**TUGAS AKHIR**

# PEMANFAATAN LIMBAH ABU ARANG KAYU MINDI SEBAGAI *FILLER* PENGGANTI TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT (SMA)*
# *(UTILIZATION OF MINDI WOOD CHARCOAL ASH WASTE AS A SUBSTITUTE FILLER FOR THE CHARACTERISTICS OF STONE MATRIX ASPHALT (SMA) MIXTURE)*

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**


**Firmanda Yoga Pratama**
**20511087**



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL**
**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**
**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**2024**

**TUGAS AKHIR**

# PEMANFAATAN LIMBAH ABU ARANG KAYU MINDI SEBAGAI *FILLER* PENGGANTI TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT (SMA)*

# *(UTILIZATION OF MINDI WOOD CHARCOAL ASH WASTE AS A SUBSTITUTE FILLER FOR THE CHARACTERISTICS OF STONE MATRIX ASPHALT (SMA) MIXTURE)*

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**


**Firmanda Yoga Pratama**
**20511087**


**Disetujui :**

**Pembimbing**

**Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.**
**Tanggal :** 28 November 2024

**TUGAS AKHIR**

# PEMANFAATAN LIMBAH ABU ARANG KAYU MINDI SEBAGAI *FILLER* PENGGANTI TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *STONE MATRIX ASPHALT (SMA)*
# *(UTILIZATION OF MINDI WOOD CHARCOALASH WASTE AS A SUBSTITUTE FILLER FOR THE CHARACTERISTICS OF STONE MATRIX ASPHALT (SMA) MIXTURE)*

Disusun Oleh

**Firmanda Yoga Pratama**
**20511087**

Telah diterima sebagai salah satu persayatan
Untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 19 November 2024
Oleh Dewan Penguji

| Pembimbing | Penguji I | Penguji II |
|---|---|---|
| Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. | Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. | Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. |
| NIK : 215111307 | NIK : 145110101 | NIK : 205111303 |

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Ir. Yudalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM
NIK: 095110101

# PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian – bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau Sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian – bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang – undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 22 November 2024

Yan[illegible]aan,




Pinandita Yoga Pratama

(20511087)

# KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Puji Syukur kehadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, taufik dan hidaya-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Mindi Sebagai *Filler* Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt.* Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan penyusunan tugas akhir.
2. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji tugas akhir, yang telah memberikan arahan serta bimbingan untuk menyempurnakan tugas akhir.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng.) selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, yang telah memberikan semangat dan dukungan selama proses perkuliahan.
4. Para staff Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, yang telah membantu menyelesaikan penelitian.
5. Kedua orang tua, Bapak Moch Ikcwan dan Ibu Sari Yuniati serta keluarga, yang selalu memberikan motivasi, semangat, do'a, serta dukungan yang tulus dan tiada henti kepada penulis sehingga penulis bisa sampai pada titik ini, dan

6. Teman-teman yang selalu memberikan dukungan, motivasi, dan bantuan selama penyusunan laporan Tugas Akhir, Alfadino, Jodi, Dony, Wiji, Asid, Bibit, Gombil, Mukti.
7. *Last but not least, I wanna thank me, for believing in me. I wanna thank me for all doing this hard work. I wanna thank me for having no days off. I wanna thank me for never quitting. I wanna thank me for just being me at all times.*

Saya memohon maaf apabila terdapat kesalahan penulisan dan sebagaimana. Saya berharap Laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun orang lain.

Yogyakarta, 20 November 2024

Penulis,

Firmanda Yoga Pratama

(20511087)

# MOTTO

"Allah tidak mengatakan hidup ini mudah. Tetapi Allah berjanji, bahwa sesungguhnya Bersama kesulitan ada kemudahan."
(Q.S Al-Insyirah:5-6)

"Kalo pake analogi, hidup tuh kayak kita mau pergi terus pake aplikasi *maps*. Seakurat apa pun waktu yang diperkirakan di *maps* itu, selalu aja ada kemungkinan salahnya, entah bikin kita telat atau mungkin aja malah kecepetan. Jadi sesempurna apapun rencana yang kita pikirkan, seyakin apapun kita, hidup selalu kasih kita dua kemungkinan, berhasil ataupun gagal. Jadi ya udah, santai aja, rencanain, usahain, doain, yang penting belajar."
(Agoy)

"Masa depan kita gemilang, *the future is yours do your best*, berbuat yang baik jangan sakiti orang"
(Prabowo Subianto)

"Sukses itu bukan hanya berhasil meraih yang kita rencanakan, sukses juga adalah berhasil bangkit ketika kita jauh, itulah sukses"
(Anies R. Baswedan)

"*It will pass, everything you've gone thourgh it will pass"*
(Rachel Vennya)

"Orang lain tidak akan bisa paham *struggle* dan masa sulitnya kita, yang mereka ingin tahu hanya bagian *success stories.* Berjuanglah untuk diri sendiri walaupun tidak ada yang tepuk tangan. Kelak diri kita di masa depan akan sangat bangga dengan apa yang kita perjuangkan hari ini. Tetap berjuang yah!"

# DAFTAR ISI


Halaman Judul i
Halaman Pengesahan ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI v
DAFTAR TABEL ix
DAFTAR GAMBAR xi
DAFTAR LAMPIRAN xiii
DAFTAR NOTASI xiv
DAFTAR SINGKATAN xiv
ABSTRAK xvii
*ABSTRACT* xviii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 3
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6
2.1 Fungsi *Filler* Pada Campuran Aspal Agregat Aspal 6
2.2 Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Sebagai Material Pengganti *Filler* 7
2.3 Rekayasa Subtitusi Campuran *Stone Matrix Asphalt* 8
2.4 Penelitian Terkait Subtitusi *Filler* Terhadap Campuran Aspal 9
BAB III LANDASAN TEORI 13
3.1 Perkerasan Lentur Jalan 13
3.2 Limbah Abu Arang Kayu 13
3.3 Karakteristik Beton Aspal 14
3.3.1 Stabilitas (*Stability*) 15

3.3.2 Kelenturan (*Flexibility*) 15
3.3.3 Keawetan (*Durability*) 15
3.3.4 Kekesatan (*Skid Resistance*) 16
3.3.5 Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*) 16
3.3.6 Kedap Air (*Impermeabilitas*) 16
3.3.7 Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*) 16
3.4 Material Penyusun Perkerasan Lentur Jalan 17
3.4.1 Aspal 17
3.4.2 Agregat 18
3.4.3 Gradasi Agregat 19
3.4.4 Bahan Aditif 19
3.4.5 Bahan Pengisi (*filler*) 21
3.5 Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* 21
3.6 Karakteristik Pengujian *Marshall* 22
3.6.1 Stabilitas (*Stability*) 22
3.6.2 Kelelahan (*Flow*) 23
3.6.3 *VMA* (*Void in Mineral Agregate*) 23
3.6.4 Kepadatan (*Density)* 24
3.6.5 *Marshall Quotient* 25
3.6.6 *VITM (Void in the Total Mix*) 26
3.6.7 *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*) 27
3.7 Pengujian *Cantabro Loss (CL)* 28
3.8 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* 28
3.9 Pengujian Perendaman *Index of Retained Strength (IRS)* 29
3.10 Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)* 29
3.11 Pengujian *Draindown* 30
3.12 Pengujian *VCA* 30
3.13 Analisis Statistik *ANOVA* 31
BAB IV LANDASAN TEORI 32
4.1. Metode Penelitian 32
4.2. Metode Pengambilan Sampel 32

4.3. Metode Pengambilan Data 32
4.4. Tahapan Penelitian 33
4.4.1. Persiapan dan Pemeriksaan Material 33
4.4.2. Persiapan Alat 35
4.4.3. Perencanaan Campuran 36
4.4.4. Pembuatan Campuran Benda Uji 41
4.4.5. Pengujian *Marshall* 42
4.4.6. Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* 43
4.4.7. Pengujian *Tensile Strength Rasio (TSR)* 43
4.4.8. Pengujian *Indeks of Retained Strength (IRS)* 43
4.4.9. Pengujian *Void Coarse Aggregate Dry Rodded Condition (VCADRC)* 44
4.4.10. Pengujian *Draindown* 45
4.4.11. Pengujian *Cantabro loss* 46
4.5. Analisis Data 46
4.5.1 Analisis Karakteristik *Marshall* 46
4.5.2 Analisis Pengujian *IRS* 47
4.5.3 Analisis Pengujian *ITS* 47
4.5.4 Analisis Pengujian *TSR* 47
4.5.5 Analisis Pengujian *Draindown* 47
4.5.6 Analisis Pengujian *Contabro Loss* 47
4.6 Analisis Statistik *ANOVA* 48
4.7. Bagan Alir Penelitian 489
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 51
5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran 51
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 51
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat 51
5.1.3 Hasil Pengujian Campuran *Stone Matrix Asphalt* pada Kadar Aspal Optimum 54
5.2 Pembahasan 58
5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 58

5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar 60
5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus 62
5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik bahan Pengisi (*Filler*) 63
5.2.5 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Campuran Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum 63
5.2.6 Karakteristik *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum Campuran dengan Substitusi *Filler* AAK 71
5.2.7 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Draindown* 82
5.2.8 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Cantabro Loss* 83
5.2.9 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *ITS* 84
5.2.10 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *TSR* 86
5.2.11 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *IRS* 88
5.2.12 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *VCA* 91
5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* AAK 91
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 95
DAFTAR PUSTAKA 97

# DAFTAR TABEL


| | | |
|---|---|---|
| Tabel 2.1 | Penelitian Terkait Subtitusi *Filler* Terhadap Campuran Aspal | 10 |
| Tabel 3.1 | Kandungan Yang Terdapat Dalam Arang Kayu | 14 |
| Tabel 3.2 | Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70 | 17 |
| Tabel 3.3 | Persyaratan Agregat Kasar Pada Campuran *SMA* | 18 |
| Tabel 3.4 | Persyaratan Agregat Halus Pada Campuran *SMA* | 19 |
| Tabel 3.5 | Gradasi Agregat Gabungan Campuran *SMA* | 19 |
| Tabel 3.6 | Persyaratan Serat Selulosa | 20 |
| Tabel 3.7 | Persyaratan *Stone Matrix Asphalt* | 21 |
| Tabel 4.1 | Gradasi Campuran *Stone Matrix Asphalt* 25 mm | 37 |
| Tabel 4.2 | Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5% | 38 |
| Tabel 4.3 | Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5% | 39 |
| Tabel 4.4 | Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6% | 39 |
| Tabel 4.5 | Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5% | 39 |
| Tabel 4.6 | Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7% | 40 |
| Tabel 4.7 | Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO | 40 |
| Tabel 4.8 | Jumlah Benda Uji Untuk Setiap Pengujian KAO | 41 |
| Tabel 5.1 | Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70 | 51 |
| Tabel 5.2 | Hasil Pengujian Agregat Kasar | 52 |
| Tabel 5.3 | Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng | 52 |
| Tabel 5.4 | Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler* | 52 |
| Tabel 5.5 | Hasil Pengujian Untuk Menentukan KAO | 53 |
| Tabel 5.6 | Berat Debu Batu dan Abu Arang Kayu | 54 |
| Tabel 5.7 | Hasil Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu | 55 |
| Tabel 5.8 | Hasil Rekapitulasi Pengujian *Draindown* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu | 55 |

Tabel 5.9 Hasil Rekapitulasi Pengujian *IRS* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 56
Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Pengujian *ITS* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 56
Tabel 5.11 Hasil Rekapitulasi Pengujian *TSR* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 56
Tabel 5.12 Hasil Rekapitulasi Pengujian *Cantabro Loss* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 57
Tabel 5.13 Hasil Rekapitulasi Pengujian *VCA* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 57
Tabel 5.14 Rekapitulasi Data Uji Statistika ANOVA Satu Arah Untuk Pengaruh *Filler* Abu Arang Kayu Terhadap Karakteristik *Marshall* 58
Tabel 5.15 Rekapitulasi Data Uji Statistika ANOVA Satu Arah Untuk Pengaruh *Filler* Abu Arang Kayu Terhadap *IRS, ITS, TSR, CL*, dan *Draindown* 58
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* Abu Arang Kayu 91

# DAFTAR GAMBAR


Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai Stabilitas 23
Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow* 23
Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA* 24
Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Density* 25
Gambar 3.5 Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai *Marshall Quotient* 26
Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai *VITM* 26
Gambar 3.7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai *VFWA* 28
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Campuran *Stone Matrix Asphalt* 25 mm 37
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian 46
Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 53
Gambar 5.2 Limbah Abu Arang Kayu 54
Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas 64
Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow* 65
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *MQ* 66
Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VITM* 67
Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA* 68
Gambar 5.8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VCA* 69
Gambar 5.9 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Draindown* 70
Gambar 5.10 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *IRS* 71
Gambar 5.11 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Stabilitas 72
Gambar 5.12 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *Flow* 73
Gambar 5.13 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *MQ* 75
Gambar 5.14 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VITM* 76
Gambar 5.15 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VFWA* 78
Gambar 5.16 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VMA* 79

Gambar 5.17 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *Density* 72
Gambar 5.18 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *Draindown* 81
Gambar 5.19 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *CL* 83
Gambar 5.20 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *ITS* 85
Gambar 5.21 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *TSR* 87
Gambar 5.22 Grafik Hubungan antara Rendaman dan Stabilitas 89
Gambar 5.23 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *IRS* 89

# DAFTAR LAMPIRAN


Lampiran 1. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 101
Lampiran 2. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 102
Lampiran 3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 103
Lampiran 4. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 104
Lampiran 5. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 105
Lampiran 6. Pemeriksaan Kelarutan aspal dalam *TCE* 106
Lampiran 7. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar 107
Lampiran 8. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal 108
Lampiran 9. Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan Mesin *Los Angeles* 109
Lampiran 10. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus 110
Lampiran 11. Pemeriksaan *Sand Equivalent* 111
Lampiran 12. Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Debu Batu 112
Lampiran 13. Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Abu Arang Kayu 113
Lampiran 14. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *Marshall* 114
Lampiran 15. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *IRS* 115
Lampiran 16. Sifat Campuran Draindown 116
Lampiran 17. Sifat Campuran *Void Course Aggregate* (*VCA*) 117
Lampiran 18. Rekapitulasi Perhitungan KAO 118
Lampiran 19. Sifat Campuran Metode *Marshall* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 120
Lampiran 20. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *IRS* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 121
Lampiran 21. Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *IRS* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 122
Lampiran 22. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *ITS* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 123
Lampiran 23. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *TSR* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 124

Lampiran 24. Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *ITS* dan *TSR* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 125
Lampiran 25. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *Cantabro Loss* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 126
Lampiran 26. Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *Cantabro Loss* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 127
Lampiran 27. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *Draindown* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 128
Lampiran 28. Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan Metode *Draindown* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 129
Lampiran 29. Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan *Marshall* pada Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu 130
Lampiran 30. Hasil Analisis *ANOVA* Terhadap Karakteristik *Marshall* 131
Lampiran 31. Hasil Analisis *ANOVA* Terhadap *IRS*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro Loss*, dan *Draindown* 132

# DAFTAR NOTASI

$A_0$ = Konstanta

A = Persentase agregat dan aspal yang tertinggal (%)

B = Berat akhir piring penampung (gr)

C = Berat awal jumlah campuran yang diuji (gr)

a = Persentase aspal terhadap batu

b = Persentase aspal terhadap campuran

c = Berat benda uji sebelum direndam (gr)

d = Berat benda uji dalam keadaan jenuh (SSD) (gr)

e = Berat dalam air (gr)

f = Volume (cm3)

g = Berat isi sampel (gr/cc)

GCA = Berat jenis *bulk* dari fraksi campuran agregat kasar

Gmb = Berat jenis *bulk* dari campuran aspal yang telah dipadatkan

h = Berat jenis maksimum teoritis campuran

L = Persentase kehilangan berat (%)

l = Nilai *VMA* (%)

m = Nilai rongga terisi aspal *(VFWA*) (%)

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

Mo = Berat sebelum diabrasi (gr)

Mi = Berat setelah diabrasi (gr)

n = Nilai rongga dalam campuran *(VITM)* (%)

$P_{CA}$ = Persentase campuran agregat kasar dalam total campuran aspal

q = Nilai stabilitas (kg)

r = Nilai *flow* (mm)

r = Indeks penurunan stabilitas (%)

S1 = Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam

S2 = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam

S1 = Rata-rata nilai *ITS* tanpa rendaman

S2 = Rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg)

t1+1 = Periode perendaman

Vs = Volume silinder takaran ($m^3$)

Ws = Berat silinder takaran (kg)

Ws+w = Berat silinder takaran dengan air (kg)

Yw = Kepadatan atau berat satuan air pada suhu tertentu (kg/ $m^3$)

Yw = Berat satuan agregat kasar dalam kondisi *dry-rodded* (kg/ $m^3$)

# DAFTAR SINGKATAN

*ANOVA* = *Analysis of Variance*

*ITS* = *Indirect Tensile Strength*

*IRS* = *Index of Retained Strength*

KAO = Kadar Aspal Optimum

*MQ* = *Marshall Quotient*

*SMA* = *Stone Matrix Asphalt*

SNI = Standar Nasional Indonesia

*TSR* = *Tensile Strength Ratio*

*VITM* = *Void in the Total Mix*

*VFWA* = *Void Filled With Asphalt*

*VMA* = *Void in Mineral Agregate*

*VCA* = *Void in Coarse Aggregate*

$VCA_{DRC}$ = *Void Coarse Aggregate Dry Rodded Condition*

$VCA_{MIX}$ = *Void Coarse Aggregate Mix*

AAK = Abu Ampas Kayu

AAT = Abu Ampas Tebu

ASP = Abu Sekam Padi

# ABSTRAK

Meningkatnya pembangunan infrastuktur menuntut perkembangan dibidang transportasi. Jalan sebagai prasarana vital dalam bidang transportasi memerlukan inovasi-inovasi baru dalam meningkatkan mutu dan pelayanannya. Bahan pengisi (*filler*) pada campuran beton aspal dapat menjadi salah satu cara memodifikasi beton aspal untuk mendukung kekuatan campuran. Alternatif pengganti bahan pengisi (*filler*) yaitu abu arang kayu yang memiliki kandungan senyawa karbon nonpolar, mirip dengan senyawa karbon pada aspal. Kandungan dalam abu arang kayu ini memiliki kemampuan mengikat campuran dan mengisi rongga antara butiran agregat. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh abu arang kayu sebagai substitusi *filler* pengganti terhadap karakteristik campuran *SMA* dengan uji *Marshall, IRS, ITS, TSR, VCA, Draindown* dan *Cantabro Loss*.

Penelitian dimulai dengan pengujian fisik bahan agregat dan aspal, selanjutnya menentukan nilai KAO dengan parameter stabilitas*, flow, MQ, VITM, VMA, VCA, draindown, dan IRS.* Selanjutnya dilakukan pengujian berupa *marshall, ITS, TSR, IRS, VCA, draindown, dan cantabro loss* dengan substitusi *filler* abu arang kayu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Standar yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga (2018) Revisi 2.

Dari hasil penelitian ini didapatkan peningkatan pada nilai stabilitas campuran *SMA* seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti abu arang kayu hingga kadar 25% yaitu sebesar 1028,53 kg, lalu turun mulai pada kadar abu arang kayu 50% hingga 100% sampai nilai stabilitas 934,99 kg. Peningkatan nilai *flow* terjadi pada kadar abu arang kayu 25% hingga 100%. Nilai *MQ* cenderung sama seperti stabilitas. Nilai *IRS* pada kadar *filler* pengganti 0%, 25%, dan 50% mengalami peningkatan, dan di kadar 75% dan 100% mengalami penurunan tetapi, memenuhi spesifikasi Bina Marga (2018) Revisi 2 lebih dari 90%. Nilai *ITS* mengalami penurunan sampai kadar 100% dengan hasil 454,14 kPa . Nilai draindown cenderung mengalami penurunan hingga kadar 100% dengan hasil sebesar 0,03%. Nilai *CL* pada kadar *filler* pengganti abu arang kayu mengalami kenaikan seiring penambahan kadar *filler* dengan nilai paling besar pada kadar abu arang kayu 100% sebesar 15,59%, namun tetap memenuhi standar persyaratan Bina Marga yaitu < 20%. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan campuran dengan kadar *filler* abu arang kayu 25% lebih kuat daripada campuran tanpa abu arang kayu dalam menahan beban karena stabilitas yang tinggi namun dengan *flow* yang rendah campuran menjadi kurang plastis dan mudah retak (*cracking*). Sedangkan campuran dengan *filler* abu arang kayu 50% nilai stabilitas lebih tinggi dari pada campuran tanpa *filler* abu arang kayu dan nilai *flow* meningkat menjadikan campuran ini lebih tahan terhadap retak (*cracking*).

**Kata-kata kunci** : *Stone Matrix Asphalt*, Bahan Pengisi (*Filler*), Abu Arang Kayu,

# *ABSTRACT*

*The increase in infrastructure development demands development in the field of transportation. Roads as vital infrastructure in the transportation sector require new innovations in improving quality and service. Filler in asphalt concrete mixture can be one way to modify asphalt concrete to support the strength of the mixture. An alternative substitute for filler material is wood charcoal ash which contains nonpolar carbon compounds, similar to carbon compounds on asphalt. The content in this wood charcoal ash has the ability to bind the mixture and fill the cavities between the aggregate grains.*

*The purpose of this study is to determine the effect of wood charcoal ash as a substitute filler substitution on the characteristics of SMA mixture with Marshall, IRS, ITS, TSR, VCA, Draindown and Cantabro Loss tests. The research begins with physical testing of aggregate and asphalt materials, then determines the KAO value with stability, flow, MQ, VITM, VMA, VCA, draindown, and IRS parameters. Furthermore, tests were carried out in the form of marshall, ITS, TSR, IRS, VCA, draindown, and cantabro loss with 0%, 25%, 50%, 75%, and 100% wood charcoal ash filler substitutions. The standards used in this study refer to the Highway Specification (2018) Revision 2.*

*From the results of this study, an increase in the stability value of the SMA mixture was obtained as the filler content of wood charcoal ash substitute increased to 25%, which was 1028.53 kg, then decreased starting from the wood charcoal ash content of 50% to 100% to a stability value of 934.99 kg. The increase in flow value occurs at wood charcoal ash content of 25% to 100%. MQ values tend to be the same as stability. The IRS value at 0%, 25%, and 50% replacement filler levels has increased, and at 75% and 100% has decreased, but it meets the specifications of Bina Marga (2018) Revision 2 by more than 90%. The ITS value decreased to 100% with a result of 454.14 kPa. The value of the draindown tends to decrease to 100% with a result of 0.03%. The CL value in the filler level to replace wood charcoal ash has increased along with the addition of filler content with the largest value at 100% wood charcoal ash content of 15.59%, but still meets the Bina Marga requirement standard of < 20%. Based on the results of tests that have been carried out, mixtures with wood charcoal ash filler content are 25% stronger than mixtures without wood charcoal ash in bearing loads because of high stability, but with low flow, the mixture becomes less plastic and easy to crack (cracking). Meanwhile, mixtures with wood charcoal ash filler 50% have a higher stability value than mixtures without wood charcoal ash filler and the flow value increases making this mixture more resistant to cracking.*

***Keywords*** : *Stone Matrix Asphalt, Filler Materials, Wood Charcoal Ash,*

.

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Jalan memiliki peranan yang sangat vital dalam mendukung pertumbuhan ekonomi masyarakat, terutama dalam memenuhi berbagai kebutuhan, baik dalam hal distribusi barang maupun layanan. Infrastruktur jalan yang baik dan terhubung dengan efektif memungkinkan aliran barang dan jasa yang lancar, yang pada gilirannya mempermudah akses masyarakat terhadap produk dan layanan yang mereka butuhkan Utomo, dkk (2020). Ini merupakan infrastruktur vital dalam mendukung aktivitas transportasi dan konektivitas antara berbagai lokasi. Jalan memiliki peran utama dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk sosial, ekonomi, budaya, dan keamanan Alkhaly, dkk (2020). Namun, seiring berjalannya waktu, kualitas jalan mengalami penurunan karena meningkatnya beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan.

Beberapa tahun terakhir, pemerintah telah mempercepat pembangunan infrastruktur jalan dan meningkatkan pemeliharaan jalan. Hal ini menyebabkan peningkatan permintaan akan material konstruksi, termasuk *filler* atau bahan pengisi dalam campuran aspal. *Filler*, yang juga dikenal sebagai bahan pengisi, dapat diperoleh melalui proses pemecahan baik batuan buatan maupun batuan alami. Bahan pengisi yang berbentuk butir halus dapat meningkatkan stabilitas terhadap gesekan atau ketahanan terhadap gaya geser, disebabkan oleh luas permukaan yang lebih besar Dayanti, dkk (2024). Untuk mengatasi kebutuhan *filler* yang semakin meningkat, alternatif selain abu batu sedang dicari, karena jumlahnya tidak mencukupi permintaan, terutama dengan keterbatasan produksi dari *quarry*. Salah satu alternatif yang dipilih oleh penulis adalah abu arang kayu, karena penggunaannya masih terbatas dan ketersediaannya cukup melimpah.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan Wijaya, (2021) dikatakan bahwa

abu arang diyakini memiliki sifat-sifat yang baik sebagai bahan pemadat karena kemampuannya untuk mengisi celah dan memiliki butiran yang dapat dihaluskan. Selain itu, penggunaan arang sebagai *filler* dalam pembuatan lapisan perkerasan jalan menunjukkan kinerja yang memadai dalam campuran aspal panas *HRS-WC*, karena memenuhi standar yang ditetapkan oleh Bina Marga.

Arang kayu merupakan residu yang terbentuk dari proses pembakaran kayu pada suhu tinggi, menghasilkan material berwarna hitam yang memiliki bobot ringan dan sekitar 80% komposisinya adalah karbon. Arang kayu ini terutama terdiri dari karbon, dengan kisaran 85% hingga 98%, sedangkan sisanya adalah abu atau zat kimia lainnya Putra dan Fidausi (2019).

Arang kayu mengandung senyawa karbon nonpolar, mirip dengan senyawa karbon pada aspal. Arang kayu merupakan material lokal yang mudah ditemukan dan harganya jauh lebih terjangkau dibandingkan dengan semen. Oleh karena itu, penggunaan abu arang kayu sebagai bahan *filler* pengganti dalam campuran aspal sangat ekonomis Nisumanti dan Yusuf (2019). Pemanfaatan abu arang kayu telah banyak diteliti sebagai *filler* campuran aspal antara lain Akifah, dkk (2024) sebagai efek penambahan karbon abu arang kayu ke dalam bitumen dan campuran aspal beton porous, Laras, dkk (2022) sebagai *filler* campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (Hrs-WC),* Rohman, dkk (2020) sebagai *filler* campuran *Asphalt AC – WC* dan *Asphalt HRS - WC*. Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penambahan abu arang kayu memberikan pengaruh positif terhadap sifat-sifat campuran.

*Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah jenis campuran aspal ini dirancang secara khusus untuk memberikan performa yang sangat baik dalam hal daya tahan, resistensi terhadap retakan, dan ketahanan terhadap deformasi pada permukaan jalan Sombo, dkk (2022). Campuran *SMA* memiliki beberapa karakteristik unggulan, termasuk ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi, *skid resitence* yang tinggi karena kandungan agregat kasar yang besar, dan kecenderungan untuk memiliki umur layanan yang lebih panjang. Keunggulan lainnya adalah tingginya kadar aspal dan penggunaan serat selulosa untuk stabilisasi. Dengan hal ini, *SMA* mampu melayani kendaraan berat dengan lebih efektif dan dapat menangani suhu

tinggi, sehingga cocok digunakan di daerah dengan iklim tropis Hidayat dan Kushari (2019). Sedangkan menurut Haura dan Fauziah (2018). *Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah campuran bergradasi senjang yang terdiri dari kerangka agregat kasar yang dapat mencapai 70% serta mortar bahan pengikat aspal dengan proporsi yang tinggi. Salah satu keunggulan campuran *SMA* adalah ketahanannya terhadap deformasi dan durabilitas yang baik, yang dihasilkan dari kekuatan rangka agregat dan rongga yang diisi dengan mastik yang mengandung kadar aspal tinggi. Kadar aspal yang tinggi ini juga meningkatkan fleksibilitas, sehingga memberikan ketahanan terhadap retak lelah.

Berdasarkan hal itu penelitian ini bertujuan untuk meneliti kelayakan abu arang kayu mindi sebagai *filler* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Pada penelitian ini diharapkan limbah dari pabrik *furniture* dapat dimanfaatkan sebagai arang kayu yang dapat dimanfaatkan kembali dapat memiliki kinerja dan kualitas yang setara atau bahkan lebih baik daripada *filler* konvensional seperti semen atau serbuk batu.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian di atas, dapat dirumuskan masalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah abu arang kayu mindi sebagai pengganti *filler* terhadap karakteristik *Marshall* campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah abu arang kayu mindi sebagai pengganti *filler* terhadap nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Void in Coarse Aggregate (VCA)* campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* ?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah abu arang kayu mindi sebagai pengganti *filler* terhadap durabilitas campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah abu arang kayu mindi sebagai

pengganti *filler* terhadap karakteristik *Marshall* campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.

2. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah abu arang kayu mindi sebagai pengganti *filler* terhadap *nilai Indirect Tensile Strength (ITS) dan Void in Coarse Aggregate (VCA) campuran Stone Matrix Asphalt (SMA) ?*
3. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah abu arang kayu mindi sebagai pengganti *filler* terhadap durabilitas campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*?

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini akan menjadi sumber informasi dalam literatur mengenai penggunaan abu arang kayu sebagai material dalam pembuatan jalan, terutama sebagai *filler* dalam campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*.

## 1.5 Batasan Penelitian

Untuk memastikan kelancaran jalannya penelitian ini, beberapa batasan perlu ditetapkan sebagai berikut.

1. Peraturan yang digunakan adalah Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dan *AASSTHO* 2020.
2. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal Pertamina Pen 60/70.
3. Agregat kasar diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII.
4. Dalam perencanaan dan pengujian campuran karakteristik campuran menggunakan metode *Marshall* Standar.
5. Kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% terhadap berat campuran.
6. Serat Selulosa yang digunakan adalah pabrikasi VIATOP$^{66}$.
7. Tidak meneliti dan menguji kandungan senyawa kimia yang terkandung pada pabrikasi VIATOP$^{66}$.
8. Bahan pengisi yang digunakan berupa debu batu dan abu arang kayu mindi sebagai *filler* pengganti.
9. Filler debu batu disubstitusikan dengan limbah abu arang kayu mindi dengan

kadar 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dari berat agregat lolos saringan No. 200.

10. Limbah kayu mindi hasil pengolahan pabrik furniture PT. Karya Cipta Unggul Nusantara Kab. Demak.
11. Tinjauan pengujian terhadap durabilitas campuran aspal berdasarkan *IRS*, *TSR*, *draindown,* dan *cantabro loss.*
12. Tidak meneliti dan menguji kandungan unsur mineral yang terkandung pada limbah abu arang kayu mindi.
13. Bahan aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70.
14. Pengujian *Marshall*, *VCA*, *ITS* dan durabilitas campuran dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII
15. Pada penelitian ini tidak menguji stabilitas dinamis
16. Hanya meneliti *ANOVA* satu arah

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Fungsi *Filler* Pada Campuran Aspal Agregat Aspal

*Filler* atau bahan pengisi adalah mineral agregat yang biasanya melewati saringan dengan nomor 200 dan berperan dalam mengisi celah antara partikel agregat kasar. Tujuannya adalah untuk mengurangi ukuran celah, meningkatkan kepadatan, dan stabilitas dari campuran tersebut Sukirman (2016). Biasanya, *filler* terbuat dari material seperti semen *portland*, batu pecah, atau serbuk batu yang ditambahkan ke campuran aspal untuk meningkatkan kekuatan, kepadatan, dan stabilitasnya. *Filler* juga dapat membantu mengisi celah dan meningkatkan adhesi antara butiran aspal, sehingga meningkatkan kinerja jalan yang diperbaiki atau dibangun.

Hadiastari dan Fauziah (2018) penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dampak dari penambahan kadar *filler* pengganti abu sekam padi terhadap peningkatan nilai stabilitas dan *MQ*. Ditemukan bahwa pada kadar *filler* 75% dan 100%, terjadi penurunan nilai tersebut. Di sisi lain, nilai *flow* menunjukkan penurunan, tetapi pada kadar *filler* 75% dan 100%, terjadi peningkatan. Selama proses perendaman dalam air laut, nilai stabilitas, *flow*, dan *MQ* juga mengalami penurunan. Penurunan stabilitas paling signifikan terjadi pada kadar *filler* 100%, yaitu sebesar 25,07% setelah direndam selama 48 jam dan 35,51% setelah 96 jam. Nilai *flow* mengalami penurunan terbesar pada kadar *filler* 75%, yaitu sebesar 16,57% setelah 48 jam dan 18,24% setelah 96 jam. Penurunan nilai *MQ* terbesar tercatat pada kadar *filler* 25%, yakni 20,96% setelah 48 jam, dan pada kadar *filler* 50%, yang menunjukkan penurunan sebesar 28,59% setelah 96 jam. Semakin lama campuran *SMA* 0/11 direndam dalam air laut, semakin berkurang kemampuannya untuk menahan beban

Hidayati dan Fauziah (2018) melakukan penelitian terkait penggunaan *filler* abu sekam padi pada campuran *Stone Matrix Asphalt*. Dari penelitian ini variasi kadar semen yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, dan 75%. Nilai *Cantabro Loss*

yang dihasilkan untuk setiap kadar *filler* semen berturut-turut adalah 4,964%, 7,592%, 10,73% Dalam spesifikasi Bina Marga 2010, persyaratan kehilangan berat tidak boleh melebihi 20% agar memenuhi standar tersebut. Namun, pada campuran dengan kadar *filler* pengganti aspal sebesar 75%, persentase kehilangan berat mencapai 45,98%, yang melampaui batasan yang ditetapkan. Hasil penelitian ini memunjukkan bahwa kadar maksimum *filler* ASP dalam campuran *Stone Matrix Asphalt* (*SMA*) dimana nilai *cantabro loss* 0%, 25%, 50% masih memenuhi spesifikasi adalah maksimum 20% dan kadar 75% tidak memenuhi spesifikasi.

## 2.2 Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Sebagai Material Pengganti *Filler*

Abu arang kayu mampu mengisi ruang kosong di antara butiran-butiran agregat yang membentuk campuran dalam struktur jalan, termasuk dalam komponen struktur terbawah seperti subbase. Fungsi lain dari abu arang kayu adalah memiliki senyawa karbon nonpolar sama seperti senyawa karbon pada aspal yang menyebabkan abu arang kayu layak digunakan sebagai bahan kompaktor saat menjadi *filler*. Abu arang kayu merupakan hasil pembakaran dari sisa hasil pengolahan pabrik kayu. Selain itu abu arang kayu juga mudah diperoleh dan disimpan karena merupakan bahan limbah yang sudah jarang digunakan lagi. Hal inilah yang menyebabkan abu arang kayu cocok digunakan sebagai bahan pengisi campuran aspal.

Putra dan Fidausi (2019) penelitian ini bertujuan untuk menguji penggunaan serbuk arang kayu sebagai *filler* dalam campuran aspal sebagai alternatif pengganti semen, dengan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2010 (Divisi VI). Dalam variasi penelitian ini, digunakan serbuk arang kayu dengan kandungan 10%. Hasil uji *Marshall* menunjukkan bahwa campuran dengan penambahan serbuk arang kayu 10% memenuhi persyaratan yang ditetapkan dalam Spesifikasi Bina Marga 2010. Pada benda uji dengan 10% serbuk arang kayu, diperoleh nilai *VIM* sebesar 5,32%, *VMA* sebesar 17,81, *Void Filled* sebesar 70,18%, stabilitas sebesar 1354, *Flow* sebesar 3,17, *Marshall Quetiont* sebesar 427,5, dan tebal selimut aspal sebesar

8,020. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan serbuk arang kayu sebesar 10% meningkatkan nilai uji *Marshall.*

Rohman, dkk (2020) meneliti penggunaan *filler* arang kayu dalam campuran Aspal *HRS – WC* dan Aspal *AC – WC.* Penelitian ini menginvestigasi dampak peningkatan kadar *filler* arang kayu dalam campuran *AC – WC* dan campuran *HRS – WC* dengan variasi penambahan arang kayu sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2% dari total campuran. Analisis agregat dan aspal dilakukan untuk menentukan kadar optimum aspal, yang menghasilkan nilai kadar optimum aspal *AC-WC* sebesar 5,30% dan *HRS-WC* sebesar 7,89%. Hasil uji *Marshall* pada campuran *AC-WC* menunjukkan bahwa stabilitas optimum adalah 1511,9 kg pada kadar *filler* 0%, dan menurun seiring dengan penambahan *filler* 0,5%, 1%, 1,5%, 2%. Sementara pada campuran *HRS-WC*, stabilitas optimum adalah 1899,17 kg pada kadar *filler* 0%, dan juga mengalami penurunan seiring dengan penambahan filler 0,5%, 1%, 1,5%, 2%.

Laras, dkk (2022) berdasarkan hasil penelitian, pada pengujian pertama diperoleh kadar aspal (KAO) sebesar 7,10% dengan *filler* sebesar 4,35% dari berat total campuran. Kemudian, pada pengujian kedua dilakukan variasi penambahan kadar *filler* arang kayu tumbuk sebesar 6%, 8%, dan 10% dari berat total agregat. Hasilnya menunjukkan bahwa kadar penambahan arang kayu tumbuk maksimum yang memenuhi persyaratan spesifikasi adalah pada kadar 8%. Dari hasil pembacaan alat *Test Marshall*, terjadi peningkatan stabilitas lebih dari 600 kg/mm, peningkatan nilai *flow* menjadi 0,03 mm, penurunan rongga dalam campuran (*VIM*) sebesar 1,47%, penurunan rongga antar agregat (*VMA*) sebesar 0,92%, peningkatan rongga terisi aspal (*VFB*) sebesar 6,1%, dan peningkatan hasil bagi *Marshall* sebesar 12,31 kg/mm.

## 2.3 Rekayasa Subtitusi Campuran *Stone Matrix Asphalt*

Berdasarkan (SNI 8129:2015), *Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah jenis campuran aspal panas untuk lapis perkerasan. Campuran ini terdiri dari dua komponen utama, agregat kasar sebagai kerangka utama dan bahan pengikat berupa aspal pen 60/70. Proporsi penggunaan aspal dalam campuran ini cenderung tinggi.

Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* adalah jenis beton aspal yang memiliki sekitar 70% hingga 80% kandungan agregat kasar dan sekitar 11% bahan pengisi. Kekuatan campuran *SMA* terletak pada ketahanannya terhadap deformasi dan tingkat resistensi gesek yang tinggi, yang disebabkan oleh kandungan besar agregat kasarnya. Selain itu, karena memiliki kandungan aspal yang tinggi, campuran ini cenderung memiliki umur pakai yang lebih lama. Dengan penambahan serat selulosa untuk stabilisasi, campuran *SMA* dapat mengakomodasi kendaraan berat dengan lebih baik Abdillah (2018).

Hidayat dan Kushari (2019) meneliti penggunaan abu ampas tebu sebagai pengganti *filler* dalam campuran *Stone Matrix Asphalt*. Ditemukan bahwa campuran dengan kadar *filler* abu ampas tebu sebesar 25% menunjukkan kekuatan yang lebih tinggi daripada campuran tanpa abu ampas tebu dalam menahan beban, berkat stabilitas yang meningkat. Namun, kekurangan campuran tersebut adalah kurangnya plastisitas dan kemungkinan retak yang lebih mudah terjadi. Di sisi lain, campuran dengan kadar *filler* abu ampas tebu 50% menunjukkan peningkatan stabilitas dibandingkan dengan campuran tanpa *filler* abu ampas tebu, sementara nilai plastisitas meningkat. Hal ini membuat campuran tersebut lebih tahan terhadap retakan.

## 2.4 Penelitian Terkait Subtitusi *Filler* Terhadap Campuran Aspal

Adapun perbedaan penelitian ini dengan penelitian yang terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1 dihalaman selanjutnya sebagai berikut.

**Tabel 2.1 Penelitian Terkait Subtitusi *Filler* Terhadap Campuran Aspal**

| No | Aspek | Peneliti | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Laras dkk. (2022) | Putra dan Fidausi (2019) | Hidayat dan Kushari (2019) | Rohman dkk. (2020) | Septiani dkk. (2021) | Tahir dkk (2018) | Pratama dan Hadi (2024) |
| 1 | Judul | Karakteristik *Marshall* Pada Campuran *HRS-WC* Dengan Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi (*Filler*) | Studi *Eksperimental* Penambahan Serbuk Arang Kayu Dengan Kadar 10% Terhadap *Filler* Semen Pada Campuran Perkerasan *AC-WC* | Analisis Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt* Dengan Abu Ampas Tebu Sebagai *Filler* | Penggunaan *Filler* Arang Kayu Pada Aspal *HRS – WC* dan Aspal *AC - WC* | Penggunaan *Styrofoam* dan Abu Serbuk Kayu Pada Campuran Laston Lapis Aus Dengan Metode Pencampuran Basah | Karakteristik *Draindown* Campuran *Stone Matrix Asphalt* (*SMA*) Yang Menggunakan *Filler* Abu-Batu Dan Semen | Pemanfaatan Limbah Abu Arang Kayu Mindi Sebagai *Filler* Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* |
| 2 | Jenis Campuran | *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (Hrs-WC)* | *Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)* | *Stone Matrix Asphalt* | *Asphalt AC - WC dan Asphalt HRS - WC* | Laston Lapis Aus *(AC – WC)* | *Stone Matrix Asphalt* | *Stone Matrix Asphalt* |
| 3 | Bahan Yang Digunakan | Arang Kayu Tumbuk | Serbuk Arang Kayu | Abu Ampas Tebu | Arang Kayu | *Styrofoam* dan Abu Serbuk Kayu | Abu Batu dan Semen | Abu Arang Kayu Mindi |
| 4 | Pengujian | Karakteristik *Marshall* | Karakteristik *Marshall* | *Marshall, ITS, IRS,* dan *Cantabro* | Karakteristik *Marshall* | Karakteristik *Marshall* | *Marshall* dan Uji *Draindown* | *Marshall, ITS, IRS, Cantabro, VCA, TSR, Draindown* |

Sumber : Laras dkk. (2022), Putra dan Fidausi (2019), Hidayat dan Kushari (2019), Rohman dkk. (2020), Septiani dkk. (2021), Tahir dkk. (2018)

**Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Subtitusi Filler Terhadap Campuran Aspal**

| No | Aspek | Peneliti | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Laras dkk. (2022) | Putra dan Fidausi (2019) | Hidayat dan Kushari (2019) | Rohman dkk. (2020) | Septiani dkk. (2021) | Tahir dkk (2018) | Pratama dan Hadi (2024) |
| 5 | Hasil | Berdasarkan penelitian yang dilakukan, ditemukan bahwa penggunaan *filler* sebesar 4,35% dari berat total campuran pada pengujian pertama menghasilkan Kekuatan Awal (KAO) sebesar 7,10%. Pada pengujian kedua, variasi kadar *filler* arang kayu tumbuk ditambahkan sebesar 6%, 8%, dan 10% dari berat total agregat. Hasil uji menunjukkan bahwa kadar penambahan arang kayu tumbuk yang memenuhi persyaratan spesifikasi adalah | Berdasarkan data uji *Marshall* yang diperoleh, diketahui bahwa penggunaan serbuk arang kayu dengan kadar 10% memenuhi persyaratan sesuai Spesifikasi Bina Marga 2010. Pada benda uji dengan kadar serbuk arang kayu 10%, tercatat *Volume Void in Mix (VIM)* sebesar 5,32%, *Volume Void in Mineral Aggregate (VMA)* sebesar 17,81%, *Void Filled* (VF) sebesar 70,18%, stabilitas sebesar 1354 kg, *Flow* sebesar 3,17 mm, *Marshall Quotient (MQ*) sebesar | Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar *filler* abu ampas tebu hingga 25% mencapai 39,73%, setara dengan 1199,484 kg. Namun, persentase tersebut mulai menurun ketika kadar abu ampas tebu mencapai 50% dan 75%, dengan nilai stabilitas turun hingga 901,116 kg. Terjadi peningkatan nilai *flow* pada kadar *filler* abu ampas tebu 50% dan 75%. Nilai *MQ* menunjukkan pola yang serupa dengan stabilitas. | Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penambahan *filler* arang kayu dalam campuran *AC-WC* dan campuran *HRS-WC* dengan variasi penambahan arang kayu sebesar 0%; 0,5%; 1%; 1,5%; 2% dari total campuran. Melalui pemeriksaan agregat dan aspal, diperoleh kadar optimum aspal sebesar 5,30% untuk *AC-WC* dan 7,89% untuk *HRS-WC*. | Dari penelitian ini, ditemukan bahwa kadar aspal optimum (KAO) adalah 6,50%. Campuran terbaik dari abu serbuk kayu (ASK) dan semen Portland (PC) adalah dengan rasio 25% ASK dan 75% PC, menghasilkan KAO sebesar 6,05%. Nilai stabilitas tertinggi dicapai pada variasi *styrofoam* sebesar 9% dengan KAO 6,50%, mencapai | Ditemukan bahwa semakin tinggi kadar semen dalam campuran, semakin tinggi nilai *draindown* campuran *SMA*. Nilai *draindown* yang tercatat untuk setiap kadar *filler* semen secara berurutan adalah 0,136%, 0,236%, 0,784%, 1,455%, 1,066%, dan 1,697%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar maksimum *filler* semen dalam campuran | Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu arang kayu sebagai filler meningkatkan stabilitas campuran SMA hingga kadar 25% (1028,53 kg) sebelum menurun pada kadar 50%-100% (934,99 kg). Flow dan porositas meningkat seiring penambahan filler, stabilitas dan flow yang seimbang sehingga lebih tahan retak. sementara IRS naik hingga kadar 50% tetapi tetap memenuhi |

Sumber : Laras dkk. (2022), Putra dan Fidausi (2019), Hidayat dan Kushari (2019), Rohman dkk. (2020), Septiani dkk. (2021), Tahir dkk. (2018)

**Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Subtitusi Filler Terhadap Campuran Aspal**

| No | Aspek | Peneliti | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Laras dkk. (2022) | Putra dan Fidausi (2019) | Hidayat dan Kushari (2019) | Rohman dkk. (2020) | Septiani dkk. (2021) | Tahir dkk (2018) | Pratama dan Hadi (2024) |
| 5 | Hasil | 8%. Dalam hal pembacaan alat Test meningkat lebih dari 600 kg/mm, nilai *flow* meningkat menjadi 0,03 mm, volume rongga dalam campuran *(VIM)* mengalami penurunan sebesar 1,47%, volume rongga antar agregat *(VMA)* menurun sebesar 0,92%, volume rongga yang terisi aspal *(VFB)* meningkat sebesar 6,1%, dan hasil bagi *Marshall* meningkat sebesar 12,31 kg/mm. | 427,5 dan tebal selimut aspal sebesar 8,020 mm. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa penggunaan variasi serbuk arang kayu 10% mampu meningkatkan nilai uji *Marshall* | Secara Khusus nilai *IRS* pada kadar *filler* pengganti 0%, 25%, dan 50% adalah 95,051%, 97,318%, dan 97,794%, sesuai dengan standar Bina Marga (2010) yang mensyaratkan lebih dari 90%. Namun, pada kadar abu ampas tebu 75%, nilai *IRS* sebesar 88,280% belum mencapai standar Bina Marga. Nilai *ITS* mengalami peningkatan hingga kadar 50% dengan hasil 16,887 kg/cm2 tetap memenuhi standar persyaratan Bina Marga yang mensyaratkan nilai < 20% | ada campuran *AC – WC* menghasilkan stabilitas optimum sebesar 1511,9 kg pada penambahan *filler* 0%, yang kemudian menurun seiring dengan penambahan *filler* 0,5%, 1%, 1,5%, dan 2%. Sementara itu, pada campuran *HRS-WC*, nilai uji *Marshall* menunjukkan stabilitas optimum sebesar 1899,17 kg pada penambahan *filler* 0%, yang juga mengalami penurunan dengan penambahan *filler* 0,5 %, 1%, 1,5%, dan 2% | 1249,01 kg. Namun, nilai durabilitas pada tidak memenuhi spesifikasi, hanya sebesar 81,76%. Namun, kombinasi campuran styrofoam dengan *filler* ASK dan PC mencapai 96,51%, sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 4 tahun 2018 yang mensyaratkan nilai >90% | *Stone Matrix Asphalt (SMA),* yang masih memenuhi spesifikasi, adalah 20% | spesifikasi Bina Marga (>90%)meskipun menurun pada kadar 75%-100%. ITS dan draindown terus menurun hingga 454,14 kPa dan 0,03%. Campuran kadar 25% lebih stabil namun kurang plastis, sedangkan kadar 50% memiliki |

Sumber : Laras dkk. (2022), Putra dan Fidausi (2019), Hidayat dan Kushari (2019), Rohman dkk. (2020), Septiani dkk. (2021), Tahir dkk. (2018)

# BAB III
# LANDASAN TEORI

## 3.1 Perkerasan Lentur Jalan

Perkerasan lentur jalan merupakan jenis perkerasan yang didesain untuk menanggung beban kendaraan dan lalu lintas dengan menggunakan bahan *fleksibel*, seperti aspal Hermansyah, dkk (2022). Ketebalan perkerasan lentur dapat disesuaikan berdasarkan beban yang akan ditahan serta kondisi tanah di bawahnya. Keunggulan dari perkerasan lentur adalah kemampuannya untuk menanggulangi deformasi akibat beban kendaraan dan fluktuasi cuaca, serta mampu meredam getaran dan kebisingan dari lalu lintas Setiobudi, dkk (2020). Perawatan perkerasan lentur juga relatif mudah dan lebih ekonomis dibandingkan perkerasan kaku seperti beton. Menurut Sukirman (2010), secara umum, perkerasan lentur lebih cocok digunakan untuk jalan yang melayani lalu lintas dengan beban ringan hingga sedang. Contohnya adalah jalan perkotaan, jalan yang memiliki sistem utilitas di bawah perkerasan jalan, perkerasan bahu jalan, atau perkerasan yang dibangun secara bertahap.

## 3.2 Limbah Abu Arang Kayu

Arang kayu adalah bahan bakar yang dihasilkan dari proses pembakaran kayu dalam kondisi terbatas atau terkontrol, yang menghasilkan karbon padat. Proses ini menghilangkan sebagian besar air dan zat-zat volatil dari kayu, meninggalkan sisa yang kaya akan karbon. Arang kayu biasanya digunakan sebagai bahan bakar untuk memasak, pemanas, dan dalam beberapa aplikasi industri seperti pembuatan baja. Selain itu, arang kayu juga digunakan dalam berbagai aplikasi lain, termasuk pertanian dan pengolahan air.

Arang kayu memiliki sifat pengikat partikel dalam proses pemanasan karena strukturnya yang poros dan permukaannya yang besar. Sifat ini memungkinkan arang kayu untuk menyerap partikel-partikel kecil, zat-zat kimia, dan polutan dari udara atau larutan yang melewatinya. Arang kayu mindi, yang berasal dari pohon

mindi *(Melia azedarach),* merupakan sumber bahan bakar yang memiliki berbagai spesifikasi dan karakteristik menarik. Proses pembuatannya dilakukan melalui pembakaran kayu dalam kondisi terbatas oksigen (*pyrolysis*), yang menghilangkan air dan zat organik lainnya sehingga menghasilkan produk akhir yang padat. Arang ini memiliki kadar air rendah, sekitar 5-10%, dan kandungan karbon yang dapat mencapai 85-98%, menjadikannya lebih efisien saat dibakar. Selain itu, arang mindi adalah sumber energi terbarukan yang ramah lingkungan dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Dalam konsep perkerasan, arang kayu mindi dapat dimanfaatkan sebagai bahan tambahan yang inovatif untuk meningkatkan kualitas dan kinerja lapisan perkerasan, memiliki sifat fisik yang dapat berkontribusi terhadap kekuatan dan daya tahan material perkerasan. Dengan kadar air yang rendah dan kandungan karbon yang tinggi, arang kayu mindi dapat berfungsi sebagai bahan pengisi yang memperbaiki stabilitas dan daya dukung tanah.

Penggunaan arang kayu mindi dalam campuran perkerasan juga dapat membantu mengurangi berat total konstruksi, sehingga mengurangi beban pada struktur tanah di bawahnya. Selain itu, arang ini memiliki sifat penyerap, yang dapat meningkatkan kemampuan lapisan perkerasan dalam mengelola kelembapan, mencegah pembentukan genangan air, dan meningkatkan umur layanan jalan. Berikut ini adalah kandungan yang terdapat pada arang kayu dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

**Tabel 3.1 Kandungan Yang Terdapat Dalam Arang Kayu**

| Nama Senyawa | Nilai Kadar |
|---|---|
| Karbo (C) | 85 – 98 % |
| Hidrogen (H) | 0,2 - 5 % |
| Hidrokarbon (HC) | 1,53 – 5,67% |

Sumber : Jurnal Sifat Kimia dan Kualitas Arang Kayu (Efiyanti, dkk 2020)

## 3.3 Karakteristik Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal yang dicampur secara homogen, baik dengan atau tanpa tambahan bahan lainnya. Material-material pembentuk beton aspal dicampur bersama dalam suatu instalasi pencampur dengan suhu yang telah ditetapkan. Setelah dicampur,

campuran tersebut diangkut ke lokasi yang dituju dan kemudian dihamparkan di atas permukaan jalan. Selanjutnya, campuran tersebut dipadatkan secara menyeluruh menggunakan peralatan khusus seperti gilingan atau wals untuk menciptakan perkerasan jalan yang kokoh dan tahan lama. Sukirman (2016). Berikut merupakan karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal :

### 3.3.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas (*stability*) adalah kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang, alur, atau penurunan permukaan. Tingkat stabilitas yang diperlukan untuk suatu jalan bergantung pada volume lalu lintas yang dilaluinya; jalan dengan volume lalu lintas tinggi membutuhkan perkerasan yang lebih stabil, sedangkan jalan dengan volume lalu lintas rendah mungkin membutuhkan stabilitas yang lebih rendah.Stabilitas jalan dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk gesekan internal antara butir agregat yang memungkinkan mereka untuk saling mengunci, serta kohesi atau daya ikat aspal yang menjaga butir agregat terikat satu sama lain. Ini memastikan bahwa tekanan kontak antara butir agregat dipertahankan, menjaga integritas struktur perkerasan jalan.

### 3.3.2 Kelenturan (*Flexibility*)

Kelenturan (*flexibility*) kemampuan beton aspal untuk menyesuaikan diri terhadap deformasi atau tekanan yang timbul akibat beban, termasuk beban lalu lintas dan fluktuasi suhu. Ini merupakan karakteristik krusial dalam perkerasan jalan karena campuran aspal harus dapat menahan deformasi tanpa mengalami kerusakan yang serius, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan jalan dan memperpanjang umur pakai. Beberapa faktor yang memengaruhi kelenturan beton aspal meliputi jenis aspal yang digunakan, komposisi campuran, kepadatan campuran, dan kondisi suhu lingkungan. Selain itu, pemilihan bahan tambahan seperti aditif pengembang dan serat juga dapat mempengaruhi sifat kelenturan dari campuran aspal.

### 3.3.3 Keawetan (*Durability*)

Keawetan (*durability*) kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu

lintas seperti berat kendaraan, gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya film atau selimut aspal, banyaknya rongga dalam campuran, kepadatan dan kedap airnya campuran.

### 3.3.4 Kekesatan (*Skid Resistance*)

Kekesatan (*skid resistance*) adalah kemampuan suatu perkerasan jalan dalam memberikan gaya gesek terhadap ban kendaraan, sehingga kendaraan dapat bergerak dengan aman dan terkendali. Tahanan gesek ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk jenis aspal, agregat, dan pola permukaan jalan. Permukaan jalan yang kasar dan berpori cenderung memiliki tahanan gesek yang lebih tinggi, sementara permukaan yang halus dan licin dapat mengurangi tahanan gesek.

### 3.3.5 Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*) adalah kemampuan untuk menanggung lendutan berulang akibat beban lalu lintas tanpa mengalami kelelahan seperti pembentukan alur atau retakan. Untuk mencapai sifat ini, disarankan untuk meningkatkan kadar aspal Sukirman (2016). Dengan kata lain, beton aspal yang memiliki kandungan aspal yang lebih tinggi umumnya menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap kelelahan, sehingga mengurangi risiko terjadinya kerusakan seperti alur atau retakan akibat beban lalu lintas yang berulang-ulang.

### 3.3.6 Kedap Air (*Impermeabilitas*)

Kedap air (*impermeabilitas*) adalah kemampuan beton aspal untuk menahan masuknya air maupun udara ke dalam strukturnya. Penetrasi air dan udara dapat mempercepat penuaan aspal serta menyebabkan pengelupasan film atau lapisan aspal dari permukaan agregat. Jumlah rongga yang tersisa setelah proses pemadatan beton aspal dapat menjadi indikator tingkat kedapannya.

### 3.3.7 Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Kemudahan pelaksanaan (*workability*) adalah kemampuan campuran beton aspal untuk didistribusikan dan dipadatkan dengan mudah. Tingkat kemudahan

pelaksanaan dipengaruhi oleh viskositas aspal, respons aspal terhadap perubahan suhu, serta gradasi dan kondisi agregat. Jika terdapat kesulitan dalam pelaksanaan, dapat dilakukan revisi atau koreksi terhadap desain campuran Sukirman (2016).

## 3.4 Material Penyusun Perkerasan Lentur Jalan

Perkerasan lentur jalan adalah kombinasi berbagai material yang berbeda, yang direncanakan untuk menanggung beban lalu lintas dan memperpanjang masa pakai jalan. Biasanya, material penyusun perkerasan lentur meliputi agregat, aspal, dan *filler*. Pemilihan bahan perkerasan lentur bergantung pada beberapa faktor, seperti tingkat beban lalu lintas, kondisi lingkungan, dan faktor biaya. Oleh karena itu, memilih bahan perkerasan yang sesuai dapat meningkatkan masa pakai jalan dan mengurangi biaya perawatan.

### 3.4.1 Aspal

Aspal adalah bahan material padat atau setengah padat yang berfungsi sebagai perekat dalam pembuatan jalan. Aspal akan menjadi lembek dan meleleh ketika dipanaskan. Bahan ini dihasilkan dari proses penyulingan minyak bumi, sehingga memiliki penampilan serupa dengan minyak bumi, yakni berwarna hitam hingga coklat gelap. Sifat *viskoslastis* aspal merupakan kombinasi dari sifat kental (*viskos*) dan elastis, yang menentukan suhu di mana pencampuran aspal dengan agregat dapat dilakukan serta terbentuknya campuran yang homogen. Pada penelitian ini digunakan aspal pen 60/70. Berikut ini adalah persyaratan dari aspal keras pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 3.2 dibawah ini.

**Tabel 3.2 Persyaratan Aspal Keras Penetrasi 60/70**

| No | Jenis Pengujian | Standar | Nilai Persyaratan |
|---|---|---|---|
| 1 | Berat Jenis | SNI 2441 : 2011 | ≥1,0 |
| 2 | Penetrasi pada 25°C (0,1 mm) | SNI 2456:2011 | 60 - 70 |
| 3 | Daktilitas pada 25°C (cm) | SNI 2432:2011 | ≥100 |
| 4 | Titik nyala (°C) | SNI 2433:2011 | ≥232 |
| 5 | Kelarutan dalam TCE (%) | AASHTO T44-14 | ≥99 |
| 6 | Titik lembek (°C) | SNI 2434:2011 | ≥48 |

Sumber : Bina Marga (2018)

3.4.2 Agregat

Agregat adalah komponen utama dari struktur perkerasan jalan, menyumbang sekitar 90%-95% berdasarkan persentase berat, atau 75%-85% berdasarkan persentase volume. Oleh karena itu, kualitas perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh sifat agregat dan hasil dari campuran agregat dengan material lainnya Sukirman (2016).

Agregat memiliki fungsi sebagai bahan pengisi yang memberikan kekuatan, stabilitas, dan volume dalam campuran beton dan aspal, yang nantinya akan mempunyai peranan penting dalam menahan beban lalu lintas Agustian dan Agumaniza (2021). Agregat dibedakan menjadi agregat kasar dan agregat halus berdasarkan atas ukuran butirnya.

1. Agregat kasar

Adapun persyaratan dari agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.3 dibawah ini.

**Tabel 3.3 Persyaratan Agregat Kasar Pada Campuran *SMA***

| Pengujian | Standar | Nilai |
|---|---|---|
| Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium atau magnesium sulfat | SNI 3407:2008 | Maks.12 % |
| Abrasi dengan mesin *los angeles* | SNI 2417:2008 | Maks.30% |
| Kelekatan agregat terhadap aspal | SNI 2439:2011 | Min. 95 % |
| Angularitas | ASTM D 5821-01 | 100/90(1) |
| Partikel pipih dan lonjong (Perbandingan 1 : 5) | RSNI T-01-2005 | Maks. 5% |
| Material lolos ayakan No.200 | SNI ASTM C117:2012 | Maks.1 % |

Catatan :

1) 100/90 menunjukan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai bidang pecah dua atau lebih.

Sumber : Bina Marga (2018)

2. Agregat halus

Adapun persyaratan dari agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.4 dibawah ini.

**Tabel 3.4 Persyaratan Agregat Halus Pada Campuran *SMA***

| Pengujian | Standar | Nilai |
|---|---|---|
| Nilai setara pasir | SNI 03-4428-1997 | Min. 50% |
| Material lolos ayakan No. 200 | SNI ASTM C117 : 2012 | Maks. 10 % |
| Gumpalan lempung dan butir – butir mudah pecah dalam agregat | SNI 03-4141-1996 | Maks. 1 % |
| Uji kadar rongga tanpa pemadatan | SNI 03-6877-2002 | Min. 45% |

Sumber : Bina Marga (2018)

### 3.4.3 Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah susunan butir agregat yang disesuaikan sesuai dengan ukurannya. Proses gradasi agregat melibatkan pengujian dan analisis dengan menggunakan satu set ayakan, di mana ayakan terbesar ditempatkan di bagian atas dan ukurannya semakin mengecil ke bawah. Berikut ini merupakan persyaratan gradasi agregat untuk campuran *Stone Matrix Asphalt* dapat dilihat pada Tabel 3.5 dibawah ini.

**Tabel 3.5 Gradasi Agregat Gabungan Campuran *SMA***

| Ukuran Ayakan | | % Berat yang lolos | |
|---|---|---|---|
| *ASTM* | (mm) | *SMA* Kasar (Tebal rancangan min. 5,0 cm) | *SMA* Halus (Tebal rancangan min. 4,0 cm) |
| 1" | 25 | 100 | - |
| 3/4 " | 19 | 90-100 | 100 |
| 1/2 " | 12,5 | 50-88 | 90-100 |
| 3/8 " | 9,5 | 25-60 | 50-80 |
| No. 4 | 4,75 | 20-28 | 20-35 |
| No. 8 | 2,36 | 16-24 | 16-24 |
| No. 200 | 0,075 | 8-11 | 8-11 |

Sumber : Bina Marga (2018)

### 3.4.4 Bahan Aditif

Bahan aditif adalah material yang dicampurkan ke dalam campuran aspal dengan tujuan meningkatkan performa dan stabilitas aspal. Dalam pembuatan campuran *Stone Matrix Asphalt*, serat selulosa digunakan sebagai opsi bahan aditif yang dapat memberikan efek positif. Penggunaan serat selulosa bertujuan untuk meningkatkan titik lembek aspal, *viskositas*, dan mengurangi penetrasi Metekohy,

dkk (2022).

Viatop[66] merupakan serat selulosa yang telah dilapisi dengan bitumen melalui proses produksi khusus. Bitumen ini berfungsi untuk mendukung proses granulasi, memungkinkan pengendalian perilaku serat selama proses tersebut. Selain itu, bitumen ini juga menggantikan peran pengisi yang diperlukan untuk mengisi ruang di antara serat, yang penting untuk kelancaran proses dispersi selama pencampuran aspal. Viatop[66] terbuat dari arbocel dan bahan tambahan lainnya, dikemas dalam bentuk butiran silinder yang berwarna abu-abu kehitaman. *Arbocel* sendiri adalah serat selulosa yang juga dimanfaatkan sebagai bahan aditif dalam campuran aspal panas (Erikasari dkk, 2020). Tegalaksana (1994) menyatakan spesifikasi dari *Arbocel* adalah sebagai berikut :

1. Kadar selulosa : 75 – 80%
2. pH : 7,5 ± 1 (basah)
3. Panjang serat maksimum : 5000 mikron
4. Panjang serat rata-rata : 1100 mikron
5. Tebal serat rata – rata : 45 mikron
6. Ketahanan terhadap pemanasan: baik sampai 250℃

Berikut ini adalah persyaratan dari serat selulosa dapat dilihat pada Tabel 3.6 dibawah ini.

**Tabel 3.6 Persyaratan Serat Selulosa**

| Pengujian | Satuan | Persyaratan |
|---|---|---|
| Serat : | | |
| Panjang Serat | mm | Maks. 6,35 |
| Lolos ayakan No. 20 | % | 85 ± 10 |
| No. 40 | % | 40 ± 10 |
| No. 140 | % | 30 ± 10 |
| pH | - | 7,5 ± 1,0 |
| Absorsi minyak | - | 7,5 ± 1,0 kali berat serat selulosa |
| Kadar air | % | Maks. 5 |
| Bentuk pelet : | | |
| - Diameter | mm | 3,8 – 4,0 |
| - Panjang | mm | 5,9 – 6,1 |

Sumber : Bina Marga (2018)

### 3.4.5 Bahan Pengisi (*filler*)

Bahan pengisi (*filler*) ada penetrasi patalah mineral agregat yang biasanya melewati saringan no.200. Penggunaan *filler* ini bertujuan untuk mengisi celah antara partikel agregat kasar guna mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan, dan stabilitas campuran Kurniasari, dkk (2018). Celah udara pada agregat kasar diisi dengan partikel yang melewati saringan no.200, sehingga mengurangi ukuran celah udara dan meningkatkan kerapatan campuran Sukirman (2003).

## 3.5 Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*

*SMA* merupakan salah satu jenis campuran aspal beton panas yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal. Campuran ini membentuk mortar atau spesi dengan aspal sebagai bahan perekat, yang dicampur dalam keadaan panas. *SMA* digunakan sebagai lapisan permukaan (*wearing course*) yang ditujukan untuk memberikan ketahanan maksimal terhadap alur (*rutting*) dan abrasi akibat lalu lintas berat. Salah satu ciri khas dari *SMA* adalah kandungan agregat kasar yang tinggi, yang terkunci satu sama lain (*interlocks*), membentuk kerangka batu yang tahan terhadap deformasi permanen. *SMA* juga dikenal lebih tahan terhadap retak termal, yang sering terjadi di wilayah dengan fluktuasi suhu yang besar. Secara keseluruhan, *Stone Matrix Asphalt* adalah pilihan yang sangat efektif untuk perkerasan jalan dengan kebutuhan ketahanan jangka panjang, terutama di bawah tekanan lalu lintas yang berat dan lingkungan yang menantang. Berikut ini adalah persyaratan dari *Stone Matrix Asphalt* dapat dilihat pada Tabel 3.7 dibawah ini.

**Tabel 3.7 Persyaratan *Stone Matrix Asphalt***

| Sifat – sifat campuran | | Persyaratan | |
|---|---|---|---|
| | | *SMA* | *SMA* Mod |
| Jumlah tumbukan per bidang | | 50 | |
| Rongga dalam campuran (%) | Min. | 3,0 | |
| | Maks. | 5,0 | |
| Rongga dalam agregat *(VMA)*, (%) | Min. | 17 | |
| Rasio $VCA_{MIX}/VCA_{DRC}$ | | <1 | |

**Lanjutan Tabel 3.7 Persyaratan *Stone Matrix Asphalt***

| Sifat – sifat campuran | | Persyaratan | |
|---|---|---|---|
| | | *SMA* | *SMA* Mod |
| Draindown pada tempratur produksi, % berat dalam campuran (waktu 1 jam) | Maks. | 0,3 | |
| Stabilitas *Marshall* (kg) | Min. | 600 | 750 |
| Pelelehan, mm | Min. | 2 | |
| | Maks. | 4,5 | |
| Stabilitas *Marshall* sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C | Min. | 90 | |
| Stabilitas dinamis, lintasan/mm | Min. | 2500 | 3000 |

Sumber : Bina Marga (2018)

## 3.6 Karakteristik Pengujian *Marshall*

Pengujian *marshall* adalah suatu metode pengujian yang digunakan untuk menentukan sifat-sifat dari campuran aspal panas. Karakteristik pengujian *marshall* diantaranya adalah stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *marshall quotient*, *VITM* (*Void In The Total Mix*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), dan kepadatan (*density*).

### 3.6.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas (*stability*) pada campuran aspal adalah kemampuan untuk menahan beban vertikal tanpa mengalami deformasi yang signifikan. Pada pengujian *Marshall*, nilai stabilitas diukur berdasarkan gaya maksimum yang dibutuhkan untuk menghancurkan sampel aspal saat ditekan secara vertikal. Semakin tinggi nilai stabilitas dalam pengujian *Marshall*, semakin baik kualitas campuran aspal tersebut. Berikut ini adalah rumus untuk menghitung nilai stabilitas dapat dilihat pada Persamaan 3.1, untuk grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.

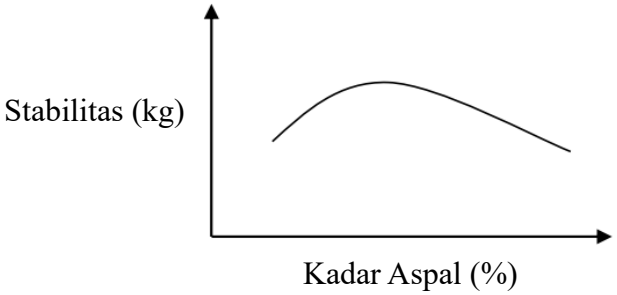
$$q = p \; x \; s \tag{3.1}$$

keterangan :

$q$ = angka stabilitas,

$p$ = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

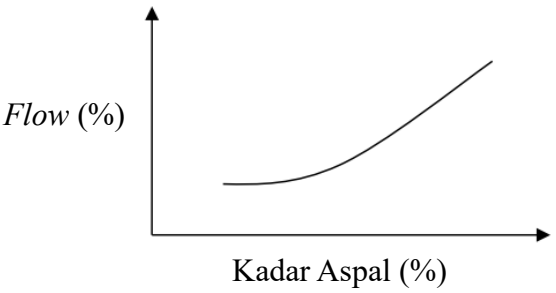
$s$ = angka koreksi tebal benda uji




**Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai Stabilitas**
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.2 Kelelahan (*Flow*)

*Flow* merupakan kondisi di mana suatu campuran mengalami perubahan bentuk sebagai respons terhadap beban, hingga mencapai titik kehancuran, yang diukur dalam satuan panjang (mm). Kehancuran campuran ini mengindikasikan tingkat elastisitas dari lapisan perkerasan, dan faktor ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik aspal, terutama sifat daktalitasnya. Penggunaan aspal dengan daktalitas yang rendah dalam campuran cenderung menghasilkan lapisan perkerasan yang kurang *fleksibel* Chasanah (2023). Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai kelelehan dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.




**Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow***
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.3 *VMA* (*Void in Mineral Agregate*)

*VMA* merupakan banyaknya rongga di antara butir-butir agregat di dalam aspal padat. Hasil dari *VMA* dinyatakan dalam bentuk persentase. Berikut ini adalah rumus untuk menghitung nilai *VMA* dapat dilihat pada Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3, untuk grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VMA* dapat

dilihat pada Gambar 3.3 berikut.

$$l = 100 - j \quad (3.2)$$

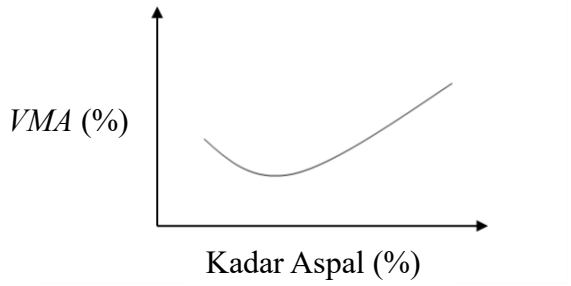
$$j = \frac{(100-b)x\ g}{B\ J\ Agregat} \quad (3.3)$$

keterangan :

$l$ = nilai *VMA* (%),

$b$ = persentase aspal terhadap campuran (%), dan

$g$ = berat isi sampel (gr/cc).




**Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA***
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.4 Kepadatan (*Density)*

Kepadatan (*density*) adalah ukuran kerapatan suatu campuran setelah proses pemadatan. Semakin tinggi nilai kepadatan menunjukkan semakin baiknya kerapatan campuran tersebut. Nilai kepadatan dipengaruhi oleh komposisi bahan, kadar aspal, gradasi campuran, suhu pemadatan, dan jumlah pemadatan yang dilakukan pada campuran tersebut. Nilai *density* dapat diperoleh dari Persamaan 3.4 dan 3.5, grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 3.4.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.4)$$

$$f = d - e \quad (3.5)$$

keterangan :

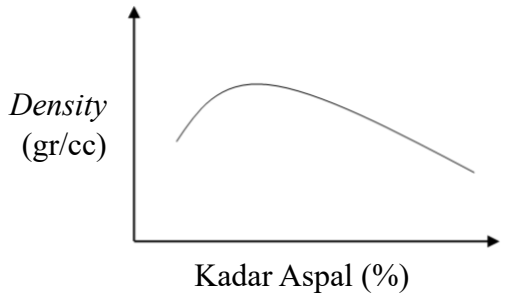
$g$ = nilai *density* (gr/cc),

*c* = berat benda uji sebelum direndam (gr),

*d* = berat benda uji dalan keadaan jenuh / SSD (gr),

*e* = berat dalam air (gr), dan

*f* = volume / isi ($cm^3$).




**Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Density***
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.5 *Marshall Quotient (MQ)*

*MQ* merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai kelelahan (*flow*). Nilai *MQ* yang tinggi didapat dari campuran dengan nilai stabilitas tinggi dan nilai kelelahan rendah, dan sebaliknya dengan nilai stabilitas rendah dan nilai kelelahan tinggi maka menghasilkan nilai *MQ* yang rendah. Berikut ini adalah rumus untuk menghitung nilai *MQ* dapat dilihat pada Persamaan 3.6, untuk grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

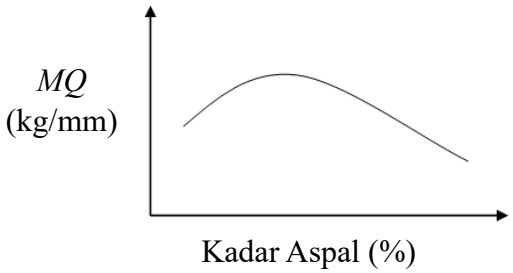
$$MQ = \frac{q}{r} \tag{3.6}$$

keterangan :

*MQ* = nilai *marshall quotient* (kg/mm),

q = nilai stabilitas (kg), dan

*r* = nilai *flow* (mm).




**Gambar 3.5 Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai *MQ***
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.6 *VITM (Void in the Total Mix*)

*VITM* merupakan persentase perbandingan volume persen rongga terhadap volume total campuran padat. Berikut ini adalah rumus untuk menghitung nilai *VITM* dapat dilihat pada Persamaan 3.7 dan Persamaan 3.8, untuk grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

$$n = 100 - (100 - \frac{g}{h}) \quad (3.7)$$

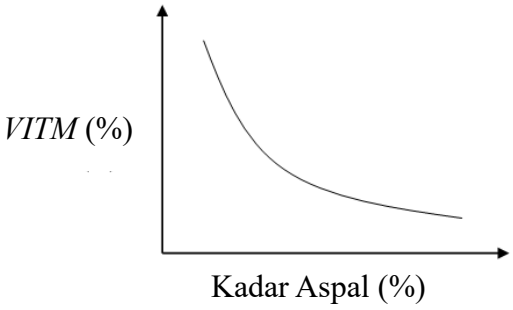
$$h = 100 - \left( \frac{100}{\left(\frac{\%Agregat}{BJ\ Agregat} + \frac{\%Aspal}{BJ\ Aspal}\right)} \right) \quad (3.8)$$

keterangan :

$n$ = nilai *VITM* (%),

$g$ = berat isi sampel (gr/cc), dan

$h$ = *berat jenis maksimum teoritis campuran*.




**Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai *VITM***
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.7 *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*)

*VFWA* merupakan volume udara beton aspal padat yang terisi oleh aspal. Maka aspal tersebut berfungsi untuk menyelimuti butiran agregat di dalam beton aspal padat. Nilai *VFWA* yang besar menyebabkan aspal yang mengisi di dalam rongga semakin banyak, maka campuran semakin kedap terhadap air dan udara, dan sebaliknya jika nilai *VFWA* kecil maka makin rendah campuran untuk kedap terhadap air dan udara. Berikut ini adalah rumus untuk menghitung nilai *VFWA* dapat dilihat pada Persamaan 3.9 sampai Persamaan 3.13, untuk grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.

1. Persentase aspal terhadap campuran

$$b = \frac{a}{100+a} \text{ x } 100 \tag{3.9}$$

keterangan :

*a* = *persentas*e aspal terhadap batuan (%), dan

*b*= persentase aspal terhadap campuran (%) .

2. Persentase aspal terhadap agregat

$$m = 100\ x\ \frac{i}{l} \tag{3.10}$$

$$i = \frac{b\ x\ g}{BJ\ Agregat} \tag{3.11}$$

$$l = 100 - j \tag{3.12}$$

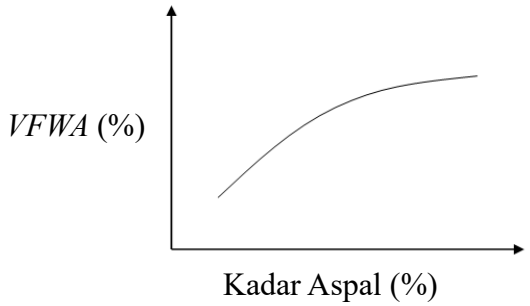
$$j = \left(\frac{(\ 100-b\ )x\ g}{BJ\ Agregat}\right) \tag{3.13}$$

keterangan :

*m = VFWA (%)*,

*g = berat isi sampel (gr/cc)*, dan

*b* = persentase aspal terhadap campuran (%).




**Gambar 3.7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai *VFWA***
(Sumber : Sukirman, 1992)

## 3.7 Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *CL* adalah metode yang digunakan untuk menentukan kehilangan berat dari benda uji setelah menjalani tes abrasi menggunakan mesin l*os angeles*. Benda uji ditimbang sebelum dimasukkan ke dalam mesin *los angeles* untuk mendapatkan berat awal sebelum abrasi ($M_O$). Selanjutnya, benda uji dimasukkan ke dalam drum mesin *los angeles* tanpa bola baja. Mesin *los angeles* dijalankan dengan kecepatan antara 30-33 rpm selama 300 putaran. Setelah mesin selesai berputar, benda uji dikeluarkan dan ditimbang kembali untuk mendapatkan berat setelah abrasi (*Mi*). Kehilangan berat dapat diperoleh dengan Persamaan 3.14.

$$L = \frac{Mo-Mi}{Mo} \text{ x } 100\% \qquad (3.14)$$

keterangan :

*Mo* = berat sebelum diabrasi (gr),

Mi = berat setelah diabrasi (gr), dan

L = persentase kehilangan berat(%).

## 3.8 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Pengujian *ITS* adalah metode yang digunakan untuk menilai kekuatan tarik *asphalt concrete*. Pengujian *ITS* berfokus pada kegagalan material terhadap gaya tarik, yang penting untuk memperkirakan kemungkinan terjadinya retakan. Saat perkerasan jalan menerima beban lalu lintas, lapisan permukaan bagian atas mengalami gaya tekan, sementara lapisan permukaan bagian bawah mengalami gaya tarik. Nilai dari *ITS* dapat dihitung dengan Persamaan 3.15.

$$ITS = \frac{P\ runtuh}{h} \text{ x } A_0 \quad (3.15)$$

keterangan :

*ITS* = kuat tarik tidak langsung (kg/cm$^2$),

*P runtuh* = beban puncak (kg),

*h* = tinggin sampel (cm), dan

$A_0$ = konstanta

## 3.9 Pengujian Perendaman *Index of Retained Strength (IRS)*

Pengujian *IRS* merupakan suatu metode untuk mengevaluasi pengaruh air terhadap suatu campuran aspal. Hasil dari *IRS* merupakan persentase nilai dari stabilitas campuran terhadap rendaman selama 0,5 jam dan rendama 24 jam. Nilai dari *IRS* dapat dihitung dengan Persamaan 3.16.

$$\textit{Index of retained strength} = \frac{S_2}{S_1} \text{ x } 100\% \quad (3.16)$$

keterangan :

$S_1$ = stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam (kg), dan

$S_2$ = stabilitas setelah direndam selama 24 jam (kg).

## 3.10 Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)*

*TSR* atau indeks kuat tarik tidak langsung yang dihasilkan dari variasi perendaman. Persyaratan minimum *TSR* adalah harus lebih besar dari 80%. Nilai *TSR* dapat diperoleh melalui Persamaan 3.17.

$$TSR = (T_2/T_1) \text{ x } 100 \quad (3.17)$$

keterangan :

$T_1$ = rata-rata nilai *ITS* tanpa rendaman (kg), dan

$T_2$ = rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg).

### 3.11 Pengujian *Draindown*

*Draindown* adalah keadaan di mana agregat dan aspal terpisah dari sampel secara keseluruhan dan mengalir ke bawah dari campuran tersebut, yang dikenal sebagai pengaliran aspal. Pengujian ini dilaksanakan pada campuran dengan kadar aspal optimum untuk memverifikasi bahwa aliran aspal yang terjadi dari campuran *SMA* sesuai dengan standar yang ditetapkan. Spesifikasi *draindown* untuk campuran *SMA* adalah < 0,3% dari berat campuran (SNI 8129:2015). Nilai dari d*raindown* dapat dihitung dengan Persamaan 3.18.

$$Draindown = \frac{A-B}{C} \text{ x } 100 \quad (3.18)$$

keterangan :

*Draindown* = persentase agregat dan aspal yang tertinggal (%),

A = berat akhir piring penampung (gr),

B = berat awal piring penampung (gr), dan

C = berat awal jumlah campuran yang diuji (gr).

### 3.12 Pengujian *VCA*

*VCA* adalah pengujian yang digunakan untuk mengukur volume rongga atau ruang kosong dalam agregat kasar pada campuran aspal. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kepadatan campuran aspal serta mengevaluasi kualitas agregat kasar yang digunakan. Sesuai dengan spesifikasi *AASHTO*, nilai *VCA* untuk campuran $(VCA_{mix})$ harus lebih rendah daripada nilai *VCA* untuk agregat kering $(VCA_{drc})$. Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa campuran aspal memiliki performa yang optimal dan memenuhi standar yang ditetapkan.Nilai dari $VCA_{DRC}$ dapat dihitung dengan Persamaan 3.19, dan nilai $VCA_{mix}$ dapat dihitung dengan Persamaan 3.20.

$$VCA_{DRC} = \frac{GCAYw - Ys}{GCAYw} x \text{ } 100 \quad (3.19)$$

keterangan :

$VCA_{drc}$ = volume pori antara agregat kasar pada kondisi *dry-rodded,*

$G_{CA}$ = berat jenis *bulk* dari fraksi campuran agregat kasar,

Ys = berat satuan fraksi agregat kasar dalam kondisi *dry-rodded* (kg/m³), dan

Yw = berat satuan air (kg/m³), tergantung temperature pengukuran.

$$VCA_{mix} = 100 - (G_{mb}/G_{CA}).P_{CA} \quad (3.20)$$

keterangan :

$VCA_{mix}$ = volume pori antara agregat kasar pada campuran *SMA* yang dipadatkan,

Gmb = berat jenis *bulk* campuran aspal yang telah dipadatkan,

$G_{CA}$ = berat jenis *bulk* dari fraksi campuran agregat kasar, dan

$P_{CA}$ = prosentasi fraksi campuran agregat kasar dalam total campuran aspal.

### 3.13 Analisis Statistik *ANOVA*

Uji statistik adalah serangkaian rumus yang berkaitan dengan distribusi tertentu dalam proses pengujian hipotesis. Proses ini digunakan untuk memperkirakan parameter dari data sampel yang diambil secara acak dari populasi yang lebih besar. Dalam penelitian ini, untuk mencapai kesimpulan, digunakan analisis varian *(ANOVA).* Penggunaan *ANOVA* memungkinkan peneliti untuk mengevaluasi perbedaan antara kelompok data dan menentukan apakah perbedaan tersebut signifikan secara statistik.

Menurut Sugiyono (2010), *ANOVA*, atau Analisis Variansi, adalah metode analisis statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis komparatif terkait rata-rata dari beberapa sampel, khususnya ketika data yang dianalisis berbentuk interval atau rasio. Metode ini sangat berguna dalam penelitian untuk menentukan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata kelompok yang berbeda, sehingga peneliti dapat membuat inferensi yang lebih tepat mengenai populasi yang lebih luas. Dengan menggunakan *ANOVA*, peneliti dapat mengevaluasi variabilitas dalam data dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi hasil, memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang hubungan antar variabel dalam penelitian.

# BAB IV
# METODE PENELITIAN

## 4.1. Metode Penelitian

Dalam penelitian ini, dilakukan metode eksperimental yang melibatkan serangkaian percobaan atau pengamatan untuk mengumpulkan data. Data yang terkumpul kemudian akan diproses untuk mendapatkan hasil penelitian, dan akhirnya dibandingkan dengan persyaratan atau standar spesifikasi yang relevan. Standar spesifikasi dan prosedur penelitian yang digunakan mengacu peraturan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

## 4.2. Metode Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *non-probability sampling*, yaitu jenis sampel tidak dipilih secara acak. *Non-probability sampling* yang digunakan adalah *purposive sampling*, yaitu sampel diambil dengan berdasarkan tujuan. Dalam penelitian ini bahwa sampel yang digunakan telah disesuaikan dengan kriteria tertentu yang sudah ditentukan berdasarkan tujuan penelitian. Penelitian ini akan dilakukan menggunakan *filler* limbah abu arang kayu yang didapatkan dari hasil pengolahan pabrik *furniture* PT. Karya Cipta Unggul Nusantara Kab. Demak, Provinsi Jawa Tengah. Aspal yang digunakan adalah Pertamina Pen 60/70.

## 4.3. Metode Pengambilan Data

Pengambilan data yang akan dilakukan pada penelitian ini yaitu selama pengujian. Dilakukan pengelompokan benda uji untuk mempermudah dalam pengambilan data, maka dilakukan pengelompokan benda uji sehingga didapatkan berupa nilai *stabilitas*, *flow*, *MQ*, *density*, *VITM, VMA, VFWA, VCA*, nilai *ITS*, nilai *IRS*, nilai *TSR*, *draindown* dan nilai *CL*.

## 4.4. Tahapan Penelitian

Seluruh rangkaian penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tahapan-tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah persiapan dan pemeriksaan, persiapan alat, pembuatan benda uji, perencanaan campuran, pembuatan campuran benda uji, pengujian *marshall*, pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS),* pengujian *Tensile Strength Rasio (TSR),* pengujian *Indeks of Retained Strength (IRS)*, pengujian *draindown*, dan pengujian *CL*.

### 4.4.1. Persiapan dan Pemeriksaan Material

Pada penelitian ini material yang digunakan dalam pembuatan benda uji campuran *Stone Matrix Asphalt* dalam penelitian ini, yaitu agregat, *filler*, dan aspal. Material serat selulosa yang dipakai tidak dilakukan pengujian dikarenakan menggunakan pabrikan. Spesifikasi yang digunakan sebagai acuan yaitu AASHTO, dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

1. Pengujian Agregat
   a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969:2016

      Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis semu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh *Saturated Surface Dry (SSD),* dan angka penyerapan air.
   b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 1970:2016

      Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis semu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh *(SSD),* dan angka penyerapan air.
   c. Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal mengacu pada SNI 2439:2011

      Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelekatan agregat terhadap aspal.
   d. Pengujian *sand equivalent* mengacu pada SNI 03-4428-1997

      Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur atau debu maupun bahan lempung pada agregat halus.
   e. Pengujian abrasi pada mesin *los angeles* mengacu pada SNI 2417:2008

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat kasar akibat keausan dengan menggunakan mesin *los angeles*.

f. Pengujian analisa saringan mengacu pada SNI ASTM C136-2012

Pengujian ini menggunakan satu set saringan yang bertujuan untuk menentukan gradasi agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

2. Pengujian Aspal

Aspal merupakan bahan pengikat antar agregat pada campuran perkerasan. Penelitian ini menggunakan bahan ikat aspal AC 60/70. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas aspal adalah sebagai berikut.

1. Pengujian berat jenis aspal mengacu pada SNI 2441:2011

   Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis aspal yang akan digunakan.

2. Pengujian daktilitas mengacu pada SNI 2432:2011

   Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kohesi dan kelenturan aspal. Pada pengujian ini dilakukan pada suhu 25°C dengan meletakkan aspal pada dua cetakan berbeda kemudian aspal ditarik dengan kecepatan 50 mm/menit, lalu diukur jarak terpanjang aspal sebelum aspal putus maka kita dapat melakukan pengukuran nilai daktilitasnya.

3. Pengujian penetrasi mengacu ada SNI 2456:2011

   Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan bitumen dengan menggunakan jarum berukuran 0,1 mm, beban, dan waktu tertentu pada suhu tertentu.

4. Pengujian kelarutan pada *trichlor ethylen (TCE)* mengacu pada AASHTO T44-14.

   Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelarutan aspal dengan menggunakan larutan *TCE* sehingga dapat diketahui nilai kemurnian aspal tersebut.

5. Pengujian titik nyala dan bakar mengacu pada SNI 2433:2011

   Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui suhu dari aspal ketika terjadi nyala singkat diatas permukaan aspal (titik nyala) dan aspal terbakar sekitar 5 detik pada suatu titik (titik bakar).

f. Pengujian titik lembek mengacu pada SNI 2434:2011

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui titik lembek aspal yang nilainya berkisar di antara 30°C sampai 200°C.

3. Pengujian *Filler*

*Filler* adalah bahan berbutir halus yang mempunyai fungsi sebagai pengisi pada pembuatan campuran aspal, *filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan No. 200 (0,074 mm). Pengujian *filler* harus memenuhi persyaratan SNI 03-6723-2002.

4.4.2. Persiapan Alat

Peralatan yang digunakan untuk menunjang proses penelitian ini disediakan dari Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Peralatan yang digunakan sebagai berikut.

1. Seperangkat alat pengujian agregat, seperti satu set analisa saringan, mesin *los angeles,* tabung *sand equivalent*, dan *vibrator*.
2. Seperangkat alat pengujian aspal seperti alat uji daktilitas, penetrasi, kelarutan aspal, titik nyala, titik bakar, dan titik lembek.
3. Cetakan benda uji (*mold*) dengan diameter 10 cm dengan tinggi 7,5 cm.
4. Alat pengujian *marshall,* sebagai berikut.
   a. Cincin penguji ber kapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg.
   b. Kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*).
   c. Arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm.
   d. Arloji penunjuk *flow* dengan ketelitian 0,25 mm beserta perlengkapannya.
5. Alat penumbuk benda uji dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuhan beban 45,7 cm bernama *compactor*.
6. Alat untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan bernama.
7. Timbangan berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gr dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr yang dilengkapi penggantung.
8. Bak perendam (*waterbath*) yang digunakan untuk merendam benda uji sebelum dilakukan pengujian dilengkapi pengatur suhu minimum 20°C
9. Oven digunakan untuk memanaskan benda uji dengan pengatur suhu sampai

(200±3) °C.

10. Alat uji *ITS* dan *TSR* yang meliputi sebagai berikut.
    a. Alat ukur tekan dengan lebar 0,5 inchi.
    b. Arloji *stabilitas* dan *flow* dengan ketelitian 0,25 mm.
    c. Perlatan penunjangan lain selama proses penelitian seperti kompor, *thermometer*, spatula, wajan, gelas ukur, nampan, bak plastik, kain lap, jangka sorong, dan lainnya.
11. Alat pengujian $VCA_{DRC}$
    a. Timbangan berkapasitas > 5 kg dengan ketelitian 1 gr.
    b. Silinder takaran dengan diameter 150 mm dengan tinggi 159 mm.
    c. *Tamping rod* berdiameter 16 mm dengan panjang 600 mm.
    d. Oven untuk memanaskan agregat serta *thermometer*.
    e. Alat penunjang lainnya seperti sendok pengaduk, spatula, nampan, sarung tangan anti panas, dan lain-lain.
12. Alat pengujian *draindown*
    a. Timbangan benda uji.
    b. Oven untuk memanaskan benda uji.
    c. Keranjang kawat berbentuk silinder berdiameter 108 mm dan 165 mm, ukuran lubang jaring-jaring kawat sebesar 3,65 mm (1/4 inchi).
    d. Piring almunium kecil sebagai alas penampung lelehan mastic atau aspal.

4.4.3. Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran benda uji bergradasi *Stone Matrix Asphalt* 25 mm didasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 sebagai berikut.

1. Menentukan komposisi agregat.
2. Menentukan variasi kadar aspal pada campuran dengan menggunakan perhitungan Pb.
3. Melakukan pembuatan benda uji dengan 2 x 50 tumbukan menggunakan alat pemadat *Marshall.*
4. Menentukan nilai KAO berdasarkan parameter berikut.
    a. *VITM* dengan syarat minimum 3% dan maksimum 5%,

b. *VMA* dengan syarat minimum 17%,

c. Stabilitas *Marshall* campuran dengan syarat minimum 600 kg,

d. *Flow* campuran dengan syarat minimum 2 mm dan maksimum 4,5 mm,

e. *Draindown* dengan syarat maksimum 0,3%,

f. *IRS* dengan syarat minimum 90%, dan

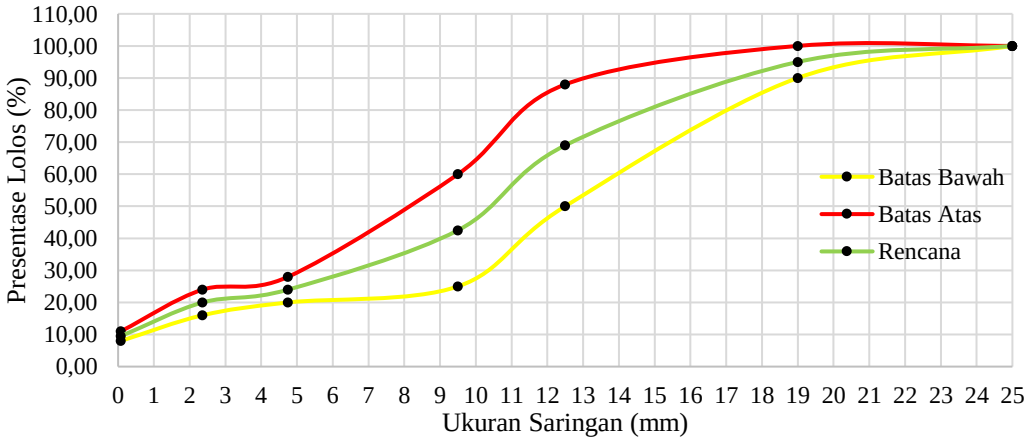
g. *VCA* dengan syarat maksimum 1.

Gradasi agregat yang digunakan dari campuran *Stone Matrix Asphalt* 25 mm dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

**Tabel 4.1 Gradasi Campuran *Stone Matrix Asphalt* 25 mm**

| Ukuran Ayakan | | Spesifikasi (%) | | Jumlah Persen (%) | |
|---|---|---|---|---|---|
| Inchi | (mm) | Min | Maks | Lolos | Tertahan |
| 1" | 25 | 100 | 100 | 100 | 0 |
| 3/4" | 19 | 90 | 100 | 95 | 5 |
| 1/2" | 12,5 | 50 | 88 | 69 | 31 |
| 3/8" | 9,5 | 25 | 60 | 42,5 | 57,5 |
| No. 4 | 4,75 | 20 | 28 | 24 | 76 |
| No. 8 | 2,36 | 16 | 24 | 20 | 80 |
| No. 200 | 0,075 | 8 | 11 | 9,5 | 90,5 |
| Pan | | 0 | 0 | 0 | 100 |

Berdasarkan Tabel 4.1 maka membentuk sebuah grafik gradasi campuran *Stone Matrix Asphalt* 25 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.




**Gambar 4.1 Grafik Gradasi *Campuran Stone Matrix Asphalt 25 mm***

Penentuan kadar aspal optimum dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.1 berikut.

$$Pb = 0{,}035\ (\%CA)+0{,}045\ (\%FA)+0{,}18\ (\%Filler)+K \quad (4.1)$$

keterangan :

Pb = kadar aspal,

CA = persen agregat tertahan saringan No. 4,

FA = persen agregat lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200,

*Filler* = persen agregat lolos saringan No. 200, dan

K = konstanta 1-2, pada penelitian ini di gunakan angka konstanta 1.

Berdasarkan hasil perhitungan awal (Pb) dengan nilai CA 76%, FA 14,5%, *Filler* 9,5% maka Pb = 0,035 (76)+0,045 (14,5)+0,18 (9,5)+1 = 6,02 % dibulatkan menjadi 6%. Sehingga pada pengujian untuk mencari KAO kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% terhadap berat total campuran seberat 1200 gr. Kadar serat selulosa pada masing-masing benda uji adalah sebesar 0.3% terhadap berat total campuran, yaitu sebanyak 3.6 gram. Untuk kadar substitusi yang dipakai pada *filler* yaitu menggunakan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari berat total *filler.* Pada variasi kadar aspal untuk menentukan KAO memiliki kebutuhan agregat yang berbeda-beda pada setiap kadarnya, dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.6.

**Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%**

| Ukuran Saringan | | Spesifikasi | | Persen Agregat (%) | | Berat Tertahan (Gr) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inchi | mm | Min | Max | Lolos | Tertahan | Tertahan | Jumlah |
| 1" | 25 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3/4 | 19 | 90 | 100 | 95,00 | 5,00 | 57,00 | 57,00 |
| 1/2 | 12,5 | 50 | 88 | 69,00 | 26,00 | 296,40 | 353,40 |
| 3/8 | 9,5 | 25 | 60 | 42,50 | 26,50 | 302,10 | 655,50 |
| # 4 | 4,75 | 20 | 28 | 24,00 | 18,50 | 210,90 | 866,40 |
| # 8 | 2,36 | 16 | 24 | 20,00 | 4,00 | 45,60 | 912,00 |
| # 200 | 0,075 | 8 | 11 | 9,50 | 10,50 | 119,70 | 1031,70 |
| Pan | | 0 | 0 | 0 | 9,50 | 108,30 | 1140,00 |

**Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%**

| Ukuran Saringan | | Spesifikasi | | Persen Agregat (%) | | Berat Tertahan (Gr) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inchi | mm | Min | Max | Lolos | Tertahan | Tertahan | Jumlah |
| 1" | 25 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3/4 | 19 | 90 | 100 | 95,00 | 5,00 | 56,70 | 56,70 |
| 1/2 | 12,5 | 50 | 88 | 69,00 | 26,00 | 294,84 | 351,54 |
| 3/8 | 9,5 | 25 | 60 | 42,50 | 26,50 | 300,51 | 652,05 |
| # 4 | 4,75 | 20 | 28 | 24,00 | 18,50 | 209,79 | 861,84 |
| # 8 | 2,36 | 16 | 24 | 20,00 | 4,00 | 45,36 | 907,20 |
| # 200 | 0,075 | 8 | 11 | 9,50 | 10,50 | 119,07 | 1026,27 |
| Pan | | 0.00 | 0,00 | 0,00 | 9,50 | 107,73 | 1134,00 |

**Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%**

| Ukuran Saringan | | Spesifikasi | | Persen Agregat (%) | | Berat Tertahan (Gr) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inchi | mm | Min | Max | Lolos | Tertahan | Tertahan | Jumlah |
| 1" | 25 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3/4 | 19 | 90 | 100 | 95,00 | 5,00 | 56,40 | 56,40 |
| 1/2 | 12,5 | 50 | 88 | 69,00 | 26,00 | 293,28 | 349,68 |
| 3/8 | 9,5 | 25 | 60 | 42,50 | 26,50 | 298,92 | 648,60 |
| # 4 | 4,75 | 20 | 28 | 24,00 | 18,50 | 208,68 | 857,28 |
| # 8 | 2,36 | 16 | 24 | 20,00 | 4,00 | 45,12 | 902,40 |
| # 200 | 0,075 | 8 | 11 | 9,50 | 10,50 | 118,44 | 1020,84 |
| Pan | | 0.00 | 0.00 | 0,00 | 9,50 | 107,16 | 1128,00 |

**Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%**

| Ukuran Saringan | | Spesifikasi | | Persen Agregat (%) | | Berat Tertahan (Gr) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inchi | mm | Min | Max | Lolos | Tertahan | Tertahan | Jumlah |
| 1" | 25 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3/4 | 19 | 90 | 100 | 95,00 | 5,00 | 56,10 | 56,10 |
| 1/2 | 12,5 | 50 | 88 | 69,00 | 26,00 | 291,72 | 347,82 |
| 3/8 | 9,5 | 25 | 60 | 42,50 | 26,50 | 297,33 | 645,15 |
| # 4 | 4,75 | 20 | 28 | 24,00 | 18,50 | 207,57 | 852,72 |
| # 8 | 2,36 | 16 | 24 | 20,00 | 4,00 | 44,88 | 897,60 |
| # 200 | 0,075 | 8 | 11 | 9,50 | 10,50 | 117,81 | 1015,41 |
| Pan | | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 9,50 | 106,59 | 1122,00 |

**Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%**

| Ukuran Saringan | | Spesifikasi | | Persen Agregat (%) | | Berat Tertahan (Gr) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Inchi | mm | Min | Max | Lolos | Tertahan | Tertahan | Jumlah |
| 1" | 25 | 100 | 100 | 100,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| 3/4 | 19 | 90 | 100 | 95,00 | 5,00 | 55,80 | 55,80 |
| 1/2 | 12,5 | 50 | 88 | 69,00 | 26,00 | 290,16 | 345,96 |
| 3/8 | 9,5 | 25 | 60 | 42,50 | 26,50 | 295,74 | 641,70 |
| # 4 | 4,75 | 20 | 28 | 24,00 | 18,50 | 206,46 | 848,16 |
| # 8 | 2,36 | 16 | 24 | 20,00 | 4,00 | 44,64 | 892,80 |
| # 200 | 0,075 | 8 | 11 | 9,50 | 10,50 | 117,18 | 1009,98 |
| Pan | | 0.00 | 0,00 | 0,00 | 9,50 | 106,02 | 1116,00 |

Jumlah benda uji yang digunakan untuk memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

**Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO**

| Kadar Aspal (%) | Pengujian | | |
|---|---|---|---|
| | *Marshall* | *IRS* | *Draindown* |
| 5 | 3 | 3 | 3 |
| 5,5 | 3 | 3 | 3 |
| 6 | 3 | 3 | 3 |
| 6,5 | 3 | 3 | 3 |
| 7 | 3 | 3 | 3 |
| Jumlah Benda Uji | 15 | 15 | 15 |
| Total Keseluruhan | 45 | | |

Setelah didapatkan nilai KAO maka dilakukan pengujian untuk setiap nilai yang didapatkan. Jumlah benda uji untuk setiap pengujian KAO dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji Untuk Setiap Pengujian KAO**

| Pengujian | Kadar *Filler* Abu Arang Kayu (%) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 |
| *Marshall* | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| *IRS* | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| *ITS* | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| *TSR* | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| *Contabro* | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| *Draindown* | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Jumlah Benda Uji | 18 | 18 | 18 | 18 | 18 |
| Total Keseluruhan | 90 | | | | |

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, maka dalam penelitian ini benda uji yang digunakan yaitu 135 buah.

4.4.4. Pembuatan Campuran Benda Uji

Dalam pembuatan campuran untuk benda uji dilakukan setelah melakukan tahapan perencanaan campuran dengan melakukan penyaringan agregat untuk memisahkan distribusi butir agregat sesuai dengan nomor saringan yang digunakan. Dilakukan penimbangan terhadap agregat yang tertahan di setiap nomor saringan. Langkah-langkah pembuatan campuran benda uji adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Memanaskan aspal pada suhu tertentu, pada penelitian ini menggunakan aspal AC 60/70 yang dipanaskan mencapai suhu 160°C.
3. Memanaskan agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan serat selulosa sampai suhu 170°C, kemudian mencampurkan kadar aspal sesuai dengan persentase yang telah ditetapkan dan mengaduk sampai homogen.
4. Membersihkan cetakan benda uji dan mengolesi bagian dalam cetakan dengan menggunakan oli.
5. Meletakkan kertas yang telah dicetak sesuai dengan ukuran cetakan pada bagian bawah. Kemudian memasukkan campuran benda uji yang telah tercampur merata sebanyak 1/3 bagian dari volume cetakan dan ditusuk-tusuk menggunakan spatula sebanyak 25 kali. Dengan cara yang sama , benda uji

dimasukkan sampai cetakan penuh kemudian meletakkan kertas di bagian atas.

6. Meletakkan cetakan yang telah berisi benda uji di atas mesin pemadat. Kemudian menyeting mesin pemadat sebanyak 50 kali tumbukan di setiap sisi.
7. Setelah selesai pemadatan, benda uji dikeluarkan dari mesin pemadat dan didiamkan agar tidak terlalu panas.
8. Mengeluarkan benda uji dari cetakan menggunakan *ejector hydarulic pump*, kemudian mendiamkan benda uji tersebut dan mengambil kertas pada kedua sisi.

4.4.5. Pengujian *Marshall*

Marshall merupakan pengujian yang bertujuan untuk memperoleh nilai *stabilitas, flow, MQ, density, VITM, VMA,* dan *VFWA* dari suatu campuran perkerasan. Pengujian ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan benda uji yang akan digunakan.
2. Membersihkan benda uji dari kotoran yang masih menempel dari proses pembuatan sampel.
3. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi dengan menggunakan kaliper kemudian menimbang benda uji dalam keadaan kering udara.
4. Merendam benda uji di dalam air pada suhu ruang selama 20 sampai 24 jam untuk mendapatkan kejenuhan, kemudian menimbang benda uji di dalam air dan mencatat hasilnya.
5. Mengelap benda uji yang telah ditimbang dalam air dengan menggunakan kain lap sampai mencapai kondisi *SSD*, kemudian menimbang benda uji sehingga diperoleh berat dalam keadaan *SSD*.
6. Memasukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit.
7. Memeriksa mesin marshall beserta dial pelengkapnya dan menyiapkan breaking head yang telah diolesi dengan oli.
8. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head,* kemudian memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai

benda uji menyentuh cincin penguji.

9. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
10. Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
11. Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

4.4.6. Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Langkah-langkah pengujian *ITS* dapat dilakukan dengan cara berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Membuat benda uji sesuai dengan perencanaan menggunakan nilai KAO yang telah diperoleh dari hasil pengujian *marshall*.
3. Meletakkan benda uji pada mesin *ITS*.
4. Menyalakan mesin uji dan mengamati pembacaan dial dan mencatat hasilnya.

4.4.7. Pengujian *Tensile Strength Rasio (TSR)*

Langkah-langkah pengujian *TSR* berpedoman pada SNI 8129:2015 dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang digunakan.
2. Membuat benda uji sesuai dengan pean menggunakan nilai KAO yang telah diperoleh dari hasil pengujian *marshall*.
3. Merendam benda uji dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam, kemudian mendiamkan benda uji pada suhu ruang selama 24 jam.
4. Meletakkan benda uji mesin *TSR*.
5. Menyalakan mesin uji dan mengamati pembacaan dial dan mencatat hasilnya.

4.4.8. Pengujian *Indeks of Retained Strength (IRS)*

Pengujian *IRS* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Membersihkan benda uji dari kotoran yang masih menempel dari proses pembuatan sampel.
2. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi dengan menggunakan kaliper kemudian menimbang benda uji dalam keadaan kering udara.
3. Merendam benda uji di dalam air pada suhu ruang selama 20 sampai 24 jam untuk mendapatkan kejenuhan, kemudian menimbang benda uji di dalam air

dan mencatat hasilnya.

4. Mengelap benda uji yang telah ditimbang dalam air dengan menggunakan kain lap sampai mencapai kondisi *SSD*, kemudian menimbang benda uji sehingga diperoleh berat dalam keadaan *SSD*.
5. Memasukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam.
6. Memeriksa mesin *marshall test* beserta dial pelengkapnya dan menyiapkan *breaking head* yang telah diolesi dengan oli.
7. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head,* kemudian memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
8. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
9. Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
10. Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

4.4.9. Pengujian *Void Coarse Aggregate Dry Rodded Condition ($VCA_{DRC}$)*

Pengujian $VCA_{DRC}$ sesuai dengan ketentuan *AASHTO* 19M/T 19-14 sebagai berikut.

1. Benda uji campuran fraksi agregat kasar yang telah dipanaskan (kering), dituang ke dalam silinder takaran hingga mencapai 1/3 tinggi wadah. Pemadatan dilakukan dengan menusuk-nusuk campuran tersebut menggunakan *tamping-rod* sebanyak 25 kali secara merata di seluruh permukaan lapis pertama tersebut. Penusukan dengan *tamping-rod* agar jangan sampai mengenai dasar silinder takaran.
2. Lapisan kedua dibentuk dengan menuangkan benda uji campuran fraksi agregat kasar yang telah dipanaskan (kering) kedalam silinder takaran hingga mencapai 2/3 tinggi wadah. Pemadatan dilakukan dengan menusuk-nusuk campuran tersebut dengan menggunakan *tamping-rod* sebanyak 25 kali secara merata diseluruh permukaan lapis pertama tersebut. Pemadatan dengan tamping-rod ini agar jangan sampai mengenai permukaan lapisan pertama.
3. Lapisan ketiga dibentuk dengan menuangkan benda uji campuran fraksi

agregat kasar yang telah dipanaskan (kering) kedalam silinder takaran hingga sedikit melebihi tinggi wadah. Pemadatan dilakukan dengan menusuk-nusuk campuran tersebut dengan menggunakan *tamping-rod* sebanyak 25 kali secara merata diseluruh permukaan lapis pertama tersebut. Pemadatan dengan *tamping-rod* ini agar jangan sampai mengenai permukaan lapisan kedua.

4. Dilakukan perataan campuran fraksi agregat kasar yang sedikit melebihi tinggi wadah menggunakan *tamping-rod* atau mistar perata, hingga rata dengan tepian permukaan silinder takaran.
5. Benda uji bersama dengan wadah kemudian ditimbang dan dilakukan perhitungan untuk mengetahui $VCA_{DRC}$.

   Benda uji pada $VCA_{DRC}$ dibuat sama dengan jumlah benda uji pada $VCA_{MIX}$.

4.4.10. Pengujian *Draindown*

Pengujian *draindown* sesuai dengan ketentuan *AASHTO* T 305-14 sebagai berikut.

1. Persiapkan 2 unit oven, oven pertama diatur hingga mencapai kisaran suhu sesuai temperatur produksi dan oven kedua diatur hingga mencapai kisaran suhu 15°C lebih tinggi dari temperatur produksi masing-masing variasi benda uji dari hasil uji viskositas.
2. Masing-masing keranjang kawat dan alas aluminium ditimbang.
3. Campuran aspal dalam kondisi *loose* dituang kedalam keranjang kawat dengan piring aluminium sebagai alas lalu dilakukan penimbangan.
4. Benda uji tersebut ditempatkan dalam oven. Sebelum ditempatkan dalam oven, terlebih dahulu dilakukan pengukuran suhu benda uji menggunakan *thermometer*.
5. Bahan uji kemudian disimpan dalam oven-oven selama 60±5 menit, namun jika suhu benda uji saat akan dimasukkan ke dalam oven sudah menurun menjadi lebih rendah 25°C dibawah temperatur pengujian, maka waktu penyimpanan benda uji dalam oven-oven selama 70±5 menit.
6. Setelah waktu pemanasan dalam ven terpenuhi, dilakukan penimbangan alas piring aluminium yang telah menampung lelehan *mastic* atau aspal dengan ketelitian 0,1 gr.

4.4.11. Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *CL* dapat dilakukan sebagai berikut.

1. Mempersiapkan bahan dan peralatan yang digunakan
2. Menimbang benda uji untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi *(Mo)*.
3. Selanjutnya meletakkan benda uji kedalam mesin *los angeles* tanpa bola baja.
4. Memutar mesin dengan kecepatan 30-33 rpm sebanyak 300 putaran.
5. Setelah selesai pemutaran, mengeluarkan benda uji dari mesin kemudian ditimbang lagi untuk mendapatkan berat benda uji setelah dilakukan pengujian abrasi *(Mi)*.

## 4.5. Analisis Data

Setelah dilakukan berbagai macam pengujian, maka dilakukan analisis data untuk mendapatkan parameter hasil pengujian secara lengkap.

4.5.1 Analisis Karakteristik *Marshall*

Parameter hasil pengujian *marshall* diperoleh data sebagai berikut.

1. Berat benda uji kering udara (gram)
2. Berat benda uji dalam air (gram)
3. Berat benda uji *SSD* (gram)
4. Tebal benda uji (mm)
5. Pembacaan dial stabilitas (kg)
6. Pembacaan dial *flow* (mm)

Karakteristik *Marshall* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.2 berikut.

$$\text{Bj Aspal} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \tag{4.2}$$

keterangan :

A = berat piknometer dengan penutup (gr),

B = berat piknometer berisi air (gr),

C = berat piknometer berisi aspal, dan

D = berat piknometer berisi air dan aspal.

2. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.3 berikut.

$$\text{Bj Aspal} = \frac{(A\ x\ F1)+(B\ x\ F2)}{100} \quad (4.3)$$

keterangan :

A = persentase agregat kasar (%),

B = persentase agregat halus (%),

$F_1$ = berat jenis agregat kasar, dan

$F_2$ = berat jenis agregat halus.

3. Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1.
4. Nilai *flow* diperloleh dari hasil pembacaan dial *flow*.
5. Nilai *VMA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.2 dan 3.3.
6. Nilai *density* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.4 dan 3.5.
7. Nilai *MQ* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.6.
8. Nilai *VITM* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.7 dan 3.8.
9. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.9 dan 3.13.

4.5.2 Analisis Pengujian *IRS*

Nilai pengujian *IRS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.16.

4.5.3 Analisis Pengujian *ITS*

Nilai pengujian *ITS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.15.

4.5.4 Analisis Pengujian *TSR*

Nilai pengujian *TSR* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.17.

4.5.5 Analisis Pengujian *Draindown*

Nilai pengujian *draindown* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.18.

4.5.6 Analisis Pengujian *CL*

Nilai pengujian *contabro loss* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.14.

**4.6. Analisis Statistika**

Penelitian ini menggunakan analisis berupa statistik *anova*. Tujuan dari analisis statistik ini adalah untuk mengetahui perbandingan yang disebabkan oleh

pengaruh substitusi *filler* pengganti terhadap campuran *Stone Matrix Asphalt*. Data-data yang dihasilkan seperti karakteristik *Marshall Standard, IRS, ITS, CL, Draindown, TSR* nantinya akan dianalisis dengan statistik *anova* untuk menyimpulkan hasil dari penelitian. Secara umum analisis statistik *anova* adalah sebagai berikut.

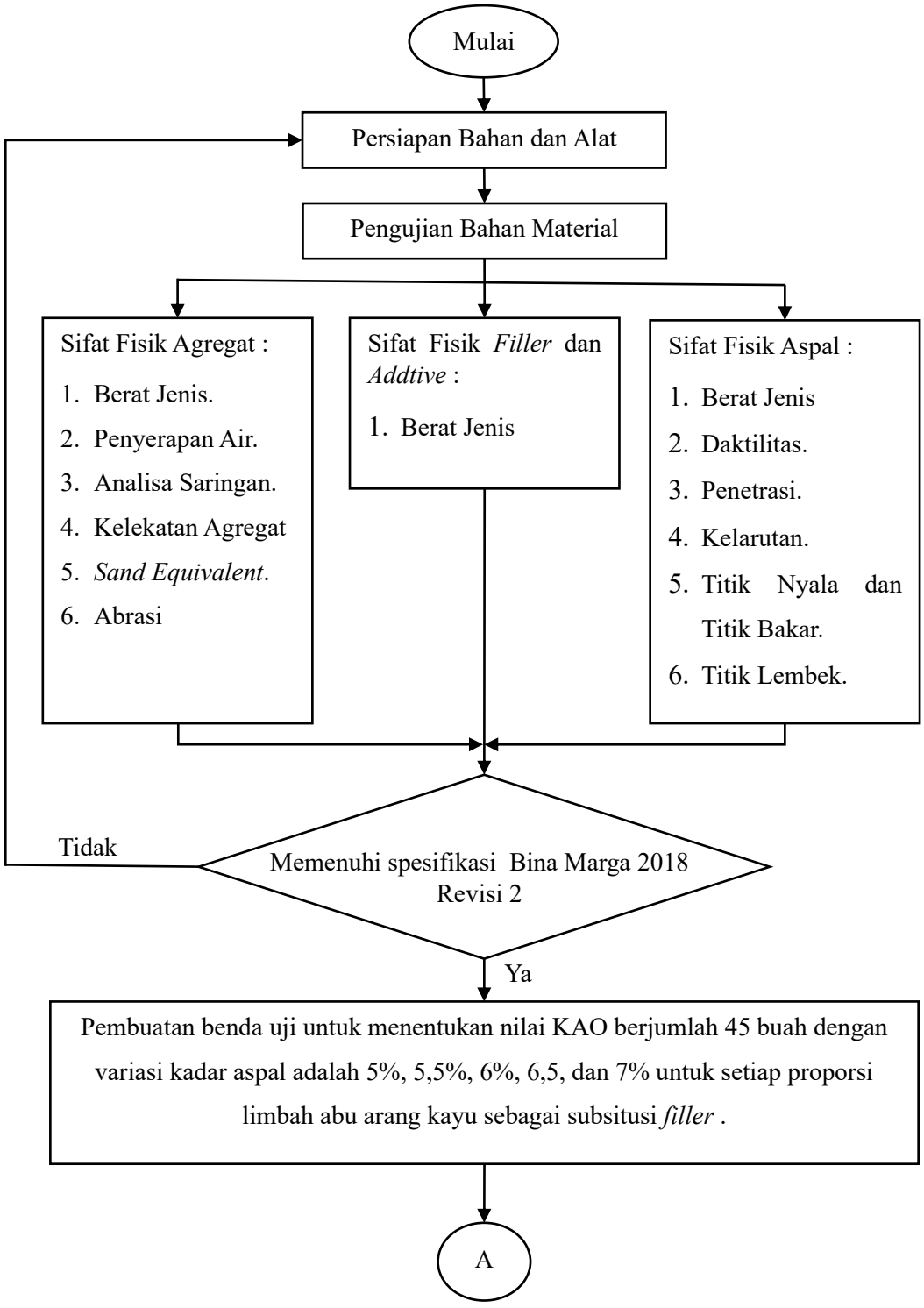
1. Merumuskan hipotesis nol ($H_0$) dan hipotesis alternatif ($H_1$) untuk melihat pengaruh masing-masing factor variable. Rumusan hipotesis dalam dilihat pada persamaan 4.1 dan 4.2 berikut ini.

   $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \ldots\ldots\ldots\ldots \mu k$ (4.4)

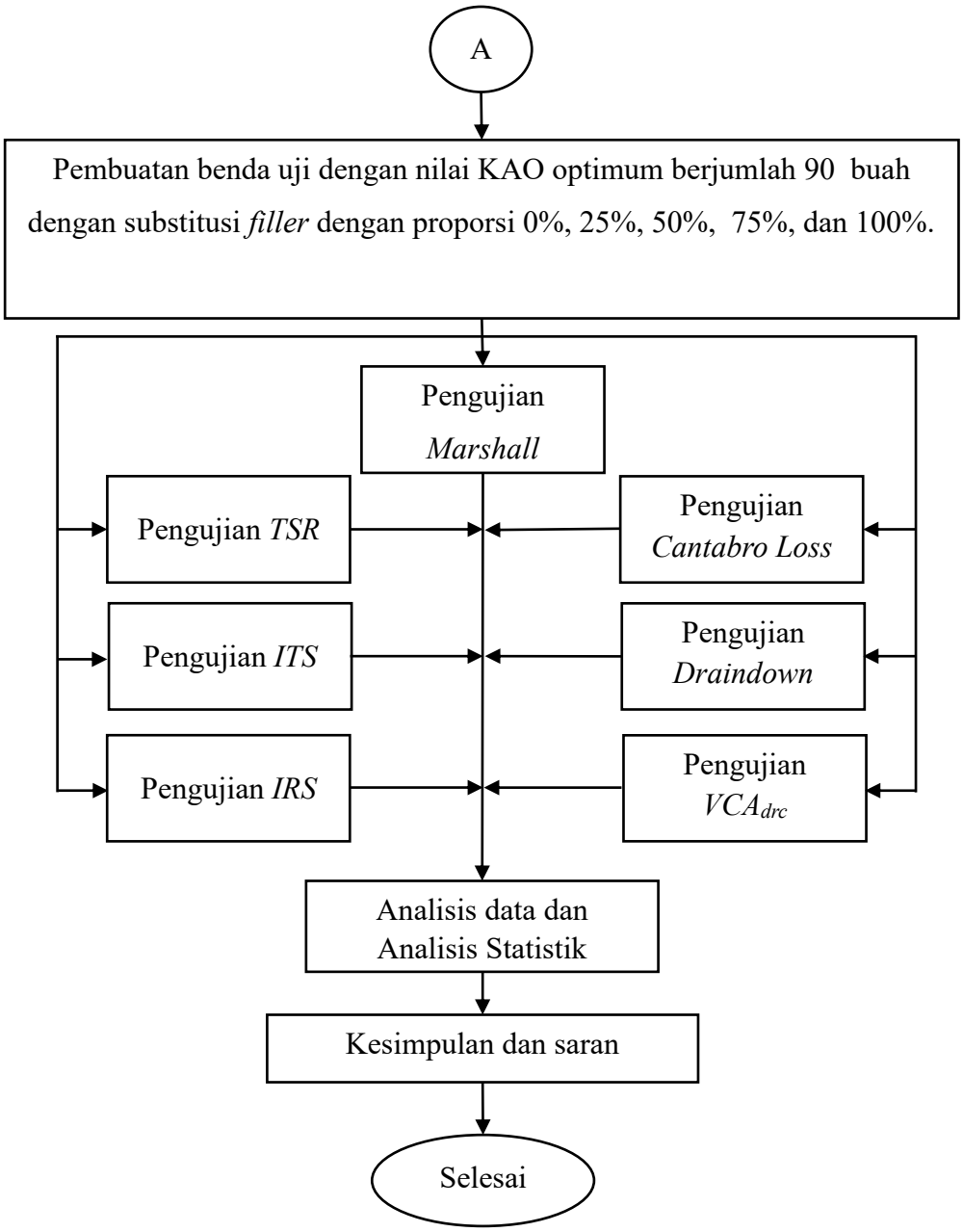
   $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \ldots\ldots\ldots\ldots \neq \mu k$ (4.5)
2. Membandingkan anatar nilai F-hitung dengan nilai F-tabel.
   Jika nilai F-hitung > F-tabel ; maka $H_0$ ditolak dan $H_1$ diterima.
   Jika nilai F-hitung < F-tabel ; maka $H_0$ diterima dan $H_1$ ditolak.
3. Menentukan nilai α atau signifikan umumnya digunakan 5% atau 0,05.
   Jika nilai signifikan atau *P-Value* > 0,05 ; maka $H_1$ ditolak dan $H_0$ diterima.
   Jika nilai signifikan atau *P-Value* < 0,05 ; maka $H_1$ diterima dan $H_0$ ditolak.
4. Perumusan keputusan $H_0$ dan $H_1$
   $H_0$ : Tidak ada perbedaan secara signifikan
   $H_1$ : Ada perbedaan secara signifikan

## 4.7. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir Penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.




**Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian**




**Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian**

# BAB V
# HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

## 5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran

### 5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pada penelitian ini aspal yang digunakan adalah aspal aspal Pen 60/70. Pengujian karakteristik aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada pengujian tersebut diperoleh data – data yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi, pengujian ini berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Rekapitulasi hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70**

| No | Jenis Pengujian | Spesifikasi | Hasil | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Berat Jenis | ≥1,0 | 1,040 | Memenuhi |
| 2 | Penetrasi (mm) | 60-70 | 66,30 | Memenuhi |
| 3 | Daktilitas (cm) | ≥ 100 | 164 | Memenuhi |
| 4 | Titik lembek (°C) | ≥ 48 | 48,5 | Memenuhi |
| 5 | Titik nyala (°C) | ≥ 232 | 315 | Memenuhi |
| 6 | Titik bakar (°C) | ≥ 232 | 320 | Memenuhi |
| 7 | Kelarutan pada *TCE* (%) | ≥ 99 | 99,32 | Memenuhi |

### 5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat terdiri dari beberapa pengujian diantaranya pengujian agregat kasar, agregat halus, dan *filler.* Pengujian tersebut dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada pengujian tersebut diperoleh data–data yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi, pengujian ini berpedoman pada

Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Rekapitulasi hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai Tabel 5.5 berikut.

**Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar**

| No | Jenis Pengujian | Spesifikasi | Hasil |
|---|---|---|---|
| 1 | Berat jenis | ≥ 2,5 | 2,59 |
| 2 | Penyerapan agregat terhadap air (%) | ≤ 2 | 1,96 |
| 3 | Kelekatan agregat terhadap aspal (%) | ≥ 95 | 98 |
| 4 | Keausan agregat dengan mesin *los angeles* (%) | ≤ 40 | 19,32 |

**Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng**

| No | Jenis Pengujian | Spesifikasi | Hasil |
|---|---|---|---|
| 1 | Berat jenis | ≥ 2,5 | 2,70 |
| 2 | Penyerapan agregat terhadap air (%) | ≤ 2 | 1,42 |
| 3 | *Sand equivalent* (%) | ≥ 50 | 92,84 |

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis Filler**

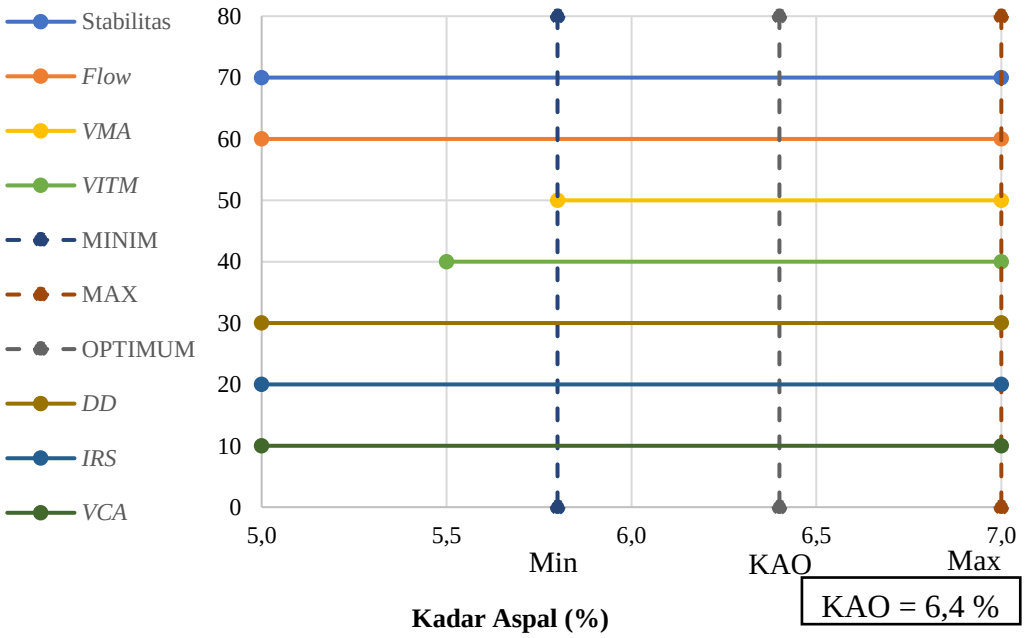
| No | Jenis Pengujian | Hasil |
|---|---|---|
| 1 | Berat jenis debu batu | 2,556 |
| 2 | Berat jenis abu arang kayu | 1,461 |

Pada Tabel 5.4 dapat dilihat bahwa hasil pengujian menunjukkan terjadi perbedaan berat jenis antara debu batu dan abu arang kayu. Hasil pengujian campuran *SMA* 25 mm untuk menentukan Kadar Aspal Optimum pengujian ini dilakukan di laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai KAO pada campuran *SMA* 25 mm yang menggunakan Pen 60/70. Didapatkan nilai-nilai *stability*, *flow, VMA, VITM, IRS, draindown, dan VCA.*

**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Untuk Menentukan KAO**

| Pengujian | 5% | 5,5% | 6% | 6,5% | 7% | Spesifikasi |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stabilitas (kg) | 876,48 | 891,05 | 921,52 | 946,89 | 893,11 | >600 |
| *Flow* (mm) | 2,60 | 2,82 | 3,17 | 3,32 | 3,43 | 2–4,5 |
| *VITM* (%) | 5,49 | 4.96 | 4,37 | 4,16 | 4,02 | 3-5 |
| *VMA* (%) | 16,29 | 16,84 | 17,32 | 18,12 | 18,98 | >17 |
| *Draindown* (%) | 0,071 | 0,092 | 0,121 | 0,158 | 0,200 | <0,3 |
| *IRS* (%) | 90,22 | 90,98 | 91,43 | 92,53 | 94,54 | >90 |
| *VCA* | 0,935 | 0,953 | 0,950 | 0,959 | 0,965 | <1 |

Penentuan KAO berdasarkan perhitungan secara grafis, nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.




**Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Substitusi Filler Abu Arang Kayu**

Pada Gambar 5.1, maka dapat dilihat bahwa KAO yang digunakan untuk variasi substitusi *filler* adalah 6,4%. Pada penelitian ini menggunakan *filler* abu arang kayu sebagai substitusi *filler* debu batu, yang dimana keduanya memiliki berat jenis yang berbeda. Setelah dilakukan pengujian diperoleh nilai berat jenis masing-masing yaitu untuk abu arang kayu sebesar 1,46 gr/cm$^3$ dan debu batu

sebesar 2,556 gr/cm$^3$. Maka untuk mendapatkan perbandingan berat volume yang sama dilakukan pengolahan data. Rekapitulasi hasil untuk perbandingan masing-masing *filler* dapat dilihat pada Tabel 5.6 sebagai berikut.

**Tabel 5.6 Berat Debu Batu dan Abu Arang Kayu**

| Kadar Variasi Subsitusi *Filler* (%) | Berat Debu Batu (gr) | Berat Abu Arang Kayu (gr) | Kadar Aspal Optimum (%) |
|---|---|---|---|
| 0 | 106,59 | 0,00 | 6,4 |
| 25 | 80,03 | 15,26 | |
| 50 | 53,35 | 30,52 | |
| 75 | 26,68 | 45,78 | |
| 100 | 0,00 | 61,03 | |

Berikut ini adalah limbah abu arang kayu yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



**Gambar 5.2 Limbah Abu Arang Kayu**

5.1.3 Hasil Pengujian Campuran *Stone Matrix Asphalt* pada Kadar Aspal Optimum

Diperoleh data hasil pengujian campuran *SMA* 25 mm pada KAO dengan substitusi serbuk abu arang kayu sebagai *filler* pengganti dengan pengujian

*marshall*, *VCA, IRS, ITS, TSR*, *Draindown*, dan *CL* dapat dilihat pada Tabel 5.7 sampai Tabel 5.16.

1. Abu Arang Kayu Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Marshall*.

**Tabel 5.7 Hasil Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu**

| Kadar Substitusi *Filler* Pengganti (%) | Stabilitas (kg) | *Flow* (mm) | *MQ* (kg/mm) | *VITM* (%) | *VFWA* (%) | *VMA* (%) | *Density* (gr/cc) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 945,42 | 3,43 | 275,59 | 4,59 | 74,95 | 18,30 | 2,227 |
| 25 | 1028,53 | 3,48 | 295,24 | 4,41 | 75,79 | 18,14 | 2,231 |
| 50 | 994,31 | 3,65 | 272,38 | 4,31 | 76,18 | 18,06 | 2,234 |
| 75 | 964,03 | 3,70 | 260,65 | 4,05 | 77,70 | 17,83 | 2,240 |
| 100 | 934,99 | 3,77 | 248,39 | 3,90 | 78,27 | 17,71 | 2,243 |
| Spesifikasi | >600 | 2 – 4,5 | >250 | 3 - 5 | >65 | >17 | |

2. Abu Arang Kayu Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Draindown.*

**Tabel 5.8 Hasil Rekapitulasi Pengujian *Draindown* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu**

| Kadar Substitusi Abu Arang Kayu (%) | *Draindown* (%) |
|---|---|
| 0 | 0,11 |
| 25 | 0,09 |
| 50 | 0,06 |
| 75 | 0,04 |
| 100 | 0,03 |

3. Abu Arang Kayu Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*.

**Tabel 5.9 Hasil Rekapitulasi Pengujian *IRS* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu**

| Kadar Substitusi Abu Arang Kayu (%) | *IRS* (%) |
|---|---|
| 0 | 92,16 |
| 25 | 93,40 |
| 50 | 94,23 |
| 75 | 92,08 |
| 100 | 91,36 |

4. Abu Arang Kayu Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Index Tensile Strength (ITS).*

**Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Pengujian *ITS* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu**

| Kadar Substitusi Abu Arang Kayu (%) | *ITS* (kPa) |
|---|---|
| 0 | 776,834 |
| 25 | 600,609 |
| 50 | 575,889 |
| 75 | 513,047 |
| 100 | 454,140 |

5. Abu Arang Kayu Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR).*

**Tabel 5.11 Hasil Rekapitulasi Pengujian *TSR* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu**

| Kadar Substitusi Abu Arang Kayu (%) | *TSR* (%) |
|---|---|
| 0 | 88,281 |
| 25 | 85,717 |
| 50 | 84,755 |

**Lanjutan Tabel 5.11 Hasil Rekapitulasi Pengujian *TSR* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu**

| Kadar Substitusi Abu Arang Kayu (%) | *TSR* (%) |
|---|---|
| 75 | 82,737 |
| 100 | 81,894 |

6. Abu Arang Kayu Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Cantabro Loss.*

**Tabel 5.12 Hasil Rekapitulasi Pengujian *Cantabro Loss* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu**

| Kadar Substitusi Abu Arang Kayu (%) | *Cantabro Loss* (%) |
|---|---|
| 0 | 4,71 |
| 25 | 7,45 |
| 50 | 8,02 |
| 75 | 12,33 |
| 100 | 15,59 |

7. Abu Arang Kayu Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *VCA.*

**Tabel 5.13 Hasil Rekapitulasi Pengujian *VCA* pada Kadar Aspal Optimum pada setiap Kadar Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu**

| Kadar Substitusi Abu Arang Kayu (%) | $VCA_{MIX}/VCA_{DRC}$ |
|---|---|
| 0 | 0,837 |
| 25 | 0,859 |
| 50 | 0,870 |
| 75 | 0,877 |
| 100 | 0,880 |

Dari hasil pengujian diperoleh data karakteristik *marshall, VCA, draindown, IRS, ITS, TSR, CL* pada campuran *SMA* 25 mm seperti diatas. Selanjutnya data dari hasil pengujian dianalisis menggunakan statistik *ANOVA* satu arah, pada Tabel 5.14 dan Tabel 5.15 berikut.

**Tabel 5.14 Rekapitulasi Data Uji Statistika ANOVA Satu Arah Untuk Pengaruh *Filler* Abu Arang Kayu Terhadap Karakteristik *Marshall***

| Parameter | Nilai Signifikan | Keterangan | Hasil Analisis |
|---|---|---|---|
| Stabilitas | 0,437 | H0 diterima | Tidak signifikan |
| *Flow* | 0,001 | H1 diterima | Signifikan |
| *MQ* | 0,120 | H0 diterima | Tidak signifikan |
| *VITM* | 0,943 | H0 diterima | Tidak signifikan |
| *VFWA* | 0,926 | H0 diterima | Tidak signifikan |
| *VMA* | 0,941 | H0 diterima | Tidak signifikan |
| *Density* | 0,944 | H0 diterima | Tidak signifikan |

**Tabel 5.15 Rekapitulasi Data Uji Statistika ANOVA Satu Arah Untuk Pengaruh *Filler* Abu Arang Kayu Terhadap *IRS, ITS, TSR, CL*, dan *Draindown***

| Parameter | Nilai Signifikan | Keterangan | Hasil Analisis |
|---|---|---|---|
| *IRS* | 0,959 | H0 diterima | Tidak signifikan |
| *ITS* | 0,001 | H1 diterima | Signifikan |
| *TSR* | 0,950 | H0 diterima | Tidak signifikan |
| *CL* | 0,001 | H1 diterima | Signifikan |
| *Draindown* | 0,001 | H1 diterima | Signifikan |

Keterangan :

$H_0$ Diterima : Tidak terdapat pengaruh signifikan pada penggunaan Abu Arang Kayu sebagai *filler* pengganti campuran SMA.

$H_1$ Diterima : Terdapat pengaruh signifikan pada penggunaan Abu Arang Kayu sebagai *filler* pengganti campuran SMA.

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pembahasan untuk pengujian karakteristik aspal adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan berat bitumen dengan volume air suling pada suhu tertentu didasarkan pada volume yang sama. Berat jenis bitumen bersifat tidak konstan karena sangat dipengaruhi oleh tingkat penetrasi dan suhu bitumen itu sendiri. Hasil pengujian menunjukkan nilai berat jenis sebesar 1,040, dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih besar dari 1,00.

2. Penetrasi Aspal

   Uji penetrasi aspal dilakukan untuk mengukur tingkat kekerasan material aspal. Semakin rendah angka penetrasi, semakin tinggi tingkat kekerasan aspal tersebut. Aspal yang lebih keras cenderung memiliki daya lekat yang lebih baik dan nilai kohesi yang lebih tinggi. Dari hasil pengujian, aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai penetrasi sebesar 66,30 mm, Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu 60 – 70 mm.

3. Daktilitas Aspal

   Pengujian daktilitas aspal adalah metode yang digunakan untuk mengukur kemampuan aspal dalam mengalami deformasi tanpa pecah saat diberi tekanan atau tarikan. Pengujian ini memberikan informasi tentang fleksibilitas dan ketahanan aspal terhadap retakan. Hasil pengujian menunjukkan daktilitas sebesar 164 cm. Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu 100 cm.

4. Titik Nyala Aspal dan Titik Bakar Aspal

   Pengujian titik nyala aspal bertujuan untuk mengidentifikasi batas suhu maksimum di mana aspal dapat dipanaskan dengan aman sebelum mulai menghasilkan uap yang dapat menyala atau memercikkan api.. Dari hasil pengujian, titik nyala aspal tercatat pada suhu 315 °C. Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 232 ºC.

   Nilai titik bakar aspal bertujuan untuk mengidentifikasi suhu batas di mana aspal mulai memercikkan api yang terlihat menyala selama ± 5 detik di permukaannya. Dari hasil pengujian, titik bakar tercatat pada suhu 320 °C.

Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 232 ºC.

5. Titik Lembek Aspal

Pengujian titik lembek aspal dilakukan untuk untuk mengukur seberapa sensitif aspal terhadap perubahan suhu, khususnya pada suhu tinggi di mana material aspal mulai mengalami pelunakan. Melalui pengujian ini, dapat diketahui pada temperatur berapa aspal kehilangan kekakuan dan mulai berubah menjadi lebih lunak. Dalam pengujian ini, diperoleh nilai titik lembek sebesar 48,5 ºC. Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 48 ºC.

6. Kelarutan dalam *Trychloroethylene* (*TCE*)

Pengujian kelarutan dalam *TCE* bertujuan untuk ntuk menilai sejauh mana aspal dapat larut dalam zat tersebut, yang menjadi indikator tingkat kemurnian aspal itu sendiri. Hasil dari pengujian ini memberikan gambaran mengenai kualitas aspal; semakin banyak aspal yang larut dalam *TCE*, semakin tinggi tingkat kemurniannya. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan mineral atau zat asing lainnya dalam aspal relatif rendah, sehingga mengurangi potensi gangguan terhadap ikatan antara aspal dan agregat dalam campuran. Dalam pengujian ini, hasil yang diperoleh adalah 99,32%. Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 99 %.

### 5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pembahasan untuk pengujian karakteristik agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis agregat kasar didefinisikan sebagai perbandingan antara massa agregat kasar dan volume yang ditempatinya pada suhu tertentu, dan nilai ini umumnya dinyatakan dalam satuan gram per sentimeter kubik ($g/cm^3$). Agregat kasar yang memiliki berat jenis lebih tinggi biasanya menunjukkan kerapatan yang lebih baik, yang pada gilirannya dapat berpengaruh positif terhadap kekuatan dan stabilitas campuran aspal. Selain itu, berat jenis

agregat kasar juga memberikan informasi berharga mengenai karakteristik fisik dari agregat tersebut, termasuk tingkat porositas dan kemampuannya untuk menahan deformasi. Dengan memahami berat jenis ini, para insinyur dapat lebih baik merancang campuran aspal yang sesuai untuk aplikasi konstruksi yang membutuhkan daya tahan dan kekuatan tinggi. Dalam pengujian ini, diperoleh berat jenis sebesar 2,59. Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 2,5.

2. Penyerapan Air oleh Agregat Kasar

   Pengujian penyerapan agregat terhadap air bertujuan untuk menilai sejauh mana agregat mampu menyerap air yang masuk melalui pori-pori atau rongga yang terdapat di dalam strukturnya, mulai dari keadaan kering hingga mencapai tingkat kejenuhan. Agregat dengan ukuran pori yang lebih besar cenderung memiliki kemampuan penyerapan yang lebih tinggi, yang mengakibatkan kebutuhan aspal yang lebih banyak untuk mengisi pori-pori tersebut. Di sisi lain, agregat yang memiliki pori-pori lebih kecil akan menyerap air dalam jumlah yang lebih sedikit, sehingga memerlukan volume aspal yang lebih rendah.. Dalam pengujian ini, diperoleh nilai sebesar 1,96. Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≤ 2%.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

   Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal bertujuan untuk mengukur sejauh mana agregat dapat terikat dengan aspal secara efektif. Uji ini memberikan informasi mengenai kemampuan agregat dalam membentuk ikatan yang kuat dengan aspal, yang sangat penting untuk memastikan bahwa campuran aspal dapat mempertahankan integritas dan stabilitasnya dalam kondisi penggunaan yang berbeda. Dalam pengujian ini, diperoleh nilai sebesar 98 %. Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 95%.

4. Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*

   Pengujian keausan dengan menggunakan mesin Los Angeles bertujuan untuk menilai sejauh mana ketahanan agregat terhadap proses keausan yang terjadi

selama penggunaan. Dalam campuran aspal, agregat memiliki peran krusial sebagai penopang beban lalu lintas yang beroperasi di permukaan jalan. Oleh karena itu, sangat penting untuk memilih agregat yang memiliki daya tahan tinggi terhadap keausan, terutama yang disebabkan oleh gesekan dari roda kendaraan. Dalam pengujian ini, diperoleh nilai sebesar 19,32 %. Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≤ 40%.

5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pembahasan untuk pengujian karakteristik agregat halus adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

   Berat jenis adalah perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Dalam pengujian berat jenis agregat halus Clereng, Kulon Progo ini, diperoleh nilai sebesar 2,70, Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 2,5%.

2. Penyerapan air oleh Agegat Halus

   Penyerapan agregat terhadap air merujuk pada kemampuan suatu material untuk menyerap air melalui rongga atau pori yang terdapat di dalamnya. Agregat dengan rongga atau pori yang lebih besar akan memerlukan lebih banyak aspal, karena tingkat penyerapannya juga lebih tinggi. Dalam pengujian penyerapan air oleh agregat halus Clereng, Kulon Progo ini, diperoleh nilai sebesar 1,42, Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≤ 2%.

3. *Sand Equivalent*

   Pengujian sand equivalent menunjukkan tingkat kebersihan agregat terhadap debu, lumpur atau kotoran lainnya. Dalam pengujian *sand equivalent* oleh agregat halus Clereng, Kulon Progo ini, diperoleh nilai sebesar 92,84%, Dimana nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 50 %. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus Clereng cukup bersih

dan terbebas dari kandungan debu, lumpur, atau kotoran lainnya yang dapat mengganggu kelekatan aspal terhadap agregat.

5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik bahan Pengisi (*Filler*)

Pengujian karakteristik bahan pengisi (*filler*) bertujuan untuk mengetahui karakteristik bahan pengisi (*filler*). Berikut pembahasan dari pengujian bahan pengisi.

1. Pengujian Berat Jenis Debu Batu

   Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume agregat dan volume air pada suhu tertentu. Nilai berat jenis agregat dalam campuran mempengaruhi jumlah pori. Jika material agregat memiliki nilai berat jenis yang tinggi, maka porinya akan lebih sedikit, yang berarti kebutuhan aspal akan berkurang. Sebaliknya, jika berat jenisnya rendah, kebutuhan aspal akan meningkat. Dalam pengujian ini, diperoleh nilai sebesar 2,556.

2. Pengujian Berat Jenis Abu Arang Kayu

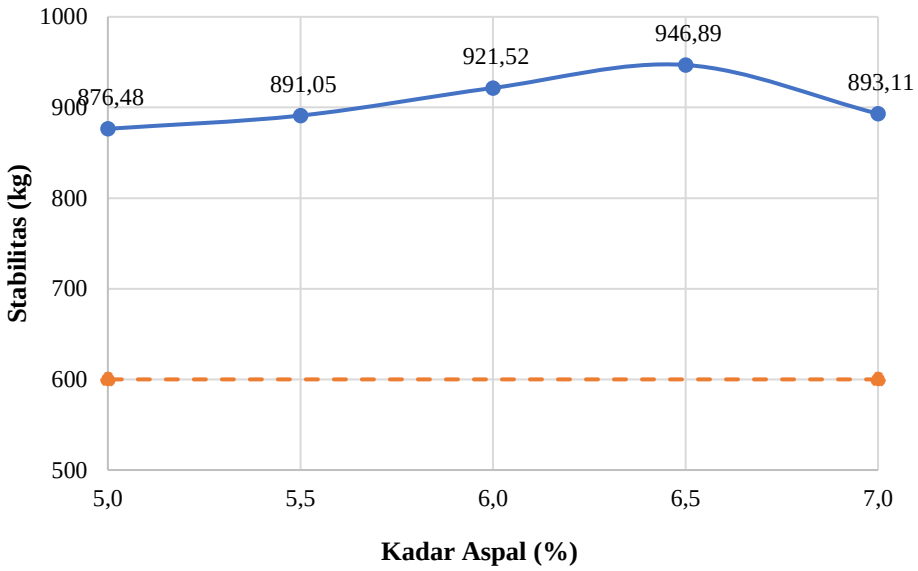
   Berat jenis adalah perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Dalam pengujian ini, diperoleh nilai sebesar 1,461.

Untuk menentukan berat volume, penting untuk mengetahui berat jenis masing-masing *filler*. Hal ini diperlukan untuk membandingkan volume antar *filler* agar dapat memenuhi volume yang sama, karena berat jenis abu arang kayu sebagai pengganti *filler* lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis *filler* debu batu.

5.2.5 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Campuran Untuk Menentukan KAO

1. Analisis Pengaruh Nilai Stabilitas untuk Menentukan KAO

   Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan beban lalu lintas, cuaca, dan berbagai kondisi lingkungan tanpa mengalami deformasi yang berlebihan atau kerusakan struktural. Stabilitas aspal penting dalam memastikan jalan beraspal memiliki daya tahan yang panjang dan mampu menahan beban berat seperti kendaraan bermuatan besar, serta menghadapi perubahan suhu ekstrem dan kelembaban. Nilai stabilitas ditunjukan pada Gambar 5.3 sebagai berikut.

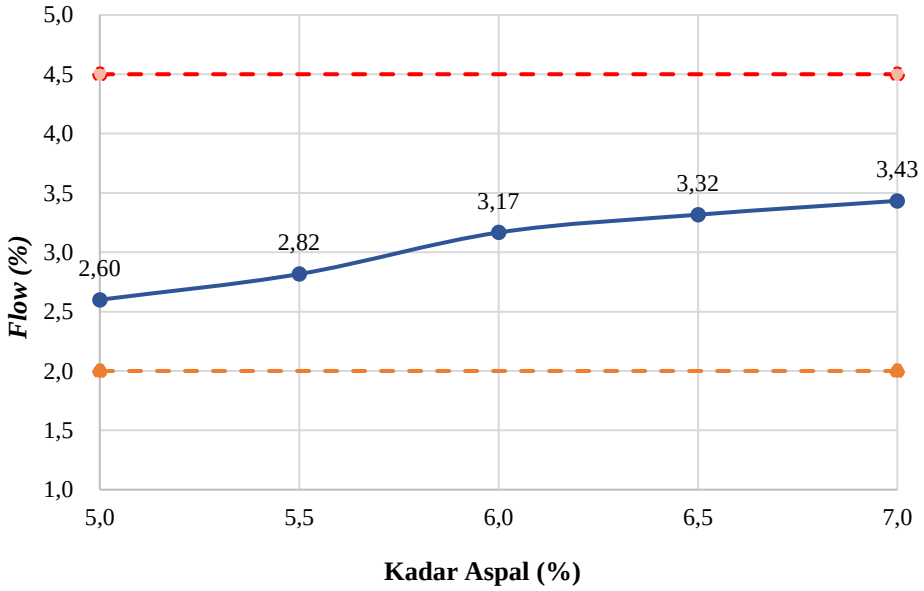



**Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas**

Pada Gambar 5.3 maka dapat dilihat bahwa nilai stabilitas campuran meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Namun, setelah mencapai titik stabilitas tertinggi, nilai stabilitas mulai menurun. Titik optimum berada di kadar aspal 6,5% kemudian menurun. Meningkatnya stabilitas bersamaan dengan meningkatnya kadar aspal, sampai batas optimum dan turun setelah melampaui batas optimum. Hal ini terjadi akibat semakin banyaknya kadar aspal yang menyebabkan selimut aspal menjadi tebal sehingga mengakibatkan gesekan antar butiran berkurang dan aspal dari pengikat berubah menjadi pelicin antar agregat. Menurut persyaratan Bina Marga 2018 Revisi 2 batas minimal nilai stabilitas untuk campuran *SMA* adalah 600 kg. Nilai stabilitas kadar aspal 5,0% s/d 7,0% telah memenuhi batas minimum sesuai dengan persyaratan.

2. Analisis Pengaruh Nilai *Flow* untuk Menentukan KAO

Kelelehan (*flow*) adalah ukuran perubahan bentuk atau deformasi yang terjadi pada campuran aspal ketika diberikan beban. Kelelehan merupakan salah satu parameter penting yang digunakan untuk menilai performa campuran aspal, terutama dalam aplikasi jalan raya. Nilai *flow* ditunjukan pada Gambar 5.4 sebagai berikut.

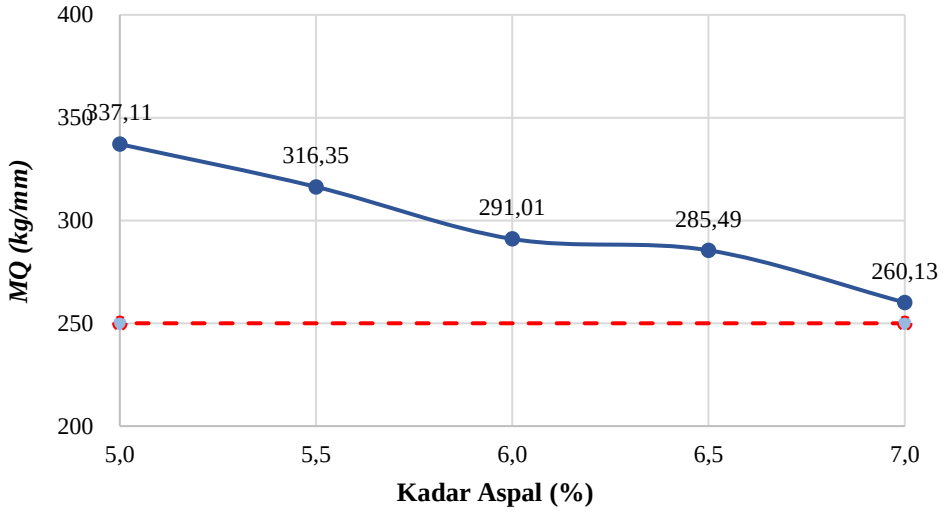



**Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow***

Pada Gambar 5.4 maka dapat dilihat bahwa nilai *flow* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal, disebabkan karena selimut aspal semakin tebal. Semakin bertambahnya kadar aspal akan meningkatkan nilai *flow* pada campuran. Nilai *flow* yang meningkat menyebabkan campuran semakin bersifat plastis, sehingga campuran akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk saat terkena beban. Dalam spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 ditetapkan bahwa nilai *flow* 2 - 4,5 mm. Nilai *flow* pada kadar aspal 5,0% s/d 7,0% memenuhi batas minimum sesuai dengan persyaratan.

3. Analisis Pengaruh Nilai *MQ* untuk Menentukan KAO

   Nilai *Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelehan (*flow*) dan merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *MQ* maka campuran semakin kaku dan sebaliknya semakin kecil *MQ* maka perkerasannya semakin lentur. Nilai *MQ* ditunjukan pada Gambar 5.5 sebagai berikut.

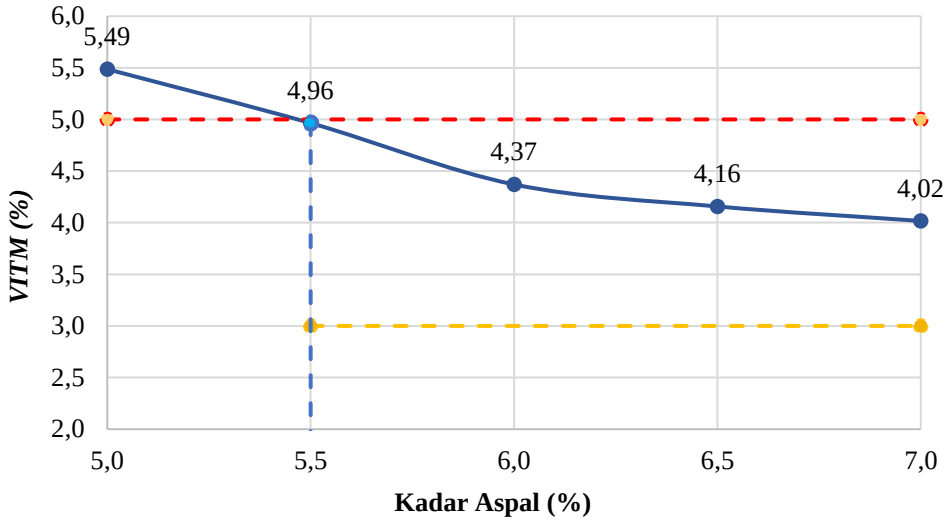



**Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *MQ***

Pada Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa nilai *MQ* menunjukkan bahwa nilai *MQ* cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal. Hal ini terjadi karena dipengaruhi beberapa terkait struktur dan komposisi campuran aspal-agregat. Peningkatan kadar aspal juga meningkatkan nilai *flow*, menunjukkan bahwa campuran lebih mudah mengalami deformasi ketika diberikan tekanan. Faktor ini menyebabkan nilai *MQ* turun karena aliran atau *flow* yang besar menunjukkan ketahanan yang rendah terhadap beban. Selanjutnya, ketika kadar aspal berlebih, interaksi antar partikel agregat berkurang, mengurangi gesekan antar partikel dan menurunkan kekuatan struktural campuran. Akibatnya, kestabilan dari campuran menurun. Nilai *MQ* pada kadar aspal 5,0% s/d 7,0% memenuhi batas minimum sesuai dengan persyaratan.

4. Analisis Pengaruh Nilai *VITM* untuk Menentukan KAO

   *VITM* adalah persentase yang menunjukkan perbandingan antara rongga udara dan volume total campuran setelah pemadatan. Nilai *VITM* akan semakin menurun seiring dengan meningkatnya kadar aspal, karena rongga di antara agregat akan semakin terisi oleh aspal. Nilai *VITM* ditunjukan pada Gambar 5.6 sebagai berikut.

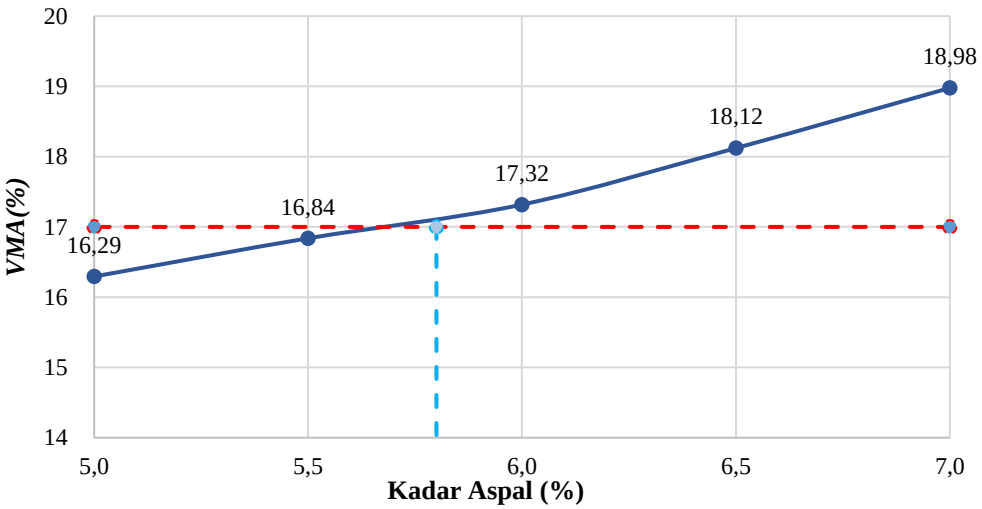



**Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VITM***

Pada Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa nilai *VITM* menunjukkan bahwa nilai *VITM* cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal. Penurunan ini dapat disebabkan oleh semakin banyaknya penggunaan aspal yang menyebabkan bertambahnya jumlah rongga yang terisi aspal *(VFWA),* sehingga mengurangi ukuran rongga antar campuran. Pada kadar aspal 5%, campuran ini tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2, karena batas minimum nilai *VITM* untuk campuran *SMA* adalah 3% dan batas maksimum adalah 5%. Dengan bertambahnya kadar aspal akan menurunkan nilai *VITM* pada campuran. Hal ini menyebabkan campuran menjadi kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan oksidasi dan aspal menjadi rapuh.

5. Analisis Pengaruh Nilai *VMA* untuk Menentukan KAO

   *VMA* adalah ukuran volume rongga yang terdapat dalam agregat mineral yang terisi oleh aspal yang dinyatakan dalam persentase. Nilai *VMA* ditunjukan pada Gambar 5.7 sebagai berikut.

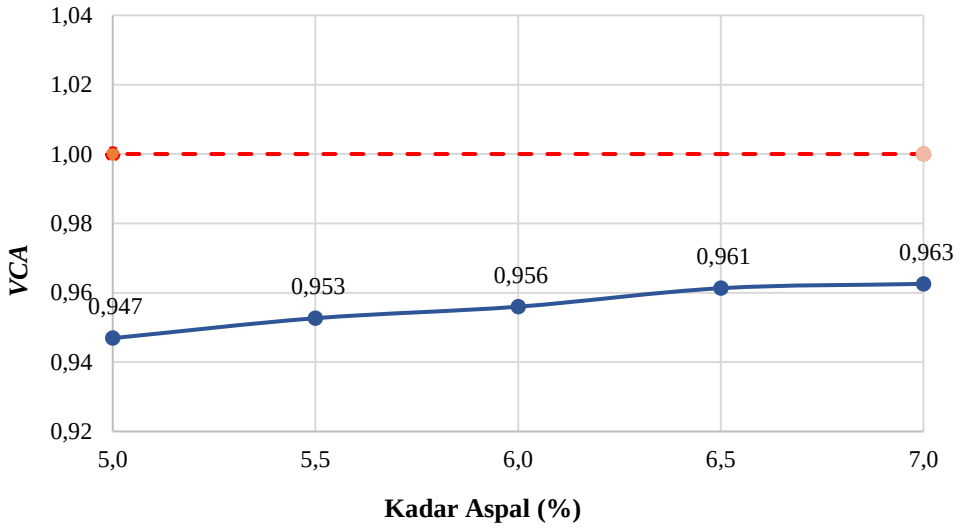



**Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA***

Pada Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa nilai *VMA* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal, disebabkan karena kadar aspal yang semakin banyak dapat menyelimuti agregat dan mengisi rongga. Pada kadar aspal 5% dan 5,5%, campuran ini tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga 2018 Revisi 2, karena batas minimum nilai *VMA* untuk campuran *SMA* adalah 17%. Dengan bertambahnya kadar aspal akan menaikkan nilai *VMA* pada campuran. Hal ini disebabkan semakin tebal aspal yang menyelimuti agregat sehingga jarak rongga antara agregat semakin besar. *VMA* dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi lentur.

6. Analisis Pengaruh Nilai *VCA* untuk Menentukan KAO

   Pengujian *VCA* adalah proses yang dilakukan untuk menentukan volume rongga yang ada pada partikel agregat kasar. Nilai *VCA* ditunjukan pada Gambar 5.8 sebagai berikut.

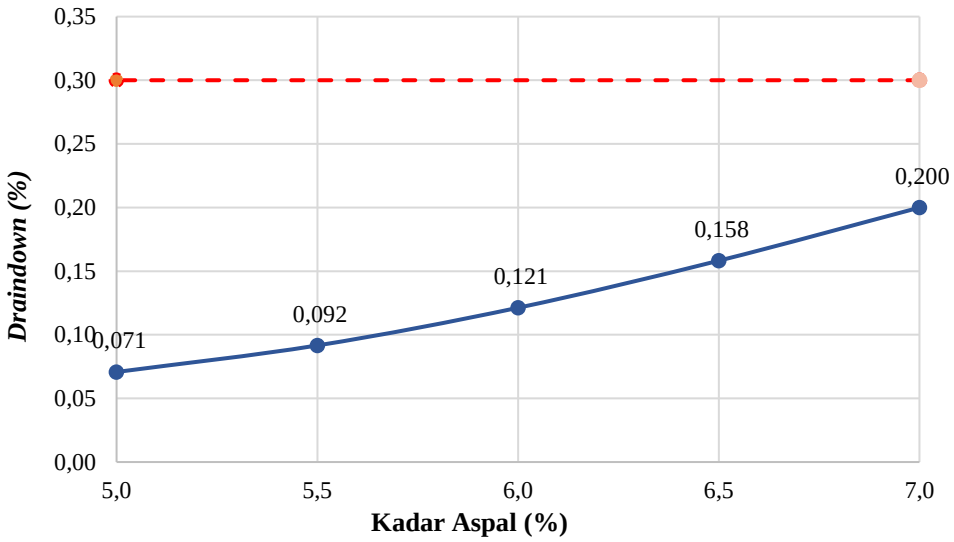



**Gambar 5.8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VCA***

Pada Gambar 5.8, dapat dilihat bahwa nilai *VCA* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Peningkatan ini terjadi karena tingginya kadar aspal dalam campuran yang menyebabkan lapisan aspal menjadi lebih tebal, sehingga jarak antara agregat semakin besar. Akibatnya, kontak antara partikel agregat (*stone-on-stone contact*) dalam campuran stone matrix asphalt berkurang. Dari grafik diatas, semua kadar aspal memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2018 Revisi 2 untuk campuran *SMA* batas nilai *VCA* adalah 1.

7. Analisis Pengaruh Nilai *Draindown* untuk Menentukan KAO

   Pengujian *draindown* pada campuran *SMA* dilakukan karena kadar aspal yang tinggi dapat menyebabkan risiko pengaliran aspal. Pengaliran ini berpotensi memengaruhi kualitas campuran secara keseluruhan. Nilai *draindown* ditunjukan pada Gambar 5.9 sebagai berikut.

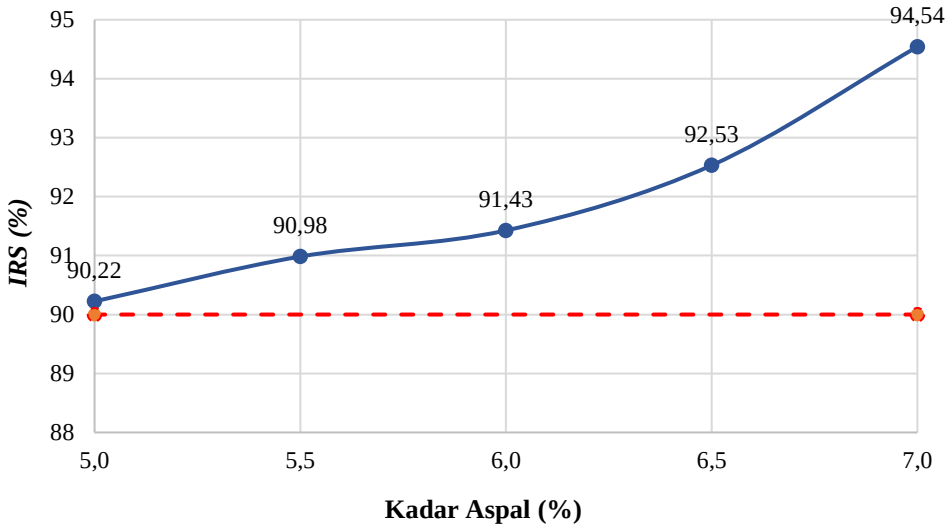



**Gambar 5.9 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Draindown***

Pada Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa nilai *draindown* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini terjadi karena kadar aspal meningkat yang menyebabkan aspal mengalami pengaliran, tetapi nilai *draindown* pada semua kadar aspal memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 disyaratkan untuk campuran *stone matrix asphalt* < 0,3%.

8. Analisis Pengaruh Nilai *IRS* untuk Menentukan KAO

Nilai *IRS* diperoleh dengan membandingkan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam dalam waterbath pada suhu 60°C dengan nilai stabilitas campuran yang direndam selama 0,5 jam. Pada Spesifikasi Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 disyaratkan untuk campuran *SMA* > 90%. Nilai *IRS* ditunjukan pada Gambar 5.10 sebagai berikut.




**Gambar 5.10 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *IRS***

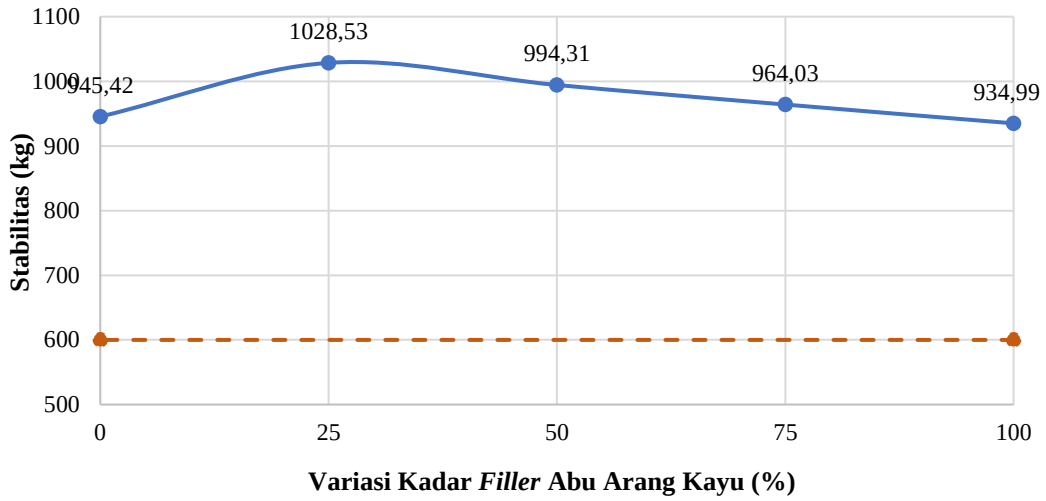
Pada Gambar 5.10 dapat dilihat nilai *IRS* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Peningkatan ini disebabkan oleh penurunan nilai *VITM* dan peningkatan nilai *VMA* pada campuran. Dengan demikian, campuran yang dihasilkan mampu menahan keausan yang disebabkan oleh faktor cuaca, air, dan perubahan suhu.

5.2.6 Karakteristik *Marshall* pada KAO Campuran dengan Substitusi *Filler* AAK

Berdasarkan hasil pengujian *marshall* pada campuran *SMA* 25 mm dengan substitusi *filler* AAK. Berdasarkan pengujian berat jenis, nilai berat jenis AAK lebih kecil daripada nilai berat jenis debu batu Clereng, maka hal ini akan berpengaruh terhadap campuran aspal. Berikut adalah hasil pengujian pengaruh penggunaan AAK sebagai substitusi *filler* dengan nilai KAO sebesar 6,4% sebagai berikut.

1. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai Stabilitas

   Grafik hasil nilai stabilitas akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.




**Gambar 5.11 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Stabilitas**

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.11 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK mengalami peningkatan hingga kadar variasi substitusi 25% dan mengalami penurunan di 50% hingga 100%. Hubungan antara penambahan kadar *filler* AAK dengan nilai stabilitas menunjukkan bahwa pada campuran dengan *filler* pengganti AAK 25%, stabilitas meningkat. Hal ini diindikasikan oleh daya serap *filler* AAK yang meningkatkan kohesi dalam campuran, memperbesar kerapatan, sehingga memperbaiki kontak antar agregat dan memperkuat *interlocking* di antara agregat, yang pada akhirnya meningkatkan stabilitas. Namun, pada kadar *filler* pengganti AAK 50%, 75%, dan 100%, stabilitas menurun karena butiran AAK yang lebih halus mudah bercampur dengan aspal, membentuk mastik dengan viskositas yang lebih rendah. Seiring meningkatnya jumlah AAK, yang awalnya membantu meningkatkan stabilitas, mastik yang terbentuk menjadi berlebih, sehingga melemahkan ikatan antar butiran dan menyebabkan penurunan nilai stabilitas.

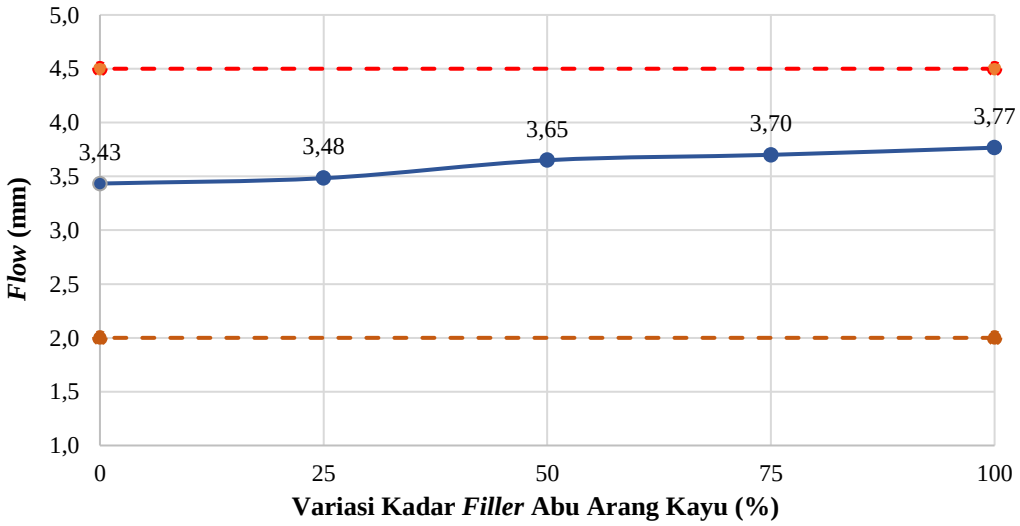
Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,437 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,437 > 0,05 (tidak signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK tidak berpengaruh terhadap nilai stabilitas. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK tidak mempengaruhi nilai stabilitas campuran.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Firmansyah dan Chasanah (2018) bahwa *filler gypsum* pada awalnya berkontribusi dalam meningkatkan nilai stabilitas, namun ketika kadar *filler* berlebihan, rongga-rongga dalam campuran tidak mampu menyerapnya dengan baik. Hal ini menyebabkan ikatan antar butiran agregat menjadi lemah dan saling terpisah, sehingga nilai stabilitas pun mengalami penurunan.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai minimum stabilitas untuk campuran *SMA* yaitu > 600 kg sehingga nilai stabilitas pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

2. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Flow*

Grafik hasil nilai *flow* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.




**Gambar 5.12 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Flow***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *flow* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Peningkatan ini diakibatkan oleh penambahan AAK yang membuat campuran lebih plastis dan kurang mampu menahan beban tinggi. Mastik yang terbentuk semakin banyak dengan viskositas yang lebih rendah. Bertambahnya mastik dalam campuran menyebabkan campuran menjadi lebih

plastis, sehingga ketika menerima beban, campuran mengalami deformasi plastis yang lebih signifikan.

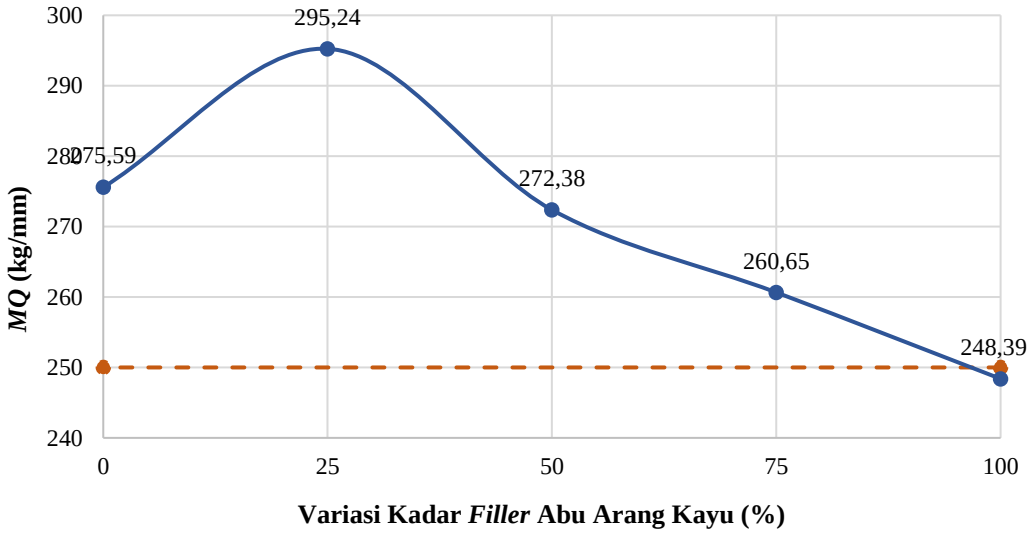
Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,001 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,001 < 0,05 (signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK berpengaruh terhadap nilai *flow*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK mempengaruhi nilai *flow* campuran.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Banafsaj dan Fauziah (2018) dalam penelitiannya, Nilai *flow* tidak menunjukkan pola yang konsisten, namun cenderung mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh penambahan ASP yang memperbesar rongga dalam campuran, sehingga campuran menjadi lebih rentan terhadap deformasi ketika terkena beban lalu lintas. Akibatnya, ikatan antara agregat dan aspal melemah, yang menyebabkan nilai flow terus meningkat. Hasil ini sejalan dengan Ridwan dan Nadia (2017) dalam penelitiannya, aampuran aspal dengan variasi kadar *filler* pengganti ASP menunjukkan peningkatan nilai flow seiring bertambahnya kadar *filler* tersebut. Hal ini terjadi karena semakin banyak *filler* pengganti ASP yang digunakan, campuran menjadi lebih plastis dan kurang mampu menahan deformasi.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *flow* untuk campuran *SMA* memiliki nilai antara 2,0 mm sampai 4,5 mm sehingga nilai *flow* pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

3. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Marshall Quotient (MQ)*

   Grafik hasil nilai *MQ* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.




**Gambar 5.13 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *MQ***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK mengalami peningkatan hingga kadar variasi substitusi 25% dan mengalami penurunan di 50% hingga 100%. Nilai *MQ* mengindikasikan tingkat fleksibilitas perkerasan dalam menahan beban lalu lintas. Peningkatan nilai *MQ* terjadi hingga kadar *filler* 25%, namun mulai menurun pada kadar *filler* 50%, 75%, dan 100%. kondisi ini sejalan dengan stabilitas campuran, dengan titik optimum berada pada kadar 25%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar AAK, kefleksibilitas campuran berkurang. Sehingga pada titik optimum, nilai *MQ* menunjukkan fleksibilitas rendah, sehingga campuran menjadi lebih tahan terhadap deformasi. Namun, setelah melewati titik optimum, fleksibilitas campuran meningkat, yang menyebabkan campuran lebih mudah mengalami deformasi.

Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,120 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,120 > 0,05 (tidak signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK tidak berpengaruh terhadap nilai *MQ*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK tidak mempengaruhi nilai *MQ* campuran.

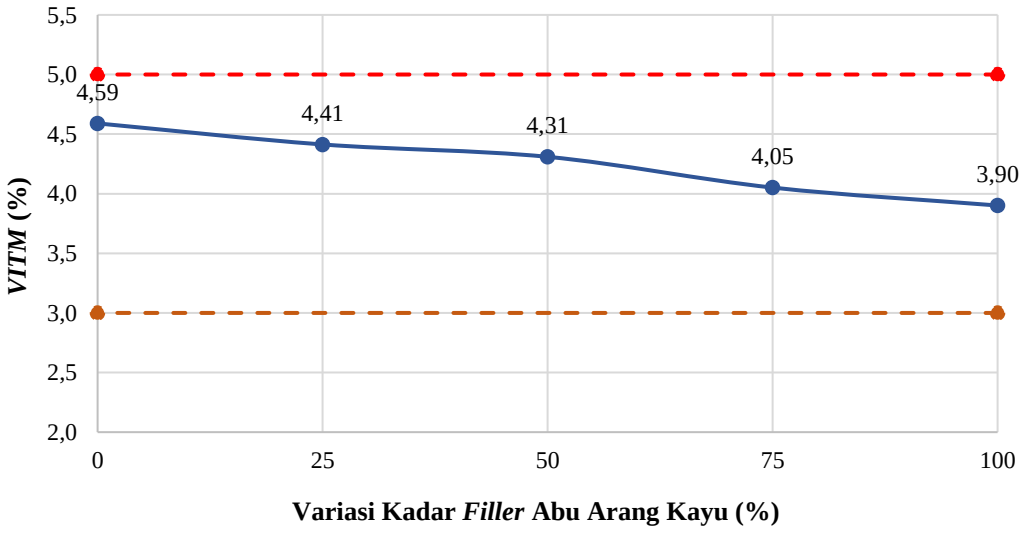
Penelitian ini sejalan dengan penelitian Hadiastari dan Fauziah (2018) dalam penelitiannya, Nilai *MQ* pada campuran dengan kadar *filler* yang tetap

menunjukkan peningkatan hingga mencapai kadar *filler* 50%. Namun, saat kadar *filler* meningkat hingga 75%, nilai *MQ* justru mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan oleh semakin banyaknya ASP yang digunakan dan berkurangnya proporsi debu batu dalam campuran *SMA* 0/11, yang mengakibatkan melemahnya ikatan antar agregat dan membuat campuran menjadi kurang kaku. Nilai *MQ* tertinggi tercatat pada kadar *filler* 50%, yang juga sejalan dengan tren peningkatan stabilitas. Nilai *MQ* ini mencerminkan fleksibilitas lapisan dalam menahan beban lalu lintas, dengan titik optimum pada kadar *filler* 50%.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *MQ* yaitu > 250 kg/mm sehingga nilai *MQ* pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

4. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Void in The Mix* (*VITM*)

   Grafik hasil nilai *VITM* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.




**Gambar 5.14 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VITM***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *VITM* semakin menurun seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Hal ini disebabkan karena *filler* pengganti AAK

mengisi lebih banyak rongga dalam campuran. Sifat AAK yang memiliki porositas tinggi yang menyebabkan penyerapan aspal lebih banyak. Akibatnya, rongga udara dalam campuran berkurang, dan lebih banyak aspal terserap oleh *filler*, sehingga menyebabkan penurunan *VITM*. Meskipun kepadatan campuran meningkat, penggunaan aspal yang berlebihan dapat membuat campuran menjadi terlalu lunak dan rentan terhadap deformasi plastis dan menjadi kedap air.

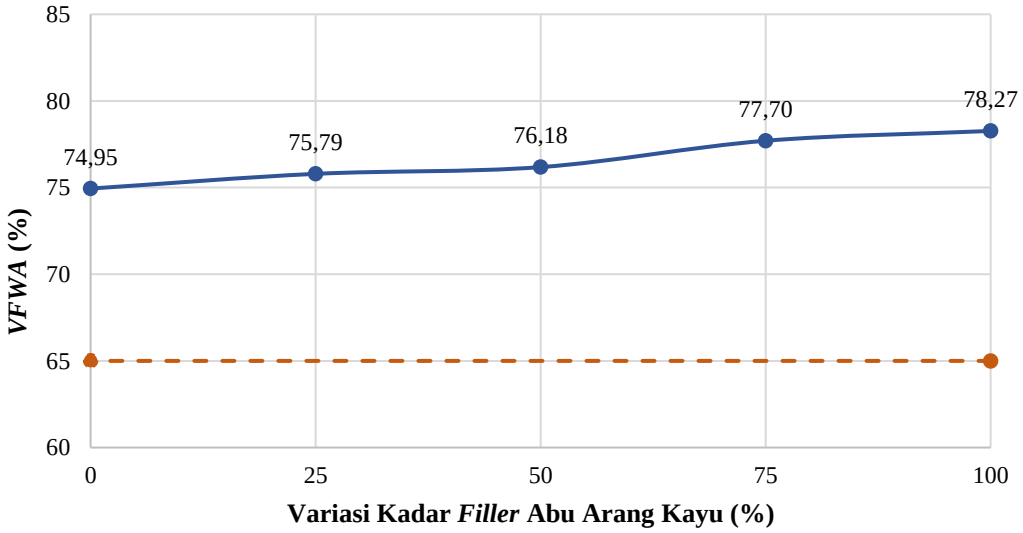
Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,943 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,943 > 0,05 (tidak signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK tidak berpengaruh terhadap nilai *VITM*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK tidak mempengaruhi nilai *VITM* campuran.

Penelitian ini sejalan dengan Hidayat dan Kushari (2019) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa nilai *VITM* mengalami penurunan, hal ini disebabkan semakin terisinya rongga yang tersisa pada campuran setelah dipadatkan oleh *filler* AAT dan bertambahnya kadar aspal.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *VITM* untuk campuran *SMA* memiliki nilai antara 3% sampai 5% sehingga nilai *VITM* pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

5. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

   Grafik hasil nilai *VFWA* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.




**Gambar 5.15 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VFWA***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.15 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *VFWA* semakin meningkat seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Hal ini disebabkan oleh penyerapan aspal yang berlebihan oleh *filler* AAK. *Filler* ini bersifat poros, ia dapat menyerap lebih banyak aspal, yang mengakibatkan rongga yang seharusnya berfungsi untuk drainase dan deformasi justru terisi penuh. Akibatnya, campuran menjadi terlalu lunak atau kaya aspal, yang berdampak pada penurunan stabilitas serta membuat campuran lebih rentan terhadap deformasi plastis.

Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,926 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,926 > 0,05 (tidak signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK tidak berpengaruh terhadap nilai *VFWA*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK tidak mempengaruhi nilai *VFWA* campuran.

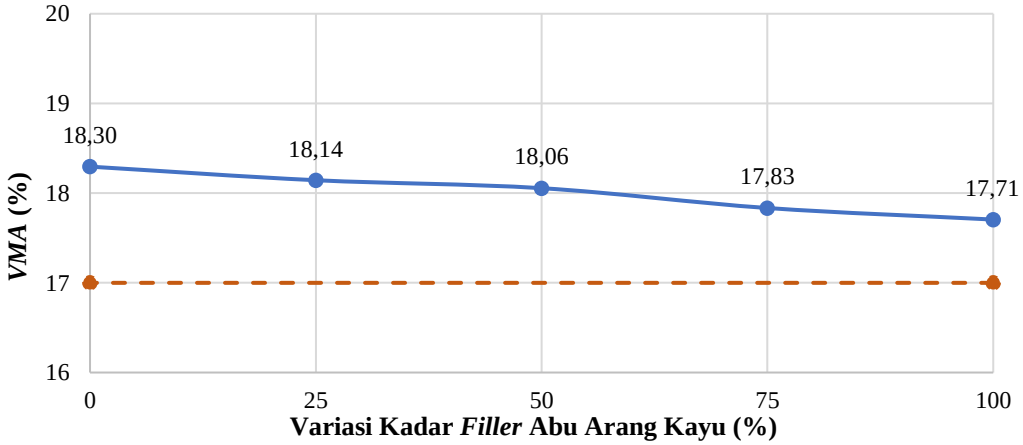
Penelitian ini sejalan dengan penelitian Ardi dan Chasanah (2020) bahwa nilai *VFWA* pada campuran *Superpave* menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring dengan bertambahnya persentase *filler* pengganti gamping, mulai dari 0% hingga 100%. Peningkatan ini disebabkan oleh penambahan kadar *filler* gamping

yang secara efektif mengisi rongga-rongga dalam campuran. Dengan berkurangnya ukuran rongga, campuran menjadi semakin padat dan kedap.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *VFWA* yaitu > 65% sehingga nilai *VFWA* pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

6. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Void Mineral Aggregate (VMA)*

   Grafik hasil nilai *VMA* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.




**Gambar 5.16 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VMA***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *VMA* semakin menurun seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Nilai *VMA* merupakan persentase rongga udara yang terdapat di antara partikel-partikel agregat dalam campuran aspal yang telah dipadatkan. Penurunan nilai *VMA* terjadi karena peningkatan nilai *VFWA* dan menurun nilai *VITM*. Penurunan nilai *VMA* menunjukkan bahwa jarak antar agregat semakin kecil. Hal ini disebabkan bahwa volume rongga dalam agregat mineral yang tersedia untuk diisi oleh aspal berkurang. Ini biasanya terjadi karena peningkatan jumlah *filler* atau material halus yang mengisi rongga-rongga antar agregat, sehingga ruang kosong di dalam campuran menjadi lebih kecil. Akibatnya, jumlah aspal yang bisa masuk ke dalam rongga tersebut juga menurun. Penurunan nilai *VMA* dapat berdampak pada performa campuran, seperti mengurangi

durabilitas dan potensi tahan lama karena aspal tidak cukup untuk mengikat agregat dengan baik.

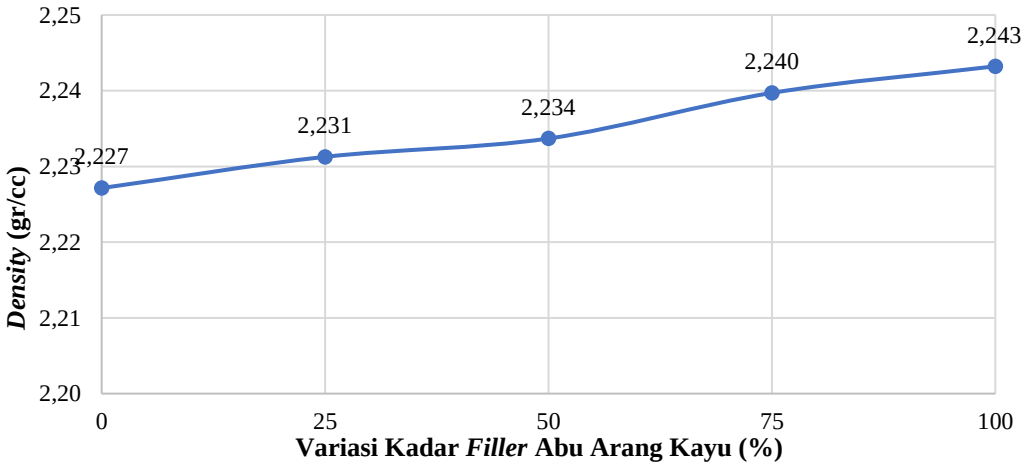
Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,941 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,941 > 0,05 (tidak signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK tidak berpengaruh terhadap nilai *VMA*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK tidak mempengaruhi nilai *VMA* campuran.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Hidayat dan Kushari (2019) dalam penelitiannya, Nilai *VMA* menurun seiring dengan peningkatan kadar *filler* pengganti AAT dari 0% hingga 75%. Penurunan ini dapat terjadi karena *filler* pengganti AAT semakin banyak mengisi pori-pori di antara agregat, sehingga ukuran pori menjadi semakin kecil. Hasil ini sejalan dengan penelitian Alamsyah dan Meiyanto (2016) dalam penelitiannya, menjelaskan pemanfaatan AAT sebagai pengganti *filler* pada campuran aspal panas *(Hot Mix)* Latasir B menunjukkan bahwa ukuran partikel AAT yang halus memudahkan penetrasi ke dalam pori-pori agregat.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *VMA* yaitu > 17% sehingga nilai *VMA* pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

7. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Density*

   Grafik hasil nilai *density* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.




**Gambar 5.17 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *Density***

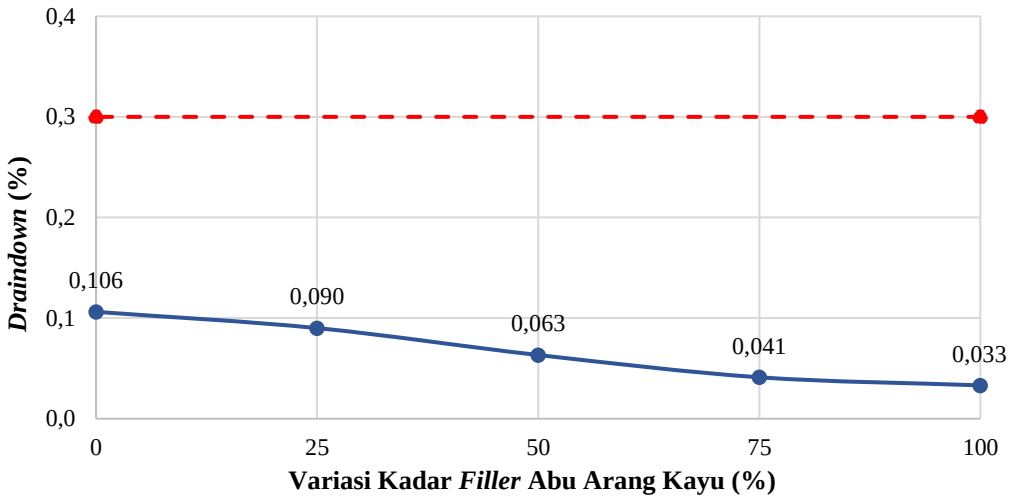
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.17 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *density* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Hal ini disebabkan karena meningkatnya nilai *VFWA* dan menurunya nilai *VITM* pada campuran. Nilai *density* mengalami peningkatan yang disebabkan oleh peningkatan *density* yang tidak disertai dengan distribusi aspal dan agregat yang tepat dapat menyebabkan penurunan stabilitas. Meskipun campuran menjadi lebih padat, penyerapan aspal yang berlebihan, dan penurunan jumlah rongga udara mengakibatkan campuran lebih mudah rusak dan tidak mampu menahan deformasi dengan baik.

Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,944 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,944 > 0,05 (tidak signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK tidak berpengaruh terhadap nilai *density*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK tidak mempengaruhi nilai *density* campuran.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Dayanti, dkk (2024) dalam penelitannya, Nilai *density* meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah bahan pengisi abu kapur yang digunakan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan jumlah *filler* yang mengakibatkan berkurangnya rongga di antara agregat serta rongga udara dalam campuran yang terisi oleh abu kapur.

### 5.2.7 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Draindown*

*Draindown* adalah kondisi di mana terjadi pemisahan antara agregat dan aspal dalam suatu campuran, sehingga aspal mengalir ke bawah dan terpisah dari campuran secara keseluruhan. Uji *draindown* ini digunakan untuk menentukan jumlah *draindown* campuran aspal yang sesuai dengan spesifikasi yang telah ditentukan. Grafik hasil nilai *draindown* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.




**Gambar 5.18 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *Draindown***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *draindown* menurun seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Penurunan nilai *draindown* pada campuran *stone matrix asphalt (SMA)* dengan *filler* AAK terjadi karena sifat *filler* tersebut yang mampu menyerap aspal lebih baik. *Filler* AAK memiliki kemampuan menyerap aspal, sehingga mengurangi potensi aspal untuk terpisah dari campuran dan mengalir ke bawah (*draindown*). Selain itu, tekstur dan porositas AAK juga membantu memperbaiki kohesi dalam campuran, menjaga keseragaman distribusi aspal dan agregat, yang akhirnya menurunkan nilai draindown.

Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,001 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,001 < 0,05 (signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK berpengaruh terhadap nilai *draindown*.

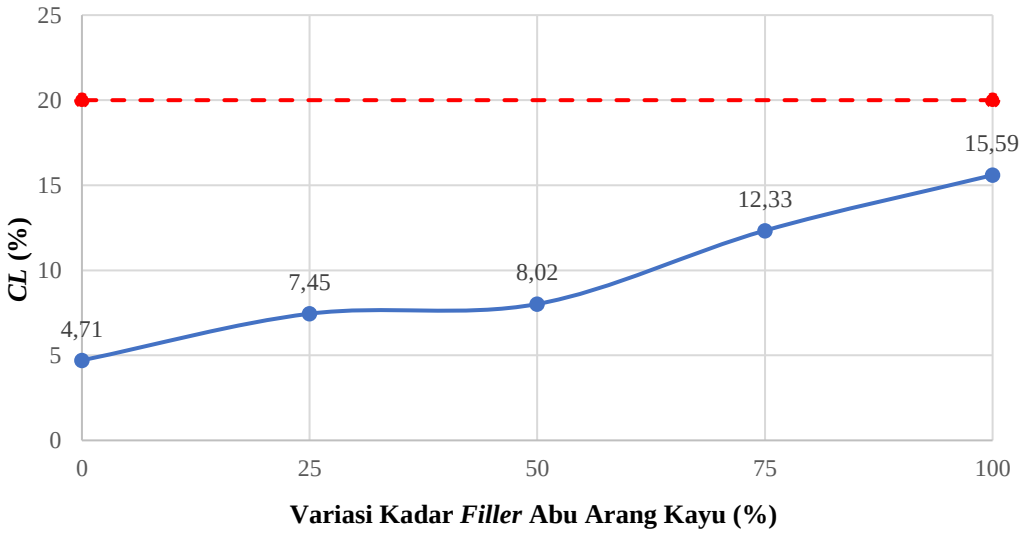
Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK mempengaruhi nilai *draindown* campuran.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Syammaun, dkk (2020) dalam penelitiannya, bahwa penambahan *filler* dari tempurung kelapa mengakibatkan penurunan nilai *draindown*, yang menunjukkan bahwa tingkat pemisahan aspal dalam campuran semakin berkurang.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *draindown* yaitu <0,3% sehingga nilai *draindown* pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

### 5.2.8 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *Cantabro Loss*

Nilai *CL* mengindikasikan daya tahan benda uji terhadap keausan yang diuji menggunakan mesin *los angeles*. Dalam pengujian ini, benda uji dimasukkan ke mesin *los angeles* untuk mengukur tingkat keausannya. *CL* memberikan informasi mengenai sejauh mana lapisan aspal dapat bertahan terhadap gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan. Grafik hasil nilai *CL* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.




**Gambar 5.19 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *CL***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *CL* meningkat seiring bertambahnya kadar variasi

substitusi *filler* AAK. Peningkatan nilai *CL* terjadi karena tingginya nilai *CL* biasanya disebabkan oleh lemahnya ikatan antara agregat dan aspal. Pada campuran yang menggunakan *filler* AAK, kenaikan nilai ini bisa disebabkan oleh terlalu banyaknya aspal yang terserap oleh *filler*, sehingga jumlah aspal yang efektif sebagai perekat antar agregat berkurang. Akibatnya, ikatan antar partikel menjadi lebih rapuh, meningkatkan risiko pengelupasan agregat dan keausan.

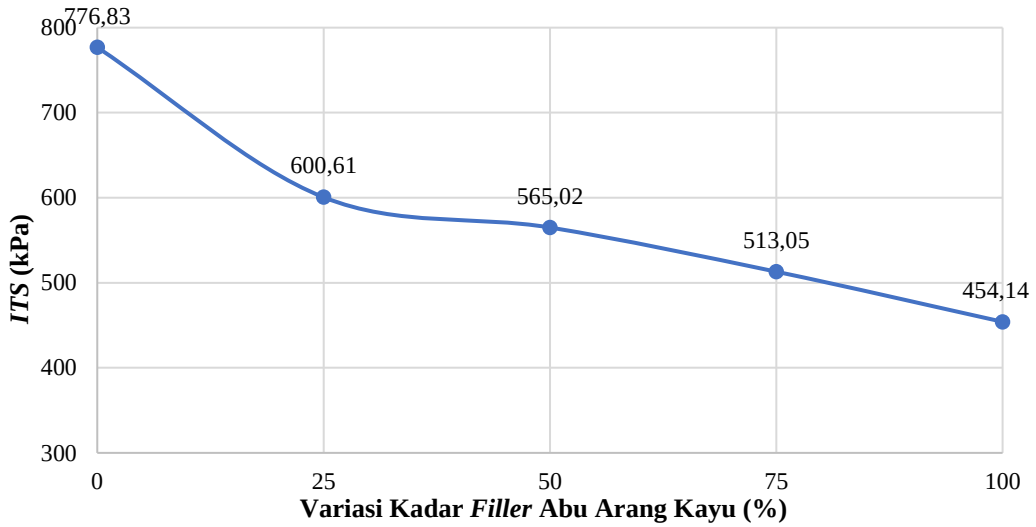
Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,001 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,001 < 0,05 (signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK berpengaruh terhadap nilai *CL*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK mempengaruhi nilai *CL* campuran.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Fauziah, dkk (2014) dalam penelitiannya, bahwa AAT memiliki daya serap yang lebih tinggi dibandingkan debu batu, sehingga lebih banyak aspal yang terserap dan mengakibatkan jumlah aspal yang tersisa untuk melapisi agregat menjadi lebih sedikit.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *Cl* yaitu <20 % sehingga nilai *CL* pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

### 5.2.9 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *ITS*

*ITS* pada aspal adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kekuatan tarik tidak langsung dari campuran aspal. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sejauh mana campuran aspal dapat menahan gaya tarik yang dihasilkan ketika beban diterapkan secara horizontal. Dalam pengujian *ITS*, sampel silinder aspal diletakkan di mesin uji, kemudian diberikan beban secara vertikal hingga terjadi keretakan pada sampel. Grafik hasil nilai *ITS* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.




**Gambar 5.20 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *ITS***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.20 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *ITS* menurun seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* AAK. Penurunan nilai *ITS* terjadi karena *filler* abu arang kayu memiliki kemampuan penyerapan yang tinggi, yang mengakibatkan lebih banyak aspal terserap oleh *filler*. Akibatnya, jumlah aspal yang tersisa untuk mengikat agregat menjadi berkurang, sehingga ikatan antar agregat menjadi lebih lemah. Kondisi ini menyebabkan penurunan kekuatan tarik tidak langsung *(ITS)*. Meskipun *filler* AAK dapat meningkatkan kepadatan campuran, kekurangan aspal yang efektif pada permukaan agregat membuat kekuatan tarik campuran menurun.

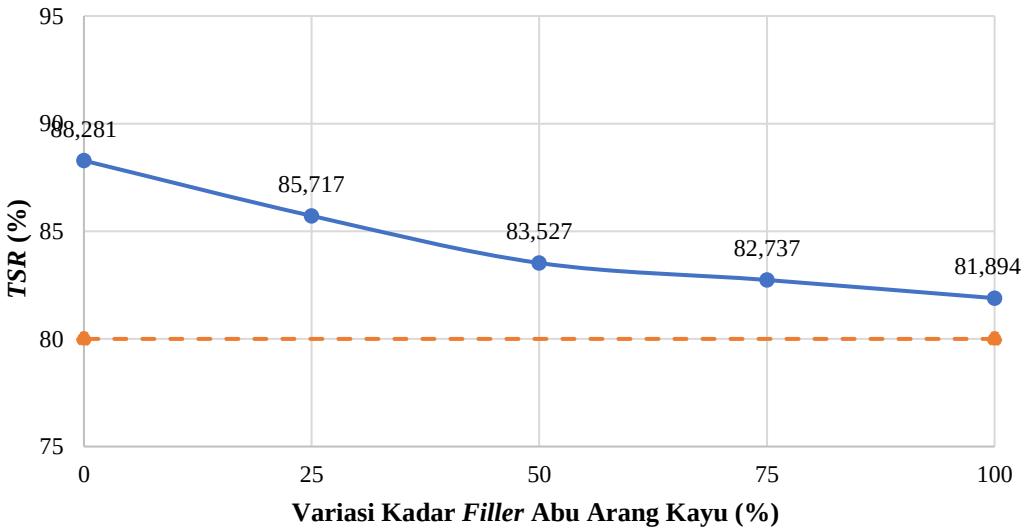
Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,001 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,001 < 0,05 (signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK berpengaruh terhadap nilai *ITS*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK mempengaruhi nilai *ITS* campuran.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Hadiastari dan Fauziah (2018) dalam penelitiannya, bahwa nilai *ITS* pada campuran *SMA* 0/11 mengalami penurunan seiring dengan peningkatan persentase *filler* yang digantikan oleh abu sekam padi, meskipun durasi rendaman tetap konstan. Fenomena ini terjadi karena penambahan abu sekam padi membuat campuran *SMA* 0/11 menjadi lebih rapuh, sehingga daya

tahan material terhadap beban berkurang. ASP, sebagai pengganti *filler* konvensional, tidak mampu memberikan kekuatan struktural yang sama seperti *filler* biasa. Akibatnya, campuran *SMA* 0/11 yang mengandung ASP memiliki sifat mekanik yang lebih lemah, terutama dalam hal menahan deformasi di bawah beban. Kondisi ini berbeda signifikan dibandingkan dengan campuran *SMA* 0/11 yang tidak mengandung ASP, di mana material tersebut lebih mampu mempertahankan stabilitasnya di bawah kondisi beban dan rendaman yang sama. Oleh karena itu, semakin tinggi kadar ASP yang digunakan, semakin besar pengaruhnya terhadap penurunan stabilitas campuran, menjadikannya kurang ideal dalam menahan beban secara efektif. Sejalan juga dengan penelitian Hidayati dan Fauziah (2018) dalam penelitiannya, bahwa Nilai *ITS* pada campuran *SMA* 12,5 mm dengan variasi penambahan kadar *filler* pengganti ASP cenderung mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh peningkatan lebar retakan pada campuran seiring dengan bertambahnya kadar *filler* pengganti ASP. Semakin tinggi kadar *filler* pengganti, rongga dalam campuran menjadi lebih kecil, namun campuran menjadi lebih getas dan rapuh. Kondisi ini terjadi karena penambahan *filler* pengganti yang berlebihan membuat campuran kurang tahan terhadap beban, sehingga kekuatannya menurun.

### 5.2.10 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *TSR*

*TSR* adalah parameter yang digunakan untuk mengukur ketahanan campuran aspal terhadap kelembaban atau efek air. *TSR* menunjukkan seberapa besar pengaruh air terhadap kekuatan tarik campuran aspal dengan membandingkan kekuatan tarik sampel aspal dalam kondisi kering dan kondisi basah. Pengujian ini duiji dengan perendaman 24 jam pada *waterbath* dengan suhu 60ºC terhadap bahan uji tanpa rendaman. Grafik hasil nilai *TSR* akibat pengaruh substitusi *filler* AAK dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.




**Gambar 5.21 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *TSR***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.21 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK menjadikan nilai *TSR* menurun seiring bertambahnya kadar variasi substitusi *filler* abu arang kayu. Penurunan nilai *TSR* pada campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan *filler* abu arang kayu disebabkan oleh sifat *filler* tersebut yang memiliki daya serap tinggi terhadap aspal. Ketika *filler* AAK menyerap lebih banyak aspal, jumlah aspal yang tersisa untuk membentuk ikatan kuat dengan agregat menjadi berkurang. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi lebih rentan terhadap efek kelembapan dan air.

Dalam kondisi basah, air dapat dengan lebih mudah masuk ke dalam campuran, melemahkan ikatan antara aspal dan agregat, yang akhirnya menyebabkan penurunan nilai *TSR*. Artinya, ketahanan campuran *SMA* terhadap kerusakan akibat air menjadi lebih rendah. *Filler* AAK mungkin mengurangi efektivitas aspal dalam melapisi dan melindungi agregat, sehingga campuran lebih mudah mengalami pengelupasan (*stripping*) ketika terkena air. Akibatnya, nilai *TSR* menurun, menandakan berkurangnya ketahanan terhadap kelembapan dalam campuran tersebut.

Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,950 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,950 > 0,05 (tidak signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK tidak berpengaruh terhadap nilai

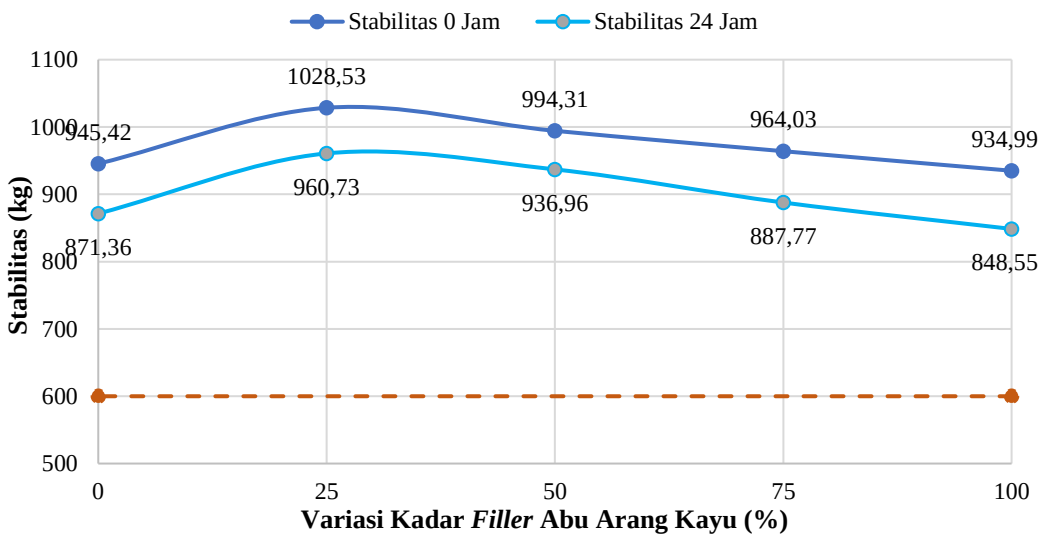
*TSR*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK tidak mempengaruhi nilai *TSR* campuran.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Akifah, dkk (2024) dalam penelitiannya, bahwa penambahan AAK dalam campuran aspal beton porous dapat meningkatkan stabilitas struktural, tetapi di sisi lain, penurunan kinerja fungsional seperti nilai *VITM*. Hal ini dapat mengurangi kemampuan aspal dalam menahan kelembapan, yang berkontribusi terhadap penurunan nilai *TSR*, karena rongga dalam campuran tertutup oleh *filler* yang berlebih.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *TSR* yaitu > 80% sehingga nilai *TSR* pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

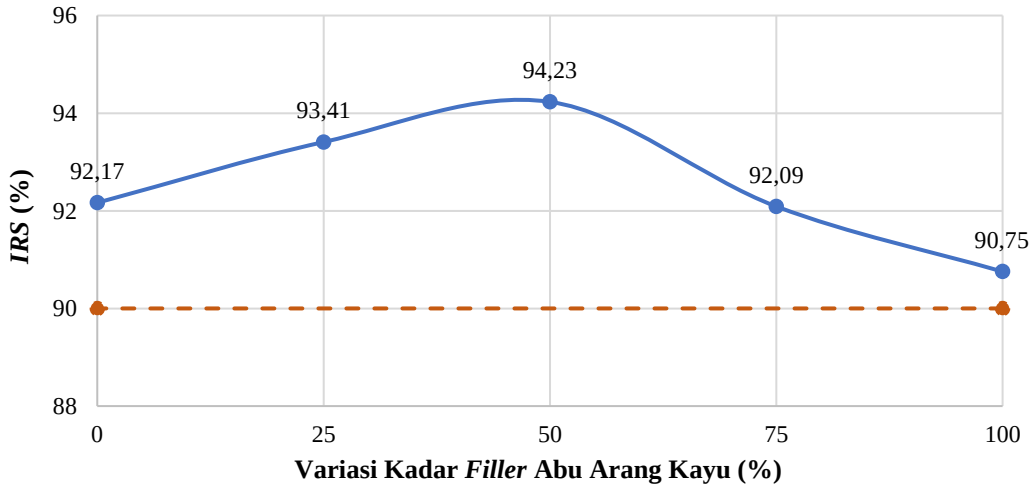
### 5.2.11 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *IRS*

*IRS* adalah parameter yang digunakan untuk mengukur kekuatan campuran aspal dalam menahan beban setelah mengalami siklus kelembapan atau perendaman dalam air. *IRS* sering kali dikaitkan dengan *kemampuan* campuran aspal untuk mempertahankan kekuatan tariknya setelah terpapar air atau kelembapan, sehingga parameter ini sangat berguna untuk mengukur daya tahan aspal terhadap kerusakan akibat air dengan membandingkan kekuatan tekan benda uji yang direndam dengan perendaman 0,5 jam terhadap 24 jam pada suhu 60℃. Nilai stabilitas rendaman 0,5 jam dan rendaman 24 jam dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.




**Gambar 5.22 Grafik Hubungan antara Rendaman dan Stabilitas**

Berdasarkan Gambar 5.22, dapat dilihat bahwa stabilitas pada sampel yang direndam selama 24 jam lebih rendah dibandingkan dengan yang direndam selama 0,5 jam. Perubahan suhu yang tinggi membuat campuran aspal melunak, yang pada akhirnya menurunkan nilai stabilitasnya. Selain itu, penurunan stabilitas juga disebabkan oleh air yang masuk ke dalam rongga campuran pada suhu tinggi, yang melemahkan ikatan antara aspal dan agregat (adhesi). Grafik nilai *IRS* akibat pengaruh variasi substitusi AAK dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.




**Gambar 5.23 Grafik Pengaruh AAK Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *IRS***

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.23 dapat dilihat bahwa substitusi *filler* AAK mengalami peningkatan hingga kadar variasi substitusi 50% dan mengalami penurunan di 75% hingga 100%. Nilai *IRS* yang meningkat dari kadar 0% hingga 50% pada campuran *SMA* dengan *filler* AAK menunjukkan bahwa hingga kadar tersebut, *filler* ini memberikan kontribusi positif terhadap kekuatan campuran. Pada kadar yang lebih rendah, AAK berperan dalam memperbaiki ikatan antara aspal dan agregat, serta mengurangi porositas dalam campuran, sehingga meningkatkan daya tahan terhadap kelembapan.

Namun, ketika kadar *filler* AAK meningkat hingga 75% hingga 100%, nilai *IRS* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan oleh jumlah *filler* yang berlebihan, yang justru mengurangi efisiensi aspal dalam melapisi agregat dan mengisi rongga dalam campuran. Pada kadar yang terlalu tinggi, *filler* cenderung menyerap lebih banyak aspal, sehingga mengurangi jumlah aspal yang efektif untuk membentuk ikatan adhesi yang kuat. Akibatnya, campuran menjadi lebih rapuh dan kurang tahan terhadap kelembapan, yang menyebabkan penurunan nilai *IRS*.

Nilai signifikansi analisis *ANOVA* sebesar 0,959 pada tingkat signifikansi 0,05. Hasil signifikansi didapatkan 0,959 > 0,05 (tidak signifikan) sehingga dapat ditarik Kesimpulan bahwa *filler* pengganti AAK tidak berpengaruh terhadap nilai *IRS*. Hal ini mengindikasikan campuran *SMA* 25 mm dengan penggunaaan *filler* pengganti AAK tidak mempengaruhi nilai *IRS* campuran.

Penurunan nilai *IRS* ini menunjukkan bahwa meskipun AAK dapat meningkatkan kekuatan campuran pada kadar tertentu, penggunaan yang berlebihan justru merugikan karena menyebabkan campuran lebih rentan terhadap kerusakan akibat air.

Penelitian ini sejalan dengan penelitian Ismadani, dkk (2013) dalam penelitiannya, Nilai *IRS* pada campuran cenderung mengalami peningkatan pada kadar 25% dan 50% *filler* ASP dibandingkan dengan 0%. Peningkatan ini kemungkinan disebabkan oleh lapisan aspal yang lebih tebal menutupi agregat, yang membantu memperkuat ikatan antar partikel serta meningkatkan daya tahan campuran terhadap kerusakan yang disebabkan oleh kelembapan. Hal ini sejalan dengan Hidayat dan Kushari (2019) dalam penelitiannya, penggunaan AAT dalam

campuran aspal menunjukkan peningkatan hingga pada kadar 50%. Hal ini disebabkan oleh kandungan silika yang tinggi dalam AAT, yang berfungsi memperkuat ikatan antar partikel dalam campuran aspal. Kandungan silika ini juga berperan dalam meningkatkan durabilitas campuran, membuatnya lebih tahan terhadap pengaruh lingkungan seperti kelembapan dan beban lalu lintas.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *IRS* yaitu > 90% sehingga nilai *IRS* pada campuran *SMA* dengan variasi campuran *filler* AAK masih memenuhi persyaratan.

### 5.2.12 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *VCA*

Hasil pengujian *VCA*, gradasi yang dipilih menghasilkan nilai rasio *VCAmix/VCAdrc* berkisar 0,8 (<1,0). Kesimpulan dari pengujian ini adalah campuran *SMA* 25 mm terjadi kontak antar agregat kasar yang baik.

## 5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* AAK

Rekapitulasi hasil pengujian pada campuran dengan menggunakan *filler* AAK dapat dilihat pada Tabel 5.16.

**Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* Abu Arang Kayu**

| Tinjauan | Parameter | Substitusi *Filler* Limbah Abu Arang Kayu (%) | | | | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | |
| Kekuatan Struktur | Stabilitas (kg) | 945,42 | 1028,53 | 994,31 | 964,03 | 934,99 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai stabilitas cenderung mengalami penurunan tidak signifikan. Sehingga campuran lebih mudah menerima deformasi. |
| | *Flow* (mm) | 3,43 | 3,48 | 3,65 | 3,70 | 3,77 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *flow* cenderung mengalami peningkatan signifikan. Sehingga campuran menjadi lebih lentur.. |
| | *MQ* (kg/mm) | 275,59 | 295,24 | 272,38 | 260,65 | 248,39 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *MQ* cenderung mengalami penurunan tidak signifikan. Sehingga pada titik optimum, nilai *MQ* menunjukkan fleksibilitas rendah, sehingga campuran menjadi lebih tahan terhadap deformasi. Namun, setelah melewati titik optimum, fleksibilitas campuran meningkat, yang menyebabkan campuran lebih mudah mengalami deformasi. |
| | *ITS* (kPa) | 776,834 | 600,609 | 565,017 | 513,047 | 454,140 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *ITS* cenderung mengalami penurunan signifikan. Sehingga kurang mampu dalam menahan kuat tarik |

**Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* Abu Arang Kayu**

| Tinjauan | Parameter | Substitusi *Filler* Limbah Abu Arang Kayu (%) | | | | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | |
| Volumentrik | *VITM* (%) | 4,59 | 4,41 | 4,31 | 4,05 | 3,90 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *VITM* cenderung mengalami penurunan tidak signifikan. Sehingga menyebabkan campuran memiliki rongga udara yang kecil. |
| | *VFWA* (%) | 74,95 | 75,79 | 76,18 | 77,70 | 78,27 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *VFWA* cenderung mengalami peningkatan tidak signifikan. Peningkatan ini disebabkan oleh penambahan kadar *filler* AAK yang secara efektif mengisi rongga-rongga dalam campuran. Dengan berkurangnya ukuran rongga, campuran menjadi semakin padat dan kedap. |
| | *VMA* (%) | 18,30 | 18,14 | 18,06 | 17,83 | 17,71 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *VMA* cenderung mengalami penurunan tidak signifikan. Sehingga menurunkan jarak antar agregat |
| | *VCA* | 0,837 | 0,859 | 0,870 | 0,877 | 0,880 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *VCA* cenderung mengalami peningkatan tidak signifikan. Sehingga campuran masih mampu menahan deformasi. |
| | *Density* (gr/cc) | 2,227 | 2,231 | 2,234 | 2,240 | 2,243 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *Density* cenderung mengalami peningkatan tidak signifikan. Sehingga campuran menjadi rapat. |

**Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* Abu Arang Kayu**

| Tinjauan | Parameter | Substitusi *Filler* Limbah Abu Arang Kayu (%) | | | | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 0 | 25 | 50 | 75 | 100 | |
| Durabilitas | *IRS* (%) | 92,17 | 93,41 | 94,23 | 92,09 | 90,75 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *IRS* cenderung mengalami peningkatan tidak signifikan. Sehingga campuran tahan terhadap air, suhu, dan udara. |
| | *Draindown* (%) | 0,11 | 0,09 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *draindown* cenderung mengalami penurunan signifikan. Sehingga aspal pada campuran lebih terikat dikarenakan tercampur secara homogen |
| | *CL* (%) | 4,708 | 7,445 | 8,017 | 12,334 | 15,592 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *CL* cenderung mengalami peningkatan signifikan. Sehingga campuran kurang mampu menerima benturan. |
| | *TSR* (%) | 88,281 | 85,717 | 83,527 | 82,737 | 81,894 | Semakin besar substitusi *filler* AAK, nilai *TSR* cenderung mengalami penurunan tidak signifikan. Sehingga mengakibatkan campuran menjadi lebih rentan terhadap efek kelembapan dan air. |

# BAB VI
# KESIMPULAN DAN SARAN

## 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt* 25 mm dengan variasi substitusi *filler* abu arang kayu sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penambahan AAK sebagai *filler* dalam campuran *SMA* 25 mm menunjukkan peningkatan stabilitas dan *MQ* pada kadar 25%, namun mulai menurun pada kadar 50% hingga 100%. Nilai *flow* meningkat pada kadar 50% hingga 100%, membuat campuran lebih *fleksibel*, meskipun rentan terhadap deformasi seperti rutting. Porositas, seperti *VITM* dan *VMA*, menurun seiring peningkatan kadar AAK, sedangkan *VFWA* dan *density* meningkat. Kenaikan *density* tanpa distribusi aspal yang optimal bisa menyebabkan penurunan stabilitas.
2. Nilai *ITS* pada campuran *SMA* 25 mm dengan variasi kadar AAK sebagai *filler* mengalami penurunan seiring peningkatan kadar filler. Penurunan ini disebabkan oleh retakan yang semakin lebar, menunjukkan bahwa meskipun AAK meningkatkan beberapa sifat, kelebihan *filler* justru menurunkan kekuatan tarik campuran dan meningkatkan kerentanan terhadap kerusakan.
3. Nilai *IRS* meningkat hingga kadar AAK 50%, lalu menurun pada 75% hingga 100%. Peningkatan *IRS* pada kadar 25% hingga 50% menunjukkan ketahanan campuran terhadap cuaca dan beban lalu lintas. Nilai *CL* juga meningkat seiring kadar AAK yang lebih tinggi, namun masih memenuhi standar Bina Marga. Pada kadar AAK 100%, daya serap aspal berlebihan menyebabkan ikatan agregat menurun, berpengaruh pada kualitas *TSR* yang semakin rendah. Nilai *Draindown* menurun karena sifat AAK yang menyerap aspal dengan baik, menjaga distribusi aspal dan agregat tetap stabil.

## 6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan penulis dapat memberikan saran sebagai berikut.

1. Penelitian lanjutan perlu dilakukan untuk menganalisis sifat kimia AAK dan VIATOP$^{66}$ dalam campuran *SMA* 25 mm. Analisis kimia akan membantu memahami komponen yang memengaruhi sifat fisik dan mekanis campuran serta mengevaluasi potensi kedua bahan sebagai *filler* dalam aspal. Pendekatan ini diharapkan memberikan wawasan lebih dalam untuk inovasi jalan yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.
2. Untuk campuran *SMA* 25 mm dengan *filler* AAK, kadar *filler* disarankan tidak melebihi 25% untuk menjaga stabilitas dan fleksibilitas campuran. Penelitian menunjukkan kadar *filler* yang lebih tinggi dapat meningkatkan kerapuhan campuran, sehingga kadar ini penting untuk memastikan kinerja jangka panjang aspal.
3. Sebaiknya untuk berat jenis *filler* abu arang kayu harap di perhatikan sebelumnya,agar hasilnya tidak terlalu terpaut jauh dengan berat jenis debu batu.
4. Penggunaan AAK dalam campuran aspal di Indonesia berpotensi mengurangi limbah pabrik dan meningkatkan kualitas campuran aspal.

# DAFTAR PUSTAKA


Abdillah, F, A., Pradani, N., dan Batti, F, J. 2018. Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Viatop[66] Pada Campuran *Stone Matrix Asphalt* Terhadap Titik Lembek Aspal Dan Sifat *Draindown* Campuran. Jurnal HPJI Vol. 4 No. 1 Januari 2028, Halaman 49-52. Universitas Tadulako Palu.

Agustian, K., dan Agusmaniza, R. 2021. Evaluasi Karakteristik Campuran *AC-BC* menggunakan Abu Cangkang Kemiri sebagai Bahan Substiusi *Filler* terhadap Parameter Marshall. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, *13*(2), 86-93.

Akifah, F., Jaya, Z., dan Supardin, S. 2024. Efek Penambahan Karbon Abu Arang Kayu Ke Dalam Bituman dan Campuran Aspal Beton Porous. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, *7*(01).

Alamsyah, A. A., dan Meiyanto, H. E. 2016. Penggunaan Abu Ampas Tebu *(Bagasse Ash Of Sugar Cane)* sebagai Bahan Pengganti *Filler* pada Campuran Aspal Panas *(Hot Mix)* Latasir B. *Media Teknik Sipil*, *14*(1), 15-26.

Alkhaly, Y. R., Fadhliani, F., dan Faisal, R. 2022. Pengaruh Variasi Jenis Material *Filler* Pada Campuran Aspal Beton Terhadap Parameter Marshall. *TECHSI-Jurnal Teknik Informatika*, *12*(3), 22-30.

Ardi, B. N., dan Chasanah, F. 2020. Pengaruh Penggunaan Serbuk Batu Gamping Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Karakteristik Campuran Bergradasi Superpave dengan Bahan Ikat Starbit E-55 (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).

Banafsaj, H. dan Fauziah, M. 2018. Kinerja Campuran *Stone Matrix Asphalt* Dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dengan *Filler* Abu Sekam Padi Akibat Lama Rendaman Air Laut. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Chasanah, F., dan Sukmo, T. A. 2023. Pengaruh Bubuk Talk Sebagai Bahan Filler Pengganti Pada Campuran Ac-Wc: Indonesia. *AJIE (Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship)*, 82-90.

Dayanti, R. I., Irwansyah, I., dan Alamsyah, W. 2024. Abu Batu Kapur Sebagai Alternatif *Filler* dalam Campuran Aspal Beton untuk Lapisan Aus. *Jurnal Ilmiah Telsinas Elektro, Sipil dan Teknik Informasi*, 7(1), 65-73.

Direktorat Jendral Bina Marga. 2020. Spesifikasi Umum *2018 Revisi 2 Divisi 6*. Penerbit Bina Marga. Jakarta.

Efiyanti, L., Wati, S. A., Setiawan, D., dan Pari, G. 2020. Sifat Kimia Dan Kualitas Arang Lima Jenis Kayu Asal Kalimantan Barat (*Chemical Properties And Charcoal Quality Of Five Wood Species From Wes*t Kalimantan). *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, *38*(1), 55-68.

Fauziah, M., Kushari, B., dan Ransky, F. 2014. Pengaruh Abu Ampas Tebu sebagai *Filler* Pengganti terhadap Karakteristik Marshall Campuran Superpave. In *Proc of 17th International Symposium FSTPT*.

Firmansyah, D. 2018. Pengaruh Penambahan Limbah Ban Karet Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran *Ac-Wc* Dengan *Filler Gypsum (The Effect Of Addition Of Waste Tire Rubber As Additive On Ac-Wc Concrete With Gypsum Filler)*. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hadiastari, I. G. 2018. Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) 0/11 Dengan *Filler* Abu Sekam Padi Akibat Lama Rendaman Air Laut. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Handayasari, I., Sepriyanna, I., dan Wulandari, H, S. 2023. Kajian Laboratorium Penggunaan Serat Daun Nanas Dan Serat Ijuk Pada Campuran *Stone Matrix Asphalt*. Jurnal Teknik Sipil Vol. 13, No 02 September 2023. Institut Teknologi PLN.

Hermansyah, H., Isnan, A. F., dan Yanti, F. 2022. Karakteristik *Marshall* pada Campuran Aspal *HRS-WC* Menggunakan Abu Sekam Padi. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, *5*(1), 60-73.

Hidayat, R. dan Kushari, B. 2019. Analisis Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt* Dengan Debu Ampas Tebu Sebagai *Filler* Pengganti. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hidayati, E.T., dan Fauziah, M. 2018. Pengaruh Debu Sekam Padi Sebagai *Filler* Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA).* Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Ismadarni, I., Risman, R., dan Kasan, M. 2013. Karakteritik Beton Aspal Lapis Pengikat *(AC-BC)* Yang Menggunakan Bahan Pengisi *(Filler)* Abu Sekam Padi. *MEKTEK*, *15*(2).

Kurniasari, F. D., Saleh, S. M., dan Sugiarto, S. 2018. Pengaruh *Filler* Abu Ampas Tebu (AAT) Dengan Bahan Pengikat Aspal Pen 60/70 Pada Campuran Laston AC-WC. *Jurnal Arsip Rekayasa Sipil dan Perencanaan*, *1*(4), 69-78.

Laras, P, H., Murniati., dan Desriantomy. 2022. Karakteristik *Marshall* Pada Campuran *HRS-WC* Dengan Penambahan Arang Kayu Tumbuk Sebagai Bahan Pengisi (*Filler*). Jurnal Teoritis dan Terapan Bidangan Keteknikan Vol. 6, No.1, Oktober 2022. Universitas Palangka Raya.

Metekohy, G, J., Amaheka, G, S., dan Latupeirissa, B, H. 2022. Pengaruh Serat Selulosa Terhadap Nilai Stabilitas *Marshall* Pada Campuran *Stone Matrix*

*Asphalt (SMA).* Jurnal Teknik Vol. 15 No. 1 Maret 2022 E-ISSN 2589-8891, Halaman 48-52. Universitas Muhammadiyah Maluku Utara.

Nisumanti, S., dan Yusuf, M. 2019. Pengaruh Arang Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Pengganti *Filler* aspal Penetrasi 60/70. Jurnal Ilmiah Tekno Global Vol. 8 No. 2 Desember 2019. Universitas Indo Global mandiri.

Putra, H, K., dan Fidausi, M. 2019. Studi Eksperimental Penambahan Serbuk Arang Kayu Dengan Kadar 10% Terhadap *Filler* Semen Pada Campuran Perkerasan *AC-WC*. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura Vol. 4 No.2 Desember 2019 ISSN 2527-5542.

Ridwan, F. S., dan Nadia, N. 2017. Analisis Pengaruh Pemanfaatan Abu Sekam Sebagai *Filler* Pada Campuran Aspal Beton. *Jurnal Konstruksia*, Volume 8 No.2, 1-8.

Rohman, M, F., Hasanuddin, A., dan Wicaksono, A, L. 2020. Pengunaan *Filler* Arang Kayu Pada Aspal *HRS – WC* Dan Aspal *AC – WC*. Jurnal Simetrik Vol.10, No.2, Desember 2020. Universitas Jember.

Septiani, R., Saleh, M, S., dan Lulusi. 2021. Pengunaan *Styrofoam* Dan Abu Serbuk Kayu Pada Campuran Laston Lapis Aus Dengan Metode Pencampuran Basah. Journal Of The Civil Engineering Student Vol. 3. No. 1, April 2021, Halaman 57-63. Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh.

Setiobudi, A., Amiwarti, A., dan Tamara, D. 2020. Analisis Penambahan Limbah Bakaran Abu Ampas Tebu Sebagai *Filler* Campuran Aspal *AC-WC. Jurnal Deformasi*, *5*(2), 63-68.

Sombo, T, A., Alpius., dan Bestari, S. 2022. Pemanfaatan Limbah Serat Tebu Pada Campuran *Stone Matrix Asphalt* Yang Menggunakan Batu Sungai. Paulus *Civil Engineering Journal* (*PCEJ*) Vol. 4 No. 2 Juni 2022. Universitas Kristen Indonesia Paulus.

Sugiyono, D. 2010. Memahami penelitian kualitatif.

Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova. Bandung.

Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Grani. Jakarta.

Sukirman, S. 2010. *Perencanaan Tebal Struktur Perkerasan Jalan*. Penerbit Nova. Bandung.

Sukirman, S. 2016. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Institut Teknologi Nasional. Bandung.

Syammaun, T., Rani, H. A., dan Amali, P. 2020. Pengaruh Substitusi *Styrofoam* pada Campuran Aspal Porus dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai *Filler*. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil ke-14*.

Tahir, A., Mashuri., dan Arifin, S. 2018. Karakteristik *Draindown* Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* Yang Menggunakan *Filler* Debu Batu Dan Semen.

*Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi antar Perguruan Tinggi ke-21*. Universitas Brawijata. Malang, 19 – 20 Oktober 2018.

Utomo, N., Wahjudijanto, I., dan Yasin, F. S. R. 2020. Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Material Pengisi *(Filler)* Pada Campuran Struktur Perkerasan Jalan Kolektor Ponco–Jatirogo (STA. 130+ 200–STA. 138+ 700). *Envirotek: Jurnal Ilmiah Teknik Lingkungan*, *12*(2), 64-74.

Wijaya, B, F, A. (2021). Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Arang Batok Kelapa Sebagai Bahan Pengganti *Filler* Pada Lapisan Aus *(AC-WC)* (*Doctoral dissertation,* Universitas Muhammadiyah Mataram).

# LAMPIRAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70**

# PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

| No. | Pemeriksaan | Sampel | |
|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 |
| 1 | Berat vicnometer kosong (gr) | 15,39 | 15,63 |
| 2 | Berat vicnometer + Aquadest (gr) | 25,95 | 25,92 |
| 3 | Berat Aquadest (2 - 1) (gr) | 10,56 | 10,29 |
| 4 | Berat vicnometer + Aspal (gr) | 16,42 | 16,78 |
| 5 | Berat Aspal (4 - 1) (gr) | 1,03 | 1,15 |
| 6 | Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr) | 26,01 | 25,94 |
| 7 | Berat Aquadest (6 - 4) (gr) | 9,59 | 9,16 |
| 8 | Volume Aspal (3 - 7) (gr) | 0,97 | 1,13 |
| 9 | Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8) | 1,06 | 1,018 |
| 10 | Rata-rata BJ Aspal | 1,040 | |

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bertha Kusbari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK 101 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70**

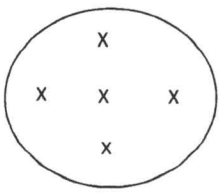
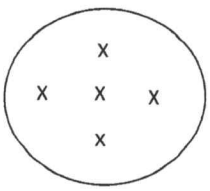
# PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

RUJUKAN; AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

| No | Urutan Pemeriksaan | Pemb. Suhu | Pemb. waktu | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | **Pemanasan Benda uji** | | | |
| | Mulai pemanasan | 27 $^{o}$C | 10.00 WIB | |
| | Selesai pemanasan | 140 $^{o}$C | 10.30 WIB | |
| 2 | **Didiamkan pada suhu ruang** | | | |
| | Mulai | 140 $^{o}$C | 10.30 WIB | |
| | Selesai | 27 $^{o}$C | 13.00 WIB | |
| 3 | **Diperiksa** | | | |
| | Mulai | 25 $^{o}$C | 13.00 WIB | |
| | Selesai | 25 $^{o}$C | 13.30 WIB | |

**HASIL PENGAMATAN**

| No | Benda Uji | | Sket Pengujian | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|
| | I (mm) | II (mm) | Benda Uji 1 | Benda Uji 2 | |
| 1 | 65 | 66 |  |  | |
| 2 | 64 | 65 | | | |
| 3 | 68 | 68 | | | |
| 4 | 66 | 65 | | | |
| 5 | 67 | 69 | | | |
| Rata2 | 66 | 66,6 | | | |
| Rata2 | 66,3 | | | | |

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70**

# PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

| No | Urutan Pemeriksaan | Pemb. Suhu | Pemb. waktu | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | **Pemanasan Benda uji** | | | |
| | Mulai pemanasan | 27 $^{o}$C | 08.20 WIB | |
| | Selesai pemanasan | 140 $^{o}$C | 08.35 WIB | |
| 2 | **Didiamkan pada suhu ruang** | | | |
| | Mulai | 140 $^{o}$C | 08.35 WIB | |
| | Selesai | 27 $^{o}$C | 09.40 WIB | |
| 3 | **Diperiksa** | | | |
| | Mulai | 27 $^{o}$C | 09.40 WIB | |
| | Selesai | 310 $^{o}$C | 10.20 WIB | |

## HASIL PENGAMATAN

| No | Keterangan | Titik Nyala | Titik Bakar | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Benda uji 1 | 315 $^{o}$C | 320 $^{o}$C | |
| 2 | Benda uji 2 | | | |
| 3 | Rata - rata | 315 $^{o}$C | 320 $^{o}$C | |

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Sri Nuri Kushari, M.Eng.IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70**

# PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

| No | Urutan Pemeriksaan | Pemb. Suhu | Pemb. waktu | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | **Pemanasan Benda uji** | | | |
| | Mulai pemanasan | 27 $^{o}$C | 08.20 WIB | |
| | Selesai pemanasan | 140 $^{o}$C | 08.35 WIB | |
| 2 | **Didiamkan pada suhu ruang** | | | |
| | Mulai | 140 $^{o}$C | 08.35 WIB | |
| | Selesai | 27 $^{o}$C | 09.40 WIB | |
| 3 | **Diperiksa** | | | |
| | Mulai | 5 $^{o}$C | 13.15 WIB | |
| | Selesai | 48 $^{o}$C | 13.30 WIB | |

## HASIL PENGAMATAN

| No. | Suhu yang diamati | Waktu Pemanasan (Detik) | | Titik Lembek ($^{o}$C) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Benda Uji I | Benda Uji II | I | II |
| 1 | 5 $^{o}$C | 0 detik | 0 detik | | |
| 2 | 10 $^{o}$C | 60 detik | 60 detik | | |
| 3 | 15 $^{o}$C | 120 detik | 120 detik | | |
| 4 | 20 $^{o}$C | 180 detik | 180 detik | | |
| 5 | 25 $^{o}$C | 240 detik | 240 detik | | |
| 6 | 30 $^{o}$C | 300 detik | 300 detik | | |
| 7 | 35 $^{o}$C | 360 detik | 360 detik | | |
| 8 | 40 $^{o}$C | 420 detik | 420 detik | | |
| 9 | 45 $^{o}$C | 480 detik | 480 detik | | |
| 10 | 50 $^{o}$C | 525 detik | 527 detik | 48$^{o}$C | 49$^{o}$C |
| 11 | 55 $^{o}$C | | | | |
| 12 | 60 $^{o}$C | | | | |

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushariadi, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70**

# PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

1 Contoh dari : Pertamina
2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diperiksa tg : 2024

Persiapan pemeriksaan

| No | Pemeriksaan | Keterangan | Waktu | Temperatur |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Persiapan benda uji | Aspal dipanaskan | 15 menit | suhu pemans ± 135$^{O}$C |
| 2 | Mendinginkan benda uji | Diamkan pada suhu ruang | 60 menit | suhu ruang ± 28$^{O}$C |
| 3 | Perendaman benda uji | Direndam dalam water pada suhu 25$^{O}$C | 60 menit | suhu water bath ± 25$^{O}$C |
| 4 | Pemeriksaan | Diuji daktilitas pada suhu 25$^{O}$C, kecepatan 5 cm per menit | 20 menit | suhu alat ± 25$^{O}$C |

Hasil pemeriksaan

| No | Benda uji | Hasil pengujian | Keterangan |
|---|---|---|---|
| 1 | Sampel 1 | 164 cm | Tidak Putus |
| 2 | Sampel 2 | 164 cm | Tidak Putus |
| | | | |
| 4 | Rata-rata | 164 cm | |

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernias Kashadi, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam *TCE***

# PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

RUJUKAN : AASHTO T - 44 - 70 ; ASTM D - 165 - 42

1 Sumber Material : Pertamina
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2024

Persiapan pemeriksaan

| No | Pemeriksaan | Keterangan | Pembacaan | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Wakktu | Suhu |
| 1 | Persiapan | Mulai | 13.20 WIB | 28 $^{O}$C |
| | | Selesai | 13.30 WIB | 28 $^{O}$C |
| 2 | Penimbangan | Mulai | 13.30 WIB | 28 $^{O}$C |
| 3 | Pelarutan | Mulai | 13.40 WIB | 28 $^{O}$C |
| 4 | Penyaringan | Mulai | 13.45 WIB | 28 $^{O}$C |
| | | Selesai | 14.15 WIB | 28 $^{O}$C |
| 5 | Di Oven | Mulai | 14.15 WIB | 130 $^{O}$C |
| 6 | Peminbangan | Mulai | 14.30 WIB | 28 $^{O}$C |

Hasil pemeriksaan

| No | Pemeriksaan | Benda Uji | | | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | | 2 | | |
| 1 | Berat erlen meyer kosong | 58,580 | gr | 56,110 | gr | |
| 2 | Berat erlen meyer kosong + Aspal | 60,110 | gr | 57,530 | gr | |
| 3 | Berat Aspal (2 - 1) | 1,530 | gr | 1,420 | gr | |
| 4 | Berat kertas saring bersih | 0,540 | gr | 0,550 | gr | |
| 5 | Berat kertas saring bersih + mineral | 0,550 | gr | 0,560 | gr | |
| 6 | Berat mineral (5 - 4) | 0,010 | gr | 0,010 | gr | |
| 7 | Prosentase mineral (6/3x100%) | 0,654 | % | 0,704 | % | |
| 8 | Aspal yang larut (100% - 7) | 99,346 | % | 99,296 | % | |
| 9 | Rata-rata Aspal yang larut (%) | 99,321 | | | % | |

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bethan Kusharjoyo, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar**

# PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : 2024

| No. | Keterangan | Benda uji | | Rata-rata |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | |
| 1 | Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr | 1629,10 | 1631,25 | 1630,18 |
| 2 | Berat benda uji dalam Air (BA) gr | 1000,40 | 1000,49 | 1000,45 |
| 3 | Berat benda uji dkering oven (BK) gr | 1597,78 | 1599,89 | 1598,84 |
| 4 | Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA}$ | 2,541 | 2,536 | 2,539 |
| 5 | Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA}$ | 2,591 | 2,586 | 2,589 |
| 6 | Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$ | 2,675 | 2,669 | 2,672 |
| 7 | Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$ | 1,960 | 1,960 | 1,960 |
| 8 | Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2 | 2,608 | 2,603 | 2,605 |

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Perdi Kishari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 541 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal**

# PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : 2024

Persiapan pemeriksaan

| No | Pemeriksaan | Suhu | Waktu | Keterangan |
|---|---|---|---|---|
| 1 | **Pemanasan Benda Uji** | | | |
| | Mulai | 25$^{o}$C | 08.00 WIB | |
| | Selesai | 150$^{o}$C | 08.15 WIB | |
| 2 | **Didiamkan Pada Suhu Ruang** | | | |
| | Mulai | 150$^{o}$C | 08.15 WIB | |
| | Selesai | 25$^{o}$C | 09.45 WIB | |
| 3 | **Perendaman benda uji** | | | |
| | Mulai | 25$^{o}$C | 09.45 WIB | |
| | Selesai | 25$^{o}$C | 10.15 WIB | |

Hasil pemeriksaan

| No | Benda uji | Hasil pengujian | Keterangan |
|---|---|---|---|
| 1 | Sampel 1 | 99% | |
| 2 | Sampel 2 | 97% | |
| | Rata-rata | 98% | |

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles**

# PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : 2024

| No | Jenis Gradasi Saringan | | B Benda Uji (gram) | | Keterangan |
|---|---|---|---|---|---|
| | Lolos | Tertahan | 1 | 2 | |
| 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" ) | 19.0 mm ( 3/4" ) | | | |
| 6 | 19.0 mm ( 3/4" ) | 12.5 mm ( 0.5" ) | 2500,00 | | |
| 7 | 12.5 mm ( 0.5" ) | 09.5 mm ( 3/8" ) | 2500,00 | | |
| 8 | 09.5 mm ( 3/8" ) | 06.3 mm ( 1/4" ) | | | |
| 9 | 06.3 mm ( 1/4" ) | 04.75 mm ( 4" ) | | | |
| 10 | 04.75 mm ( No.4) | 02.36 mm ( No.8 ) | | | |
| 11 | JUMLAH BENDA UJI ( A ) | | 5000,00 | 4595,00 | |
| 12 | JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B) | | 4595,00 | 3649,00 | |
| 13 | KEAUSAN 100x = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$ | | 8,100 | 20,588 | |
| 17 | Rata-rata Keausan (%) | | 14,34 | | |

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus**

# PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : 2024

| No. | Keterangan | Benda uji | | Rata-rata |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | |
| 1 | Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr | 500,00 | 500,00 | |
| 2 | Berat Vicnometer + Air (B) gr | 704,53 | 693,30 | |
| 3 | Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr | 1020,73 | 1007,28 | |
| 4 | Berat benda uji kering oven (BK) | 492,46 | 493,55 | |
| 5 | Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$ | 2,679 | 2,653 | 2,666 |
| 6 | Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$ | 2,720 | 2,688 | 2,704 |
| 7 | Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$ | 2,794 | 2,749 | 2,771 |
| 8 | Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$ | 1,531 | 1,307 | 1,419 |
| 9 | Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2 | 2,737 | 2,701 | 2,719 |

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushariadi, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 11 Pemeriksaan Sand Equivalent**

# PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : 2024

| No. | Keterangan | | Benda uji 1 | Benda uji 2 | Rata-rata |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (± 10.1 menit). | Mulai | 15.40 | 15.40 | |
| | | Selesai | 15.50 | 15.50 | |
| 2 | Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan $CaCl_2$) | Mulai | 15.55 | 15.55 | |
| | | Selesai | 16.15 | 16.15 | |
| 4 | Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi | | 4,42 | 4,52 | 4,47 |
| 5 | Sand reading (Pembacaan Pasir) | | 4,10 | 4,20 | 4,15 |
| 6 | $Sand\ Eqiuvalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ \%$ | | 92,76 | 92,92 | 92,84 |
| 7 | Kandungan Lumpur = 100 - SE | | 7,24 | 7,08 | 7,16 |

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu***

## PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* DEBU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

1 Jenis Material : *Filler* Abu Batu
2 Sumber Material : Clereng
3 Diuji Pada : 2024

| No. | Keterangan | Benda uji | | Rata-rata |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | |
| 1 | Berat Vicnometer Kosong gr | 20,45 | 23,81 | |
| 2 | Berat Vicnometer + Air gr | 42,87 | 46,97 | |
| 3 | Berat Vicnometer (2-1) gr | 22,42 | 23,16 | |
| 4 | Berat Vicnometer + *Filler* gr | 28,54 | 30,29 | |
| 5 | Berat *Filler* (4-1) gr | 8,090 | 6,480 | 7,29 |
| 6 | Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr | 47,800 | 50,910 | 49,36 |
| 7 | Berat Aquadest (6-4) gr | 19,260 | 20,620 | 19,94 |
| 8 | Volume *Filler* (3-7) gr | 3,160 | 2,540 | 2,85 |
| 9 | Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8) | 2,560 | 2,551 | 2,556 |

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Abu Arang Kayu***

# PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* ABU ARANG KAYU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

1 Jenis Material : *Filler* Abu Arang Kayu
2 Sumber Material : Clereng
3 Diuji Pada : 2024

| No. | Keterangan | Benda uji | | Rata-rata |
|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | |
| 1 | Berat Vicnometer Kosong gr | 23,55 | 24,10 | |
| 2 | Berat Vicnometer + Air gr | 46,83 | 47,29 | |
| 3 | Berat Vicnometer (2-1) gr | 23,28 | 23,19 | |
| 4 | Berat Vicnometer + *Filler* gr | 27,08 | 27,54 | |
| 5 | Berat *Filler* (4-1) gr | 3,530 | 3,440 | 3,49 |
| 6 | Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr | 47,930 | 48,390 | 48,16 |
| 7 | Berat Aquadest (6-4) gr | 20,850 | 20,850 | 20,85 |
| 8 | Volume *Filler* (3-7) gr | 2,430 | 2,340 | 2,39 |
| 9 | Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8) | 1,453 | 1,470 | 1,461 |

Yogyakarta, 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0161

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 14 Hasil Pengujian Marshall**

## HASIL PENGUJIAN MARSHALL
## DENGAN METODE MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

**Tanggal Pengujian** **AGUSTUS 2024**
**Tipe Campuran** ***Stone Matrix Asphalt***

| Sampel | t (cm) | a (%) | b (%) | c (gram) | d (gram) | e (gram) | f (gram) | g | h | i | j | k | l VMA (%) | n VITM (%) | o | p | Koreksi Tebal | q Stab. (kg) | r *Flow* (mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 5% | 71,94 | 5,26 | 5,00 | 1165,29 | 1170,61 | 658,28 | 512,33 | 2,274 | 2,379 | 10,935 | 84,690 | 4,375 | 15,31 | 4,38 | 52 | 998,62 | 0,8233 | 822,11 | 2,50 |
| 5% | 71,11 | 5,26 | 5,00 | 1170,45 | 1179,97 | 659,65 | 520,32 | 2,249 | 2,379 | 10,815 | 83,759 | 5,427 | 16,24 | 5,43 | 54 | 1037,03 | 0,8416 | 872,76 | 2,60 |
| 5% | 70,03 | 5,26 | 5,00 | 1178,70 | 1193,81 | 662,91 | 530,90 | 2,220 | 2,379 | 10,674 | 82,668 | 6,658 | 17,33 | 6,66 | 55 | 1056,23 | 0,8848 | 934,55 | 2,70 |
| | | | | | | | | **2,248** | | | | | **16,29** | **5,49** | | | | **876,48** | **2,60** |
| 5,5% | 70,21 | 5,82 | 5,50 | 1190,14 | 1197,20 | 673,87 | 523,33 | 2,274 | 2,363 | 12,027 | 84,232 | 3,741 | 15,77 | 3,74 | 50 | 960,21 | 0,8776 | 842,68 | 2,80 |
| 5,5% | 71,50 | 5,82 | 5,50 | 1198,80 | 1208,26 | 673,54 | 534,72 | 2,242 | 2,363 | 11,856 | 83,038 | 5,106 | 16,96 | 5,11 | 56 | 1075,44 | 0,8288 | 891,27 | 2,95 |
| 5,5% | 69,92 | 5,82 | 5,50 | 1199,56 | 1215,60 | 675,19 | 540,41 | 2,220 | 2,363 | 11,739 | 82,215 | 6,046 | 17,78 | 6,05 | 55 | 1056,23 | 0,8892 | 939,20 | 2,70 |
| | | | | | | | | **2,245** | | | | | **16,84** | **4,96** | | | | **891,05** | **2,82** |
| 6% | 71,62 | 6,38 | 6,00 | 1182,99 | 1196,38 | 670,45 | 525,93 | 2,249 | 2,347 | 12,977 | 82,871 | 4,152 | 17,13 | 4,15 | 54 | 1037,03 | 0,8273 | 857,88 | 3,10 |
| 6% | 72,66 | 6,38 | 6,00 | 1189,25 | 1199,47 | 669,89 | 529,58 | 2,246 | 2,347 | 12,956 | 82,736 | 4,309 | 17,26 | 4,31 | 57 | 1094,64 | 0,8143 | 891,31 | 3,15 |
| 6% | 70,12 | 6,38 | 6,00 | 1188,29 | 1197,52 | 666,47 | 531,05 | 2,238 | 2,347 | 12,909 | 82,440 | 4,651 | 17,56 | 4,65 | 60 | 1152,25 | 0,8812 | 1015,36 | 3,25 |
| | | | | | | | | **2,244** | | | | | **17,32** | **4,37** | | | | **921,52** | **3,17** |
| 6,5% | 71,07 | 6,95 | 6,50 | 1160,15 | 1178,28 | 657,75 | 520,53 | 2,229 | 2,331 | 13,930 | 81,678 | 4,392 | 18,32 | 4,39 | 57 | 1094,64 | 0,843 | 923,00 | 3,45 |
| 6,5% | 71,18 | 6,95 | 6,50 | 1184,00 | 1196,94 | 665,23 | 531,71 | 2,227 | 2,331 | 13,917 | 81,604 | 4,479 | 18,40 | 4,48 | 57 | 1094,64 | 0,839 | 918,18 | 3,25 |
| 6,5% | 70,82 | 6,95 | 6,50 | 1187,22 | 1200,28 | 671,98 | 528,30 | 2,247 | 2,331 | 14,045 | 82,354 | 3,601 | 17,65 | 3,60 | 61 | 1171,46 | 0,853 | 999,49 | 3,25 |
| | | | | | | | | **2,234** | | | | | **18,12** | **4,16** | | | | **946,89** | **3,32** |
| 7% | 73,28 | 7,53 | 7,00 | 1177,99 | 1196,87 | 665,41 | 531,46 | 2,217 | 2,316 | 14,919 | 80,794 | 4,288 | 19,21 | 4,29 | 56 | 1075,44 | 0,8048 | 865,46 | 3,45 |
| 7% | 70,35 | 7,53 | 7,00 | 1178,19 | 1190,67 | 658,12 | 532,55 | 2,212 | 2,316 | 14,891 | 80,642 | 4,467 | 19,36 | 4,47 | 55 | 1056,23 | 0,8720 | 921,03 | 3,50 |
| 7% | 70,22 | 7,53 | 7,00 | 1168,39 | 1179,11 | 657,39 | 521,72 | 2,239 | 2,316 | 15,074 | 81,631 | 3,295 | 18,37 | 3,30 | 53 | 1017,82 | 0,8772 | 892,83 | 3,35 |
| | | | | | | | | **2,223** | | | | | **18,98** | **4,02** | | | | **893,11** | **3,43** |

Disahkan Oleh,
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM, ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 15 Hasil Pengujian *IRS***

## HASIL PENGUJIAN *IRS*

| Persen Aspal | | Tebal Sampel (mm) | koreksi | Arloji Stability | | | Flow (mm) | | Stability (kg) | | | Angka Koreksi | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | Tebal Sampel | | Koreksi | |
| | | | | Meas | Kalibrasi | Adjust | awal | rata2 | awal | rata2 | MIN | MIN | MAX | MIN | MAX |
| 5,0% | 1 | 71,56 | 0,83 | 49 | 19,20 | 941,01 | 240 | 2,47 | 779,15 | 790,79 | 600 | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| | 2 | 70,48 | 0,87 | 49 | 19,20 | 941,01 | 250 | | 815,66 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| | 3 | 74,71 | 0,78 | 52 | 19,20 | 998,62 | 250 | | 777,55 | | | 74,6 | 76,2 | 0,78 | 0,76 |
| 5,5% | 1 | 69,84 | 0,89 | 49 | 19,20 | 941,01 | 380 | 3,87 | 837,50 | 810,71 | 600 | 68,3 | 69,9 | 0,89 | 0,89 |
| | 2 | 68,09 | 0,90 | 48 | 19,20 | 921,80 | 390 | | 825,24 | | | 66,7 | 68,3 | 0,93 | 0,89 |
| | 3 | 72,39 | 0,82 | 49 | 19,20 | 941,01 | 390 | | 769,39 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| 6,0% | 1 | 73,42 | 0,80 | 53 | 19,20 | 1017,82 | 425 | 4,22 | 816,42 | 842,51 | 600 | 73 | 74,6 | 0,81 | 0,78 |
| | 2 | 71,50 | 0,83 | 55 | 19,20 | 1056,23 | 410 | | 875,35 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| | 3 | 72,11 | 0,82 | 53 | 19,20 | 1017,82 | 430 | | 835,76 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| 6,5% | 1 | 69,92 | 0,89 | 55 | 19,20 | 1056,23 | 250 | 2,50 | 939,20 | 876,17 | 600 | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| | 2 | 72,02 | 0,82 | 51 | 19,20 | 979,41 | 240 | | 805,32 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| | 3 | 70,02 | 0,89 | 52 | 19,20 | 998,62 | 260 | | 883,98 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| 7,0% | 1 | 70,12 | 0,88 | 50 | 19,20 | 960,21 | 460 | 4,65 | 846,14 | 844,36 | 600 | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| | 2 | 69,96 | 0,89 | 51 | 19,20 | 979,41 | 465 | | 869,33 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| | 3 | 72,30 | 0,82 | 52 | 19,20 | 998,62 | 470 | | 817,62 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |

Yogyakarta, November 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 16 Hasil Pengujian *Draindown***

## HASIL PENGUJIAN *DRAINDOWN*

| Kadar Aspal (%) | No. | Keterangan | Benda Uji | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| 5,0% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1530,14 | 1537,21 | 1532,55 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1184,13 | 1192,13 | 1185,54 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 346,01 | 345,08 | 347,01 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 346,79 | 345,81 | 348,02 |
| | 5 | Draindown | 0,066% | 0,06% | 0,09% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,07 | | |
| 5,5% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1535,56 | 1536,47 | 1533,87 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1190,28 | 1191,32 | 1187,82 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 345,28 | 345,15 | 346,05 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 346,55 | 346,02 | 347,18 |
| | 5 | Draindown | 0,107% | 0,07% | 0,10% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,092 | | |
| 6,0% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1506,33 | 1508,22 | 1505,47 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1200,85 | 1202,95 | 1200,69 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 305,48 | 305,27 | 304,78 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 306,91 | 306,96 | 306,03 |
| | 5 | Draindown | 0,12% | 0,14% | 0,10% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,121 | | |
| 6,5% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1545,21 | 1544,18 | 1544,95 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1186,47 | 1185,74 | 1186,64 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 358,74 | 358,44 | 358,31 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 360,39 | 360,35 | 360,38 |
| | 5 | Draindown | 0,14% | 0,16% | 0,17% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,158 | | |
| 7,0% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1530,25 | 1529,15 | 1528,32 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1288,73 | 1284,64 | 1283,08 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 241,52 | 244,51 | 245,24 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 244,09 | 247,02 | 247,87 |
| | 5 | Draindown | 0,20% | 0,20% | 0,20% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,200 | | |

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hermani Yuskiarti, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 001

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 17 Hasil Pengujian *VCA***

## HASIL PENGUJIAN VCA

| Kadar Aspal | Benda Uji | Berat (gram) | | | Volume Silinder ($cm^3$) | V ($cm^3$) | $\gamma_s$ (gram/$cm^3$) | $\gamma_w$ (gram/$cm^3$) | $G_{CA}$ (gram/$cm^3$) | $VCA_{DRC}$ (%) | Gmb | GCA | PCA (%) | VCAMIX (%) | VCAMIX /VCADRC | Spesifikasi |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Wadah + Camp. | Wadah | B. Wadah + Air | | | | | | | | | | | | |
| 5,00% | 1 | 4992 | 3424 | 4384 | 1178,1 | 962,4 | 1,629 | 0,9975 | 2,55 | 35,983 | 2,27 | 2,55 | 76 | 32,24818 | 0,896 | OK |
| | 2 | 4975 | 3424 | 4356 | 1178,1 | 934,3 | 1,660 | 0,9975 | 2,55 | 34,774 | 2,25 | 2,55 | 76 | 32,99317 | 0,949 | OK |
| | 3 | 4978 | 3424 | 4347 | 1178,1 | 925,3 | 1,679 | 0,9975 | 2,55 | 34,011 | 2,22 | 2,55 | 76 | 33,86562 | 0,996 | OK |
| | Rata-Rata | | | | | | | | | 34,923 | Rata-Rata | | | 33,03565 | 0,947 | OK |
| 5,50% | 1 | 4976 | 3424 | 4376 | 1178,1 | 954,3 | 1,626 | 0,9975 | 2,55 | 36,103 | 2,27 | 2,55 | 76 | 32,25782 | 0,893 | OK |
| | 2 | 4987 | 3424 | 4356 | 1178,1 | 934,3 | 1,673 | 0,9975 | 2,55 | 34,270 | 2,24 | 2,55 | 76 | 33,21836 | 0,969 | OK |
| | 3 | 4989 | 3424 | 4354 | 1178,1 | 932,3 | 1,679 | 0,9975 | 2,55 | 34,044 | 2,22 | 2,55 | 76 | 33,87962 | 0,995 | OK |
| | Rata-Rata | | | | | | | | | 34,806 | Rata-Rata | | | 33,1186 | 0,953 | OK |
| 6,00% | 1 | 4964 | 3424 | 4350 | 1178,1 | 928,3 | 1,659 | 0,9975 | 2,55 | 34,817 | 2,25 | 2,55 | 76 | 32,99768 | 0,948 | OK |
| | 2 | 4978 | 3424 | 4342 | 1178,1 | 920,3 | 1,689 | 0,9975 | 2,55 | 33,651 | 2,25 | 2,55 | 76 | 33,10736 | 0,984 | OK |
| | 3 | 4937 | 3424 | 4345 | 1178,1 | 923,3 | 1,639 | 0,9975 | 2,55 | 35,612 | 2,24 | 2,55 | 76 | 33,34638 | 0,936 | OK |
| | Rata-Rata | | | | | | | | | 34,694 | Rata-Rata | | | 33,15047 | 0,956 | OK |
| 6,50% | 1 | 4988 | 3424 | 4356 | 1178,1 | 934,3 | 1,674 | 0,9975 | 2,55 | 34,228 | 2,23 | 2,55 | 76 | 33,610 | 0,982 | OK |
| | 2 | 4955 | 3424 | 4340 | 1178,1 | 918,3 | 1,667 | 0,9975 | 2,55 | 34,491 | 2,23 | 2,55 | 76 | 33,669 | 0,976 | OK |
| | 3 | 4938 | 3424 | 4347 | 1178,1 | 925,3 | 1,636 | 0,9975 | 2,55 | 35,709 | 2,25 | 2,55 | 76 | 33,060 | 0,926 | OK |
| | Rata-Rata | | | | | | | | | 34,809 | Rata-Rata | | | 33,44627 | 0,961 | OK |
| 7,00% | 1 | 4988 | 3424 | 4356 | 1178,1 | 934,3 | 1,674 | 0,9975 | 2,55 | 34,228 | 2,22 | 2,55 | 76 | 33,9751 | 0,993 | OK |
| | 2 | 4939 | 3424 | 4340 | 1178,1 | 918,3 | 1,650 | 0,9975 | 2,55 | 35,175 | 2,21 | 2,55 | 76 | 34,09905 | 0,969 | OK |
| | 3 | 4932 | 3424 | 4347 | 1178,1 | 925,3 | 1,630 | 0,9975 | 2,55 | 35,964 | 2,24 | 2,55 | 76 | 33,29059 | 0,926 | OK |
| | Rata-Rata | | | | | | | | | 35,122 | Rata-Rata | | | 33,78825 | 0,963 | OK |

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

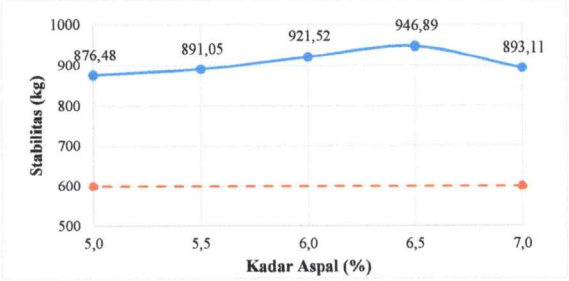
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

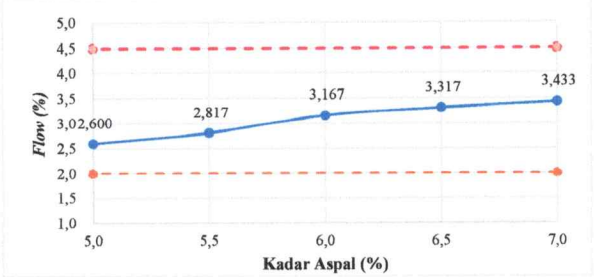
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

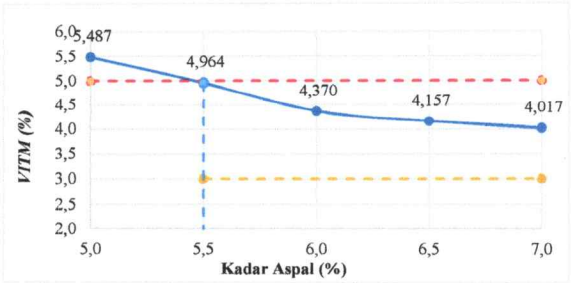
**Lampiran 18 Rekapitulasi *Marshall, IRS, Draindown* Untuk KAO**

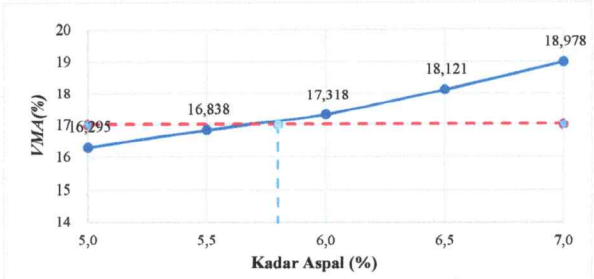
## REKAPITULASI *MARSHALL, IRS, DRAINDOWN* UNTUK KAO

| No. | Aspal | Stabilitas 0 Jam | Flow | VITM | VMA | Stabilitas 24 Jam | Draindown | IRS | VCA | VFWA | Density | MQ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 5,00 | 876,48 | 2,60 | 5,49 | 16,29 | 790,79 | 0,07 | 90,22 | 0,95 | 66,33 | 2,25 | 337,11 |
| 2 | 5,50 | 891,05 | 2,82 | 4,96 | 16,84 | 810,71 | 0,09 | 90,98 | 0,95 | 70,52 | 2,25 | 316,35 |
| 3 | 6,00 | 921,52 | 3,17 | 4,37 | 17,32 | 842,51 | 0,12 | 91,43 | 0,96 | 74,76 | 2,24 | 291,01 |
| 4 | 6,50 | 946,89 | 3,32 | 4,16 | 18,12 | 876,17 | 0,16 | 92,53 | 0,96 | 77,06 | 2,23 | 285,49 |
| 5 | 7,00 | 893,11 | 3,43 | 4,02 | 18,98 | 844,36 | 0,20 | 94,54 | 0,96 | 78,83 | 2,22 | 260,13 |
| Spec | | >600 | 2-4.5 | 3-5 | >17 | >600 | <0.3 | >90 | <1 | | | >250 |



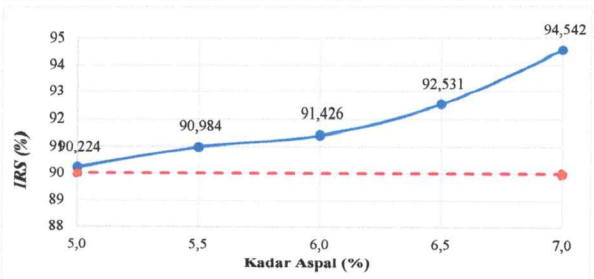



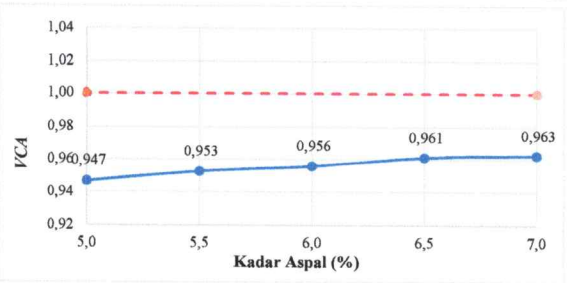



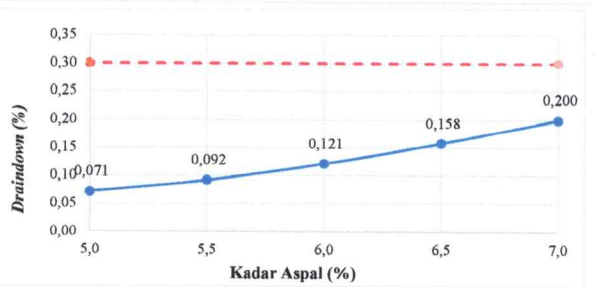










Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 541 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 19 Hasil Pengujian Marshall**

## HASIL PENGUJIAN MARSHALL
## DENGAN METODE MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

**Tanggal Pengujian** **AGUSTUS 2024**
**Tipe Campuran** ***Stone Matrix Asphalt***

| Sampel | t (cm) | a (%) | b (%) | c (gram) | d (gram) | e (gram) | f (gram) | g | h | i | j | k | l VMA (%) | m VFWA (%) | n VITM (%) | o | p | Koreksi Tebal | q Stab. (kg) | r *Flow* (mm) | MQ (kg/mm) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0% | 71,21 | 6,84 | 6,40 | 1191,21 | 1201,45 | 669,15 | 532,30 | 2,238 | 2,334 | 13,771 | 82,098 | 4,131 | 17,90 | 76,925 | 4,13 | 68 | 1305,89 | 0,8179 | 1068,05 | 3,40 | 314,13 |
| 0% | 72,36 | 6,84 | 6,40 | 1195,54 | 1205,52 | 665,74 | 539,78 | 2,215 | 2,334 | 13,630 | 81,254 | 5,116 | 18,75 | 72,710 | 5,12 | 58 | 1113,84 | 0,8112 | 903,56 | 3,55 | 254,52 |
| 0% | 71,75 | 6,84 | 6,40 | 1193,96 | 1204,67 | 668,95 | 535,72 | 2,229 | 2,334 | 13,715 | 81,762 | 4,523 | 18,24 | 75,200 | 4,52 | 55 | 1056,23 | 0,8186 | 864,66 | 3,35 | 258,11 |
| | | | | | | | | **2,227** | | | | | **18,30** | **74,95** | **4,59** | | | | **945,42** | **3,43** | **275,59** |
| 25% | 69,45 | 6,84 | 6,40 | 1151,11 | 1164,27 | 642,58 | 521,69 | 2,207 | 2,334 | 13,578 | 80,947 | 5,474 | 19,05 | 71,269 | 5,47 | 67 | 1286,68 | 0,8711 | 1120,79 | 3,50 | 320,22 |
| 25% | 70,46 | 6,84 | 6,40 | 1193,48 | 1204,55 | 673,45 | 531,10 | 2,247 | 2,334 | 13,829 | 82,440 | 3,731 | 17,56 | 78,752 | 3,73 | 62 | 1190,66 | 0,8395 | 999,52 | 3,45 | 289,72 |
| 25% | 71,11 | 6,84 | 6,40 | 1190,24 | 1201,45 | 670,12 | 531,33 | 2,240 | 2,334 | 13,785 | 82,181 | 4,034 | 17,82 | 77,361 | 4,03 | 60 | 1152,25 | 0,8377 | 965,28 | 3,50 | 275,79 |
| | | | | | | | | **2,231** | | | | | **18,14** | **75,79** | **4,41** | | | | **1028,53** | **3,48** | **295,24** |
| 50% | 70,48 | 6,84 | 6,40 | 1156,48 | 1164,34 | 642,85 | 521,49 | 2,218 | 2,334 | 13,647 | 81,356 | 4,997 | 18,64 | 73,199 | 5,00 | 60 | 1152,25 | 0,8792 | 1013,06 | 3,70 | 273,80 |
| 50% | 70,14 | 6,84 | 6,40 | 1158,74 | 1168,86 | 651,45 | 517,41 | 2,240 | 2,334 | 13,782 | 82,158 | 4,060 | 17,84 | 77,242 | 4,06 | 62 | 1190,66 | 0,8507 | 1012,86 | 3,65 | 277,49 |
| 50% | 70,27 | 6,84 | 6,40 | 1164,21 | 1171,39 | 652,56 | 518,83 | 2,244 | 2,334 | 13,809 | 82,320 | 3,871 | 17,68 | 78,103 | 3,87 | 58 | 1113,84 | 0,8592 | 957,01 | 3,60 | 265,84 |
| | | | | | | | | **2,234** | | | | | **18,06** | **76,18** | **4,31** | | | | **994,31** | **3,65** | **272,38** |
| 75% | 73,14 | 6,84 | 6,40 | 1164,58 | 1176,77 | 666,97 | 509,80 | 2,284 | 2,334 | 14,058 | 83,805 | 2,138 | 16,20 | 86,802 | 2,14 | 61 | 1171,46 | 0,816 | 955,66 | 3,8 | 251,4906 |
| 75% | 69,11 | 6,84 | 6,40 | 1160,23 | 1172,45 | 649,91 | 522,54 | 2,220 | 2,334 | 13,664 | 81,456 | 4,880 | 18,54 | 73,683 | 4,88 | 57 | 1094,64 | 0,903 | 988,46 | 3,7 | 267,1512 |
| 75% | 69,83 | 6,84 | 6,40 | 1158,23 | 1165,64 | 642,59 | 523,05 | 2,214 | 2,334 | 13,627 | 81,236 | 5,137 | 18,76 | 72,624 | 5,14 | 56 | 1075,44 | 0,881 | 947,96 | 3,6 | 263,3223 |
| | | | | | | | | **2,240** | | | | | **17,83** | **77,70** | **4,05** | | | | **964,03** | **3,70** | **260,65** |
| 100% | 69,99 | 6,84 | 6,40 | 1162,31 | 1173,26 | 647,82 | 525,44 | 2,212 | 2,334 | 13,613 | 81,152 | 5,236 | 18,85 | 72,223 | 5,24 | 58 | 1113,84 | 0,8767 | 976,47 | 3,70 | 263,91 |
| 100% | 70,14 | 6,84 | 6,40 | 1157,82 | 1167,91 | 650,92 | 516,99 | 2,240 | 2,334 | 13,782 | 82,160 | 4,059 | 17,84 | 77,250 | 4,06 | 54 | 1037,03 | 0,8820 | 914,66 | 3,85 | 237,57 |
| 100% | 70,55 | 6,84 | 6,40 | 1159,14 | 1170,01 | 661,18 | 508,83 | 2,278 | 2,334 | 14,019 | 83,572 | 2,409 | 16,43 | 85,336 | 2,41 | 56 | 1075,44 | 0,8497 | 913,83 | 3,75 | 243,69 |
| | | | | | | | | **2,243** | | | | | **17,71** | **78,27** | **3,90** | | | | **934,99** | **3,77** | **248,39** |

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernadeta Ayu Sari, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 00 511 1401

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 20 Hasil Pengujian *IRS***

## HASIL PENGUJIAN *IRS*

| Kadar Filler | | Tebal Sampel (mm) | | | | koreksi | Arloji Stability | | | Stability (kg) | | | Angka Koreksi | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | Tebal Sampel | | Koreksi | |
| | | 1 | 2 | 3 | Rata-Rata | | Meas | Kalibrasi | Adjust | awal | rata2 | MIN | MIN | MAX | MIN | MAX |
| 0% | 1 | 71,77 | 70,59 | 71,80 | 71,39 | 0,83 | 55 | 19,20 | 1056,23 | 877,24 | 871,36 | 600 | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| | 2 | 74,37 | 75,40 | 75,20 | 74,99 | 0,78 | 56 | 19,20 | 1075,44 | 833,60 | | | 74,6 | 76,2 | 0,78 | 0,76 |
| | 3 | 73,15 | 72,86 | 72,77 | 72,93 | 0,81 | 58 | 19,20 | 1113,84 | 903,23 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| 25% | 1 | 69,12 | 70,40 | 70,45 | 69,99 | 0,89 | 58 | 19,20 | 1113,84 | 987,31 | 960,73 | 600 | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| | 2 | 69,99 | 69,72 | 69,41 | 69,71 | 0,89 | 55 | 19,20 | 1056,23 | 940,05 | | | 68,3 | 69,9 | 0,89 | 0,89 |
| | 3 | 69,75 | 70,14 | 69,97 | 69,95 | 0,89 | 56 | 19,20 | 1075,44 | 954,84 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| 50% | 1 | 72,04 | 71,74 | 72,41 | 72,06 | 0,82 | 60 | 19,20 | 1152,25 | 946,82 | 936,96 | 600 | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| | 2 | 70,66 | 72,51 | 72,46 | 71,88 | 0,82 | 59 | 19,20 | 1133,05 | 933,68 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| | 3 | 71,59 | 72,43 | 72,31 | 72,11 | 0,82 | 59 | 19,20 | 1133,05 | 930,37 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| 75% | 1 | 74,08 | 73,14 | 73,56 | 73,59 | 0,80 | 56 | 19,20 | 1075,44 | 859,14 | 887,77 | 600 | 73 | 74,6 | 0,81 | 0,78 |
| | 2 | 72,91 | 72,76 | 73,86 | 73,18 | 0,81 | 58 | 19,20 | 1113,84 | 898,52 | | | 73 | 74,6 | 0,81 | 0,78 |
| | 3 | 72,26 | 73,16 | 72,84 | 72,75 | 0,81 | 58 | 19,20 | 1113,84 | 905,65 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |
| 100% | 1 | 71,47 | 71,59 | 70,98 | 71,35 | 0,83 | 53 | 19,20 | 1017,82 | 846,96 | 848,55 | 600 | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| | 2 | 70,25 | 70,68 | 71,25 | 70,73 | 0,86 | 52 | 19,20 | 998,62 | 855,75 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 |
| | 3 | 71,45 | 71,60 | 71,59 | 71,55 | 0,83 | 53 | 19,20 | 1017,82 | 842,93 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 |

Yogyakarta, November 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

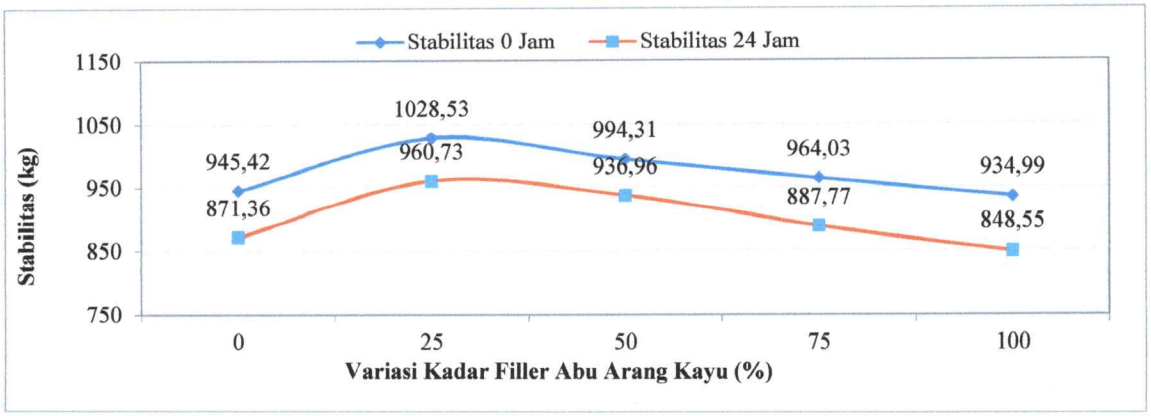
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

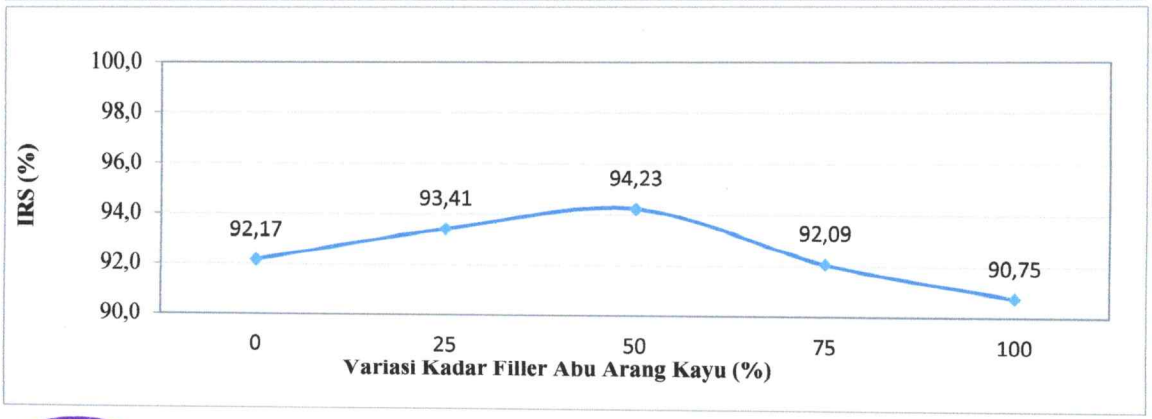
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 21 Rekapitulasi Pengujian *IRS***

# REKAPITULASI PENGUJIAN *IRS*

| Variasi Substitusi (%) | KAO (%) | Stabilitas 0 Jam | Stabilitas 24 Jam | IRS |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 6,4 | 945,42 | 871,36 | 92,17 |
| 25 | | 1028,53 | 960,73 | 93,41 |
| 50 | | 994,31 | 936,96 | 94,23 |
| 75 | | 964,03 | 887,77 | 92,09 |
| 100 | | 934,99 | 848,55 | 90,75 |




Yogyakarta, November 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 001 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 22 Hasil Pengujian ITS**

## HASIL PENGUJIAN *ITS*

| Kadar Aspal | Substitusi | | Tebal Sampel (mm) | | | | koreksi | Diameter Sampel (Inchi) | | | | A0 | Arloji Stability | | | Stability (kg) | | | Angka Koreksi Tebal | | | | Angka Koreksi Diameter | | | | ITS 0 JAM Kpa | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Tebal Sampel | | Koreksi | | Tebal Sampel | | Koreksi | | | | |
| | | | 1 | 2 | 3 | rata2 | | 1 | 2 | 3 | rata2 | | Meas | Kalibrasi | Adjust | awal | rata2 | MIN | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | awal | rata2 | MIN |
| 6,4% | 0,0% | 1 | 70,82 | 70,70 | 68,55 | 70,02 | 0,89 | 3,99 | 3,99 | 4,00 | 3,99 | 0,16 | 51 | 19,20 | 979,41 | 393,20 | 356,97 | 600 | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 3,9 | 4 | 0,164 | 0,156 | 861,99 | 776,83 | 600 |
| | | 2 | 71,30 | 72,12 | 69,52 | 70,98 | 0,85 | 4,02 | 4,05 | 4,01 | 4,03 | 0,16 | 45 | 19,20 | 864,19 | 331,94 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 4 | 4,1 | 0,16 | 0,152 | 723,88 | | |
| | | 3 | 70,84 | 71,34 | 70,93 | 71,04 | 0,84 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 47 | 19,20 | 902,60 | 345,77 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 4 | 4,1 | 0,156 | 0,152 | 744,64 | | |
| | 25,0% | 1 | 73,82 | 73,26 | 74,59 | 73,89 | 0,79 | 3,99 | 3,96 | 4,00 | 3,98 | 0,16 | 38 | 19,20 | 729,76 | 262,60 | 283,52 | 600 | 73 | 74,6 | 0,81 | 0,78 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 546,02 | 600,61 | 600 |
| | | 2 | 71,88 | 70,26 | 70,58 | 70,91 | 0,85 | 3,99 | 4,00 | 3,97 | 3,99 | 0,16 | 41 | 19,20 | 787,37 | 303,48 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 656,90 | | |
| | | 3 | 71,98 | 72,56 | 72,91 | 72,48 | 0,82 | 4,01 | 4,00 | 4,02 | 4,01 | 0,16 | 40 | 19,20 | 768,17 | 284,49 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 4 | 4,1 | 0,156 | 0,152 | 598,90 | | |
| | 50,0% | 1 | 71,67 | 72,45 | 72,79 | 72,30 | 0,82 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 36 | 19,20 | 691,35 | 256,74 | 264,22 | 600 | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 543,24 | 565,02 | 600 |
| | | 2 | 71,04 | 70,44 | 70,21 | 70,56 | 0,86 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 35 | 19,20 | 672,15 | 263,26 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 570,75 | | |
| | | 3 | 71,56 | 72,49 | 71,67 | 71,91 | 0,82 | 3,99 | 3,99 | 4,00 | 3,99 | 0,16 | 38 | 19,20 | 729,76 | 272,65 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 581,06 | | |
| | 75,0% | 1 | 71,96 | 73,50 | 72,96 | 72,81 | 0,81 | 3,99 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 34 | 19,20 | 652,94 | 240,62 | 238,97 | 600 | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 506,03 | 513,05 | 600 |
| | | 2 | 68,70 | 68,87 | 69,66 | 69,08 | 0,89 | 4,00 | 4,00 | 3,99 | 4,00 | 0,16 | 31 | 19,20 | 595,33 | 240,34 | | | 68,3 | 69,9 | 0,89 | 0,89 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 532,73 | | |
| | | 3 | 71,93 | 72,34 | 72,14 | 72,14 | 0,82 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 33 | 19,20 | 633,74 | 235,95 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 4 | 4,1 | 0,156 | 0,152 | 500,39 | | |
| | 100,0% | 1 | 71,87 | 72,32 | 72,15 | 72,11 | 0,82 | 3,99 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 30 | 19,20 | 576,13 | 214,57 | 211,61 | 600 | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 455,59 | 454,14 | 600 |
| | | 2 | 70,75 | 71,23 | 70,97 | 70,98 | 0,85 | 4,00 | 3,99 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 28 | 19,20 | 537,72 | 206,51 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 445,45 | | |
| | | 3 | 71,38 | 70,26 | 71,35 | 71,00 | 0,85 | 3,99 | 3,99 | 4,00 | 3,99 | 0,16 | 29 | 19,20 | 556,92 | 213,75 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 461,38 | | |

Yogyakarta, November 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernian Kahari, M.Eng.,IPM., ASEAN.Eng.
NIK. 701 314 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 23 Hasil Pengujian TSR**

## HASIL PENGUJIAN *TSR*

| Kadar Aspal | Substitusi | | Tebal Sampel (mm) | | | | koreksi | Diameter Sampel (Inchi) | | | | A0 | Arloji Stability | | | Stability (kg) | | | Angka Koreksi Tebal Sampel | | Angka Koreksi Koreksi | | Angka Koreksi Tebal Sampel | | Angka Koreksi Koreksi | | ITS 24 JAM Kpa | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 | rata2 | | 1 | 2 | 3 | rata2 | | Meas | Kalibrasi | Adjust | awal | rata2 | MIN | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | MIN | MAX | awal | rata2 | MIN |
| 6,4% | 0,0% | 1 | 71,82 | 73,48 | 73,35 | 72,88 | 0,81 | 4,00 | 3,99 | 3,99 | 3,99 | 0,156 | 46 | 19,20 | 883,39 | 325,16 | 323,53 | 600 | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,1600 | 0,1560 | 683,68 | 685,79 | 600 |
| | | 2 | 71,33 | 72,85 | 72,20 | 72,13 | 0,82 | 3,99 | 4,00 | 3,99 | 3,99 | 0,16 | 43 | 19,20 | 825,78 | 307,49 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 653,32 | | |
| | | 3 | 71,21 | 72,12 | 71,97 | 71,77 | 0,83 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 47 | 19,20 | 902,60 | 337,94 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 4 | 4,1 | 0,156 | 0,152 | 720,38 | | |
| | 25,0% | 1 | 69,00 | 69,30 | 67,90 | 68,73 | 0,89 | 3,99 | 4,00 | 4,01 | 4,00 | 0,156 | 35 | 19,20 | 672,15 | 271,35 | 238,28 | 600 | 68,3 | 69,9 | 0,89 | 0,89 | 3,9 | 4 | 0,160 | 0,156 | 603,96 | 514,82 | 600 |
| | | 2 | 73,08 | 71,90 | 71,83 | 72,27 | 0,82 | 4,00 | 4,00 | 4,01 | 4,00 | 0,156 | 30 | 19,20 | 576,13 | 214,06 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,160 | 0,156 | 452,75 | | |
| | | 3 | 72,20 | 71,56 | 72,11 | 71,96 | 0,82 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,156 | 32 | 19,20 | 614,53 | 229,43 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,160 | 0,156 | 487,77 | | |
| | 50,0% | 1 | 70,37 | 68,90 | 69,77 | 69,68 | 0,89 | 3,99 | 3,99 | 4,00 | 3,99 | 0,16 | 29 | 19,20 | 556,92 | 224,83 | 223,27 | 600 | 68,3 | 69,9 | 0,89 | 0,89 | 4 | 4,1 | 0,156 | 0,152 | 494,47 | 471,94 | 600 |
| | | 2 | 70,72 | 71,87 | 72,65 | 71,75 | 0,83 | 4,00 | 4,03 | 4,01 | 4,01 | 0,16 | 29 | 19,20 | 556,92 | 208,58 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 443,23 | | |
| | | 3 | 70,14 | 71,45 | 71,23 | 70,94 | 0,85 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 30 | 19,20 | 576,13 | 221,71 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 478,13 | | |
| | 75,0% | 1 | 70,97 | 72,34 | 72,92 | 72,08 | 0,82 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 30 | 19,20 | 576,13 | 214,69 | 201,23 | 600 | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 4 | 4,1 | 0,156 | 0,152 | 455,69 | 424,48 | 600 |
| | | 2 | 73,33 | 72,59 | 73,78 | 73,23 | 0,81 | 3,99 | 4,01 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 29 | 19,20 | 556,92 | 203,52 | | | 73 | 74,6 | 0,81 | 0,78 | 4 | 4,1 | 0,156 | 0,152 | 425,14 | | |
| | | 3 | 72,33 | 71,97 | 72,54 | 72,28 | 0,82 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 26 | 19,20 | 499,31 | 185,49 | | | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 4 | 4,1 | 0,156 | 0,152 | 392,60 | | |
| | 100,0% | 1 | 72,34 | 71,58 | 72,03 | 71,98 | 0,82 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 24 | 19,20 | 460,90 | 172,00 | 173,85 | 600 | 71,4 | 73 | 0,83 | 0,81 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 365,54 | 371,91 | 600 |
| | | 2 | 71,43 | 70,91 | 71,42 | 71,25 | 0,84 | 3,99 | 4,00 | 4,00 | 4,00 | 0,16 | 23 | 19,20 | 441,70 | 167,47 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 359,87 | | |
| | | 3 | 70,67 | 71,25 | 71,82 | 71,25 | 0,84 | 4,00 | 4,00 | 4,02 | 4,01 | 0,16 | 25 | 19,20 | 480,11 | 182,09 | | | 69,9 | 71,4 | 0,89 | 0,83 | 3,9 | 4 | 0,16 | 0,156 | 390,32 | | |

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hartan Susilo, Msting, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

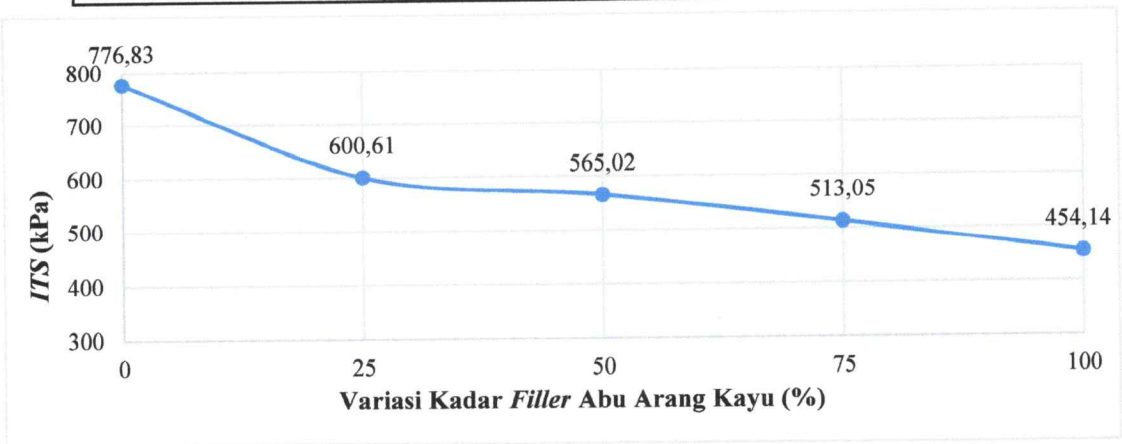
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

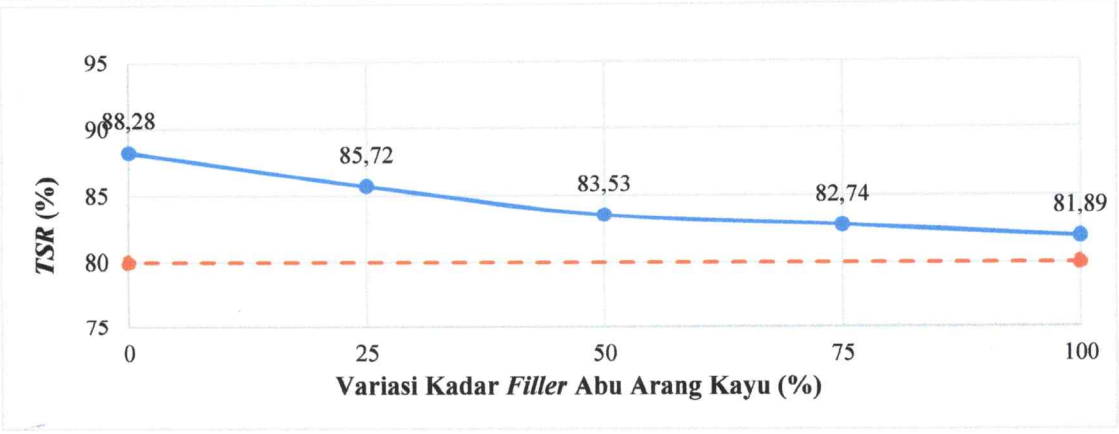
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 24 Rekapitulasi Pengujian *ITS & TSR***

# REKAPITULASI PENGUJIAN *ITS & TSR*

| Variasi Substitusi (%) | KAO (%) | ITS | ITS 24 Jam | TSR (%) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 6,4 | 776,83 | 685,79 | 88,28 |
| 25 | | 600,61 | 514,82 | 85,72 |
| 50 | | 565,02 | 471,94 | 83,53 |
| 75 | | 513,05 | 424,48 | 82,74 |
| 100 | | 454,14 | 371,91 | 81,89 |




Yogyakarta, November 2024

| Disahkan Oleh | Mengetahui | Peneliti |
|---|---|---|
| Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil | Kalab. Jalan Raya | |
| Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng. | Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. | Firmanda Yoga Pratama |
| NIK : 01 511 0101 | NIK : 21 511 1307 | NIM : 20 511 087 |

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 25 Hasil Pengujian *CL***

## HASIL PENGUJIAN *CL*

| Substitusi | No. | Keterangan | Benda uji | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| 0% | 1 | Berat Sebelum Abrasi | 1190,57 | 1178,19 | 1181,34 |
| | 2 | Berat Sesudah Abrasi | 1135,24 | 1126,08 | 1121,65 |
| | 3 | Persentase Kehilangan Berat | 4,65 | 4,42 | 5,05 |
| | 4 | Rata-Rata Berat Jenis Filler | 4,71 | | |
| 25% | 1 | Berat Sebelum Abrasi | 1185,04 | 1175,14 | 1182,03 |
| | 2 | Berat Sesudah Abrasi | 1076,99 | 1105,58 | 1095,76 |
| | 3 | Persentase Kehilangan Berat | 9,12 | 5,92 | 7,30 |
| | 4 | Rata-Rata Berat Jenis Filler | 7,45 | | |
| 50% | 1 | Berat Sebelum Abrasi | 1173,41 | 1170,29 | 1176,54 |
| | 2 | Berat Sesudah Abrasi | 1079,23 | 1076,79 | 1082,01 |
| | 3 | Persentase Kehilangan Berat | 8,03 | 7,99 | 8,03 |
| | 4 | Rata-Rata Berat Jenis Filler | 8,02 | | |
| 75% | 1 | Berat Sebelum Abrasi | 1155,95 | 1190,25 | 1179,29 |
| | 2 | Berat Sesudah Abrasi | 1007,39 | 1023,98 | 1059,23 |
| | 3 | Persentase Kehilangan Berat | 12,85 | 13,97 | 10,18 |
| | 4 | Rata-Rata Berat Jenis Filler | 12,33 | | |
| 100% | 1 | Berat Sebelum Abrasi | 1178,23 | 1182,45 | 1183,43 |
| | 2 | Berat Sesudah Abrasi | 991,47 | 998,29 | 1001,75 |
| | 3 | Persentase Kehilangan Berat | 15,85 | 15,57 | 15,35 |
| | 4 | Rata-Rata Berat Jenis Filler | 15,59 | | |

Yogyakarta, November 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

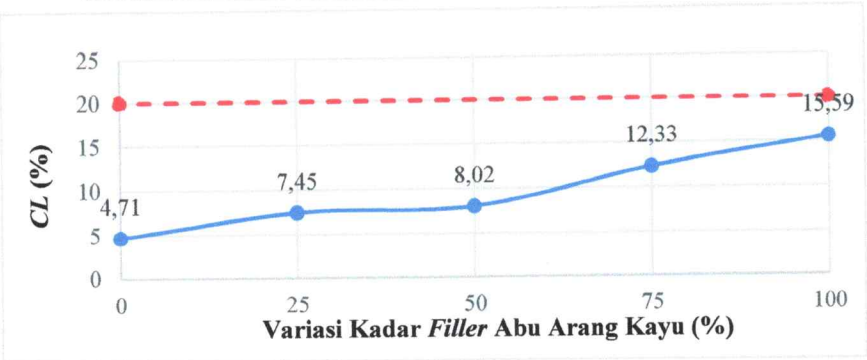
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 26 Hasil Pengujian *CL***

# REKAP PENGUJIAN *CL*

| Variasi Substitusi (%) | KAO (%) | CL (%) |
|---|---|---|
| 0 | 6,4 | 4,71 |
| 25 | | 7,45 |
| 50 | | 8,02 |
| 75 | | 12,33 |
| 100 | | 15,59 |




Yogyakarta, November 2024

| Disahkan Oleh | Mengetahui | Peneliti |
|---|---|---|
| Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil | Kalab. Jalan Raya | |
| Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng. | Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. | Firmanda Yoga Pratama |
| NIK : 01 511 0101 | NIK : 21 511 1307 | NIM : 20 511 087 |

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 27 Hasil Pengujian *Draindown***

## HASIL PENGUJIAN *DRAINDOWN*

| Kadar Filler (%) | No. | Keterangan | Benda Uji | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1 | 2 | 3 |
| 0,0% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1409,16 | 1434,21 | 1456,92 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1166,36 | 1189,87 | 1213,80 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 242,80 | 244,34 | 243,12 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 243,76 | 245,76 | 244,54 |
| | 5 | Draindown | 0,082% | 0,12% | 0,12% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,106 | | |
| 25,0% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1406,80 | 1536,47 | 1538,26 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1164,19 | 1191,32 | 1191,98 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 242,61 | 345,15 | 346,28 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 243,87 | 346,02 | 347,34 |
| | 5 | Draindown | 0,108% | 0,07% | 0,09% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,090 | | |
| 50,0% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1377,98 | 1499,97 | 1500,21 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1133,00 | 1189,73 | 1193,89 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 244,98 | 310,24 | 306,32 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 245,65 | 310,76 | 307,36 |
| | 5 | Draindown | 0,06% | 0,04% | 0,09% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,063 | | |
| 75,0% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1503,67 | 1544,34 | 1543,65 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1169,20 | 1185,96 | 1185,53 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 334,47 | 358,38 | 358,12 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 334,79 | 358,97 | 358,67 |
| | 5 | Draindown | 0,03% | 0,05% | 0,05% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,041 | | |
| 100,0% | 1 | Berat Piring + Benda Uji | 1510,25 | 1537,02 | 1535,14 |
| | 2 | Berat Benda Uji | 1175,69 | 1188,75 | 1195,28 |
| | 3 | Berat Awal Piring Penampung | 334,56 | 348,27 | 339,86 |
| | 4 | Berat Akhir Piring Penampung | 334,87 | 348,77 | 340,23 |
| | 5 | Draindown | 0,03% | 0,04% | 0,03% |
| | 6 | Rata-Rata Draindown | 0,033 | | |

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachtiar Ibrahim, M.Eng, IPM, ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

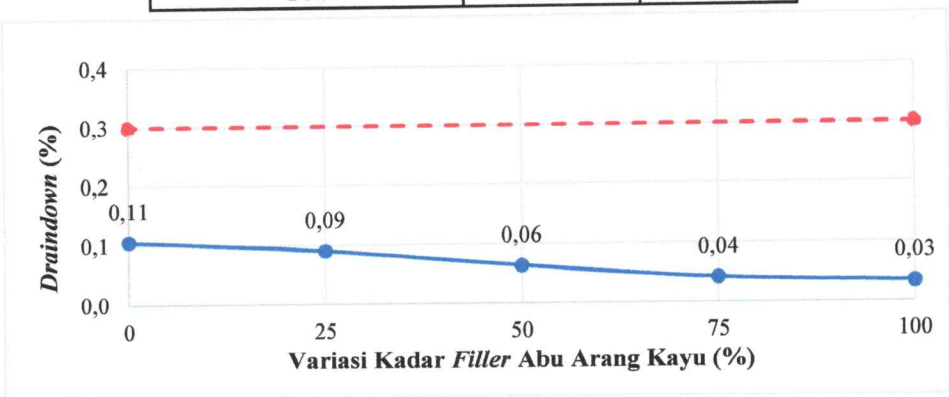
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 28 Hasil Pengujian *DD***

# REKAP PENGUJIAN *DRAINDOWN*

| Variasi Substitusi (%) | KAO (%) | DD (%) |
|---|---|---|
| 0 | 6,4 | 0,11 |
| 25 | | 0,09 |
| 50 | | 0,06 |
| 75 | | 0,04 |
| 100 | | 0,03 |




Yogyakarta, November 2024

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

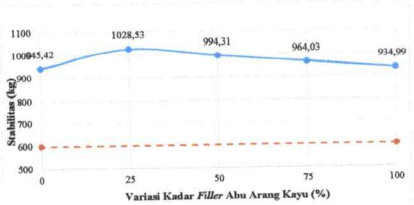
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

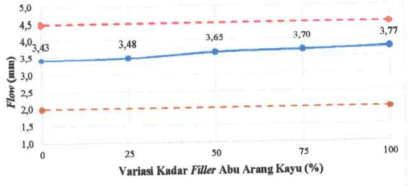
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

**Lampiran 29 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Setelah Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu**

## Rekapitulasi Pengujian *Marshall* Setelah Substitusi *Filler* Abu Arang Kayu

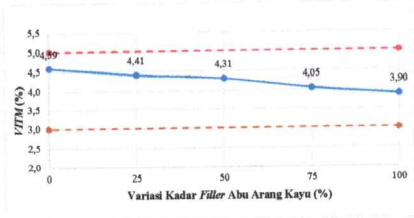
| Kadar Filler (%) | Stabilitas 0 Jam (kg) | *Flow* (mm) | VITM (%) | VFWA (%) | MQ (kg/mm) | VMA (%) | Draindown (%) | Stabilitas 24 Jam (kg) | IRS (%) | *PCA* | Density | *ITS* kPa |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 945,42 | 3,43 | 4,59 | 74,95 | 275,59 | 18,30 | 0,11 | 871,36 | 92,17 | 0,837 | 2,227 | 776,83 |
| 25 | 1028,53 | 3,48 | 4,41 | 75,79 | 295,24 | 18,14 | 0,09 | 960,73 | 93,41 | 0,859 | 2,231 | 600,61 |
| 50 | 994,31 | 3,65 | 4,31 | 76,18 | 272,38 | 18,06 | 0,06 | 936,96 | 94,23 | 0,870 | 2,234 | 565,02 |
| 75 | 964,03 | 3,70 | 4,05 | 77,70 | 260,65 | 17,83 | 0,04 | 887,77 | 92,09 | 0,877 | 2,240 | 513,05 |
| 100 | 934,99 | 3,77 | 3,90 | 78,27 | 248,39 | 17,71 | 0,03 | 848,55 | 90,75 | 0,880 | 2,243 | 454,14 |
| | **> 600** | **2-4,5** | **3 - 5** | **>65** | **>250** | **> 17** | **<0,3** | **> 600** | **>90** | **<1** | **>2** | |

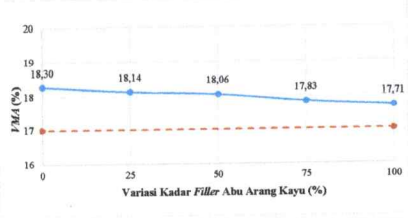


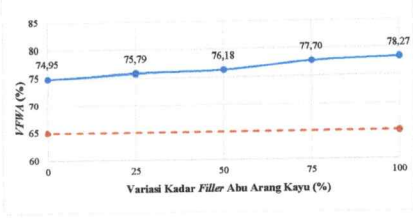



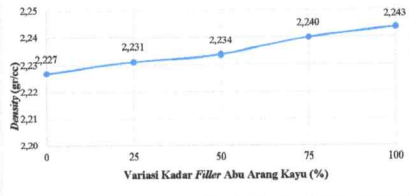







Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernah Kushardi M.Eng.(Prof.), ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0103

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Firmanda Yoga Pratama
NIM : 20 511 087

**Lampiran 30. Hasil Uji *ANOVA* Terhadap Karakteristik *Marshall***

**Tests of Normality**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Variasi Filler | Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
| Stabilitas | 0% | .318 | 3 | . | .887 | 3 | .346 |
| | 25% | .305 | 3 | . | .905 | 3 | .403 |
| | 50% | .321 | 3 | . | .881 | 3 | .328 |
| | 75% | .318 | 3 | . | .887 | 3 | .344 |
| | 100% | .364 | 3 | . | .799 | 3 | .112 |
| Flow | 0% | .219 | 3 | . | .987 | 3 | .780 |
| | 25% | .253 | 3 | . | .964 | 3 | .637 |
| | 50% | .219 | 3 | . | .987 | 3 | .780 |
| | 75% | .292 | 3 | . | .923 | 3 | .463 |
| | 100% | .253 | 3 | . | .964 | 3 | .637 |
| VITM | 0% | .222 | 3 | . | .985 | 3 | .767 |
| | 25% | .325 | 3 | . | .875 | 3 | .309 |
| | 50% | .327 | 3 | . | .872 | 3 | .301 |
| | 75% | .357 | 3 | . | .814 | 3 | .150 |
| | 100% | .211 | 3 | . | .991 | 3 | .817 |
| VFWA | 0% | .214 | 3 | . | .989 | 3 | .802 |
| | 25% | .320 | 3 | . | .884 | 3 | .335 |
| | 50% | .324 | 3 | . | .877 | 3 | .315 |
| | 75% | .361 | 3 | . | .806 | 3 | .128 |
| | 100% | .228 | 3 | . | .982 | 3 | .744 |
| VMA | 0% | .219 | 3 | . | .987 | 3 | .780 |
| | 25% | .324 | 3 | . | .876 | 3 | .313 |
| | 50% | .328 | 3 | . | .871 | 3 | .298 |
| | 75% | .357 | 3 | . | .814 | 3 | .148 |
| | 100% | .210 | 3 | . | .991 | 3 | .818 |
| MQ | 0% | .366 | 3 | . | .795 | 3 | .103 |
| | 25% | .263 | 3 | . | .956 | 3 | .595 |
| | 50% | .261 | 3 | . | .957 | 3 | .602 |
| | 75% | .295 | 3 | . | .920 | 3 | .452 |
| | 100% | .300 | 3 | . | .913 | 3 | .428 |
| Density | 0% | .224 | 3 | . | .984 | 3 | .762 |
| | 25% | .324 | 3 | . | .877 | 3 | .314 |
| | 50% | .333 | 3 | . | .862 | 3 | .274 |
| | 75% | .358 | 3 | . | .814 | 3 | .148 |
| | 100% | .207 | 3 | . | .992 | 3 | .833 |

a. Lilliefors Significance Correction

**Tests of Homogeneity of Variances**

| | | Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| Stabilitas | Based on Mean | 3.956 | 4 | 10 | .035 |
| | Based on Median | .617 | 4 | 10 | .660 |
| | Based on Median and with adjusted df | .617 | 4 | 5.309 | .669 |
| | Based on trimmed mean | 3.462 | 4 | 10 | .051 |
| Flow | Based on Mean | 1.103 | 4 | 10 | .407 |
| | Based on Median | .531 | 4 | 10 | .716 |
| | Based on Median and with adjusted df | .531 | 4 | 6.737 | .718 |
| | Based on trimmed mean | 1.061 | 4 | 10 | .425 |
| VITM | Based on Mean | 2.008 | 4 | 10 | .169 |
| | Based on Median | .373 | 4 | 10 | .823 |
| | Based on Median and with adjusted df | .373 | 4 | 5.009 | .820 |
| | Based on trimmed mean | 1.808 | 4 | 10 | .204 |
| VFWA | Based on Mean | 2.496 | 4 | 10 | .110 |
| | Based on Median | .414 | 4 | 10 | .795 |
| | Based on Median and with adjusted df | .414 | 4 | 4.600 | .793 |
| | Based on trimmed mean | 2.226 | 4 | 10 | .139 |
| VMA | Based on Mean | 2.004 | 4 | 10 | .170 |
| | Based on Median | .373 | 4 | 10 | .823 |
| | Based on Median and with adjusted df | .373 | 4 | 5.004 | .820 |
| | Based on trimmed mean | 1.805 | 4 | 10 | .205 |
| MQ | Based on Mean | 4.139 | 4 | 10 | .031 |
| | Based on Median | .493 | 4 | 10 | .741 |
| | Based on Median and with adjusted df | .493 | 4 | 3.662 | .746 |
| | Based on trimmed mean | 3.571 | 4 | 10 | .047 |
| Density | Based on Mean | 2.008 | 4 | 10 | .169 |
| | Based on Median | .379 | 4 | 10 | .819 |
| | Based on Median and with adjusted df | .379 | 4 | 4.962 | .816 |
| | Based on trimmed mean | 1.810 | 4 | 10 | .203 |

**ANOVA**

| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Stabilitas | Between Groups | 17468.001 | 4 | 4367.000 | 1.033 | .437 |
| | Within Groups | 42260.331 | 10 | 4226.033 | | |
| | Total | 59728.332 | 14 | | | |
| Flow | Between Groups | .244 | 4 | .061 | 10.181 | .001 |
| | Within Groups | .060 | 10 | .006 | | |
| | Total | .304 | 14 | | | |
| VITM | Between Groups | .911 | 4 | .228 | .182 | .943 |
| | Within Groups | 12.526 | 10 | 1.253 | | |
| | Total | 13.437 | 14 | | | |
| VFWA | Between Groups | 22.671 | 4 | 5.668 | .212 | .926 |
| | Within Groups | 266.752 | 10 | 26.675 | | |
| | Total | 289.424 | 14 | | | |
| VMA | Between Groups | .675 | 4 | .169 | .185 | .941 |
| | Within Groups | 9.143 | 10 | .914 | | |
| | Total | 9.818 | 14 | | | |
| MQ | Between Groups | 3682.275 | 4 | 920.569 | 2.390 | .120 |
| | Within Groups | 3851.817 | 10 | 385.182 | | |
| | Total | 7534.093 | 14 | | | |
| Density | Between Groups | .000 | 4 | .000 | .179 | .944 |
| | Within Groups | .007 | 10 | .001 | | |
| | Total | .007 | 14 | | | |

**Lampiran 31. Hasil Uji *ANOVA* Terhadap Pengujian *CL, IRS, ITS, TSR, Draindown***

**Tests of Normality**

| | | Kolmogorov-Smirnov[a] | | | Shapiro-Wilk | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Variasi Filler | Statistic | df | Sig. | Statistic | df | Sig. |
| CL | 0% | .242 | 3 | . | .973 | 3 | .686 |
| | 25% | .203 | 3 | . | .994 | 3 | .849 |
| | 50% | .320 | 3 | . | .884 | 3 | .336 |
| | 75% | .272 | 3 | . | .947 | 3 | .556 |
| | 100% | .195 | 3 | . | .996 | 3 | .881 |
| IRS | 0% | .191 | 3 | . | .997 | 3 | .897 |
| | 25% | .193 | 3 | . | .997 | 3 | .889 |
| | 50% | .291 | 3 | . | .925 | 3 | .471 |
| | 75% | .323 | 3 | . | .878 | 3 | .320 |
| | 100% | .317 | 3 | . | .889 | 3 | .350 |
| ITS | 0% | .334 | 3 | . | .860 | 3 | .267 |
| | 25% | .179 | 3 | . | .999 | 3 | .949 |
| | 50% | .234 | 3 | . | .978 | 3 | .718 |
| | 75% | .324 | 3 | . | .876 | 3 | .313 |
| | 100% | .238 | 3 | . | .976 | 3 | .701 |
| TSR | 0% | .234 | 3 | . | .979 | 3 | .720 |
| | 25% | .269 | 3 | . | .950 | 3 | .567 |
| | 50% | .352 | 3 | . | .824 | 3 | .174 |
| | 75% | .347 | 3 | . | .836 | 3 | .204 |
| | 100% | .342 | 3 | . | .844 | 3 | .225 |
| Draindown | 0% | .365 | 3 | . | .797 | 3 | .108 |
| | 25% | .192 | 3 | . | .997 | 3 | .894 |
| | 50% | .242 | 3 | . | .973 | 3 | .684 |
| | 75% | .334 | 3 | . | .860 | 3 | .266 |
| | 100% | .273 | 3 | . | .946 | 3 | .551 |

a. Lilliefors Significance Correction

**Tests of Homogeneity of Variances**

| | | Levene Statistic | df1 | df2 | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|
| CL | Based on Mean | 4.200 | 4 | 10 | .030 |
| | Based on Median | 1.796 | 4 | 10 | .206 |
| | Based on Median and with adjusted df | 1.796 | 4 | 3.770 | .299 |
| | Based on trimmed mean | 4.009 | 4 | 10 | .034 |
| IRS | Based on Mean | 1.653 | 4 | 10 | .236 |
| | Based on Median | 1.219 | 4 | 10 | .362 |
| | Based on Median and with adjusted df | 1.219 | 4 | 4.890 | .409 |
| | Based on trimmed mean | 1.630 | 4 | 10 | .242 |
| ITS | Based on Mean | 3.216 | 4 | 10 | .061 |
| | Based on Median | .808 | 4 | 10 | .548 |
| | Based on Median and with adjusted df | .808 | 4 | 3.692 | .583 |
| | Based on trimmed mean | 2.972 | 4 | 10 | .074 |
| TSR | Based on Mean | 3.314 | 4 | 10 | .057 |
| | Based on Median | .828 | 4 | 10 | .537 |
| | Based on Median and with adjusted df | .828 | 4 | 5.145 | .559 |
| | Based on trimmed mean | 3.039 | 4 | 10 | .070 |
| Draindown | Based on Mean | 1.010 | 4 | 10 | .447 |
| | Based on Median | .265 | 4 | 10 | .894 |
| | Based on Median and with adjusted df | .265 | 4 | 6.518 | .891 |
| | Based on trimmed mean | .932 | 4 | 10 | .484 |

**ANOVA**

| | | Sum of Squares | df | Mean Square | F | Sig. |
|---|---|---|---|---|---|---|
| CL | Between Groups | 223.400 | 4 | 55.850 | 42.775 | <.001 |
| | Within Groups | 13.057 | 10 | 1.306 | | |
| | Total | 236.457 | 14 | | | |
| IRS | Between Groups | 21.922 | 4 | 5.480 | .149 | .959 |
| | Within Groups | 366.764 | 10 | 36.676 | | |
| | Total | 388.686 | 14 | | | |
| ITS | Between Groups | 178275.002 | 4 | 44568.751 | 22.488 | <.001 |
| | Within Groups | 19818.477 | 10 | 1981.848 | | |
| | Total | 198093.479 | 14 | | | |
| TSR | Between Groups | 98.526 | 4 | 24.632 | .168 | .950 |
| | Within Groups | 1464.498 | 10 | 146.450 | | |
| | Total | 1563.024 | 14 | | | |
| Draindown | Between Groups | .000 | 4 | .000 | 10.180 | .001 |
| | Within Groups | .000 | 10 | .000 | | |
| | Total | .000 | 14 | | | |