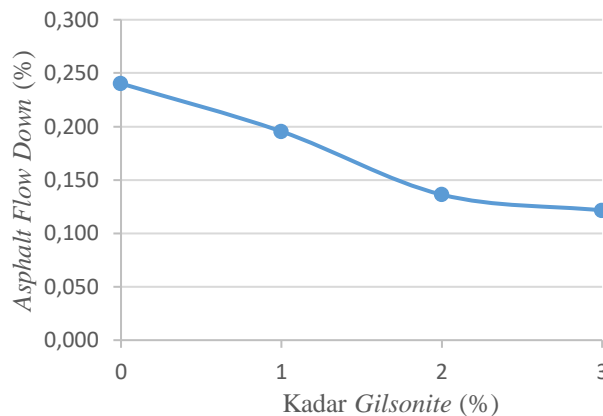


Gambar 5. 43 Hubungan Nilai *Cantabro Loss* dengan Bahan Tambah *Gilsonite*

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan aditif *Gilsonite* pada campuran mengakibatkan nilai *Cantabro Loss* mengalami penurunan yang besar. Hal ini disebabkan karena penambahan *Gilsonite* dapat menjadikan kelekatan aspal terhadap agregat menjadi kuat dan tidak mudah lepas. Pada hasil penelitian ini nilai *Cantabro Loss* terendah diperoleh pada penambahan kadar *Gilsonite* 3% yaitu sebesar 10,55%. Dapat disimpulkan hasil pengujian semua variasi kadar *Gilsonite* memenuhi spesifikasi AAPA 2004 yaitu <35%. Perubahan nilai *Cantabro Loss* dengan penambahan *Gilsonite* merupakan perubahan yang signifikan berdasarkan pengujian *Annova*. Sejalan dengan penelitian Prakasa (2018) menyatakan bahwa dengan bertambahnya penggunaan kadar *Gilsonite* pada campuran aspal porus, maka nilai *Cantabro Loss* semakin berkurang, hal ini menunjukkan bahwa campuran memiliki ketahanan terhadap beban yang berulang. Putra (2018) menyimpulkan bahwa penambahan *Gilsonite* pada aspal porus dengan gradasi *UNHSC*, nilai *Cantabro Loss* cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar *Gilsonite*.

5.2.11 Karakteristik *Asphalt Flow Down* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Gilsonite* pada KAO

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang tercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Adapun hasil pengujian *AFD* dengan penambahan *Gilsonite* pada campuran aspal porus seperti pada Lampiran 48, akan menghasilkan grafik yang dapat dilihat pada **Gambar 5.44** berikut.



Gambar 5. 44 Hubungan Nilai *Asphalt Flow Down* dengan Bahan Tambah *Gilsonite*

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa seiring bertambahnya kadar *Gilsonite* maka nilai *AFD* akan semakin menurun. Hal ini disebabkan karena penambahan kadar *Gilsonite* akan meningkatkan sifat kohesi pada aspal, sehingga walaupun film aspal pada agregat cukup tebal, ikatan antar aspal juga akan tetap kuat. Pada hasil penelitian ini nilai *AFD* terendah diperoleh pada penambahan kadar *Gilsonite* 3% yaitu sebesar 0,121 %. Dapat disimpulkan hasil pengujian semua variasi kadar *Gilsonite* memenuhi spesifikasi *AAPA* 2004 yaitu $<0,3$ %, karena pada batas tersebut homogenitas yang dimiliki campuran aspal dengan penambahan *Gilsonite* akan mudah tercampur dengan baik pada campuran aspal porus. Pada pengujian semua variasi penambahan *Gilsonite* 0 % - 3 % memiliki nilai *AFD* $<0,3$ % memenuhi spesifikasi *AAPA* 2004. Perubahan nilai *AFD* dengan penambahan *Gilsonite* merupakan perubahan yang tidak signifikan berdasarkan uji *Annova*. Sejalan dengan penelitian Prakasa (2018), dengan bertambahnya penggunaan kadar *Gilsonite* pada campuran aspal porus, maka nilai *AFD* semakin berkurang. Hal ini membuat aspal tercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Penelitian Putra (2018), menyimpulkan bahwa campuran aspal porus menggunakan gradasi *UNHSC* dengan penambahan kadar *Gilsonite* menurunkan nilai *Asphalt Flow Down*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran aspal porus dengan menggunakan *Gilsonite* sebagai bahan tambah campuran pada kadar aspal optimum dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggunaan *Gilsonite* sebagai bahan tambah pada campuran aspal dapat meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Peningkatan nilai stabilitas tertinggi diperoleh sebesar 24,7 %, yaitu pada kadar penambahan *Gilsonite* 3% sebesar 694,04 kg. Nilai stabilitas dan *MQ* menunjukkan peningkatan dan perubahan yang signifikan, sedangkan nilai *flow*, *VIM*, *VFWA*, *VMA* dan *density* mengalami penurunan, akan tetapi tidak berubah secara signifikan. Seluruh hasil uji memenuhi persyaratan Bina Marga 2018.
2. Berdasarkan hasil pengujian perendaman *Marshall (IRS)* 24 jam dengan ditambahkan aditif *Gilsonite* pada campuran aspal porus menunjukkan ketahanan campuran terhadap rendaman pada temperatur tinggi, akan tetapi perubahan yang terjadi tidak signifikan. Nilai *IRS* yang diperoleh dari semua variasi campuran dengan penambahan kadar *Gilsonite* 0%, 1%, 2%, dan 3% sebesar 90,33%, 90,64%, 90,67%, dan 90,83%, memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu >90%. Untuk uji perendaman *Marshall (IRS)* 48 jam tidak memenuhi persyaratan Bina Marga >90%.
3. Berdasarkan hasil pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* campuran aspal porus dengan penambahan aditif *Gilsonite* menunjukkan perubahan nilai *ITS* yang signifikan, nilai *ITS* paling tinggi diperoleh pada penambahan kadar *Gilsonite* 3%, hal itu menunjukkan ketahanan campuran terhadap gaya tarik.
4. Penambahan kadar *Gilsonite* 3% pada campuran aspal porus menunjukkan peningkatan ketahanan gaya tarik akibat rendaman pada temperatur tinggi (*TSR*).
5. Berdasarkan hasil pengujian *Wheel Tracking*, penambahan *Gilsonite* pada campuran aspal porus meningkatkan stabilitas dinamis secara signifikan yaitu sebesar 47,84% pada kadar *Gilsonite* 3% sebesar 602,87 lintasan/mm.

6. Penambahan kadar *Gilsonite* pada campuran aspal porus menurunkan kecepatan deformasi akibat beban dinamis, yang menunjukkan ketahanan campuran dalam menerima beban semakin baik. Nilai kecepatan deformasi terkecil yaitu dengan penambahan kadar *Gilsonite* 3% sebesar 0,070 mm/menit. Perubahan nilai kecepatan deformasi menunjukkan perubahan yang signifikan.
7. Nilai *Cantabro Loss* yang diperoleh dengan penambahan aditif *Gilsonite* pada campuran aspal porus mengalami penurunan yang signifikan, menunjukkan bahwa campuran dengan bahan tambah *Gilsonite* tahan terhadap benturan dari beban yang berulang. Nilai *Cantabro Loss* terkecil diperoleh sebesar 10,55% pada penambahan kadar *Gilsonite* 3%.
8. Hasil pengujian *Asphalt Flow Down* menunjukkan penurunan yang tidak signifikan pada campuran seiring dengan penambahan kadar *Gilsonite*. Nilai *AFD* terkecil diperoleh pada penambahan *Gilsonite* dengan kadar 3% sebesar 0,121%.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan *Gilsonite* sebagai bahan tambah campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pen 60/70, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. *Gilsonite* dapat digunakan sebagai bahan aditif pada campuran aspal porus, dengan kadar 3% terhadap berat aspal.
2. Perlu dilakukan uji coba penggunaan campuran aspal porus dengan penambahan *Gilsonite* ini pada ruas jalan di Indonesia, khususnya pada wilayah yang memiliki curah hujan yang tinggi sebagai lapisan atas (*surface*), karena memiliki sifat fungsional (non struktural) yaitu untuk mengalirkan air melalui rongga-rongga sebagai sistem drainase serta didukung dengan struktur yang lebih baik.
3. Perlu adanya penelitian lanjutan pada penambahan variasi kadar aditif *Gilsonite*.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO T 305-14. (n.d.). *Standar Method of Test for Determination of Draindown Characteristic in Uncompacted Asphalt Mixtures*.
- Ameli, A., Babagoli, R., Asadi, S., & Norouzi, N. (2020). *Investigation of The Performance Properties of Asphalt Binders and Mixtures Modified by Crumb Rubber and Gilsonite*. *Construction and Building Materials*, 279.
- Ameli, A., Pakshir, A. H., Babagoli, R., Habibpour, A., Norouzi, N., & Davoudinezhad, S. (2020). *The Effects of Gilsonite and Crumb Rubber on Moisture Damage Resistance of Stone Matrix Asphalt Mixtures*. *Construction and Building Materials*, 274.
- American Gilsonite Company. (2004). *Gilsonite In Paving Applications, Web Brochure*. USA.
- American Society for Testing And Materials . (2015). *ASTM C-131 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine*. West Conshohocken: ASTM International.
- Aquina , H. (2014). Pengaruh Substitusi Styrofoam ke dalam Aspal Penetrasi 60/70 terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Tesis*.
- Arlia, L., Saleh, S., & Anggraini, R. (2018). Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Gondorukem Pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil, Vol. 1, No.3*(Special Issue), 657-666. Universitas Syiah Kuala.
- Asphalt Institute. (1982). *Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual*.
- Asphalt Institute. (2001). *Construction of Hot Mix Asphalt Pavements, Manual Series No. 22 (MS-22). Second Edition*, Lexington, USA.
- Australian Asphalt Pavement Association. (2004). *National Asphalt Specification*.
- Babagoli, R., Hasaninia, M., & Namazi, N. M. (2015). *Laboratory Evaluation of The Effect of Gilsonite on The Performance of Stone Matrix Asphalt Mixtures*. *Road Materials and Pavement Design*, 1-19.
- Basuki, R., & Machsus. (2007). Penambahan Gilsonite Resin Pada Aspal Prima 55 untuk Meningkatkan Kualitas Perkerasan Hot Mix. *Jurnal Aplikasi ISSN. 1907-75X*, Vol 3, No 1, 16-27.
- Bowoputro, H., Djakfar, L., & Kusumaningrum, R. (2016). Pengaruh Penambahan Serbuk Kayu Jati Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Porus. *Rekayasa Sipil, Vol. 10, No. 3*, 250-255. Universitas Brawijaya.

- Busnial. (2005). Kajian Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Taufact-Super Terhadap *Wheel Tracking Test*. *Jurnal Tesis*, 1-13. Institut Teknologi Bandung.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2004). *Campuran Beraspal Panas Dengan Aspal Yang Dimodifikasi Crumb Rubber Atau Asbuton*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum 2018*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Djakfar, L., Zaika, Y., & Bowoputro, H. (2016). Pengaruh Penambahan Aditif Terhadap Kinerja Campuran Beraspal Porus. *Jurnal Transportasi*, Vol. 16, No.1, 21-30. Universitas Brawijaya.
- Djumari, & Sarwono, D. (2009). Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering. *Media Teknik Sipil*, IX, 9-14. Universitas Sebelas Maret, Solo.
- Fauziah, M., & Wijayati, F. S. (2016). Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Teknisia*, Vol. XXI, No. 2, 261-273. Universitas Islam Indonesia.
- Gupta, A., Hernandez, J. R., & Fresno, D. C. (2019). *Incorporation of Additives and Fibers in Porous Asphalt Mixtures*. *Materials*, Vol. 12, 3156, 1-20.
- Hafidz, M. D., & Fauziah, M. (2019). Pengaruh Penggunaan Bahan *Anti Stripping Wetfix Be* Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Teknisia*, 3650, 1-10. Universitas Islam Indonesia.
- Japan Road Association. (1980). *Manual For Design And Construction Of Asphalt Pavement*. Tokyo: JRA.
- Marizka, E. (2021). Studi Kinerja Campuran Aspal Porus Dengan Penambahan Bahan *Additive Rediset LQ-1106*.
- Masri, K. A., Awang, H., Jaya, R. P., Ali, M. I., Ramli, N. I., & Arshad, A. K. (2019). Moisture Susceptibility of Porous Asphalt Mixture with Nano Silica Modified Asphalt Binder. *National Colloquium on Wind & Earthquake Engineering*, 244, 012028, 1-6.
- Nasrekani, A. A., Nakhaei, M., & Naderi, K. (2017). *Improving Moisture Sensitivity of Asphalt Concrete Using Natural Bitumen (Gilsonite)*. *Research Gate*.
- Noris, T. G. (2017). Analisis Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Substitusi Ke dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Rekayasa Teknik Sipil*, 01(17), 65-70.
- Nurchahya, A., & Rahman, H. (2015). Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy. *Jurnal teknik Sipil*, 1-10. Institut Teknologi Bandung.

- Peraturan Pemerintah. (2006). *UU No.38 Tentang Jalan*.
- Permana, R. (2009). Studi Sifat-Sifat Reologi Aspal Yang Dimodifikasi Limbah Tas Plastik. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1-10. Institut Teknologi Nasional.
- Prabowo, A. H. (2003). Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (ROB) Terhadap Kinerja Lataston (HRS-WC) berdasarkan Uji Marshall dan Uji Durabilitas Modifikasi. *PILAR, Vol. 12, No. 2*, 89-98. Universitas Diponegoro.
- Prakasa, A. A. (2018). Pengaruh Penambahan Gilsonite Terhadap Aspal Porus Menggunakan Gradasi Wisconsin Asphalt Pavement Association (WAPA). *Diploma thesis*, <http://repository.um.ac.id/45487/>. Universitas Negeri Malang.
- Prastanto, H., Cifriadi, A., & Ramadhan, A. (2015). Karakteristik Dan Hasil Uji Marshall Aspal Termodifikasi Dengan Karet Alam Terdepolimerisasi Sebagai Aditif. *Jurnal Penelitian Karet, Vol 33 (1)*, 75-82.
- Prawiro, B., & Tarigan, N. P. (2014). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran Aspal Porus Dengan Tambahan Gilsonite. *Jurnal Teknik Sipil*, 1-10. Universitas Brawijaya.
- Putra , A. P. (2018). Pengaruh Penambahan Gilsonite Pada Aspal Porus Menggunakan Gradasi *University of New Hampshire Stormwater Center (UNHSC)*. *Diploma thesis*, <http://repository.um.ac.id/45484/>. Universitas Negeri Malang.
- Ramadhan, N., & Reza, R. (2014). Pengaruh Penambahan Additive Gilsonite HMA Modifier Grade Terhadap Kinerja Aspal Porus. *Jurnal Teknik Sipil* , 1-12. Universitas Brawijaya.
- Rizal, M., Yuniarti, R., & Widianty, D. (2018). Pengaruh Penggunaan Gilsonite Terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton (AC-WC). *Artikel Ilmiah Universitas Mataram*, 1-10.
- Saleh, S. M., Anggraini, R., & Aquina, H. (2014). Karakteristik Campuran Aspal Porus Dengan Substitusi Styrofoam Pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil*, 3, 49- 59. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.
- Sobhi, S., Yousefi, A., & Behnood, A. (2019). *The Effects of Gilsonite and Sasobit on the Mechanical Properties and Durability of Asphalt Mixtures. Construction and Building Materials*, 238.
- Soetikno, Yuliana, Susanto, & Gunawan, A. (2002). Studi Penggunaan Aditif Gilsonite Pada Campuran Hot Rolled Sheet. *Thesis*, <http://repository.petra.ac.id/8099/>.
- Standar Nasional Indonesia. (2003). *RSNI M-01-2003, Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

- Standar Nasional Indonesia. (2015). *SNI 6753 : 2015, Cara Uji Ketahanan Campuran Beraspal Panas Terhadap Kerusakan Akibat Rendaman*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit, Yayasan Obor. Indonesia.
- Suparma. (2001). *The Use of Recycled Waste Plastics in Bituminous Composites. Thesis*.
- Tahir, A., & Setiawan, A. (2009). Kinerja Durabilitas Campuran Beton Aspal Ditinjau Dari Faktor Variasi Suhu Pemadatan Dan Lama Perendaman. *Jurnal SMARTek, Vol. 7, No. 1*, 45-61. Universitas Tadulako, Palu.
- Tajudin, A., & Suparma, L. B. (2017). Pengaruh Rendaman pada Indirect Tensile Strength Campuran AC-BC dengan Limbah Plastik sebagai Agregat Pengganti. *Media Komunikasi Teknik Sipil, Vol 23, No. 2*, 166-173. Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Veranita. (2016). Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Porus Menggunakan Retona Blend 55 Dengan Metode Australia. *Jurnal Teknik Sipil Fakultas, Vol. 2. No 1*, 80-90. Teknik Universitas Teuku Umar.
- Zuliansyah, A., & Muis, Z. A. (2011). Pengaruh Penggunaan Rubberized Asphalt Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Teknik Sipil*, 1-10. Universitas Sumatera Utara.



LAMPIRAN


الجامعة الإسلامية
الابستد الاندو

LAMPIRAN 1 PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL 60/70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Pemeriksaan | Sampel | |
|-----|--|--------|--------|
| | | 1 | 2 |
| 1 | Berat Vicnometer Kosong (gr) | 24.41 | 24.16 |
| 2 | Berat Vicnometer + Aquadest (gr) | 48.07 | 47.62 |
| 3 | Berat Aquadest (2-1) (gr) | 23.66 | 23.46 |
| 4 | Berat Vicnometer + Aspal (gr) | 27.48 | 27.03 |
| 5 | Berat Aspal (4-1) (gr) | 3.07 | 2.87 |
| 6 | Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr) | 48.19 | 47.73 |
| 7 | Berat Aquadest (6-4) (gr) | 20.71 | 20.7 |
| 8 | Volume Aspal (3-7) (gr) | 2.95 | 2.76 |
| 9 | Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8) | 1.0407 | 1.0399 |
| 10 | Rata-Rata Berat Jenis Aspal | 1.0403 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

LAMPIRAN 2 PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + *Gilsonite* 1%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No. | Pemeriksaan | Sampel | |
|-----|--|--------|--------|
| | | 1 | 2 |
| 1 | Berat Vicnometer Kosong (gr) | 13.68 | 12.54 |
| 2 | Berat Vicnometer + Aquadest (gr) | 25.89 | 24.62 |
| 3 | Berat Aquadest (2-1) (gr) | 12.21 | 12.08 |
| 4 | Berat Vicnometer + Aspal (gr) | 15.97 | 14.85 |
| 5 | Berat Aspal (4-1) (gr) | 2.29 | 2.31 |
| 6 | Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr) | 25.91 | 24.76 |
| 7 | Berat Aquadest (6-4) (gr) | 9.94 | 9.91 |
| 8 | Volume Aspal (3-7) (gr) | 2.27 | 2.17 |
| 9 | Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8) | 1.0088 | 1.0645 |
| 10 | Rata-Rata Berat Jenis Aspal | 1.0367 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 3 PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + *Gilsonite* 2%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Pemeriksaan | Sampel | |
|-----|--|--------|--------|
| | | 1 | 2 |
| 1 | Berat Vicnometer Kosong (gr) | 24.53 | 24.27 |
| 2 | Berat Vicnometer + Aquadest (gr) | 48.18 | 47.72 |
| 3 | Berat Aquadest (2-1) (gr) | 23.65 | 23.45 |
| 4 | Berat Vicnometer + Aspal (gr) | 27.59 | 27.13 |
| 5 | Berat Aspal (4-1) (gr) | 3.06 | 2.86 |
| 6 | Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr) | 48.26 | 47.82 |
| 7 | Berat Aquadest (6-4) (gr) | 20.67 | 20.69 |
| 8 | Volume Aspal (3-7) (gr) | 2.98 | 2.76 |
| 9 | Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8) | 1.0268 | 1.0362 |
| 10 | Rata-Rata Berat Jenis Aspal | 1.0315 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 4 PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + *Gilsonite* 3%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Pemeriksaan | Sampel | |
|-----|--|--------|--------|
| | | 1 | 2 |
| 1 | Berat Vicnometer Kosong (gr) | 12.55 | 13.59 |
| 2 | Berat Vicnometer + Aquadest (gr) | 24.61 | 26.88 |
| 3 | Berat Aquadest (2-1) (gr) | 12.06 | 13.29 |
| 4 | Berat Vicnometer + Aspal (gr) | 14.77 | 16.04 |
| 5 | Berat Aspal (4-1) (gr) | 2.22 | 2.45 |
| 6 | Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr) | 24.85 | 26.68 |
| 7 | Berat Aquadest (6-4) (gr) | 10.08 | 10.64 |
| 8 | Volume Aspal (3-7) (gr) | 1.98 | 2.65 |
| 9 | Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8) | 1.1212 | 0.9245 |
| 10 | Rata-Rata Berat Jenis Aspal | 1.0229 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIK : 18914042

LAMPIRAN 5 PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL 60/70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu | Keterangan |
|-----|---------------------------|------|-----------|------------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | | |
| | Mulai Pemanasan | 27 | 13.00 WIB | |
| | Selesai Pemanasan | 50 | 13.15 WIB | |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | | |
| | Mulai Pemanasan | 50 | 13.30 WIB | |
| | Selesai | 27 | 15.00 WIB | |
| 3 | Diperiksa | | | |
| | Mulai | 27 | 15.00 WIB | |
| | Selesai | 52 | 15.30 WIB | |

HASIL PENGAMATAN

| No. | Suhu yang Diamati | Waktu Pemanasan (Detik) | | Titik Lembek (°C) | |
|-----|-------------------|-------------------------|-------------|-------------------|----|
| | | Benda Uji 1 | Benda Uji 2 | 1 | 2 |
| 1 | 5 °C | | | | |
| 2 | 10 °C | 138.00 | 139.00 | | |
| 3 | 15 °C | 209.00 | 210.00 | | |
| 4 | 20 °C | 310.00 | 310.00 | | |
| 5 | 25 °C | 373.00 | 374.00 | | |
| 6 | 30 °C | 443.00 | 443.00 | | |
| 7 | 35 °C | 516.00 | 515.00 | | |
| 8 | 40 °C | 612.00 | 611.00 | | |
| 9 | 45 °C | 680 | 677 | | |
| 10 | 50 °C | 735 | 733 | 49 | 49 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

LAMPIRAN 6 PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 1%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu | Keterangan |
|-----|---------------------------|------|-----------|------------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | | |
| | Mulai Pemanasan | 27 | 13.00 WIB | |
| | Selesai Pemanasan | 50 | 13.15 WIB | |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | | |
| | Mulai Pemanasan | 50 | 13.30 WIB | |
| | Selesai | 27 | 15.00 WIB | |
| 3 | Diperiksa | | | |
| | Mulai | 27 | 15.00 WIB | |
| | Selesai | 52 | 15.30 WIB | |

HASIL PENGAMATAN

| No. | Suhu yang Diamati | Waktu Pemanasan (Detik) | | Titik Lembek (°C) | |
|-----|-------------------|-------------------------|-------------|-------------------|----|
| | | Benda Uji 1 | Benda Uji 2 | 1 | 2 |
| 1 | 5 °C | | | | |
| 2 | 10 °C | 104.00 | 104.00 | | |
| 3 | 15 °C | 210.00 | 210.00 | | |
| 4 | 20 °C | 302.00 | 303.00 | | |
| 5 | 25 °C | 387.00 | 387.00 | | |
| 6 | 30 °C | 465.00 | 466.00 | | |
| 7 | 35 °C | 664.00 | 665.00 | | |
| 8 | 40 °C | 668.00 | 668.00 | | |
| 9 | 45 °C | 765 | 766 | | |
| 10 | 50 °C | 823 | 825 | 50 | 49 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

LAMPIRAN 7 PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+*Gilsonite* 2%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu | Keterangan |
|-----|---------------------------|------|-----------|------------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | | |
| | Mulai Pemanasan | 27 | 13.00 WIB | |
| | Selesai Pemanasan | 50 | 13.15 WIB | |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | | |
| | Mulai Pemanasan | 50 | 13.30 WIB | |
| | Selesai | 27 | 15.00 WIB | |
| 3 | Diperiksa | | | |
| | Mulai | 27 | 15.00 WIB | |
| | Selesai | 52 | 15.30 WIB | |

HASIL PENGAMATAN

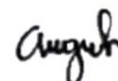
| No. | Suhu yang Diamati | Waktu Pemanasan (Detik) | | Titik Lembek (°C) | |
|-----|-------------------|-------------------------|-------------|-------------------|----|
| | | Benda Uji 1 | Benda Uji 2 | 1 | 2 |
| 1 | 5 °C | | | | |
| 2 | 10 °C | 112.00 | 112.00 | | |
| 3 | 15 °C | 211.00 | 211.00 | | |
| 4 | 20 °C | 303.00 | 303.00 | | |
| 5 | 25 °C | 388.00 | 388.00 | | |
| 6 | 30 °C | 465.00 | 465.00 | | |
| 7 | 35 °C | 665.00 | 665.00 | | |
| 8 | 40 °C | 670.00 | 670.00 | | |
| 9 | 45 °C | 767 | 767 | | |
| 10 | 50 °C | 831 | 831 | 50 | 50 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

LAMPIRAN 8 PEMERIKSAAN TITIK LEMBЕК ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 3%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu | Keterangan |
|-----|---------------------------|------|-----------|------------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | | |
| | Mulai Pemanasan | 27 | 13.00 WIB | |
| | Selesai Pemanasan | 50 | 13.15 WIB | |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | | |
| | Mulai Pemanasan | 50 | 13.30 WIB | |
| | Selesai | 27 | 15.00 WIB | |
| 3 | Diperiksa | | | |
| | Mulai | 27 | 15.00 WIB | |
| | Selesai | 52 | 15.30 WIB | |

HASIL PENGAMATAN

| No. | Suhu yang Diamati | Waktu Pemanasan (Detik) | | Titik Lembek (°C) | |
|-----|-------------------|-------------------------|-------------|-------------------|----|
| | | Benda Uji 1 | Benda Uji 2 | 1 | 2 |
| 1 | 5 °C | | | | |
| 2 | 10 °C | 104.00 | 105.00 | | |
| 3 | 15 °C | 213.00 | 215.00 | | |
| 4 | 20 °C | 305.00 | 307.00 | | |
| 5 | 25 °C | 390.00 | 392.00 | | |
| 6 | 30 °C | 467.00 | 469.00 | | |
| 7 | 35 °C | 666.00 | 668.00 | | |
| 8 | 40 °C | 672.00 | 673.00 | | |
| 9 | 45 °C | 768 | 770 | | |
| 10 | 50 °C | 834 | 834 | 51 | 51 |
| 11 | 55 °C | | | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

LAMPIRAN 9 PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL 60/70

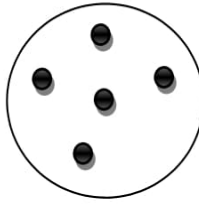
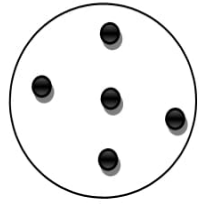
Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu |
|-----|---------------------------|------|-----------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | |
| | Mulai | 27 | 10.00 WIB |
| | Selesai | 130 | 10.30 WIB |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | |
| | Mulai | 130 | 10.30 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.00 WIB |
| 3 | Diperiksa | | |
| | Mulai | 27 | 13.00 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.30 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| No | Benda Uji | | Sket Pengujian | |
|--------|-----------|------|---|---|
| | (mm) | (mm) | Benda Uji 1 | Benda Uji 2 |
| 1. | 63 | 61 |  |  |
| 2. | 64 | 64 | | |
| 3. | 62 | 63 | | |
| 4. | 64 | 63 | | |
| 5. | 63 | 64 | | |
| Rata2 | 63,2 | 63 | | |
| Rerata | 63,1 | | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

LAMPIRAN 10 PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL MODIFIKASI



Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 1%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu |
|-----|---------------------------|------|-----------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | |
| | Mulai | 27 | 10.00 WIB |
| | Selesai | 130 | 10.30 WIB |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | |
| | Mulai | 130 | 10.30 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.00 WIB |
| 3 | Diperiksa | | |
| | Mulai | 27 | 13.00 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.30 WIB |

HASIL PENGAMATAN

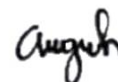
| No | Benda Uji | | Sket Pengujian | |
|--------|-----------|------|---|---|
| | (mm) | (mm) | Benda Uji 1 | Benda Uji 2 |
| 1. | 62 | 63 |  |  |
| 2. | 63 | 62 | | |
| 3. | 61 | 62 | | |
| 4. | 62 | 61 | | |
| 5. | 62 | 64 | | |
| Rata2 | 62 | 62,4 | | |
| Rerata | 62,2 | | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti





Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

LAMPIRAN 11 PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+*Gilsonite* 2%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu |
|-----|---------------------------|------|-----------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | |
| | Mulai | 27 | 10.00 WIB |
| | Selesai | 130 | 10.30 WIB |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | |
| | Mulai | 130 | 10.30 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.00 WIB |
| 3 | Diperiksa | | |
| | Mulai | 27 | 13.00 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.30 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| No | Benda Uji | | Sket Pengujian | |
|--------|-----------|------|---|---|
| | (mm) | (mm) | Benda Uji 1 | Benda Uji 2 |
| 1. | 61 | 62 |  |  |
| 2. | 60 | 61 | | |
| 3. | 61 | 62 | | |
| 4. | 62 | 61 | | |
| 5. | 62 | 62 | | |
| Rata2 | 61,2 | 61,6 | | |
| Rerata | 61,4 | | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



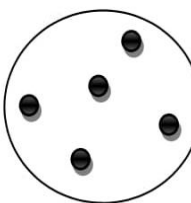
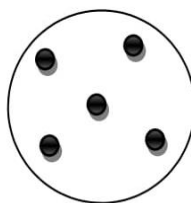
Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

LAMPIRAN 12 PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+*Gilsonite* 3%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu |
|-----|---------------------------|------|-----------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | |
| | Mulai | 27 | 10.00 WIB |
| | Selesai | 130 | 10.30 WIB |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | |
| | Mulai | 130 | 10.30 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.00 WIB |
| 3 | Diperiksa | | |
| | Mulai | 27 | 13.00 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.30 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| No | Benda Uji | | Sket Pengujian | |
|--------|-----------|------|---|---|
| | (mm) | (mm) | Benda Uji 1 | Benda Uji 2 |
| 1. | 59 | 60 |  |  |
| 2. | 61 | 61 | | |
| 3. | 61 | 59 | | |
| 4. | 59 | 61 | | |
| 5. | 60 | 61 | | |
| Rata2 | 60 | 60,4 | | |
| Rerata | 60,2 | | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 13 PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu |
|-----|---------------------------|------|-----------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | |
| | Mulai Pemanasan | 27 | 13.00 WIB |
| | Selesai Pemanasan | 150 | 13.15 WIB |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | |
| | Mulai | 150 | 13.15 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.45 WIB |
| 3 | Diperiksa | | |
| | Mulai | 27 | 13.45 WIB |
| | Selesai | 300 | 14.15 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| No. | Keterangan | Titik Nyala | Titik Bakar |
|-----|-------------|-------------|-------------|
| 1 | Benda Uji 1 | 285 | 295 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LAMPIRAN 14 PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL
MODIFIKASI**

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+*Gilsonite* 1%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu |
|-----|---------------------------|------|-----------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | |
| | Mulai Pemanasan | 27 | 13.00 WIB |
| | Selesai Pemanasan | 150 | 13.15 WIB |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | |
| | Mulai | 150 | 13.15 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.45 WIB |
| 3 | Diperiksa | | |
| | Mulai | 27 | 13.45 WIB |
| | Selesai | 305 | 14.15 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| No. | Keterangan | Titik Nyala | Titik Bakar |
|-----|-------------|-------------|-------------|
| 1 | Benda Uji 1 | 295 | 300 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

**LAMPIRAN 15 PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL
MODIFIKASI**

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 2%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu |
|-----|---------------------------|------|-----------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | |
| | Mulai Pemanasan | 27 | 13.00 WIB |
| | Selesai Pemanasan | 150 | 13.15 WIB |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | |
| | Mulai | 150 | 13.15 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.45 WIB |
| 3 | Diperiksa | | |
| | Mulai | 27 | 13.45 WIB |
| | Selesai | 315 | 14.15 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| No. | Keterangan | Titik Nyala | Titik Bakar |
|-----|-------------|-------------|-------------|
| 1 | Benda Uji 1 | 302 | 310 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

**LAMPIRAN 16 PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL
MODIFIKASI**

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 3%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No. | Urutan Pemeriksaan | Suhu | Waktu |
|-----|---------------------------|------|-----------|
| 1 | Pemanasan Benda Uji | | |
| | Mulai Pemanasan | 27 | 13.00 WIB |
| | Selesai Pemanasan | 150 | 13.15 WIB |
| 2 | Didiamkan Pada Suhu Ruang | | |
| | Mulai Pemanasan | 150 | 13.15 WIB |
| | Selesai | 27 | 13.45 WIB |
| 3 | Diperiksa | | |
| | Mulai | 27 | 13.45 WIB |
| | Selesai | 330 | 14.15 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| No. | Keterangan | Titik Nyala | Titik Bakar |
|-----|-------------|-------------|-------------|
| 1 | Benda Uji 1 | 310 | 320 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIK : 18914042



LAMPIRAN 17 PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4/TCE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No. | Pemeriksaan | Keterangan | Pembacaan | |
|-----|-------------|------------|-----------|------|
| | | | Waktu | Suhu |
| 1 | Penimbangan | Mulai | 14:30 | 27 |
| 2 | Pelarutan | Mulai | 14:40 | 27 |
| 3 | Penyaringan | Mulai | 14:45 | 27 |
| | | Selesai | 15:15 | 27 |
| 4 | Di Oven | Mulai | 15:15 | 110 |
| 5 | Penimbangan | Mulai | 15:30 | 27 |

HASIL PEMERIKSAAN

| No. | Pemeriksaan | Benda Uji | |
|-----|--------------------------------------|-------------|-------------|
| | | 1 | 2 |
| 1 | Berat Erlen Meyer Kosong | 68.9 | 73.56 |
| 2 | Berat Erlen Meyer Kosong + Asp | 70.03 | 74.97 |
| 3 | Berat Aspal (2-1) | 1.13 | 1.41 |
| 4 | Berat Kertas Saring Bersih | 0.62 | 0.62 |
| 5 | Berat Kertas Saring Bersih + Mineral | 0.63 | 0.63 |
| 6 | Berat Mineral (5-4) | 0.01 | 0.01 |
| 7 | Prosentasi Mineral) (6/3x100%) | 0.884955752 | 0.709219858 |
| 8 | Aspal yang Larut (100%-7) | 99.11504425 | 99.29078014 |
| 9 | Rata-Rata Aspal yang Larut (%) | 99.20291219 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 18 PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4/TCE ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 1%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Pemeriksaan | Keterangan | Pembacaan | |
|-----|-------------|------------|-----------|------|
| | | | Waktu | Suhu |
| 1 | Penimbangan | Mulai | 14:30 | 27 |
| 2 | Pelarutan | Mulai | 14:40 | 27 |
| 3 | Penyaringan | Mulai | 14:45 | 27 |
| | | Selesai | 15:15 | 27 |
| 4 | Di Oven | Mulai | 15:15 | 110 |
| 5 | Penimbangan | Mulai | 15:30 | 27 |

HASIL PEMERIKSAAN

| No. | Pemeriksaan | Benda Uji | |
|-----|--------------------------------------|-------------|---------|
| | | 1 | 2 |
| 1 | Berat Erlen Meyer Kosong | 63.58 | 73.56 |
| 2 | Berat Erlen Meyer Kosong + Asp | 65.48 | 75.13 |
| 3 | Berat Aspal (2-1) | 1.9 | 1.57 |
| 4 | Berat Kertas Saring Bersih | 0.58 | 0.62 |
| 5 | Berat Kertas Saring Bersih + Mineral | 0.6 | 0.63 |
| 6 | Berat Mineral (5-4) | 0.02 | 0.01 |
| 7 | Prosentasi Mineral) (6/3x100%) | 1.052631579 | 0.63694 |
| 8 | Aspal yang Larut (100%-7) | 98.94736842 | 99.3631 |
| 9 | Rata-Rata Aspal yang Larut (%) | 99.15521287 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LAMPIRAN 19 PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4/TCE ASPAL
MODIFIKASI**

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+*Gilsonite* 2%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Pemeriksaan | Keterangan | Pembacaan | |
|-----|-------------|------------|-----------|------|
| | | | Waktu | Suhu |
| 1 | Penimbangan | Mulai | 14:30 | 27 |
| 2 | Pelarutan | Mulai | 14:40 | 27 |
| 3 | Penyaringan | Mulai | 14:45 | 27 |
| | | Selesai | 15:15 | 27 |
| 4 | Di Oven | Mulai | 15:15 | 110 |
| 5 | Penimbangan | Mulai | 15:30 | 27 |

HASIL PEMERIKSAAN

| No. | Pemeriksaan | Benda Uji | |
|-----|--------------------------------------|-------------|-----------|
| | | 1 | 2 |
| 1 | Berat Erlen Meyer Kosong | 68.9 | 73.59 |
| 2 | Berat Erlen Meyer Kosong + Asp | 70.63 | 75.11 |
| 3 | Berat Aspal (2-1) | 1.73 | 1.52 |
| 4 | Berat Kertas Saring Bersih | 0.62 | 0.62 |
| 5 | Berat Kertas Saring Bersih + Mineral | 0.64 | 0.63 |
| 6 | Berat Mineral (5-4) | 0.02 | 0.01 |
| 7 | Prosentasi Mineral) (6/3x100%) | 1.15606936 | 0.6578947 |
| 8 | Aspal yang Larut (100%-7) | 98.8439306 | 99.342105 |
| 9 | Rata-Rata Aspal yang Larut (%) | 99.09301795 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LAMPIRAN 20 PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4/TCE ASPAL
MODIFIKASI**

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 3%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No. | Pemeriksaan | Keterangan | Pembacaan | |
|-----|-------------|------------|-----------|------|
| | | | Waktu | Suhu |
| 1 | Penimbangan | Mulai | 14:30 | 27 |
| 2 | Pelarutan | Mulai | 14:40 | 27 |
| 3 | Penyaringan | Mulai | 14:45 | 27 |
| | | Selesai | 15:15 | 27 |
| 4 | Di Oven | Mulai | 15:15 | 110 |
| 5 | Penimbangan | Mulai | 15:30 | 27 |

HASIL PEMERIKSAAN

| No. | Pemeriksaan | Benda Uji | |
|-----|--------------------------------------|-------------|----------|
| | | 1 | 2 |
| 1 | Berat Erlen Meyer Kosong | 75.22 | 73.48 |
| 2 | Berat Erlen Meyer Kosong + Asp | 77.24 | 75.51 |
| 3 | Berat Aspal (2-1) | 2.02 | 2.03 |
| 4 | Berat Kertas Saring Bersih | 0.59 | 0.6 |
| 5 | Berat Kertas Saring Bersih + Mineral | 0.61 | 0.62 |
| 6 | Berat Mineral (5-4) | 0.02 | 0.02 |
| 7 | Prosentasi Mineral) (6/3x100%) | 0.99009901 | 0.985222 |
| 8 | Aspal yang Larut (100%-7) | 99.00990099 | 99.01478 |
| 9 | Rata-Rata Aspal yang Larut (%) | 99.01233966 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 21 PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No | Pemeriksaan | Keterangan | Waktu | Temperature |
|----|------------------------|---|----------|---|
| 1 | Persiapan benda uji | Aspal dipanaskan | 15 menit | Suhu Pemanas $\pm 135^{\circ}\text{C}$ |
| 2 | Mendinginkan benda uji | Diamkan pada suhu ruang | 60 menit | Suhu Ruang $\pm 27^{\circ}\text{C}$ |
| 3 | Perendaman benda uji | Direndam dalam waterbath dengan suhu 25°C | 60 menit | Suhu waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$ |
| 4 | Pemeriksaan | Pengujian pada suhu 25°C , | 20 menit | Suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$ |

HASIL PEMERIKSAAN

| No. | Benda Uji | Hasil Pengujian | Keterangan |
|-----|-----------|-----------------|-------------|
| 1 | Sampel 1 | 164 | Tidak Putus |
| 2 | Sampel 2 | 164 | Tidak Putus |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 22 PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 1%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No | Pemeriksaan | Keterangan | Waktu | Temperature |
|----|---------------------------|--|-------------|--|
| 1 | Persiapan benda uji | Aspal dipanaskan | 15 menit | Suhu Pemanas $\pm 135^{\circ}\text{C}$ |
| 2 | Mendinginkan benda uji | Diamkan pada suhu ruang | 60 menit | Suhu Ruang $\pm 27^{\circ}\text{C}$ |
| 3 | Perendaman benda uji | Direndam dalam waterbath dengan suhu 25°C | 60 menit | Suhu waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$ |
| 4 | Pemeriksaan | Pengujian pada suhu 25°C , | 20 menit | Suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$ |

HASIL PEMERIKSAAN

| No. | Benda Uji | Hasil Pengujian | Keterangan |
|-----|-----------|-----------------|-------------|
| 1 | Sampel 1 | 165 | Tidak Putus |
| 2 | Sampel 2 | 165 | Tidak Putus |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 23 PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 2%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

| No | Pemeriksaan | Keterangan | Waktu | Temperature |
|----|---------------------------|--|-------------|--|
| 1 | Persiapan benda uji | Aspal dipanaskan | 15 menit | Suhu Pemanas $\pm 135^{\circ}\text{C}$ |
| 2 | Mendinginkan benda uji | Diamkan pada suhu ruang | 60 menit | Suhu Ruang $\pm 27^{\circ}\text{C}$ |
| 3 | Perendaman benda uji | Direndam dalam waterbath dengan suhu 25°C | 60 menit | Suhu waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$ |
| 4 | Pemeriksaan | Pengujian pada suhu 25°C , | 20 menit | Suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$ |

HASIL PEMERIKSAAN

| No. | Benda Uji | Hasil Pengujian | Keterangan |
|-----|-----------|-----------------|-------------|
| 1 | Sampel 1 | 166 | Tidak Putus |
| 2 | Sampel 2 | 166 | Tidak Putus |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIK : 18914042



LAMPIRAN 24 PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70+Gilsonite 3%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

| No | Pemeriksaan | Keterangan | Waktu | Temperature |
|----|---------------------------|--|-------------|--|
| 1 | Persiapan benda uji | Aspal dipanaskan | 15 menit | Suhu Pemanas $\pm 135^{\circ}\text{C}$ |
| 2 | Mendinginkan benda uji | Diamkan pada suhu ruang | 60 menit | Suhu Ruang $\pm 27^{\circ}\text{C}$ |
| 3 | Perendaman benda uji | Direndam dalam waterbath dengan suhu 25°C | 60 menit | Suhu waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$ |
| 4 | Pemeriksaan | Pengujian pada suhu 25°C , | 20 menit | Suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$ |

HASIL PEMERIKSAAN

| No. | Benda Uji | Hasil Pengujian | Keterangan |
|-----|-----------|-----------------|-------------|
| 1 | Sampel 1 | 166 | Tidak Putus |
| 2 | Sampel 2 | 167 | Tidak Putus |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LAMPIRAN 25 PEMERIKSAAN KEKEKALAN BENTUK AGREGAT TERHADAP LARUTAN
NATRIUM SULFAT**

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| Jumlah Benda Uji | No. Saringan | Berat Benda Uji Awal (g) | Berat Benda Uji Setelah Rendaman (g) | Persentase Kehilangan Berat (%) |
|------------------|------------------|--------------------------|--------------------------------------|---------------------------------|
| Benda Uji I | 9,5 mm-4,75 mm | 300,69 | 284,21 | 5,48 |
| Benda Uji II | 12,5,0 mm-9,5 mm | 675,58 | 636,74 | 5,74 |
| Rata-rata | | | | 5,61 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 26 PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| No | Urutan Pemeriksaan | Pemb. Suhu | Pemb. waktu |
|----|---------------------------|------------|-------------|
| 1. | Pemanasan Benda Uji | | |
| | Mulai | 25 °C | 09.00 WIB |
| | Selesai | 150 °C | 09.15 WIB |
| 2. | Didiamkan pada suhu ruang | | |
| | Mulai | 150 °C | 09.15 WIB |
| | Selesai | 25 °C | 10.45 WIB |
| 3. | Diperiksa | | |
| | Mulai | 25 °C | 10.45 WIB |
| | Selesai | 25 °C | 11.30 WIB |

HASIL PENGAMATAN

| No | Benda uji | % Terselimuti Aspal | Keterangan |
|----|-----------|---------------------|------------|
| 1. | Sampel 1 | 98 % | Memenuhi |
| 2. | Sampel 2 | 98 % | Memenuhi |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

LAMPIRAN 27 PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN *LOS ANGELES*

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

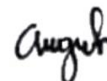
| No | Jenis gradasi | | F | |
|-----|---------------------------------|------------------|--------------------|---------------------|
| | Saringan | | Benda uji (gram) | |
| | Lolos | Tertahan | I (500 putaran) | II (100 putaran) |
| 1. | 72,2 mm (3'') | 63,5 mm (2,5'') | | |
| 2. | 63,5 mm (2,5'') | 50,8 mm (2'') | | |
| 3. | 50,8 mm (2'') | 37,5 mm (1,5'') | | |
| 4. | 37,5 mm (1,5'') | 25,4 mm (1'') | | |
| 5. | 25,4 mm (1'') | 19 mm (3/4'') | | |
| 6. | 19 mm (3/4'') | 12,5 mm (0,5'') | 2500 | 2500 |
| 7. | 12,5 mm (0,5'') | 09,5 mm (3/8'') | 2500 | 2500 |
| 8. | 09,5 mm (3/8'') | 06,3 mm (1/4'') | | |
| 9. | 06,3 mm (1/4'') | 04,75 mm (No. 4) | | |
| 10. | 04,75 mm (No. 4) | 02,36 mm (No. 8) | | |
| 11. | JUMLAH BENDA UJI (A) | | 5000 | 5000 |
| 12. | JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12 (B) | | 3809 | 4712,24 |
| 13. | KEAUSAN = (A-B)/A X 100 | | 23,82% | 5,75 % |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 28 PEMERIKSAAN BUTIRAN KASAR AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| No | Uraian | Pengujian | |
|----|---|----------------------------------|---------------------------------|
| | | Kecil dari Satu Bidang Pecah (g) | Dua Bidang Pecah atau Lebih (g) |
| 1 | Massa benda uji + takaran | - | 510,22 |
| 2 | Massa butir pecah + takaran | - | 490,16 |
| 3 | Massa takaran | - | 94,5 |
| 4 | Massa benda uji | - | 415,72 |
| 5 | Massa butir pecah dengan jumlah bidang pecah yang disyaratkan | - | 395,66 |
| 6 | Persentase butir pecah | - | 95% |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 29 PEMERIKSAAN PARTIKEL PIPIH DAN LONJONG

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| No | Ukuran Saringan (mm) | Berat Benda Uji (g) | Berat Setelan Pengujian (g) | | Presentase (%) | |
|-----------|----------------------|---------------------|-----------------------------|---------|----------------|---------|
| | | | Pipih | Lonjong | Pipih | Lonjong |
| 1 | 12,7 | 2500 | 98,86 | 143,27 | 3,95 | 5,73 |
| 2 | 9,53 | 1000 | 33,08 | 71,92 | 3,30 | 7,19 |
| Rata-rata | | | | | 3,62 | 6,46 |
| | | | | | 5,04 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 30 PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| No. | Keterangan | Benda Uji (gram) | | Rata-rata |
|-----|---|------------------|---------|-----------|
| | | 1 | 2 | |
| 1 | Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ) | 1604,22 | 1383,78 | 1494 |
| 2 | Berat Benda Uji Dalam Air (BA) | 997,38 | 860,18 | 928,78 |
| 4 | Berat Benda Uji Kering Oven (BK) | 1570,6 | 1366,11 | 1468,46 |
| 5 | Berat Jenis (Bulk) = $BK/(BJ-BA)$ | 2,59 | 2,60 | 2,60 |
| 6 | Berat Jenis (SSD) = $BJ/(BJ-BA)$ | 2,64 | 2,64 | 2,64 |
| 7 | Berat Jenis (Semu) = $BK/(BK-BA)$ | 2,73 | 2,70 | 2,71 |
| 8 | Penyerapan Air = $(BJ-BK)/BK \times 100\%$ | 2,12 | 1,29 | 1,70 |
| 9 | Berat Cawan | 304,55 | 291,62 | |
| 10 | Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$ | 2,66 | 2,65 | |
| 11 | Berat Jenis Efektif Rata-rata | 2,659 | | |
| 12 | Penyerapan Rata-rata | 1,687 % | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 31 PEMERIKSAAN MATERIAL LOLOS SARINGAN 200

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| No | Parameter | Satuan | Benda Uji I | Benda Uji II |
|-----------|---|--------|-------------|--------------|
| 1 | Berat Agregat + wadah | gram | 1332,06 | 1341,21 |
| 2 | Berat wadah | gram | 331,82 | 341,03 |
| 3 | Berat kering benda uji awal | gram | 1000,24 | 1000,18 |
| 4 | Berat benda uji sesudah pencucian + wadah | gram | 1310,95 | 1321,37 |
| 5 | Berat Kering benda uji sesudah pencucian | gram | 991,67 | 993,92 |
| 6 | Persen lolos saringan No. 200 | % | 0,85 | 0,62 |
| Rata-rata | | | 0,73 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 32 PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| No. | Keterangan | Benda Uji | | Rata-rata |
|-----|---|-----------|--------|-----------|
| | | 1 | 2 | |
| 1 | Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ) | 500,12 | 500,06 | 500,09 |
| 2 | Berat Vicnometer + Air (B) | 689,37 | 665,42 | 677,39 |
| 3 | Berat Vicnometer + Air + Benda Uji (BT) | 996,93 | 974,14 | 985,53 |
| 4 | Berat Benda Uji Kering Oven (BK) | 488,22 | 489,86 | 489,04 |
| 5 | Berat Jenis (Bulk) = $(BK / ((B+500) - BT))$ | 2,53 | 2,56 | 2,54 |
| 6 | Berat Jenis (SSD) = $(500 / ((B+500) - BT))$ | 2,59 | 2,61 | 2,60 |
| 7 | Berat Jenos (Semu) = $(BK / ((B+BK) - BT))$ | 2,70 | 2,70 | 2,70 |
| 8 | Penyerapan Air = $(500 - BK) / BK \times 100\%$ | 2,41 | 2,07 | 2,24 |
| | Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$ | 2,61 | 2,63 | |
| | Berat Jenis Efektif Rata2 | 2,6261 | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 33 PEMERIKSAAN SETARA PASIR

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| No. | Keterangan | Benda Uji | | | |
|-----|--|-----------|-------|-------------|--|
| | | 1 | 2 | Rata - Rata | |
| 1 | Persiapan dan Perendaman Benda Uji Dalam Larutan CaCl ₂ selama (\pm 10 menit) | Mulai | 11:25 | 11:25 | |
| | | Selesai | 11:35 | 11:35 | |
| 2 | Waktu Pengendapan (Benda Uji setelah di gojok sebanyak 90x, dan ditambah larutan CaCl ₂) | Mulai | 11:37 | 11:37 | |
| | | Selesai | 11:40 | 11:40 | |
| 3 | Clay Reading (Pembacaan Lumpur) Inchi | 3,7 | 3,8 | 3,75 | |
| 4 | Sand Reading (Pembacaan Pasir) | 3,2 | 3,6 | 3,4 | |
| 5 | Sand Equivalent (4/3 x 100%) | 0,865 | 0,947 | 90,612 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 34 PEMERIKSAAN MATERIAL LOLOS SARINGAN NO. 200

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| No | Parameter | Satuan | Benda Uji I | Benda Uji II |
|-----------|---|--------|-------------|--------------|
| 1 | Berat Agregat + wadah | gram | 595,33 | 595,27 |
| 2 | Berat wadah | gram | 94,85 | 95,04 |
| 3 | Berat kering benda uji awal | gram | 500,48 | 500,23 |
| 4 | Berat benda uji sesudah pencucian + wadah | gram | 534,46 | 528,76 |
| 5 | Berat Kering benda uji sesudah pencucian | gram | 461,58 | 467,57 |
| 6 | Persen lolos saringan No. 200 | % | 7,77 | 6,57 |
| Rata-rata | | | 7,17 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LAMPIRAN 35 PEMERIKSAAN GUMPALAN LEMPUNG DAN KUMPALAN BUTIR-BUTIR
MUDAH PECAH DALAM AGREGAT**

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2021

| No | Parameter | Satuan | Benda Uji I | Benda Uji II |
|-----------|---|--------|-------------|--------------|
| 1 | Berat Agregat + wadah | gram | 201,02 | 200,36 |
| 2 | Berat wadah | gram | 94,85 | 95,04 |
| 3 | Berat kering benda uji awal | gram | 106,17 | 105,32 |
| 4 | Berat benda uji sesudah pencucian + wadah | gram | 200,14 | 199,47 |
| 5 | Berat Kering benda uji sesudah pencucian | gram | 105,46 | 104,55 |
| 6 | Persen lolos saringan No. 200 | % | 0,66 | 0,73 |
| Rata-rata | | | 0,69 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 36 PENGUJIAN *MARSHALL* DALAM MENCARI KAO PADA CAMPURAN ASPAL PORUS

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| SAMPLER | Tinggi | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|---------|--------|-------|-----|--------|--------|--------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|----------|----------|------|--------|------------|-----------------|-----------|------------|
| | (cm) | (%) | (%) | (gram) | (gram) | (gram) | (gram) | Density | | | | | VMA (%) | VFWA (%) | VITM (%) | Meas | | Koreksi | Stabilitas (kg) | Flow (cm) | MQ (Kg/mm) |
| 5A | 7.634 | 5.263 | 5 | 1176.5 | 1241.7 | 654.08 | 587.66 | 2.0019 | 2.4609 | 9.6246 | 71.725 | 18.650 | 28.275 | 34.039 | 18.650 | 45 | 665.59 | 0.75820833 | 504.654 | 3.7 | 136.393 |
| 5B | 7.625 | 5.263 | 5 | 1177 | 1244.8 | 655.32 | 589.5 | 1.9966 | 2.4609 | 9.5992 | 71.536 | 18.865 | 28.464 | 33.724 | 18.865 | 48 | 709.96 | 0.75941667 | 539.155 | 3.2 | 168.486 |
| 5C | 7.547 | 5.263 | 5 | 1178.4 | 1248.5 | 660.04 | 588.43 | 2.0026 | 2.4609 | 9.6278 | 71.749 | 18.623 | 28.251 | 34.079 | 18.623 | 44 | 650.8 | 0.76908333 | 500.517 | 4 | 125.129 |
| | | | | | | | | 2.0004 | | | | | 28.330 | 33.948 | 18.713 | | 675.45 | | 514.775 | 3.633 | 143.336 |
| 5,5A | 7.618 | 5.820 | 5.5 | 1161.2 | 1243.3 | 663.43 | 579.82 | 2.0027 | 2.4433 | 10.5914 | 71.377 | 18.032 | 28.623 | 37.003 | 18.032 | 52 | 769.12 | 0.750375 | 577.131 | 4.3 | 134.216 |
| 5,5B | 7.606 | 5.820 | 5.5 | 1170.6 | 1248 | 667.14 | 580.88 | 2.0152 | 2.4433 | 10.6571 | 71.820 | 17.523 | 28.180 | 37.818 | 17.523 | 49 | 724.75 | 0.76175 | 552.079 | 3.3 | 167.297 |
| 5,5C | 7.619 | 5.820 | 5.5 | 1167.3 | 1258.2 | 666.41 | 591.81 | 1.9725 | 2.4433 | 10.4313 | 70.297 | 19.271 | 29.703 | 35.119 | 19.271 | 48 | 709.96 | 0.76016667 | 539.688 | 3.6 | 149.913 |
| | | | | | | | | 1.9968 | | | | | 28.835 | 36.647 | 18.275 | | 734.61 | | 556.299 | 3.733 | 150.475 |
| 6A | 7.617 | 6.383 | 6 | 1169.9 | 1244.4 | 661.95 | 582.44 | 2.0087 | 2.4260 | 11.5885 | 71.209 | 17.202 | 28.791 | 40.251 | 17.202 | 45 | 665.59 | 0.760375 | 506.096 | 3.5 | 144.599 |
| 6B | 7.620 | 6.383 | 6 | 1158.8 | 1206.6 | 638.64 | 568 | 2.0401 | 2.4260 | 11.7698 | 72.324 | 15.906 | 27.676 | 42.527 | 15.906 | 54 | 798.7 | 0.76 | 607.016 | 4.5 | 134.892 |
| 6C | 7.632 | 6.383 | 6 | 1162.9 | 1216 | 642.08 | 573.88 | 2.0263 | 2.4260 | 11.6902 | 71.834 | 16.476 | 28.166 | 41.505 | 16.476 | 56 | 828.29 | 0.75854167 | 628.290 | 3.7 | 169.808 |
| | | | | | | | | 2.0250 | | | | | 28.211 | 41.427 | 16.528 | | 764.19 | | 580.467 | 3.900 | 149.766 |
| 6,5A | 7.618 | 6.952 | 6.5 | 1161.1 | 1204.8 | 628.67 | 576.08 | 2.0156 | 2.4089 | 12.5973 | 71.074 | 16.329 | 28.926 | 43.550 | 16.329 | 49 | 724.75 | 0.76029167 | 551.022 | 4.5 | 122.449 |
| 6,5B | 7.619 | 6.952 | 6.5 | 1154.7 | 1211.6 | 624.73 | 586.87 | 1.9675 | 2.4089 | 12.2971 | 69.380 | 18.323 | 30.620 | 40.161 | 18.323 | 47 | 695.17 | 0.760125 | 528.415 | 4.3 | 122.887 |
| 6,5C | 7.622 | 6.952 | 6.5 | 1163.1 | 1214.6 | 669.35 | 545.29 | 2.1330 | 2.4089 | 13.3316 | 75.216 | 11.452 | 24.784 | 53.792 | 11.452 | 44 | 650.8 | 0.75979167 | 494.470 | 4.1 | 120.602 |
| | | | | | | | | 2.0387 | | | | | 28.110 | 45.834 | 15.368 | | 690.24 | | 524.636 | 4.300 | 121.980 |
| 7A | 7.687 | 7.527 | 7 | 1160.4 | 1203.2 | 631.76 | 571.42 | 2.0306 | 2.3921 | 13.6678 | 71.222 | 15.110 | 28.778 | 47.495 | 15.110 | 45 | 665.59 | 0.75166667 | 500.300 | 4.4 | 113.705 |
| 7B | 7.672 | 7.527 | 7 | 1163.5 | 1207.1 | 648.84 | 558.27 | 2.0841 | 2.3921 | 14.0273 | 73.096 | 12.877 | 26.904 | 52.139 | 12.877 | 48 | 709.96 | 0.75354167 | 534.984 | 4.2 | 127.377 |
| 7C | 7.526 | 7.527 | 7 | 1162 | 1207.9 | 639.86 | 568.01 | 2.0457 | 2.3921 | 13.7690 | 71.750 | 14.481 | 28.250 | 48.740 | 14.481 | 42 | 621.21 | 0.77170833 | 479.397 | 4.7 | 101.999 |
| | | | | | | | | 2.0535 | | | | | 27.977 | 49.458 | 14.156 | | 665.59 | | 504.894 | 4.433 | 114.360 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LAMPIRAN 37 PENGUJIAN *CANTABRO LOSS* DALAM Mencari KAO PADA CAMPURAN
ASPAL PORUS**

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| SAMPel | | Berat Benda Uji | | Berat Sebelum Di Abrasi | Kehilangan Berat | Rata-Rata Kehilangan Berat (%) |
|--------|---|-----------------|--------|-------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| | | Mo | Mi | (Mo-Mi) | L | |
| 5 | A | 1170.67 | 709.75 | 460.92 | 39.37 | 39.05 |
| | B | 1164.83 | 707.44 | 457.39 | 39.27 | |
| | C | 1171.68 | 720.38 | 451.3 | 38.52 | |
| 5.5 | A | 1165.11 | 817.06 | 348.05 | 29.87 | 29.98 |
| | B | 1157.68 | 802.38 | 355.3 | 30.69 | |
| | C | 1142.26 | 806.72 | 335.54 | 29.38 | |
| 6 | A | 1144.89 | 882.24 | 262.65 | 22.94 | 23.20 |
| | B | 1155.82 | 889.86 | 265.96 | 23.01 | |
| | C | 1150.73 | 878.64 | 272.09 | 23.64 | |
| 6.5 | A | 1135.96 | 894.27 | 241.69 | 21.28 | 20.27 |
| | B | 1126.83 | 900.52 | 226.31 | 20.08 | |
| | C | 1140.54 | 918.74 | 221.8 | 19.45 | |
| 7 | A | 1148.51 | 970.1 | 178.41 | 15.53 | 14.87 |
| | B | 1160.36 | 992.87 | 167.49 | 14.43 | |
| | C | 1154.62 | 985.66 | 168.96 | 14.63 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LAMPIRAN 38 PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN DALAM MENCARI KAO PADA
CAMPURAN ASPAL PORUS**

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| Kadar Aspal (%) | | Weight (g) | | | Berat Aspal Meleleh (m3-m1) | Berat Total Sampel (m2-m1) | Nilai Asphalt Flow Down (%) | Asphalt Flow Down Rata-rata (%) |
|-----------------|---|------------|---------|--------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | | | | |
| | | (g) | (g) | (g) | (%) | (%) | | |
| 5 | 1 | 324.4 | 1501.91 | 325.82 | 1.42 | 1177.51 | 0.12 | 0.110 |
| | 2 | 324.2 | 1502.47 | 325.36 | 1.16 | 1178.27 | 0.10 | |
| | 3 | 326.87 | 1450.22 | 328.13 | 1.26 | 1123.35 | 0.11 | |
| 5.5 | 1 | 334.5 | 1506.75 | 336.98 | 2.48 | 1172.25 | 0.21 | 0.230 |
| | 2 | 333.56 | 1512.87 | 335.97 | 2.41 | 1179.31 | 0.20 | |
| | 3 | 331.44 | 1508.19 | 334.65 | 3.21 | 1176.75 | 0.27 | |
| 6 | 1 | 328.5 | 1492.12 | 335.56 | 7.06 | 1163.62 | 0.61 | 0.631 |
| | 2 | 329.42 | 1475.28 | 336.68 | 7.26 | 1145.86 | 0.63 | |
| | 3 | 325.44 | 1468.16 | 332.89 | 7.45 | 1142.72 | 0.65 | |
| 6.5 | 1 | 307.42 | 1477.84 | 321.47 | 14.05 | 1170.42 | 1.20 | 1.243 |
| | 2 | 307.09 | 1482.12 | 322.11 | 15.02 | 1175.03 | 1.28 | |
| | 3 | 308.15 | 1443.17 | 322.35 | 14.2 | 1135.02 | 1.25 | |
| 7 | 1 | 305.14 | 1450.04 | 321.3 | 16.16 | 1144.9 | 1.41 | 1.396 |
| | 2 | 304.43 | 1453.76 | 318.22 | 13.79 | 1149.33 | 1.20 | |
| | 3 | 305.27 | 1460.22 | 323.48 | 18.21 | 1154.95 | 1.58 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 39 PENGUJIAN MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF GILSONITE

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| CAMPURAN ADITIF | SAMPSEL | Tinggi | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|-----------------|---------|--------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|------|-------|-------|-------|---------|----------|----------|------|--------|---------|-----------------|------------|------------|
| | | (cm) | (%) | (%) | (gram) | (gram) | (gram) | (gram) | Density | | | | | VMA (%) | VFWA (%) | VITM (%) | Meas | | Koreksi | Stabilitas (kg) | Flow (cm) | MQ (Kg/mm) |
| 0 % | A | 7.70 | 5.91 | 5.58 | 1177.3 | 1211.2 | 619.11 | 592.11 | 1.988 | 2.44 | 10.67 | 70.80 | 18.53 | 29.20 | 36.53 | 18.53 | 51 | 754.33 | 0.75 | 565.69 | 3.7 | 152.89 |
| | B | 7.69 | 5.91 | 5.58 | 1173.8 | 1204.6 | 617.84 | 586.8 | 2.000 | 2.44 | 10.73 | 71.23 | 18.04 | 28.77 | 37.31 | 18.04 | 49 | 724.75 | 0.75 | 544.83 | 3.8 | 143.38 |
| | C | 7.66 | 5.91 | 5.58 | 1174.6 | 1206.9 | 616.38 | 590.55 | 1.989 | 2.44 | 10.67 | 70.83 | 18.50 | 29.17 | 36.58 | 18.50 | 50 | 739.54 | 0.75 | 558.08 | 3.7 | 150.83 |
| | | | | | | | | | 1.993 | | | | | 28.05 | 36.81 | 18.36 | | | | 556.20 | 3.7 | 149.03 |
| 1% | A | 7.73 | 5.91 | 5.58 | 1171.7 | 1205.8 | 618.64 | 587.18 | 1.996 | 2.44 | 10.71 | 71.06 | 18.23 | 28.94 | 37.00 | 18.23 | 56 | 828.29 | 0.75 | 618.04 | 3.7 | 167.04 |
| | B | 7.69 | 5.91 | 5.58 | 1177 | 1207.9 | 617.02 | 590.85 | 1.992 | 2.44 | 10.69 | 70.93 | 18.38 | 29.07 | 36.77 | 18.38 | 54 | 798.70 | 0.75 | 600.09 | 3.8 | 157.92 |
| | C | 7.77 | 5.91 | 5.58 | 1177.8 | 1210.3 | 620.36 | 589.96 | 1.996 | 2.44 | 10.71 | 71.09 | 18.19 | 28.91 | 37.06 | 18.19 | 58 | 857.87 | 0.74 | 635.82 | 3.5 | 181.66 |
| | | | | | | | | | 1.995 | | | | | 28.97 | 36.94 | 18.27 | | | | 617.99 | 3.66666667 | 168.87 |
| 2% | A | 7.84 | 5.91 | 5.58 | 1175.1 | 1206.7 | 617.77 | 588.91 | 1.995 | 2.44 | 10.71 | 71.05 | 18.24 | 28.95 | 36.98 | 18.24 | 62 | 917.03 | 0.73 | 668.57 | 3.4 | 196.64 |
| | B | 7.71 | 5.91 | 5.58 | 1178.6 | 1209.1 | 619.03 | 590.09 | 1.997 | 2.44 | 10.72 | 71.12 | 18.16 | 28.88 | 37.11 | 18.16 | 59 | 872.66 | 0.75 | 653.73 | 3.4 | 192.27 |
| | C | 7.74 | 5.91 | 5.58 | 1178.4 | 1207.9 | 618.41 | 589.45 | 1.999 | 2.44 | 10.73 | 71.19 | 18.08 | 28.91 | 37.23 | 18.08 | 60 | 887.45 | 0.74 | 660.78 | 3.5 | 188.79 |
| | | | | | | | | | 1.997 | | | | | 28.88 | 37.11 | 18.16 | | | | 661.03 | 3.4 | 192.57 |
| 3% | A | 7.70 | 5.91 | 5.58 | 1179.2 | 1209.2 | 619.79 | 589.37 | 2.001 | 2.44 | 10.73 | 71.24 | 18.02 | 28.76 | 37.33 | 18.02 | 63 | 931.82 | 0.75 | 699.33 | 3.4 | 205.69 |
| | B | 7.79 | 5.91 | 5.58 | 1178.7 | 1207.7 | 618.92 | 588.76 | 2.002 | 2.44 | 10.74 | 71.29 | 17.97 | 28.71 | 37.42 | 17.97 | 62 | 917.03 | 0.74 | 677.29 | 3.3 | 205.24 |
| | C | 7.81 | 5.91 | 5.58 | 1180.2 | 1211.6 | 620.77 | 590.81 | 1.998 | 2.44 | 10.72 | 71.13 | 18.15 | 28.87 | 37.13 | 18.15 | 65 | 961.40 | 0.73 | 705.49 | 3.3 | 213.78 |
| | | | | | | | | | 2.000 | | | | | 28.78 | 37.29 | 18.04 | | | | 694.04 | 3.3 | 208.24 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 40 PENGUJIAN PERENDAMAN MARSHALL 24 JAM PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF GILSONITE

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| CAMPURAN ADITIF | SAMPSEL | Tinggi | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|-----------------|---------|--------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|------|-------|-------|-------|---------|----------|----------|------|--------|---------|-----------------|-----------|------------|
| | | (cm) | (%) | (%) | (gram) | (gram) | (gram) | (gram) | Density | | | | | VMA (%) | VFWA (%) | VITM (%) | Meas | | Koreksi | Stabilitas (kg) | Flow (cm) | MQ (Kg/mm) |
| 0 % | A | 7.54 | 6.01 | 5.67 | 1176.9 | 1210.4 | 620.14 | 590.28 | 1.994 | 2.44 | 10.77 | 70.93 | 18.31 | 29.07 | 37.03 | 18.31 | 44 | 650.80 | 0.77 | 501.38 | 4.2 | 119.38 |
| | B | 7.62 | 6.01 | 5.67 | 1174.7 | 1205.3 | 617.02 | 588.24 | 1.997 | 2.44 | 10.78 | 71.05 | 18.17 | 28.95 | 37.24 | 18.17 | 46 | 680.38 | 0.76 | 517.09 | 3.9 | 132.59 |
| | C | 7.55 | 6.01 | 5.67 | 1173.7 | 1206.5 | 616.8 | 589.7 | 1.990 | 2.44 | 10.75 | 70.81 | 18.44 | 29.19 | 36.82 | 18.44 | 43 | 636.01 | 0.77 | 489.19 | 4.2 | 116.47 |
| | | | | | | | | | 1.994 | | | | | 29.07 | 37.03 | 18.31 | | | | 502.56 | 4.1 | 122.61 |
| 1 % | A | 7.74 | 6.01 | 5.67 | 1171.4 | 1204.8 | 618.48 | 586.27 | 1.998 | 2.44 | 10.79 | 71.08 | 18.13 | 28.92 | 37.31 | 18.13 | 50 | 739.54 | 0.75 | 553.73 | 3.6 | 153.81 |
| | B | 7.68 | 6.01 | 5.67 | 1175 | 1206.6 | 617.13 | 589.46 | 1.993 | 2.44 | 10.76 | 70.92 | 18.32 | 29.08 | 37.01 | 18.32 | 50 | 739.54 | 0.75 | 556.51 | 3.5 | 159.00 |
| | C | 7.84 | 6.01 | 5.67 | 1177.1 | 1210.8 | 620.65 | 590.16 | 1.995 | 2.44 | 10.77 | 70.96 | 18.27 | 29.04 | 37.09 | 18.27 | 52 | 769.12 | 0.74 | 570.11 | 3.3 | 172.76 |
| | | | | | | | | | 1.995 | | | | | 29.01 | 37.14 | 18.24 | | | | 560.12 | 3.5 | 161.86 |
| 2 % | A | 7.75 | 6.01 | 5.67 | 1175.4 | 1204.7 | 616.96 | 587.72 | 2.000 | 2.44 | 10.80 | 71.15 | 18.05 | 28.85 | 37.43 | 18.05 | 53 | 783.91 | 0.75 | 586.30 | 3.2 | 183.22 |
| | B | 7.69 | 6.01 | 5.67 | 1177.3 | 1208.2 | 618.24 | 589.94 | 1.996 | 2.44 | 10.78 | 71.00 | 18.23 | 29.00 | 37.16 | 18.23 | 55 | 813.50 | 0.75 | 611.14 | 3.4 | 179.75 |
| | C | 7.66 | 6.01 | 5.67 | 1178.4 | 1207.1 | 618.14 | 588.91 | 2.001 | 2.44 | 10.80 | 71.18 | 18.01 | 28.82 | 37.49 | 18.01 | 54 | 798.70 | 0.75 | 600.69 | 3.5 | 171.63 |
| | | | | | | | | | 1.999 | | | | | 28.89 | 37.36 | 18.10 | | | | 599.38 | 3.4 | 178.20 |
| 3 % | A | 7.81 | 6.01 | 5.67 | 1178 | 1209.8 | 619.52 | 590.32 | 1.995 | 2.44 | 10.78 | 70.99 | 18.23 | 29.01 | 37.15 | 18.23 | 57 | 843.08 | 0.74 | 624.23 | 3.3 | 189.16 |
| | B | 7.63 | 6.01 | 5.67 | 1178.2 | 1207.3 | 618.74 | 588.58 | 2.002 | 2.44 | 10.81 | 71.21 | 17.98 | 28.79 | 37.55 | 17.98 | 57 | 843.08 | 0.75 | 636.17 | 3.3 | 192.78 |
| | C | 7.63 | 6.01 | 5.67 | 1179.1 | 1209.6 | 621.17 | 588.39 | 2.004 | 2.44 | 10.82 | 71.29 | 17.89 | 28.71 | 37.70 | 17.89 | 56 | 828.29 | 0.76 | 630.88 | 3.0 | 210.29 |
| | | | | | | | | | 2.000 | | | | | 28.83 | 37.46 | 18.03 | | | | 630.43 | 3.2 | 197.41 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

LAMPIRAN 41 PENGUJIAN PERENDAMAN MARSHALL 48 JAM PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF GILSONITE

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| CAMPURAN ADITIF | SAMPel | Tinggi | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K | L | M | N | O | P | Q | R | S | T |
|-----------------|--------|--------|------|------|--------|--------|--------|--------|---------|------|-------|-------|-------|---------|----------|----------|------|--------|---------|-----------------|-----------|------------|
| | | (cm) | (%) | (%) | (gram) | (gram) | (gram) | (gram) | Density | | | | | VMA (%) | VFVA (%) | VITM (%) | Meas | | Koreksi | Stabilitas (kg) | Flow (cm) | MQ (Kg/mm) |
| 0% | A | 7.67 | 6.01 | 5.67 | 1177.4 | 1211.1 | 619.21 | 591.87 | 1.989 | 2.44 | 10.74 | 70.77 | 18.49 | 29.23 | 36.75 | 18.49 | 17 | 251.44 | 0.75 | 189.63 | 4.8 | 39.51 |
| | B | 7.55 | 6.01 | 5.67 | 1175.3 | 1207.8 | 617.56 | 590.2 | 1.991 | 2.44 | 10.75 | 70.84 | 18.40 | 29.16 | 36.88 | 18.40 | 19 | 281.03 | 0.77 | 216.16 | 4.6 | 46.99 |
| | C | 7.61 | 6.01 | 5.67 | 1174.5 | 1205.7 | 618.36 | 587.36 | 2.000 | 2.44 | 10.80 | 71.14 | 18.07 | 28.86 | 37.41 | 18.07 | 14 | 207.07 | 0.76 | 157.72 | 5.1 | 30.93 |
| | | | | | | | | | 1.993 | 2.65 | 0.00 | 75.18 | | 29.08 | 37.01 | 18.32 | | 0.00 | | 187.84 | 4.8 | 39.14 |
| 1% | A | 7.71 | 6.01 | 5.67 | 1176.3 | 1207.2 | 617.87 | 589.36 | 1.996 | 2.44 | 10.76 | 71.00 | 18.22 | 29.00 | 37.17 | 18.22 | 22 | 325.40 | 0.75 | 245.40 | 4.0 | 61.35 |
| | B | 7.65 | 6.01 | 5.67 | 1171.8 | 1206.8 | 618.75 | 588.03 | 1.993 | 2.44 | 10.76 | 70.89 | 18.34 | 29.11 | 36.97 | 18.34 | 20 | 295.82 | 0.75 | 222.73 | 4.5 | 49.49 |
| | C | 7.58 | 6.01 | 5.67 | 1177.6 | 1210.8 | 620.52 | 590.29 | 1.995 | 2.44 | 10.77 | 70.97 | 18.26 | 29.03 | 37.11 | 18.26 | 18 | 266.23 | 0.77 | 204.11 | 4.9 | 41.66 |
| | | | | | | | | | 1.995 | 2.65 | 0.00 | 75.22 | | 29.04 | 37.08 | 18.27 | | 0.00 | | 224.08 | 4.5 | 50.83 |
| 2% | A | 7.52 | 6.01 | 5.67 | 1175.4 | 1205.8 | 617.96 | 587.88 | 1.999 | 2.44 | 10.80 | 71.13 | 18.08 | 28.87 | 37.39 | 18.08 | 27 | 399.35 | 0.77 | 306.50 | 4.4 | 69.66 |
| | B | 7.74 | 6.01 | 5.67 | 1178.3 | 1208.4 | 619.24 | 589.14 | 2.000 | 2.44 | 10.80 | 71.15 | 18.05 | 28.85 | 37.44 | 18.05 | 23 | 340.19 | 0.75 | 254.72 | 4.6 | 55.37 |
| | C | 7.73 | 6.01 | 5.67 | 1177.4 | 1209.2 | 618.84 | 590.31 | 1.994 | 2.44 | 10.77 | 70.95 | 18.28 | 29.05 | 37.08 | 18.28 | 28 | 414.14 | 0.75 | 309.92 | 4.3 | 72.07 |
| | | | | | | | | | 1.998 | 2.65 | 0.00 | 75.35 | | 28.92 | 37.30 | 18.13 | | 0.00 | | 290.38 | 4.4 | 65.70 |
| 3% | A | 7.74 | 6.01 | 5.67 | 1176.3 | 1205.8 | 617.52 | 588.32 | 1.999 | 2.44 | 10.80 | 71.13 | 18.07 | 28.87 | 37.40 | 18.07 | 29 | 428.93 | 0.75 | 320.81 | 4.3 | 74.61 |
| | B | 7.71 | 6.01 | 5.67 | 1178.5 | 1207.6 | 619.74 | 587.88 | 2.005 | 2.44 | 10.83 | 71.32 | 17.86 | 28.68 | 37.74 | 17.86 | 33 | 488.10 | 0.75 | 366.28 | 4.0 | 91.57 |
| | C | 7.69 | 6.01 | 5.67 | 1179.6 | 1210.9 | 620.2 | 590.66 | 1.997 | 2.44 | 10.78 | 71.05 | 18.17 | 28.95 | 37.25 | 18.17 | 31 | 458.52 | 0.75 | 344.65 | 4.1 | 84.06 |
| | | | | | | | | | 2.000 | | | | | 28.84 | 37.46 | 18.03 | | | | 343.91 | 4.1 | 83.41 |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

**LAMPIRAN 42 PENGUJIAN IRS 24 JAM PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN
ADITIF GILSONITE**

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| Kadar Gilsonite (%) | Immersion (Jam) | Nilai IKS (%) | Nilai IDP (%) |
|---------------------|-----------------|---------------|---------------|
| 0 | 0.5 | 100 | 0.412 |
| | 24 | 90.33 | |
| 1 | 0.5 | 100 | 0.398 |
| | 24 | 90.64 | |
| 2 | 0.5 | 100 | 0.397 |
| | 24 | 90.67 | |
| 3 | 0.5 | 100 | 0.390 |
| | 24 | 90.83 | |

| Kadar Gilsonite (%) | Immersion (Jam) | Nilai IKS (%) | Penurunan (%) | Waktu (Jam) | IDK (%) | Sa (%) |
|---------------------|-----------------|---------------|---------------|-------------|---------|--------|
| 0 | 0.5 | 100 | 9.67 | 23.5 | 4.736 | 95.264 |
| | 24 | 90.33 | | | | |
| 1 | 0.5 | 100 | 9.36 | 23.5 | 4.585 | 95.415 |
| | 24 | 90.64 | | | | |
| 2 | 0.5 | 100 | 9.33 | 23.5 | 4.566 | 95.434 |
| | 24 | 90.67 | | | | |
| 3 | 0.5 | 100 | 9.17 | 23.5 | 4.487 | 95.513 |
| | 24 | 90.83 | | | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

**LAMPIRAN 43 PENGUJIAN IRS 48 JAM PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN
ADITIF GILSONITE**

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| <i>Kadar Gilsonite (%)</i> | <i>Immersion (Jam)</i> | <i>Nilai IKS (%)</i> | <i>Nilai IDP (%)</i> |
|----------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|
| 0 | 0.5 | 100 | 1.394 |
| | 48 | 33.77 | |
| 1 | 0.5 | 100 | 1.342 |
| | 48 | 36.26 | |
| 2 | 0.5 | 100 | 1.180 |
| | 48 | 43.93 | |
| 3 | 0.5 | 100 | 1.062 |
| | 48 | 49.55 | |

| <i>Kadar Gilsonite (%)</i> | <i>Immersion (Jam)</i> | <i>Nilai IKS (%)</i> | <i>Penurunan (%)</i> | <i>Waktu (Jam)</i> | <i>IDK (%)</i> | <i>Sa (%)</i> |
|----------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|--------------------|----------------|---------------|
| 0 | 0.5 | 100 | 66.23 | 47.5 | 32.769 | 67.231 |
| | 48 | 33.77 | | | | |
| 1 | 0.5 | 100 | 63.74 | 47.5 | 31.538 | 68.462 |
| | 48 | 36.26 | | | | |
| 2 | 0.5 | 100 | 56.07 | 47.5 | 27.744 | 72.256 |
| | 48 | 43.93 | | | | |
| 3 | 0.5 | 100 | 50.45 | 47.5 | 24.961 | 75.039 |
| | 48 | 49.55 | | | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 44 PENGUJIAN ITS PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF *GILSONITE*

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| CAMPURAN ADITIF | SAMPSEL | TINGGI | | | TINGGI RATA-RATA | DIAMETER RATA-RATA | PEMBACAAN DIAL | STABILITAS (Kg) | INDIRECT TTENSILE STRENGTH (Kpa) | ITS RATA -RATA (Kpa) |
|-----------------|---------|--------|------|------|------------------|--------------------|----------------|-----------------|----------------------------------|----------------------|
| | | 1 | 2 | 3 | | | | | | |
| 0% | A | 7.79 | 7.79 | 7.78 | 7.79 | 10.25 | 22 | 334.10 | 268.34 | 258.81 |
| | B | 7.69 | 7.71 | 7.66 | 7.69 | 10.16 | 23 | 341.96 | 272.65 | |
| | C | 7.54 | 7.59 | 7.62 | 7.58 | 10.21 | 20 | 297.02 | 235.46 | |
| 1% | A | 7.71 | 7.67 | 7.56 | 7.65 | 10.24 | 24 | 360.60 | 287.63 | 288.26 |
| | B | 7.63 | 7.56 | 7.61 | 7.60 | 10.25 | 24 | 357.42 | 282.84 | |
| | C | 7.11 | 7.08 | 7.07 | 7.09 | 10.18 | 25 | 370.66 | 294.32 | |
| 2% | A | 7.8 | 7.81 | 7.8 | 7.80 | 10.19 | 26 | 386.77 | 307.61 | 316.86 |
| | B | 7.66 | 7.65 | 7.6 | 7.64 | 10.18 | 25 | 371.69 | 295.78 | |
| | C | 7.71 | 7.74 | 7.73 | 7.73 | 10.19 | 29 | 434.28 | 347.19 | |
| 3% | A | 7.67 | 7.67 | 7.66 | 7.67 | 10.21 | 31 | 454.61 | 357.15 | 353.20 |
| | B | 7.72 | 7.72 | 7.74 | 7.73 | 10.20 | 29 | 426.00 | 335.28 | |
| | C | 7.61 | 7.61 | 7.6 | 7.61 | 10.16 | 32 | 466.49 | 367.18 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

LAMPIRAN 45 PENGUJIAN TSR 24 JAM PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF *GILSONITE*

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| CAMPURAN ADITIF | SAMPel | TINGGI | | | TINGGI RATA-RATA | DIAMETER RATA-RATA | PEMBACAAN DIAL | STABILITAS (Kg) | INDIRECT TENSILE STRENGTH (Kpa) | ITS RATA-RATA (Kpa) | TSR (%) |
|-----------------|--------|--------|------|------|------------------|--------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|---------------------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | | | | | | | |
| 0% | A | 7.38 | 7.38 | 7.4 | 7.39 | 10.18 | 14 | 210.81 | 169.44 | 162.78 | 62.89 |
| | B | 7.72 | 7.75 | 7.7 | 7.72 | 10.19 | 13 | 195.75 | 160.15 | | |
| | C | 7.47 | 7.38 | 7.39 | 7.41 | 10.18 | 13 | 195.75 | 158.74 | | |
| 1% | A | 7.31 | 7.35 | 7.34 | 7.33 | 10.19 | 16 | 240.93 | 194.79 | 196.24 | 68.08 |
| | B | 7.54 | 7.47 | 7.5 | 7.50 | 10.23 | 17 | 255.99 | 205.75 | | |
| | C | 7.21 | 7.27 | 7.33 | 7.27 | 10.22 | 16 | 240.93 | 188.18 | | |
| 2% | A | 7.53 | 7.53 | 7.53 | 7.53 | 10.21 | 19 | 286.10 | 236.85 | 223.88 | 70.66 |
| | B | 7.69 | 7.7 | 7.69 | 7.69 | 10.22 | 17 | 255.99 | 217.80 | | |
| | C | 7.54 | 7.54 | 7.54 | 7.54 | 10.20 | 18 | 271.04 | 217.00 | | |
| 3% | A | 7.8 | 7.74 | 7.76 | 7.77 | 10.18 | 19 | 194.01 | 250.21 | 251.97 | 71.34 |
| | B | 7.73 | 7.71 | 7.71 | 7.72 | 10.20 | 20 | 194.01 | 244.94 | | |
| | C | 7.57 | 7.56 | 7.54 | 7.56 | 10.17 | 21 | 177.84 | 260.75 | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042



LAMPIRAN 46 PENGUJIAN TSR 48 JAM PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF GILSONITE

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| CAMPURAN ADITIF | SAMPSEL | TINGGI | | | TINGGI RATA-RATA | DIAMETER RATA-RATA | PEMBACAAN DIAL | STABILITAS (Kg) | INDIRECT TENSILE STRENGTH (Kpa) | ITS RATA - RATA (Kpa) | TSR (%) |
|-----------------|---------|--------|------|------|------------------|--------------------|----------------|-----------------|---------------------------------|-----------------------|---------|
| | | 1 | 2 | 3 | | | | | | | |
| 0% | A | 7.38 | 7.38 | 7.4 | 7.39 | 10.18 | 8 | 121.33 | 98.07 | 110.62 | 42.74 |
| | B | 7.72 | 7.75 | 7.7 | 7.72 | 10.19 | 9 | 136.49 | 104.81 | | |
| | C | 7.47 | 7.38 | 7.39 | 7.41 | 10.18 | 11 | 166.82 | 128.99 | | |
| 1% | A | 7.31 | 7.35 | 7.34 | 7.33 | 10.19 | 12 | 181.99 | 145.52 | 142.27 | 49.35 |
| | B | 7.54 | 7.47 | 7.5 | 7.50 | 10.23 | 11 | 166.82 | 128.23 | | |
| | C | 7.21 | 7.27 | 7.33 | 7.27 | 10.22 | 13 | 197.15 | 153.05 | | |
| 2% | A | 7.53 | 7.53 | 7.53 | 7.53 | 10.21 | 15 | 227.48 | 177.12 | 171.49 | 54.12 |
| | B | 7.69 | 7.7 | 7.69 | 7.69 | 10.22 | 13 | 197.15 | 154.72 | | |
| | C | 7.54 | 7.54 | 7.54 | 7.54 | 10.20 | 15 | 227.48 | 182.62 | | |
| 3% | A | 7.8 | 7.74 | 7.76 | 7.77 | 10.18 | 17 | 194.01 | 203.12 | 209.68 | 59.37 |
| | B | 7.73 | 7.71 | 7.71 | 7.72 | 10.20 | 16 | 194.01 | 194.60 | | |
| | C | 7.57 | 7.56 | 7.54 | 7.56 | 10.17 | 19 | 177.84 | 231.32 | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

LAMPIRAN 47 PENGUJIAN CANTABRO LOSS PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF GILSONITE

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| Kadar Aditif % | | Berat Benda Uji | | Berat Sebelum Di Abrasi | Kehilangan Berat | Rata-Rata Kehilangan Berat (%) |
|----------------|---|-----------------|---------|-------------------------|------------------|--------------------------------|
| | | Mo | Mi | (Mo-Mi) | L | |
| 0 | A | 1126.12 | 794.82 | 331.3 | 29.42 | 28.43 |
| | B | 1151.82 | 832.27 | 319.55 | 27.74 | |
| | C | 1151.25 | 827.54 | 323.71 | 28.12 | |
| 1 | A | 1167.27 | 958.66 | 208.61 | 17.87 | 18.49 |
| | B | 1156.79 | 940.15 | 216.64 | 18.73 | |
| | C | 1151.25 | 933.86 | 217.39 | 18.88 | |
| 2 | A | 1180.5 | 1023.51 | 156.99 | 13.30 | 13.12 |
| | B | 1156.93 | 998.22 | 158.71 | 13.72 | |
| | C | 1160.49 | 1017.21 | 143.28 | 12.35 | |
| 3 | A | 1155.28 | 1040.18 | 115.1 | 9.96 | 10.55 |
| | B | 1156.47 | 1043.41 | 113.06 | 9.78 | |
| | C | 1160.11 | 1021.97 | 138.14 | 11.91 | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

**LAMPIRAN 48 PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN PADA CAMPURAN ASPAL PORUS
DENGAN ADITIF GILSONITE**

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Uji : 2021

| Kadar Aditif (%) | | Weight (g) | | | Berat Aspal Meleleh (m3-m1) (g) | Berat Total Sampel (m2-m1) (g) | Nilai Asphalt Flow Down (%) | Asphalt Flow Down Rata-rata (%) |
|------------------|--------|------------|---------|--------|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| | | m1 | m2 | m3 | | | | |
| | | 0 | 1 | 297.61 | 1453.95 | 300.22 | 2.61 | 1156.34 |
| 2 | 299.24 | 1462.03 | 302.46 | 3.22 | 1162.79 | 0.28 | | |
| 3 | 302.97 | 1471.54 | 305.52 | 2.55 | 1168.57 | 0.22 | | |
| 1 | 1 | 297.12 | 1450.88 | 299.51 | 2.39 | 1153.76 | 0.21 | 0.195 |
| 2 | 299.14 | 1451.34 | 301.84 | 2.7 | 1152.2 | 0.23 | | |
| 3 | 302.35 | 1468.87 | 304.04 | 1.69 | 1166.52 | 0.14 | | |
| 2 | 1 | 297.14 | 1450.12 | 298.47 | 1.33 | 1152.98 | 0.12 | 0.136 |
| 2 | 303.05 | 1467.56 | 305.58 | 2.53 | 1164.51 | 0.22 | | |
| 3 | 298.57 | 1466.43 | 299.46 | 0.89 | 1167.86 | 0.08 | | |
| 3 | 1 | 299.2 | 1471.76 | 300.64 | 1.44 | 1172.56 | 0.12 | 0.121 |
| 2 | 300.73 | 1469.27 | 302.04 | 1.31 | 1168.54 | 0.11 | | |
| 3 | 305.65 | 1471.54 | 307.16 | 1.51 | 1165.89 | 0.13 | | |

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Prayogo Afang Prayitno, S.T. M.Sc.
NIK : 20 511 1303

Peneliti



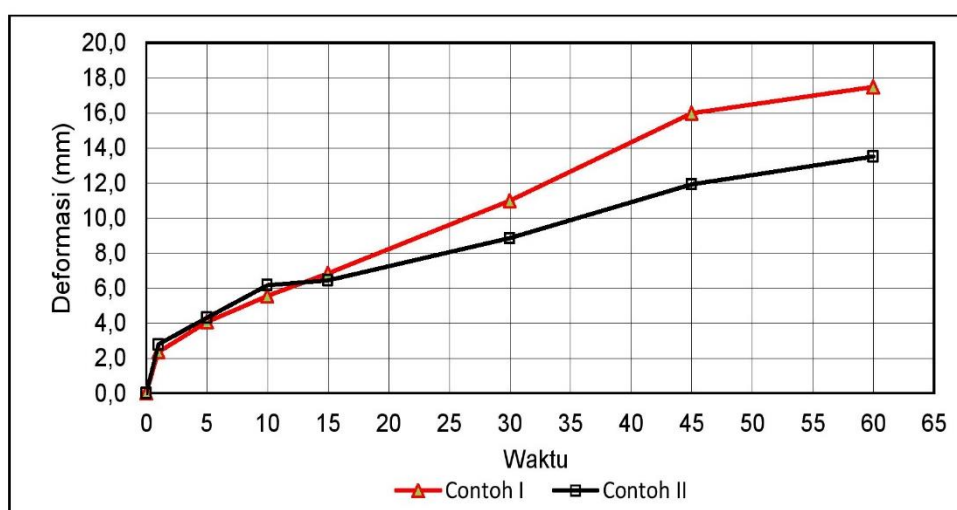
Muhamad Anugerah Ramadhan
NIM : 18914042

Lampiran 49 Pengujian *Wheel Tracking* pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif *Gilsonite 0%*

| | | |
|--|---|------------------|
|  <p>LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN & PERKERASAN JALAN</p> | <h1>FORMULIR</h1> | No. Formulir |
| | | Terbitan/Revisi |
| | PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS | Tanggal Revisi |
| | | Halaman 1 dari 4 |

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Univ. Islam Indonesia Yogyakarta
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Aspal Porus, Aspal Pen 60/70 + 0% Gilsonite
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Aspal Panas
4. Diterima Tanggal : 29 Juli 2021
5. Di uji Tanggal : 4 Agustus 2021
6. Metode Uji : **JRA, 1980**
7. Hasil Pengujian :

| Waktu | Passing | Jenis Contoh Uji | | Satuan |
|-------|-----------------------|------------------|-----------|-------------|
| | | Contoh I | Contoh II | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | mm |
| 1 | 21 | 2.35 | 2.78 | mm |
| 5 | 105 | 4.06 | 4.31 | mm |
| 10 | 210 | 5.54 | 6.16 | mm |
| 15 | 315 | 6.84 | 6.44 | mm |
| 30 | 630 | 10.98 | 8.85 | mm |
| 45 | 945 | 15.98 | 11.92 | mm |
| 60 | 1260 | 17.48 | 13.51 | mm |
| RD | = Kecepatan Deformasi | 0.1 | 0.106 | mm/menit |
| DS | = Stabilitas Dinamis | 420 | 396.226 | lintasan/mm |

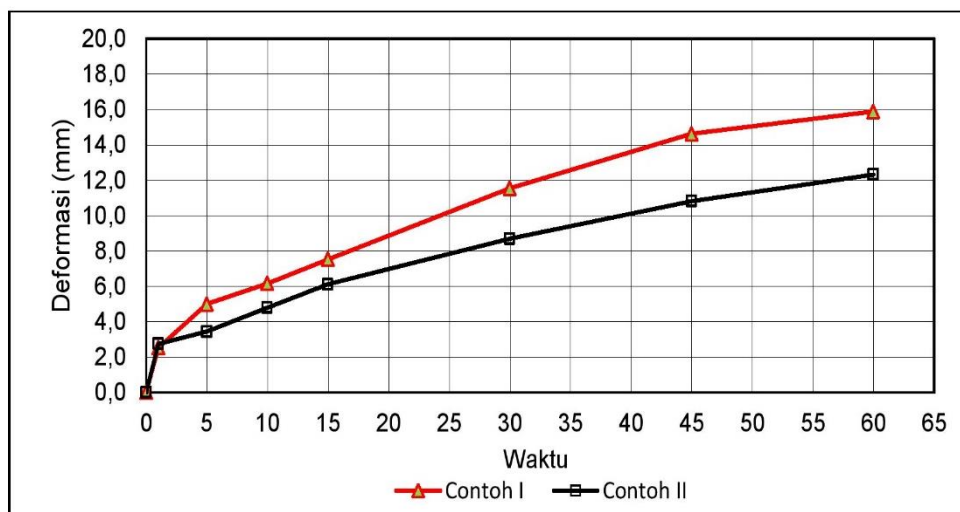


Lampiran 50 Pengujian *Wheel Tracking* pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif *Gilsonite* 1%

| | | |
|--|---|------------------|
|  <p>LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN & PERKERASAN JALAN</p> | <h1>FORMULIR</h1> | No. Formulir |
| | | Terbitan/Revisi |
| | PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS | Tanggal Revisi |
| | | Halaman 2 dari 4 |

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Univ. Islam Indonesia Yogyakarta
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Aspal Porus, Aspal Pen 60/70 + 1% *Gilsonite*
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Aspal Panas
4. Diterima Tanggal : 29 Juli 2021
5. Di uji Tanggal : 4 Agustus 2021
6. Metode Uji : **JRA, 1980**
7. Hasil Pengujian :

| Waktu | Passing | Jenis Contoh Uji | | Satuan |
|--------------------------|---------|------------------|-----------|-------------|
| | | Contoh I | Contoh II | |
| 0 | 0 | 0.00 | 0.00 | mm |
| 1 | 21 | 2.52 | 2.75 | mm |
| 5 | 105 | 5.00 | 3.44 | mm |
| 10 | 210 | 6.16 | 4.80 | mm |
| 15 | 315 | 7.53 | 6.12 | mm |
| 30 | 630 | 11.54 | 8.69 | mm |
| 45 | 945 | 14.62 | 10.82 | mm |
| 60 | 1260 | 15.88 | 12.32 | mm |
| RD = Kecepatan Deformasi | | 0.08 | 0.10 | mm/menit |
| DS = Stabilitas Dinamis | | 500.00 | 420.00 | lintasan/mm |

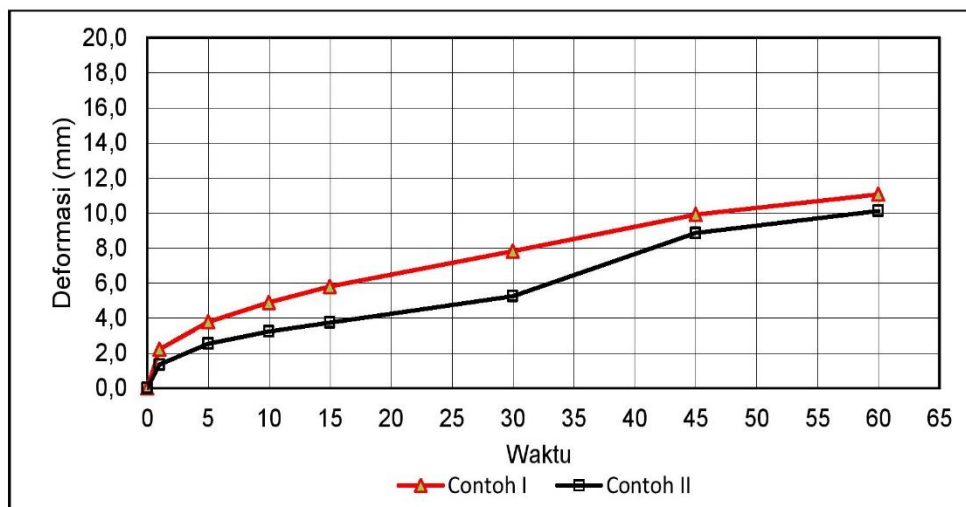


Lampiran 51 Pengujian *Wheel Tracking* pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif *Gilsonite 2%*

| | | |
|--|---|------------------|
|  <p>LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN & PERKERASAN JALAN</p> | <h1>FORMULIR</h1> | No. Formulir |
| | | Terbitan/Revisi |
| | PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS | Tanggal Revisi |
| | | Halaman 3 dari 4 |

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Univ. Islam Indonesia Yogyakarta
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Aspal Porus, Aspal Pen 60/70 + 2% Gilsonite
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Aspal Panas
4. Diterima Tanggal : 29 Juli 2021
5. Di uji Tanggal : 4 Agustus 2021
6. Metode Uji : **JRA, 1980**
7. Hasil Pengujian :

| Waktu | Passing | Jenis Contoh Uji | | Satuan |
|-------|-----------------------|------------------|-----------|-------------|
| | | Contoh I | Contoh II | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | mm |
| 1 | 21 | 2.22 | 1.34 | mm |
| 5 | 105 | 3.78 | 2.54 | mm |
| 10 | 210 | 4.89 | 3.24 | mm |
| 15 | 315 | 5.8 | 3.75 | mm |
| 30 | 630 | 7.82 | 5.25 | mm |
| 45 | 945 | 9.91 | 8.85 | mm |
| 60 | 1260 | 11.06 | 10.12 | mm |
| RD | = Kecepatan Deformasi | 0.077 | 0.085 | mm/menit |
| DS | = Stabilitas Dinamis | 547.826 | 496.063 | lintasan/mm |

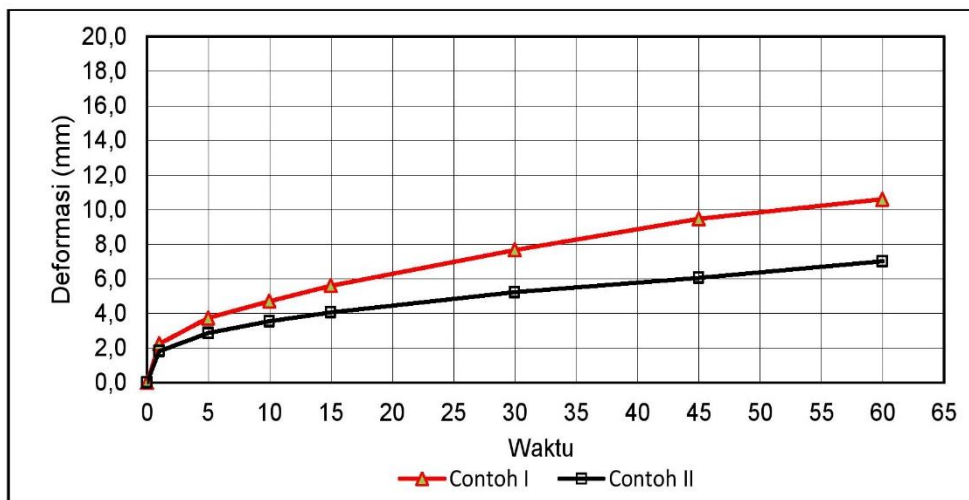


Lampiran 52 Pengujian *Wheel Tracking* pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif *Gilsonite 3%*

| | | |
|--|---------------------------------------|------------------|
|  <p>LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN & PERKERASAN JALAN</p> | <h1>FORMULIR</h1> | No. Formulir |
| | | Terbitan/Revisi |
| | <h2>PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS</h2> | Tanggal Revisi |
| | | Halaman 4 dari 4 |

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Univ. Islam Indonesia Yogyakarta
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Aspal Porus, Aspal Pen 60/70 + 3% Gilsonite
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Aspal Panas
4. Diterima Tanggal : 29 Juli 2021
5. Di uji Tanggal : 4 Agustus 2021
6. Metode Uji : **JRA, 1980**
7. Hasil Pengujian :

| Waktu | Passing | Jenis Contoh Uji | | Satuan |
|--------------------------|---------|------------------|-----------|-------------|
| | | Contoh I | Contoh II | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | mm |
| 1 | 21 | 2.24 | 1.82 | mm |
| 5 | 105 | 3.74 | 2.86 | mm |
| 10 | 210 | 4.71 | 3.55 | mm |
| 15 | 315 | 5.6 | 4.06 | mm |
| 30 | 630 | 7.67 | 5.23 | mm |
| 45 | 945 | 9.46 | 6.06 | mm |
| 60 | 1260 | 10.6 | 7.01 | mm |
| RD = Kecepatan Deformasi | | 0.076 | 0.063 | mm/menit |
| DS = Stabilitas Dinamis | | 552.632 | 663.158 | lintasan/mm |



Lampiran 53 Hasil Uji Statistik Anova

| | | ANOVA | | | | |
|------------|----------------|----------------|----|-------------|--------|-------|
| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
| VIM | Between Groups | 0.162 | 3 | 0.054 | 2.144 | 0.173 |
| | Within Groups | 0.201 | 8 | 0.025 | | |
| | Total | 0.363 | 11 | | | |
| VFWA | Between Groups | 0.397 | 3 | 0.132 | 2.104 | 0.178 |
| | Within Groups | 0.503 | 8 | 0.063 | | |
| | Total | 0.901 | 11 | | | |
| VMA | Between Groups | 0.12 | 3 | 0.04 | 2.097 | 0.179 |
| | Within Groups | 0.153 | 8 | 0.019 | | |
| | Total | 0.273 | 11 | | | |
| DENSITY | Between Groups | 0 | 3 | 0 | 2.412 | 0.142 |
| | Within Groups | 0 | 8 | 0 | | |
| | Total | 0 | 11 | | | |
| STABILITAS | Between Groups | 31898.441 | 3 | 10632.814 | 60.283 | .001 |
| | Within Groups | 1411.046 | 8 | 176.381 | | |
| | Total | 33309.487 | 11 | | | |
| FLOW | Between Groups | 0.416 | 3 | 0.139 | 16.633 | 0.026 |
| | Within Groups | 0.067 | 8 | 0.008 | | |
| | Total | 0.482 | 11 | | | |
| MQ | Between Groups | 6892.355 | 3 | 2297.452 | 37.943 | .000 |
| | Within Groups | 484.4 | 8 | 60.55 | | |
| | Total | 7376.755 | 11 | | | |
| IRS | Between Groups | 0.41 | 3 | 0.137 | 0.019 | 0.996 |
| | Within Groups | 58.656 | 8 | 7.332 | | |
| | Total | 59.066 | 11 | | | |
| IDP | Between Groups | 0.001 | 3 | 0 | 0.016 | 0.997 |
| | Within Groups | 0.103 | 8 | 0.013 | | |
| | Total | 0.104 | 11 | | | |
| IDK | Between Groups | 0.097 | 3 | 0.032 | 0.019 | 0.996 |
| | Within Groups | 14.011 | 8 | 1.751 | | |
| | Total | 14.109 | 11 | | | |
| ITS | Between Groups | 14625.591 | 3 | 4875.197 | 13.561 | 0.002 |
| | Within Groups | 2876.093 | 8 | 359.512 | | |

| | | | | | | |
|----------------|----------------|------------|----|-----------|----------|-------|
| TSR | Total | 17501.684 | 11 | | | |
| | Between Groups | 132.012 | 3 | 44.004 | 1.79 | 0.227 |
| | Within Groups | 196.623 | 8 | 24.578 | | |
| Sta. Dinamis | Total | 328.635 | 11 | | | |
| | Between Groups | 52001.41 | 3 | 17333.803 | 217.167 | .000 |
| | Within Groups | 31995.04 | 4 | 798.76 | | |
| Kec. Deformasi | Total | 83996.45 | 7 | | | |
| | Between Groups | 249724.214 | 3 | 83241.405 | 1.18E+03 | .000 |
| | Within Groups | 282.507 | 4 | 70.627 | | |
| Cantabro | Total | 250006.721 | 7 | | | |
| | Between Groups | 722.923 | 3 | 240.974 | 65.414 | .001 |
| | Within Groups | 29.471 | 8 | 3.684 | | |
| AFD | Total | 752.394 | 11 | | | |
| | Between Groups | 0.028 | 3 | 0.009 | 4.32 | 0.043 |
| | Within Groups | 0.017 | 8 | 0.002 | | |
| | Total | 0.045 | 11 | | | |

