TUGAS AKHIR

PENGARUH PASIR SILIKA MERAH SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *AC-BC*
(THE EFFECT OF RED SILICA SAND AS A SUBSTITUTE FOR FINE AGGREGATE ON THE CHARACTERISTICS OF AC-BC MIXTURES)

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

Alfina Aflah Aribah

21511216

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

2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH PASIR SILIKA MERAH SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN AC-BC

(THE EFFECT OF RED SILICA SAND AS A SUBSTITUTE FOR FINE AGGREGATE ON THE CHARACTERISTICS OF AC-BC MIXTURES)

Disusun oleh

Alfina Aflah Aribah
21511216

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 01 Desember 2025
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.	Prayoga Afang Prayitno, S.T., M.Sc.	Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP.
NIK: 955110103	NIK: 205111303	NIK: 215111307

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

6 / 01 / 2026

Ir. Muzanin Mutafi, 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, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakah 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 dikemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perudang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, Desember 2025

Yang membuat pernyataan,



Alfina Aflah Aribah

(21511216)

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Alhamdulillahirabbil ‘alamin puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan saya kenikmatan berupa rahmat dan hidayahnya sehingga saya bisa menyusun laporan tugas akhir yang berjudul Pengaruh Pasir Silika Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran AC-BC. Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus di selesaikan guna untuk menyelesaikan studi sarjana tingkat satu di program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan tugas akhir yang banyak hambatan dan rintangan yang telah dihadapi oleh penulis, namun kritikan, nasehat dan semangat yang didapatkan dari berbagai pihak diberikan kepada penulis sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih sedalam-dalamnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, pembelajaran, ilmu yang baru dan nasihat baik serta motivasi yang membangkitkan semangat penulis selama penyusunan tugas akhir sehingga menghasilkan yang terbaik.
2. Bapak Prayoga Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji I Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu untuk menguji. Kritik dan saran yang diberikan telah banyak membantu dalam memperbaiki dan menyempurnakan tugas akhir ini.
3. Bapak Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP. selaku Dosen Penguji II Tugas Akhir, yang telah meluangkan waktu untuk menguji. Kritik dan saran yang diberikan telah banyak membantu dalam memperbaiki dan menyempurnakan tugas akhir ini.

4. Ibu Ir. Yunalia Muntafi S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN. Eng. selaku Manager laboratorium Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
6. Bapak Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
7. Bapak Sukamto HM, S.T. dan Mas Giri Widhiatmoko, S.T., M.T selaku laboran Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan UII, yang telah membantu menyelesaikan penelitian.
8. Kedua orang tua, Ibu Nonon Diah Setyowati S.P. dan Bapak Drs.Tukir S.T., M.T serta keluarga besar, yang selalu memberikan motivasi semangat, do'a serta dukungan yang tulus dan tiada henti kepada penulis sehingga penulis bisa sampai pada titik ini. Terima kasih atas kesabaran, kasih sayang, dan segala pengorbanan yang telah diberikan selama ini.
9. Muhammad Afif Firdaus selaku adik penulis yang selalu memberikan dukungan dan hiburan dikala sedang lelah.
10. Diah Ayu Puspitaningrum, Ainaya Filza Jaunaa' Fasha, Ghina Hanifah Farza, Muhammad Firdaus Sani Wijaya Kusuma, Aflah Dwi Oktoriando, Muhammad Nuzul Shalahuddin, dan, Yafi Dzakia Muttaqin yang sudah membantu selama di lab dan memberikan dukungan dalam Tugas Akhir ini.
11. Seluruh pihak yang sudah mendukung dalam penyelesaian Tugas Akhir. Saya memohon maaf apabila terdapat kesalah dalam penulisan dan sebagaimana.

Yogyakarta, Desember 2025

Penulis,

Alfina Aflah Aribah

(21511216)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR 1
TUGAS AKHIR ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL x
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR LAMPIRAN xiv
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN xvi
ABSTRAK xviii
ABSTRACT xix
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Tinjauan Umum 5
2.2 Kinerja Campuran *Asphalt-Concrete Binder Course (AC-BC)* 5
2.3 Kinerja Penggunaan Agregat Halus Pengganti Pada Campuran Perkerasan Jalan 6
2.4 Penggunaan Pasir Silika dalam Berbagai Macam Campuran 7
2.5 Perbandingan Penelitian 9
BAB III LANDASAN TEORI 12
3.1 Perkerasan Jalan 12
3.2 Lapisan Aspal Beton (LASTON) 12
3.3 Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)* 13
3.4 Material Penyusun Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* 14
3.4.1 Aspal 14

3.4.2 Agregat 15
3.4.3 Bahan Pengisi *(filler)* 18
3.5 Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan 18
3.6 Karakteristik Pengujian *Marshall* 18
3.6.1 Stabilitas *(Stability)* 19
3.6.2 Kelelehan *(flow)* 19
3.6.3 Kepadatan *(density)* 19
3.6.4 *Void In Mineral Agregate (VMA)*/Rongga di antara Mineral Agregat 20
3.6.5 *Void in Total Mix (VITM)*/Rongga Udara dalam Campuran 20
3.7 *Index of Retained Strength (IRS)* 22
3.8 *Indirect Tensile Strength (ITS)* 22
3.9 *Cantabro Loss (CL)* 23
3.10 Indeks Durabilias Pertama (IDP) 23
3.11 Indeks Durabilitas Kedua (IDK) 24
3.12 *Asphalt Flow Down (AFD)* 25
3.13 Pengujian *Tensile strength Ratio (TSR)* 25
3.14 Pengujian *Index of Cantabro Loss (ICL)* 26
BAB IV METODE PENELITIAN 27
4.1 Metode Penelitian 27
4.2 Pengambilan Data 27
4.2.1 Pemeriksaan Material 27
4.2.2 Bahan Campuran Penelitian 27
4.2.3 Alat Pengujian 27
4.3 Tahapan Penelitian 29
4.3.1 Pengambilan Agregat Uji 29
4.3.2 Pengujian Sifat Fisik Agregat 29
4.3.3 Perencanaan Campuran 32
4.4 Pengujian *Marshall* 38
4.5 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* 39
4.6 Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)* 40

4.7 Pengujian *Cantabro Loss (CL)* 40
4.8 Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)* 41
4.9 Pengujian *Index of Cantabro Loss (ICL)* 41
4.10 Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)* 41
4.11 Analisis Data 42
4.12 Bagan Alir Penelitian 43
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 46
5.1 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran 46
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat 46
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 47
5.1.3 Hasil Pengujian Campuran AC-BC untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum 48
5.1.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum 53
5.1.5 Hasil Pengujian Campuran *AC-BC* pada Kadar Aspal Optimum dengan Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah 56
5.2 Pembahasan 58
5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar 59
5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus 60
5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Pengisi *(filler)* 61
5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 62
5.2.5 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* yang Digunakan Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum pada Campuran *AC-BC* 65
5.2.6 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap Parameter *Marshall* 73
5.2.7 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Siika Merah Terhadap Nilai *Index of Retained Strength* (*IRS)* 82
5.2.8 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) 83
5.2.9 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) 84

5.2.10 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap Nilai *Cantabro Loss* (CL) 86
5.2.11Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap *Asphalt Fall Down (AFD)* 87
5.2.12 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap *Tensile Strength Ratio* (*TSR)* 88
5.2.13 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap *Index of Cantabro Loss (ICL)* 89
5.3 Hasil Peninjauan Pasir Silika Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Campuran *AC-BC* 91
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 96
6.1 Kesimpulan 96
6.2 Saran 97

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Tentang Penggunaan Pasir Silika Sebagai Bahan Perkerasan 10
Tabel 3. 1 Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Laston (AC) 13
Tabel 3. 2 Persyaratan Aspal Penetrasi 60/70 15
Tabel 3. 3 Ketentuan Agregat Kasar 16
Tabel 3. 4 Ketentuan Agregat Halus 17
Tabel 3. 5 Gradasi Agregat untuk Campuran Laston (AC) 17
Tabel 4. 1 Spesifikasi Gradasi Agregat *Asphalt Concrete Binder Course* 33
Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5% 34
Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5% 35
Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6% 35
Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5% 36
Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7% 36
Tabel 4. 7 Kebutuhan Benda Uji Tiap Kadar Aspal 36
Tabel 4. 8 Kebutuhan Benda Uji Tiap Kadar Aspal 37
Tabel 4. 9 Kebutuhan Agregat Halus Clereng dan Pasir Silika Merah 37
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Agregat Kasar 46
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Halus Pasir Clereng 47
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Agregat Halus Pasir Silika Merah 47
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler* 47
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Aspal Pertamina 60/70 47
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 0% 48
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 25% 48
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 50% 48
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 75% 49
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 100% 49

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai KAO 49
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil KAO 53
Tabel 5. 13 Kebutuhan Agregat Substitusi 0% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,12% 53
Tabel 5.14 Kebutuhan Agregat Substitusi 25% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,14% 54
Tabel 5. 15 Kebutuhan Agregat Substitusi 50% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,18% 54
Tabel 5. 16 Kebutuhan Agregat Substitusi 75% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,20% 55
Tabel 5. 17 Kebutuhan Agregat Substitusi 100% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,25% 55
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum 56
Tabel5.19 Rekapitulasi Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)* pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum 57
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum 57
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro Loss (CL)* dan *Index of Cantabro Loss (ICL)* pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum 58
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pengujian AFD pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum 58
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Silika Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus pada Campuran AC-BC 92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pasir Silika Tuban 9

Gambar 4. 1 Rencana Gradasi Agregat Campuran *Asphalt Concrete Binder Course* 33

Gambar 4. 2 Diagram Alir Penelitian 44

Gambar 5. 1 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 0% 50

Gambar 5. 2 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 25% 51

Gambar 5. 3 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 50% 51

Gambar 5. 4 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 75% 52

Gambar 5. 5 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 100% 52

Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas 65

Gambar 5. 7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Flow* 67

Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan *MQ* 68

Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VITM 69

Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VMA 70

Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai VFWA 71

Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Density* 72

Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai Stabilitas 73

Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah pada Campuran AC-BC Terhadap Nilai *flow* 75

Gambar 5. 15 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai MQ 76

Gambar 5. 16 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai VITM 77

Gambar 5. 17 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai VFWA 78

Gambar 5. 18 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai VMA 79

Gambar 5. 19 Grafik Hubungan kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai *Density* 81
Gambar 5. 20 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai IRS 82
Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai Indeks Durabilitas Pertama 83
Gambar 5. 22 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai Indeks Durabilitas Kedua 84
Gambar 5. 23 Grafik Perbandingan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai ITS 85
Gambar 5. 24 Grafik Perbandingan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai CL 87
Gambar 5. 25 Grafik Perbandingan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai AFD 88
Gambar 5. 26 Grafik Perbandingan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah terhadap Nilai TSR 89
Gambar 5. 27 Grafik Perbandingan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai ICL 90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 105
Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 106
Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70 107
Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 108
Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 109
Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 dalam *TCE* 110
Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar 111
Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal 112
Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan dengan Mesin *Los Angeles* 113
Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus 114
Lampiran 11 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Pasir Silika Merah 115
Lampiran 12 Pemeriksaan *Sand Equivalent* Pasir Clereng 116
Lampiran 13 Pemeriksaan *Sand Equivalent* Pasir Silika Merah 117
Lampiran 14 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Debu 118
Lampiran 15 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 0% 119
Lampiran 16 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 25% 120
Lampiran 17 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 50% 121
Lampiran 18 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 75% 122
Lampiran 19 Hasil Pengujian *Marshall* Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 100% 123
Lampiran 20 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* KAO 124
Lampiran 21 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* KAO 125
Lampiran 22 Hasil Pengujian *Marshall* Setelah KAO 126

Lampiran 23 Hasil Pengujian IRS 24 Jam dengan KAO 127
Lampiran 24 Rekapitulasi Pengujian IRS 128
Lampiran 25 Hasil Pengujian ITS dengan KAO 129
Lampiran 26 Hasil Pengujian TSR 130
Lampiran 27 Rekapitulasi Pengujian ITS dan TSR 131
Lampiran 28 Hasil Pengujian CL 132
Lampiran 29 Rekapitulasi Hasil Pengujian CL 133
Lampiran 30 Hasil Pengujian ICL 134
Lampiran 31 Rekapitulasi Hasil Pengujian ICL 135
Lampiran 32 Hasil Pengujian AFD 136
Lampiran 33 Rekapitulasi Hasil Pengujian AFD 137

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Notasi:

a	= persentase aspal terhadap batuan,
b	= persentase aspal terhadap campuran,
c	= berat benda uji sebelum direndam (gr),
CA	= persentase agregat kasar tertahan pada saringan No.4,
d	= berat benda uji dalam keadaan jenuh (SSD) (gr),
e	= berat dalam air (gr),
f	= volume(cm^3),
FA	= persentase agregat halus lolos saringan No.4 dan No 200,
g	= berat isi sampel (gr/cc),
h	= berat jenis maksimum teoritis campuran,
j	= persentase hasil pengurangan 100 dengan persentase aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji dibagi berat jenis agregat (%),
k	= jumlah kandungan rongga (%),
l	= rongga terhadap agregat (VMA) (%),
m1	= berat cetakan berupa nampan dan kertas aluminium foil (gr),
m2	= berat cetakan beserta campuran beraspal (gr),
m3	= berat cetakan dengan campuran aspal yang melekat pada aluminium foil (gr),
Mi	= berat setelah diabrasi(gr),
Mo	= berat sebelum diabrasi(gr),
p	= nilai pembacaan arloji stabilitas dikalikan dengan kalibrasi proving ring,
Pb	= kadar aspal optimum rencana,
p_{runtuh}	= beban puncak (N),
q	= stabilitas,

r = *flow* (mm),

s = tebal benda uji,

s_1 = stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam,

s_2 = stabilitas setelah direndam selama 24 jam,

sa = persentase kuat sisa rata-rata satu hari (%),

S_{i+1} = persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1},

t_i = periode perendaman,

t_{i+1} = periode perendaman, dan

tn = total waktu perendaman (jam).

Singkatan:

AASHTO = *Amercian Association Of State Highway and Transporting Official*,

AC-BC = *Asphalt Concrete - Binder Course*,

AC-WC = *Asphalt Concrete –Wearing Course*,

AFD = *Asphalt Fall Down*,

CL = *Cantabro Loss*,

ICL = *Index of Cantabro Loss*,

IDK = *Indeks Durabilitas Kedua*,

IDP = *Indeks Durabilitas Pertama*,

IRS = *Index of Retained Strength*,

ITS = *Indirect Tensile Strength*,

KAO = *Kadar Aspal Optimum*,

MQ = *Marshall Quotient*,

SNI = *Standart Nasional Indonesia*,

SSD = *Saturated Surface Dry*,

TSR = *Tensile Strength Ratio*,

VFWA = *Void Filled With Asphalt*,

VITM = *Void In The Mix*, dan

VMA = *Void Mineral Agregate*.

ABSTRAK

Ketersediaan material perkerasan yang semakin menurun, diperlukan material alternatif yang memiliki kualitas baik dan tersedia secara lokal. Material perkerasan jalan yang memiliki mutu tinggi serta mampu mendukung keberlanjutan infrastruktur transportasi. Di daerah Bancar, Tuban, Jawa Timur terdapat pasir silika merah yang berlimpah. Pada penelitian yang akan dilakukan, digunakan pasir silika merah sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penggunaan pasir silika merah sebagai substitusi agregat halus terhadap nilai volumentrik, kekuatan struktur, dan durabilitas dalam campuran *AC-BC*.

Metode penelitian dilakukan secara eksperimental yang dilakukan di laboratorium. Tahapan yang pertama adalah melakukan pengujian sifat material agregat dan aspal. Tahapan yang kedua adalah menentukan kadar aspal optimum pada campuran AC-BC dengan variasi substitusi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Setelah didapatkan kadar aspal optimum tahapan selanjutnya adalah membuat campuran dengan kadar aspal optimum kemudian dilakukan pengujian untuk mengetahui nilai volumentrik, kekuatan struktur dan durabilitas. Tahapan terakhir adalah melakukan analisis, pembahasan, dan kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

Hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa pasir silika merah pada variasi substitusi 0% sampai 100% dapat digunakan sebagai substitusi sebagai agregat halus dalam campuran *AC-BC*. Berdasarkan nilai volumentrik, meningkatnya kadar substitusi pasir silika merah mengakibatkan penurunan nilai VITM, VMA, dan density, sementara nilai VFWA mengalami peningkatan, yang mencerminkan perubahan struktur rongga dalam campuran. Berdasarkan nilai Struktur, peningkatan kadar substitusi pasir silika merah menyebabkan penurunan nilai stabilitas, MQ, ITS, serta peningkatan nilai *flow*, yang menunjukkan menurunnya kemampuan campuran dalam menahan beban. dari aspek durabilitas, peningkatan kadar substitusi pasir silika merah menyebabkan penurunan nilai IRS dan TSR, serta peningkatan nilai CL, ICL, AFD, yang menunjukkan penurunan ketahanan campuran terhadap kerusakan dan disintegrasi. Meskipun demikian, seluruh variasi substitusi hingga 100% masih memenuhi persyaratan teknis, sehingga pasir silika merah berpotensi digunakan sebagai alternatif agregat halus dalam campuran AC-BC.

Kata Kunci: *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*, agregat halus, pasir silika merah, kekuatan, keawetan, dan volumentrik.

ABSTRACT

The decreasing availability of conventional pavement materials requires the exploration of alternative materials that possess high quality and are locally available. Pavement materials must exhibit high performance and support the sustainability of transportation infrastructure. In Bancar, Tuban, East Java, there is an abundant supply of red silica sand that has the potential to be utilized in pavement mixtures. This study employs red silica sand as a substitute for fine aggregate in Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) mixtures. The purpose of this research is to determine the influence of red silica sand substitution on volumetric properties, structural strength, and durability of AC-BC mixtures.

The research was conducted experimentally in a laboratory setting. The first stage consisted of testing the physical properties of aggregates and asphalt. The second stage involved determining the optimum asphalt content for AC-BC mixtures with substitution variations of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. After establishing the optimum asphalt content, AC-BC mixtures were produced for each substitution level and subsequently tested to determine their volumetric properties, structural performance, and durability. The final stage included analysis, discussion, and formulation of conclusions based on the test results.

The results indicate that red silica sand, at substitution levels ranging from 0% to 100%, can be used as a fine aggregate replacement in AC-BC mixtures. Marshall test results show that mixture performance decreases and flow values increase as the percentage of red silica sand substitution increases. The IRS value decreased from 93.48% at 0% substitution to 90.57% at 100% substitution. Similarly, ITS and TSR values showed reductions, with TSR decreasing from 87.03% at 0% substitution to 79.89% at 100% substitution. Meanwhile, CL, ICL, and AFD values increased with higher substitution levels. Based on the findings, red silica sand can be used as an alternative fine aggregate in AC-BC mixtures.

Keywords: *Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC), fine aggregate, red silica sand, strength, durability, and volumetrics.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Laju pertumbuhan penduduk di Indonesia yang semakin pesat berdampak langsung pada peningkatan mobilitas masyarakat. Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, dibutuhkan material perkerasan jalan yang memiliki kualitas tinggi dan berkelanjutan. Salah satu elemen penting dalam konstruksi perkerasan jalan adalah campuran beraspal, khususnya *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC),* yang berperan sebagai lapisan pengikat antara lapisan dasar dan lapisan permukaan. Kualitas *AC-BC* sangat ditentukan oleh karakteristik agregat halus yang digunakan dalam campuran.

Agregat halus merupakan komponen penting dalam campuran beraspal yang dibutuhkan dalam jumlah yang besar dan harus memiliki kualitas yang baik. Pengambilan agregat halus langsung dari sumber daya alam perlu dibatasi untuk menjaga kelestarian lingkungan, maka diperlukan upaya untuk mengganti bahan alternatif yang memiliki kualitas setara dan dapat menggantikan fungsi agregat halus alami. Salah satu material alam yang mempunyai potensi untuk dimanfaatkan sebagai alternatif agregat halus adalah Pasir Silika atau yang lebih di kenal dengan pasir kuarsa. Pasir Silika merupakan salah satu jenis mineral yang ditemukan pada lapisan kerak benua bumi. Pasir Silika terbentuk dari proses pelapukan batuan yang mengandung mineral utama berupa *feldspar* Senolinggi dkk. (2023).

Menurut Nirwana dkk. (2025) dalam penelitiannya menganalisis penggunaan pasir besi sebagai substitusi agregat halus pada campuran *AC-BC* menggunakan parameter *Marshall* yang menunjukkan bahwa agregat halus dari pasir besi mempunyai kadar aspal optimum sebesar 5,5% dengan kadar optimum pasir besi dalam campuran laston *AC-BC* yaitu 50%, yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 3).

Penelitian tentang penggunaan bahan pengganti agregagat halus dalam berbagai jenis campuran telah dilakukan oleh banyak peneliti sebelumnya yang dilakukan, Nirwana dkk (2025) menggunakan pasir besi untuk campuran *AC-BC.* Senolinggi dkk. (2023) menggunakan pasir silika yang berasal dari Bangka untuk campuran *AC-BC.* Nofrianto dan Astika (2023) menggunakan pasir silika dari Bukit Karang Putih, Padang untuk campuran *AC-WC.* Penelitian sebelumnya dengan penelitan yang akan dilakukan terdapat perbedaan lokasi dan sumber material yang digunakan dan uji ketahanan perendaman.

Penggunaan Pasir Silika Merah sebagai pengganti agregat halus mempunyai potensi untuk meningkatkan kinerja pada lapis perkerasan jalan. Pasir silika mempunyai bentuk yang seperti kristal. Penelitian ini memastikan bahwa jenis pasir silika dapat dimanfaatkan secara optimal untuk memperbaiki mutu perkerasan. Berdasarkan dari penelitian sebelumnya, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi salah satu material lokal yaitu Pasir Silika Merah yang berasal dari Bancar, Tuban, Jawa Timur, sebagai alternatif agregat halus. Pemanfaatan material ini ditujukan untuk meningkatkan ketahanan pada perkerasan terhadap beban lalu lintas dan kondisi iklim di Indonesia.

Berdasarkan permasalahan di atas maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh Pasir Silika Merah yang berasal dari Tuban, Jawa Timur terhadap nilai *Marshall, Index of Ratio (IRS), Indirct Tensile Strength (ITS), Cantabro Loss (CL), Index of Cantabro Loss (ICL),* dan *Asphalt Flow Down (AFD)* dengan harapan pada hasil penelitian ini dapat memberikan alternatif dari pemanfaatan dalam penggunaan material lokal secara optimal untuk memperkuat lapis pada struktur perkerasan jalan lentur khususnya pada lapisan *AC-BC.*

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dibahas pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* menggunakan Pasir Silika Merah sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik *Marshall*?

2. Bagaimana pengaruh penggunaan agregat halus Pasir Silika Merah pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* terhadap kuat tarik tak langsung?
3. Bagaimana pengaruh campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* dengan Pasir Silika Merah sebagai substitusi agregat halus terhadap nilai durabilitas?
4. Bagaimana Pengaruh penggunaan agregat halus Pasir Silika Merah pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* terhadap ketahanan disintegritas akibat benturan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* menggunakan Pasir Silika Merah sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik *Marshall* yaitu stabilitas, *flow, Marshall Quotient, VITM, VFMA, VMA*, dan *density*.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus Pasir Silika Merah pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* terhadap kuat tarik tak langsung pada uji *Indirect Tensile Strength (ITS)*.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus Pasir Silika Merah pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* terhadap nilai durabilitas dengan uji *Index of Retained Strength (IRS)* dan *Tensile strength Ratio (TSR)*.
4. Mengetahui pengaruh penggunaan agregat halus Pasir Silika Merah *)* pada campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* terhadap ketahanan disintegrasi akibat benturan pada uji *Cantabro Loss (CL)* dan *Index of Cantabro Loss (ICL).*

1.4 Manfaat Penelitian

Dengan dilaksanakannya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi penulis dan pembaca terutama pada bidang perkerasan lentur jalan raya khusunya pada karakteristik campuran *AC-BC* di Indonesia. Selain itu, diharapkan penelitian ini dapat memberikan alternatif pada penggunaan Pasir Silika Merah dalam mengembangkan infrastruktur jalan yang memanfaatkan penggunaan material lokal.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Campuran yang digunakan dalam penelitian yaitu campuran *AC-BC.*
2. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70.
3. Kandungan mineral yang terkandung di dalam Pasir Silika Merah pada penelitian ini tidak ditinjau.
4. Agregat kasar dan halus yang digunakan berasal dari Clereng, Kulonprogo yang ada di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Agregat halus yang digunakan adalah Pasir Silika Merah dari Bancar, Tuban, Jawa Timur. Pasir Silika Merah berasal dari tambang hasil dari pelapukan dan erosi batuan sedimen tua yang kaya akan mineral kuarsa.
6. Pengujian *Marshall, IRS, TSR, ITS, CL*, *ICL* dan *AFD* dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
7. Variasi substitusi agregat halus yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap berat agregat halus dengan variasi kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% terhadap berat total campuran.
8. Penelitian yang dilakukan ini mengacu pada spesifikasi Bina Marga 2018.
9. Tidak menghitung aspek biaya.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Umum

Penelitian ini memerlukan kajian literatur guna memperkuat penyusunan permasalahan yang telah di uraikan sebelumnya, khususnya terkait dengan pengaruh penggunaan Pasir Silika Merah sebagai pengganti agregat halus terhadap karakteristik campuran *AC-BC.* Tinjauan literatur tersebut disusun berdasarkan hasil hasil penelitian terdahulu yang relevan, dan dijadikan sebagai dasar acuan dalam mendukung arah dan tujuan dari penelitian ini.

2.2 Kinerja Campuran *Asphalt-Concrete Binder Course (AC-BC)*

Berdasarkan Spesifikasi Umum Direktorat Jendral Bina Marga (2018), lapisan *AC-BC* berperan sebagai lapisan antara dengan ukuran maksimum agregat sebesar 25,4 mm. Dalam struktur perkerasan jalan, lapisan *AC-BC* memiliki fungsi penting, antara lain menyediakan sistem yang efektif untuk melindungi lapisan di bawahnya, menerima beban lalu lintas secara langsung, serta mendistribusikan beban tersebut guna mengurangi tegangan pada lapisan struktur bawah. Untuk memastikan kinerja optimal dari lapisan ini, diperlukan penggunaan material dan bahan pengikat yang memenuhi persyaratan serta sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Indonesia.

Menurut Ariawan (2013) penggunaan asbuton dalam campuran *AC-BC* dapat mengurangi jumlah penggunaan agregat halus dan *filler* dalam campuran, karena terdapat kandungan mineral dan bitumen di dalam asbuton. Limbah pecahan batako yang digunakan sebagai agregat halus dan *filler* menyebabkan penggunaan kadar aspal yang tinggi. Nilai *Marshall Quotient* pada kadar aspal optimum menunjukkan bahwa campuran tidak memenuhi spesifikasi untuk lalu lintas berat. Menurut Virani dan Hidayati (2023) bahan tambah limbah botol air mineral pada campuran *AC-BC* menunjukaan nilai karakteristik *Marshall*, penambahan limbah air mineral paling efektif adalah kurang dari 5%.

Tajudin dan Suparma (2017) menyatakan penggunaan limbah plastik yang digunakan sebagai agregat pengganti dalam campuran *AC-BC*, mempunyai pengaruh rendaman pada pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS).* Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa durasi perendaman yang lama akan mengurangi nilai dari *Tensile Strength Ratio (TSR)* dan kuat tarik pada campuran. Zaenuri dkk. (2018) menyatakan penggunaan batu gamping sebagai agregat kasar dan *filler* pada campuran *AC-BC* hampir semua persyaratan dalam bina marga terpenuhi.

Ridha dkk. (2020) menyatakan substitusi pasir dengan menggunakan limbah kaca dalam campuran *AC-BC* baik digunakan sampai persentase 40% dari total campuran. Afriansyah dan Sentosa (2015) menyatakan penggunaan pasir alam kampar dalam kuat tarik tidak langsung *AC-BC* mampu meningkatkan nilai kuat tarik dengan variari pasir alam sebesar 20%. Agustian dan Agusmaniza (2021) mengevaluasi karakteristik campuran *AC-BC* dengan menggunakan abu cangkang kemiri yang digunakan sebagai substitusi *filler*. Evaluasi karakteristik campuran *AC-BC* menggunakan parameter *Marshall.*

2.3 Kinerja Penggunaan Agregat Halus Pengganti Pada Campuran Perkerasan Jalan

Penelitian yang dilakukan Pebrian dan Sriwahyuni (2022) penggunaan pasir dari Desa Kutai Donok sebagai agregat halus, dengan pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa lapisan *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* yang dihasilkan memiliki stabilitas yang baik terhadap deformasi. Penelitian yang dilakukan oleh Nirwana dkk. (2025) menggunakan pasir besi sebagai substitusi agregat halus pada campuran *AC-BC,* dari hasil pengujian sifat fisik agregat dan aspal memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 3). Pengujian yang dilakukan Sukamto (2020) dalam penggunaan pasir sungai Progo sebagai agregat halus dalam campuran *AC-WC* dengan kadar aspal optimum adalah 5,85%.

Budiman dan Sukirman (2018) melakukan penelitian dengan menggunakan batu kapur Kalipucang sebagai substitusi agregat halus pada campuran *AC-BC*. Penambahan batu kapur sebanyak 50% dari agregat halus. Penelitian yang dilakukan oleh Boro dkk. (2024) dengan menggunakan batu kapur sebagai agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang menggunakan bahan pengikat aspal minyak.

Bahri (2017) melakukan penelitian dengan memanfaatkan limbah serbuk besi sebagai agregat halus pada campuran aspal panas. Kadar maksimum dari serbuk besi yang digunakan adalah 25%. Fauziah dan Wijayanti (2016) melakukan penelitian dengan menggunakan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik campuran aspal porus.

Arifiardi dkk. (2016) melakukan penelitian dengan menggunakan pasir pantai carita sebagai campuran agregat halus pada lapis permukaan aspal beton. Campuran pasir dilakukan dengan 50% pasir pantai dan 50% bukan pasir pantai. Pratama dkk. (2023) melakukan penelitian dengan menggunakan pasir pantai Ketapang sebagai agregat halus, dengan menambahkan semen untuk *filler* pada campuran aspal. Persentase penambahan pasir pantai, nilai stabilitas akan cenderung mengalami penurunan.

2.4 Penggunaan Pasir Silika dalam Berbagai Macam Campuran

Menurut Nofianti dan Astika (2023) dalam penelitiannya yang memanfaatkan pasir silika yang berasal dari Bukit Karang Putih, Kota Padang, Sumatera Barat. Penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa pasir silika dapat digunakan sebagai alternatif pengganti agregat halus berdasarkan nilai *karakteristik Marshall.* Nilai kepadatan *(density),* kelelehan *(flow), VMA, VFA* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dan berkurangnya komposisi pasir silika di dalam campuran.

Pada penelian yang dilakukan oleh Senolinggi dkk. (2023) juga menggunakan pasir silika yang berasal dari Bangka sebagai agregat halus dengan jenis campuran *AC-BC,* pada penelitian ini digunakan batu pecah biasa dan Pasir Silika sebagai agregat halus. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kadar aspal optimum campuran yang menggunakan batu pecah biasa adalah 5,5% dan untuk campuran yang menggunakan pasir silika Bangka adalah 5,9%.

Junaedi (2020) dalam penelitiannya memanfaatkan pasir kuarsa sebagai bahan pengganti agregat halus untuk perkerasan pada *Laston AC-BC,* menunjukkan bahwa peningkatan nilai stabilitas dibandingkan dengan campuran Laston konvensional. Hal ini disebabkan oleh tekstur permukaan pasir kuarsa yang kasar dan tingkat kekerasannya yang tinggi, yang meningkatkan kelekatan antara agregat dan aspal. Karakteristik ini memperkuat ikatan dalam campuran, sehingga meningkatkan stabilitas struktural perkerasan. Dengan demikian, pemanfaatan pasir kuarsa berkontribusi positif terhadap kinerja perkerasan Laston.

Ibrahim dkk. (2021) menyatakan bahwa pengaruh pasir silika terhadap ketahanan deformasi campuran *AC-WC* ditunjukkan pada campuran dengan dengan kadar pasir silika 15% pada campuran KAO 5,8% dengan stabilitas dinamis (DS) sebesar 750 lintasan/mm dan laju deformasi (RD) sebesar 0,028 mm/menit. Berikut Gambar 2.1 merupakan gambar dari pasir silika.

Pasir silika merah yang berasal dari Kecamatan Bancar, Kabupaten Tuban merupakan agregat alam yang diperoleh langsung dari sekitar lingkungan pantai tanpa melalui proses pemecahan mekanis. Menurut beberapa penelitian karakterisasi pasir Bancar–Tuban, material ini didominasi oleh mineral kuarsa (SiO_2) yang memiliki struktur kristal keras, kompak, dan permukaan relatif halus Pratama dkk. (2020). Dominasi mineral kuarsa tersebut menyebabkan butiran pasir cenderung membulat, tidak bersudut, dan berpermukaan licin**.**

Sifat licin dan tidak bersudut pada pasir silika merah Bancar–Tuban juga dipengaruhi oleh proses abrasi alami di lingkungan pantai, di mana butiran pasir mengalami gesekan terus-menerus akibat gelombang laut dan pergerakan air. Proses ini mengikis sudut-sudut tajam hasil pelapukan batuan sehingga menghasilkan butiran yang lebih halus dan membulat. Selain itu, warna merah kecoklatan pada pasir silika Bancar–Tuban disebabkan oleh kehadiran oksida besi (Fe_2O_3) seperti hematit dan goetit yang melapisi permukaan butiran kuarsa Wibowo dkk. (2025). Lapisan oksida besi ini turut berkontribusi terhadap permukaan pasir yang lebih halus.



Gambar 2. 1 Pasir Silika Merah Tuban

2.5 Perbandingan Penelitian

Berikut adalah perbandingan penelitian tentang penggunaan bahan pengganti agregat halus pada berbagai jenis campuran disajikan dalam Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Tentang Penggunaan Pasir Silika Sebagai Bahan Perkerasan

No	Aspek	Pebrian dkk. (2022)	Nofrianto dan Astika (2023)	Senolinggi dkk. (2023)	Junaedi (2020)	Ibrahim dkk. (2021)	Nirwana dkk. (2025)	Aribah (2025)
1.	Judul	Penggunaan Pasir di Desa Kutai Donok sebagai Bahan Aggregat Halus pada *Hotmix AC–WC*	Kajian Pasir Silika Sebagai Agregat Halus Pada Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC – WC)* Berdasarkan Uji *Marshall*	Karakteristik *Asphalt Concrete - Binder Course* Dengan Pasir Silika Bangka Sebagai Agregat Halus	Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Untuk Perkerasan *Laston AC-BC*	Analisis *Poisson Ration* dan Ketahanan Deformasi Campuran *AC-WC* Substitusi Pasir Silika	Analisis Substitusi Pasir Besi Sebagai Agregat Halus Pada Kinerja Aspal (*AC-BC)*	Pengaruh Pasir Silika Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran *AC-BC*
2.	Jenis Campuran	*AC-WC*	*AC-WC*	*AC-BC*	*AC-BC*	*AC-WC*	*AC-BC*	*AC-BC*
3.	Jenis Aspal	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 60/70
4.	Bahan Pengganti	Pasir dari Desa Kutai Donok	Pasir silika	Pasir silika Bangka	Pasir kuarsa	Pasir Silika	Pasir Besi	Pasir silika merah
5.	Pengujian	Uji *Marshall*	Uji *Marshall*	Uji *Marshall*	Uji *Marshall*	Uji *Marshall*	Uji *Marshall*	*Marshall*, *ITS*, *IRS*, *TSR*, *CL*, *ICL*, dan *AFD*

Sumber: Pebrian dkk. (2022), Nofrianto dan Astika (2023), Senolinggi dkk. (2023), Junaedi (2020), Ibrahim dkk. (2021), Nirwana dkk. (2025), dan Aribah (2025)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Penggunaan Pasir Silika Sebagai Bahan Perkerasan

No	Aspek	Pebrian, dkk. (2022)	Nofrianto dan Astika (2023)	Senolinggi dkk. (2023)	Junaedi (2020)	Ibrahim dkk. (2021)	Nirwana dkk. (2025)	Aribah (2025)
6	Hasil	1. Lapisan *AC – WC* yang stabil terhadap perubahan bentuk. 2. Tidak mengalami leleh. 3. Tidak cocok untuk dilalui kendaraan berat.	1. Nilai KAO 5,7%. 2. Durabilitas dari hasil perendaman mengalami penurunan dengan bertambahnya durasi perendaman. 3. Nilai IKS memenuhi Bina Marga 2018 dengan nilai 93,94%.	1. Nilai KAO untuk batu pecah 5.5%. 2. Nilai KAO untuk pasir silika Bangka 5,9%. 3. Nilai IKS untuk batu pecah 94,6%. 4. Nilai IKS untuk pasir silika Bangka 90,8%.	1. Nilai stabilitas M*arshall* lebih tinggi dibandingkan L*aston* normal. 2. Nilai KAO 7,5%. 3. Peningkatan nilai stabilitas yang disebabkan permukaan pasir kuarsa.	1. Nilai KAO pada kadar 15% adalah 5,8%. 2. Nilai *Poisson Ratio* 0,721. 3. Nilai kuat tarik 83960.15 Kpa. 4. Stabilitas dinamis tertinggi 750 lintasan/mm. 5. Laju deformasi terendah 0.028 mm/menit.	1. Nilai KAO pada kadar 50% adalah 5,5%. 2. Nilai Stabilitas =1289,93kg, Flow =2,15 mm, VMA = 14,96%, VFA = 92,00%, dan MQ = 588,98 kg/mm.	1. Nilai KAO yang diperoleh setiap variasi substitusi berbeda-beda. 2. setelah nilai KAO di dapatkan, nilai stabilitas, MQ, VITM, dan VMA mengalami penurunan seiring dengan variasi substitusi sedangkan nilai *flow*, FVWA, mengalami peningkatan seiring dengan variasi substitusi. 3. Nilai IRS dan ITS mengalami penurunan sedangkan nilai CL mengalami penurunan karena adanya peningkatan dalam kehilangan berat.

Sumber: Pebrian dkk. (2022), Nofrianto dan Astika (2023), Senolinggi dkk. (2023), Junaedi (2020), Ibrahim dkk. (2021), Nirwana dkk. (2025), dan Aribah (2025)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan adalah lapisan konstruksi yang dibangun di atas tanah dasar *(subgrade)* untuk menahan dan mendistribusikan beban lalu lintas kendaraan, sekaligus menyediakan permukaan jalan yang aman dan nyaman bagi pengemudi. Tujuan utama dari perkerasan jalan adalah untuk menciptakan jalan yang kuat dan stabil, melindungi lapisan dasar, mendistribusikan beban kendaraan dengan benar, serta menjaga kenyamanan dan keamanan pengguna jalan.

3.2 Lapisan Aspal Beton (LASTON)

Menurut Bina Marga (2018) aspal beton atau aspal campuran panas adalah campuran aspal yang terdiri dari aspal keras sebagai pengikat, dikombinasikan dengan agregat kasar, agregat halus, dan pengisi, yang dicampur pada suhu tertentu untuk menghasilkan campuran panas. Campuran aspal ini, yang dikenal sebagai LASTON, dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan ketebal lapisan dan ukuran maksimum agregat yang digunakan. *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* berfungsi sebagai lapisan permukaan dengan ukuran agregat maksimum 19 mm. *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* digunakan sebagai lapisan tengah dengan ukuran agregat maksimum 25,4 mm. sementara itu, *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* bertindak sebagai lapisan dasar dengan ukuran agregat maksimum 37,5 mm.

Aspal beton (LASTON) dirancang untuk menghasilkan permukaan jalan yang kuat, tahan lama, nyaman, dan aman untuk lalu lintas kendaraan. Campuran ini diformulasikan untuk menahan beban lalu lintas berat dan mendistribusikannya secara merata ke lapisan bawah, sehingga mencegah kerusakan pada struktur jalan. Selain itu, aspal beton juga berfungsi untuk mengurangi potensi deformasi seperti retak dan alur, meningkatkan cengkraman ban kendaraan untuk keselamatan, dan melindungi lapisan bawah dari kerusakan akibat air. Keuntungan lain dari

Ketentuan sifat dari campuran beraspal laston dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3. 1 Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Laston (AC)

Sifat – Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,6		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas *Marshall* (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ºC	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

Sumber: Bina Marga (2018)

3.3 Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC)*

Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC) merupakan salah satu lapisan dalam perkerasan lentur yang terletak di antara lapisan permukaan *(wearing course).* Lapisan ini berfungsi sebagai pengikat antara lapisan bawah dan lapisan atas dan membantu mendistribusikan beban lalu lintas ke struktur dibawahnya. *AC-BC* juga berperan untuk meningkatkan kekuatan keseluruhan konstruksi perkerasan. dibandingkan dengan *wearing course, AC-BC* memiliki gradasi agregat yang lebih seimbang.

Karakteristik utama *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* meliputi stabilitas, durabilitas, kekakuan, dan fleksibilitas. Stabilitas diperlukan agar lapisan *AC-BC* dapat mempertahankan bentuknya saat terkena beban lalu lintas berat tanpa adanya deformasi berlebihan. Durabilitas dalam karakteristik *AC-BC* adalah memastikan lapisan *AC-BC* tetap tahan lama dan mampu menahan pengaruh lingkungan serta beban lalu lintas dalam jangka panjang. Meskipun fleksibel, *AC-*

BC memiliki kekuatan yang cukup untuk mendistribusikan beban secara merata ke lapisan dibawahnya, sehingga mengurangi risiko kerusakan struktural. Fleksibilitas memungkinkan lapisan ini untuk beradaptasi dengan pergerakan tanah,perubahan suhu, dan beban dinamis, sehigga menjaga stabilitas keseluruhan permukaan jalan. Kombinasi dari karakteristik membuat *AC-BC* efekti sebagai pengikat dan distributor beban dalam sistem permukaan jalan fleksibel.

3.4 Material Penyusun Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course*

Material utama dalam penyusunan campuran perkerasan lentur yang akan digunakan dalam penelitian tersusun atas bahan ikat aspal, agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi *(filler)*, dan bahan tambahan lainnya yang menyesuaikan dengan jenis campuran pada penelitian.

3.4.1 Aspal

Menurut Sukirman (2003) aspal adalah bahan yang pada suhu ruangan memiliki bentuk padat hingga agak padat, serta bersifat termoplastis, yang artinya aspal akan mencair ketika dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu, dan akan kembali mengeras saat suhu menurun. Aspal merupakan material pembentuk dalam campuran perkerasan jalan.

Aspal mempunyai sifat viskoelastis, yaitu kombinasi antara sifat elastis dan viskos. Sifat viskoelastis memungkinkan aspal untuk menyesuaikan terhadap beban lalu lintas dan perubahan suhu tanpa mengalami kerusakan permanen. Aspal mempunyai kemampuan adhesi yang baik terhadap agregat. Kemampuan adhesi merupakan kemapuan suatu zat atau permukaan untuk menempel atau melekat pada suatu zat atau permukaan lainnya.

Berdasarkan dengan sumber dan proses pembuatannya aspal diklasifikasikan menjadi dua, yaitu:

1. Aspal alam, adalah aspal yang diperoleh langsung dari alam, seperti danau aspal atau dari batuan yang mengandung bitumen.
2. Aspal minyak bumi, adalah aspal yang diperoleh dari hasil samping dari penyulingan minyak mentah. Aspal jenis ini sering digunakan dalam konstruksi

jalan karena ketersediaannya yang melimpah dan mempunyai sifat yang sesuai dengan perkerasan jalan.

Berdasarkan ketentuan Bina Marga (2018) dapat dilihat pada Tabel 3.2 mengenai persyaratan aspal penetrasi 60/70.

Tabel 3. 2 Persyaratan Aspal Penetrasi 60/70

No	Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen 60/70
1.	Penetrasi pada 25º,100 g, 5 detik (0,1 mm)	SNI 2456:2011	50-60
2.	Viskositas kinematis 135 ºC (cSt)	SNI 06-6441-2000	350-3000
3.	Titik lembek (ºC)	SNI 2434:2011	≥ 51
4.	Daktilitas pada 25 ºC (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5.	Titik nyala (ºC)	SNI 2433:2011	≥ 232
6.	Kelarutan dalam *Trichloroethylene* (%)	SNI 2438:2015	≥ 90
7.	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
8.	Partikel yang lebih halus dari 150 µm (%)	SNI 03-4142-1996	≤ 95
Pengujian residu hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002)			
9.	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≥ 0,8
10.	Penetrasi pada 25 ºC (%)	SNI 2456:2011	≥ 54
11.	Daktilitas pada 25 ºC, 5 cm/menit (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50
12.	Kadar paraffin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2

Sumber: Bina Marga (2018)

3.4.2 Agregat

Agregat merupakan material yang terdiri atas partikel mineral, baik yang berasal dari sumber alam maupun hasil dari pemrosesan, seperti batu pecah, kerikil, pasir, dan material sejenis lainnya. Agregat dalam konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai elemen utama penyusun struktur perkerasan yang memberikan kontribusi terhadap kekuatan, kestabilan, serta daya tahan perkerasan terhadap beban lalu lintas. Secara umum, agregat menyusun sekitar 90 hingga 95 persen dari total berat campuran perkerasan jalan. Berdasarkan ukuran butirannya agregat dibagi menjadi dua yaitu:

1. Agregat kasar material yang tidak lolos saringan No. 4 yang memiliki ukuran lebih dari 4,75 mm. umumnya berupa batu pecah hasil dari pemrosesan batuan atau kerikil alami. Agregat kasar menjadi penyusun utama dalam

campuran beraspal, berfungsi untuk menahan beban kendaraan dan menjaga stabilitas struktural campuran. Karakteristik fisik dari agregat kasar adalah mempunyai bentuk yang angular dan mempunyai permukaan kasar untuk mendukung daya ikat dan kekakuan campuran. Ketentuan agregat kasar menurut Direktorat Jendral Bina Marga 2018 yang dapat digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			**Metode Pengujian**	**Nilai**
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12 %
		magnesium sulfat		Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin *Los Angeles*	Campuran *AC* modifikasi dan *SMA*	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 6 %
		500 putaran		Maks. 30 %
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran		Maks. 8 %
		500 putaran		Maks. 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min. 95 %
Butir pecah pada agregat kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90 *)
		Lainnya		95/90 **)
Partikel pipih dan lonjong		SMA	SNI 8227:2016 Perbadingan 1:5	Maks. 5 %
		Lainnya		Maks. 10 %
Material lolos ayakan No.200			SNI ASTM C117:2012	Maks. 1 %

Sumber: Bina Marga (2018)

Catatan:

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

(**) 95/90 menunjukan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2. Agregat Halus adalah partikel yang lolos saringan No. 4 tetapi tertahan pada saringan No. 200 yang mempunyai ukuran antara 0,075 mm hingga 4,75 mm.

Agregat halus dapat berasal dari pasir alami atau hasil pecahan batu. Agregat halus mempunyai fungsi untuk mengisi rongga antar agregat kasar, meningkatkan kerapatan campuran, dan membantu mendistribusikan beban secara merata. Agregat halus berkontribusi dalam kelekatan campuran dan memudahkan dalam proses pemadatan. Ketentuan agregat halus menurut Direktorat Jendral Bina Marga 2018 yang dapat digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Ketentuan Agregat Halus

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

Sumber: Bina Marga (2018)

3. Gradasi agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran agregat dalam suatu campuran beraspal yang sangat menentukan karakteristik teknis campuran, seperti kepadatan, kestabilan, dan daya tahan terhadap beban lalu lintas. Gradasi campuran Aspal Laston *(AC)*, dapat dilihat pada tabel 3.5.

Tabel 3. 5 Gradasi Agregat Untuk Campuran Laston (AC)

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat		
		Laston *(AC)*		
ASTM	(mm)	*WC*	*BC*	*Base*
1½"	37,5			100
1"	25		100	90 - 100
¾"	19	100	90 - 100	76 - 90
½"	12,5	90- 100	75 - 90	60 - 78
⅜"	9,5	77 - 90	66 - 82	52 - 71
No. 4	4,75	53 - 69	46 - 64	35 - 54
No. 8	2,36	33 - 53	30 - 49	23 - 41
No. 16	1,18	21 - 40	18 - 38	13 - 30
No. 30	0,600	14 - 30	12 - 28	10 - 22
No. 50	0,300	9 - 22	7 - 20	6 - 15
No. 100	0,150	6 - 15	5 - 13	4 - 10
No. 200	0,075	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Sumber: Bina Marga (2018)

3.4.3 Bahan Pengisi *(filler)*

Filler atau bahan pengisi adalah partikel halus yang lolos saringan No. 200 yang memiliki ukuran kurang dari 0,075 mm. *filler* yang digunakan berupa abu batu, semen, atau material serbuk lainnya. *Filler* berfungsi untuk mengisi celah mikro dalam campuran, meningkatkan kepadatan, dan memperkuat ikatan antara aspal dan agregat. Kandungan *filler* yang cukup dapat memperbaiki stabilitas dan mengurangi porositas campuran aspal.

3.5 Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan

Campuran lapis perkerasan aspal terdiri dari kombinasi agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang diikat oleh aspal sebagai bahan pengikat. Karakteristik utama dari campuran perkerasan sangat mempengaruhi kinerja perkerasan jalan, terutama dalam menahan beban lalu lintas, perubahan suhu, dan kondisi cuaca. Campuran perkerasan yang baik memerlukan keseimbangan antara stabilitas, fleksibilitas, daya tahan terhadap deformasi dan ketahan terhadap kerusakan akibat air dan suhu tinggi. Karakteristik yang harus dimiliki oleh campuran lapis perkerasan adalah sebagai berikut:

1. *Stability* / stabilitas.
2. *Voids in Total Mix (VITM)* / rongga udara dalam campuran.
3. *Void in the Mineral Agregat (VMA)*/ rongga di antara mineral agregat.
4. *Voids Filled with Asphalt (VFWA)* / rongga terisi aspal.
5. *Durability* / durabilitas.
6. *Flexibility* / fleksibilitas.
7. *Fatigue resistance* / ketahanan terhadap kelelehan.
8. Ketahanan terhadap geser.
9. *Impermeability* / kedap air.
10. *Workability* / kemudahan pelaksanaan.

3.6 Karakteristik Pengujian *Marshall*

Sifat dari pengujian *Marshall* pada saat pengujian campuran aspal untuk mengetahui nilai stabilitas, kelelehan *(flow), VITM, VFWA, Density, VMA*, dan *Marshall Quotient.*

3.6.1 Stabilitas *(Stability)*

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal dalam menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen. Stabilitas yang terlalu rendah dapat menyebabkan *rutting* maupun *bleeding.* Nilai stabilitas diperoleh dengan alat uji *Marshall* dengan melakukan pembacaan jarum dial. Nilai stabilitas dapat dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

$$S = p \times q \tag{3.1}$$

dengan:

s = angka stabilitas sesungguhnya,

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

q = angka koreksi benda uji.

3.6.2 Kelelehan *(flow)*

Flow atau kelehan merupakan parameter yang menggambarkan besarnya deformasi plastis vertikal yang dialami benda uji campuran aspal akibat pembebanan, sejak awal pembebanan hingga tercapainya beban maksimum. Nilai *flow* menujukkan tingkat kelenturan campuran dalam merespons beban lalu lintas. Pengukuran *flow* dilakukan menggunakan arloji pada alat uji *Marshall.*

3.6.3 Kepadatan *(density)*

Density adalah ukuran tingkat kepadatan dari campuran beton beraspal yang telah dipadatkan. Semakin tinggi nilai *density* semakin padat campuran yang berarti rongga antar partikel lebih sedikit dan daya dukung terhadap beban meningkat. Berikut adalah nilai kepadatan dapat dilihat pada Persamaan 3.2 dan 3.3.

$$g = \frac{c}{f} \tag{3.2}$$

$$f = d - e \tag{3.3}$$

dengan:

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

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

d = berat benda uji dalam keadaan jenuh / ssd (gr),

f = volume benda uji (cc), dan

e = berat benda uji dalam air (gr).

3.6.4 *Void In Mineral Agregate (VMA)*/Rongga di antara Mineral Agregat

Void In Mineral Agregate (VMA) adalah rongga campuran yang dinyatakan dalam persen (%) yang sudah dipadatkan termasuk rongga yang terisi oleh aspal. Nilai *VMA* yang semakin besar maka kerenggan butiran didalam agregar semakin besar. Berikut adalah nilai *VMA* dapat dilihat pada Persamaan 3.4 dan 3.5.

$$\text{l} = 100 - \text{j} \tag{3.4}$$

$$VMA = 100 - \frac{(100-B) \times G}{Bj\ Agregat} \tag{3.5}$$

dengan:

l = nilai *VMA* (%),

b = persentase aspal terhadap campuran (%), dan

g = berat isi sampel (gr/cc).

3.6.5 *Void in Total Mix (VITM)*/Rongga Udara dalam Campuran

Void in Total Mix (VITM) merupakan persentase volume rongga udara yang terdapat dalam campuran aspal beton, *VITM* dihitung terhadap total volume campuran dan dinyatakan dalam bentuk persen (%). Besarnya nilai *VITM* berpengaruh terhadap tingkat ketahanan campuran terhadap penetrasi air.berikut nilai *VITM* dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 dan 3.7.

$$VITM = 100 - (100 \times \frac{g}{h}) \tag{3.6}$$

$$h = \frac{100}{\frac{\%\ agregat}{bj\ agregat} + \frac{\%\ aspal}{bj\ aspal}} \tag{3.7}$$

dengan:

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

h = berat maksimum teoritis campuran (gr/cc).

3.6.6 *Void Filled with Asphalt (VFWA)*/Rongga Terisi Aspal

Void Filled with Asphalt (VFWA) adalah persentase volume rongga dalam agregat yang terisi oleh aspal efektif (tidak termasuk dengan aspal yang diserap oleh

agregat). Nilai *VFMA* menunjukkan seberapa banyak ruang kosong antara partikel agregat yang telah diisi oleh aspal setelah proses pemadatan. Berikut nilai *VFWA* dapat dihitung dengan Persamaan 3.8 hingga 3.12.

1. Persentase aspal terhadap campuran

$$h = \frac{a}{100+a} \times 100 \tag{3.8}$$

dengan:

a = persentase aspal terhadap batuan (%), dan

b = persentase aspal terhadap campuran (%).

2. Persentase aspal terhadap agregat

$$m = 100 \times \frac{i}{l} \tag{3.9}$$

$$I = \frac{b \times g}{bj\ aspal} \tag{3.10}$$

$$l = 100 - j \tag{3.11}$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{Bj\ Agregat} \tag{3.12}$$

dengan:

m = *VFMA* (%),

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

b = persentase aspal terhadap campuran.

3.6.7 *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *Marshall Quotient* adalah nilai yang dihitung sebagai rasio antara nilai stabilitas *Marshall* terhadap nilai *flow* (kelelehan) dari spesimen uji. Nilai *MQ* memberikan indikasi tentang kekakuan campuran aspal dan kemampuan dalam menahan deformasi. Berikut nilai *MQ* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.13.

$$MQ = \frac{q}{r} \tag{3.13}$$

dengan:

q = nilai stabilitas (kg), dan

r = nilai *flow* (mm).

3.7 *Index of Retained Strength (IRS)*

Index of Retained Strength (IRS) bertujuan untuk menilai ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh air. Pengujian ini dilakukan untuk menilai sejauh mana campuran beraspal mampu mempertahankan kekuatannya setelah mengalami perendaman dalam air panas, yang mensimulasikan kondisi lapangan saat perkerasan terkena genangan air atau curah hujan tinggi. Benda uji direndam selama 24 jam pada suhu 60 ^{o}C sebelum dilakukan pembebanan pada benda uji. Berikut adalah nilai *pengujian Index of Retained Strength* dapat digunakan Persamaan 3.14.

$$Index\ of\ Retained\ Strength = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.14)$$

dengan:

S_1= rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit (kg), dan

S_2= rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam (kg).

3.8 *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect Tensile Strength (ITS) bertujuan untuk mengukur kekuatan tarik tidak langsung dari campuran beraspal. *ITS* penting dilakukan untuk menilai seberapa baik campuran dalam menahan gaya tarik yang terjadi akibat beban lalu lintas maupun peruban suhu, serta untuk mengevaluasi ketahanan terhadap kerusakan akibat air. Prinsip dari pengujian *ITS* adalah dengan memberikan beban tekan pada benda uji berbentuk silinder, sehingga beban tersebut menghasilkan tegangan tarik dibagian tengah spesimen. Beban maksimum yang diterima saat benda uji retak kemudian digunakan untuk menghitung nilai *ITS*, yang mencerminkan kemampuan campuran aspal dalam menghadapi gaya tarik. Berikut adalah nilai pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dapat digunakan Persamaan 3.15.

$$ITS = \frac{2 \times P}{\pi \times d \times h} \quad (3.15)$$

dengan:

ITS = kuat tarik tidak langsung (N/mm^2),

P runtuh = beban puncak (N),

h = tinggi sampel (mm), dan

d = diameter benda uji (mm).

3.9 *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *Cantabro Loss (CL)* adalah metode yang digunakan untuk menilai ketahanan campuran aspal terhadap keausan atau kehilangan material akibat gesekan dan benturan. Tujuan dari *Cantabro Loss (CL)* adalah untuk mengukur sejauh mana agregat dan aspal tetap melekat satu sama lain saat mengalami gaya mekanis, sehingga menunjukkan daya tahan terhadap kerusakan *ravelling* (terlepasnya butiran agregat dari permukaan). Pengujian *Cantabro Loss (CL)* dilakukan dengan menggunakan mesin *Los Angeles* tanpa menggunakan bola baja agar diketahui besarnya batas keausan. Berikut adalah nilai pengujian *Cantabro Loss (CL)* dapat digunakan Persamaan 3.16.

$$CL = \frac{Mo - Mi}{Mo} \times 100\% \quad (3.16)$$

dengan:

CL = persentase kehilangan berat (%),

Mo = berat sebelum diabrasi (gram), dan

Mi = berat setelah diabrasi (gram).

3.10 Indeks Durabilias Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) adalah nilai yang digunakan untuk mengevaluasi ketahanan atau durabilitas campuran aspal terhadap penurunan kekuatan akibat proses pelapukan atau pengaruh lingkungan, seperti air,suhu, dan waktu. IDP memberikan gambaran tentang perubahan kekuatan campuran seiring waktu melalui analisis kemiringan kurva durabilitas. Berikut ini adalah nilai pengujian Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dapat digunakan Persamaan 3.17.

$$IDP\ (r) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{si-(si+1)}{(t1+1)-ti} \quad (3.17)$$

dengan:

r = indeks penurunan stabilitas (%),

Si = persentase kekuatan sisa pada waktu $_{ti}$ (%),

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

$_{ti, ti+1}$ = periode perendaman (dimulai dari awal proses perendaman)

3.11 Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) merupakan parameter lanjutan yang digunakan untuk menilai kestabilan penuruna kekuatan campuran aspal seiring waktu atau siklus pembebanan. Berbeda dengan Indeks Durabilitas Pertama (IDP) yang menunjukkan arah dan kecepatan penurunan, IDK lebih focus pada konsistensi perubahan kekuatan. Nilai IDK biasanya diperoleh dari koefisien kerelasi (R^2) pada kurva hubungan antara kekuatan sisa dan waktu, yang menunjukkan seberapa teratur penurunan tersebut berlangsung. Nilai IDK yang tinggi (mendekati 1) menandakan bahwa penurunan kekuatan terjadi secara stabil dan terprediksi, sedangkan nilai rendah menunjukkan adanya ketidakteraturan. Oleh karena itu, IDK berperan penting dalam mengevaluasi keadaan performa jangka Panjang campuran aspal, khususnya dalam menghadapi kondisi lingkungan dan lalu lintas yang berubah-ubah. Berikut ini adalah nilai pengujian Indeks Durabilitas Kedua (IDK) dapat digunakan Persamaan 3.18.

Sa = (100-1) (3.18)

dengan:

Sa = persentase kuat sisa rata-rata satu hari (%), dan

A = nilai IDK (%).

Selanjutnya nilai IDK dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.19 berikut.

$$IDK(a) = \frac{1}{tn}\sum_{i=0}^{n-1} a1 = \sum_{i=0}^{n-1}(s_i - s_i^{i+1})\,[2t_n - (t_i + t_{i+1})] \quad (3.19)$$

dengan:

a = kehilangan kekuatan rata-rata satu hari (%),

t_n = total waktu perendaman (jam),

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

ti, ti+1 = periode perendaman (dimulai dari awal proses perendaman).

3.12 *Asphalt Flow Down (AFD)*

Pengujian *Asphalt Flow Down* adalah pengujian yang dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal maksimum yang tercampur menjadi satu dengan agregat tanpa adanya pemisah. Pengujian *Asphalt Flow Down* penting dilakukan karena berfungsi untuk mengetahui pada saat pengangkutan aspal dilapangan tidak terjadi pemisahan dari *AMP* menuju tempat penghamparan. *Asphalt Flow Down* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.20.

$$AFD = \left[\frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1}\right] x\ 100 \quad (3.20)$$

dengan:

m_1 =berat cetakan berupa nampang dan kertas aluminium foil (gr),

m_2 =berat cetakan beserta campuran beraspal (gr), dan

m_3 =berat cetakan dengan campuran aspal yang melekat pada aluminium foil (gr).

3.13 Pengujian *Tensile strength Ratio (TSR)*

Tensile Strength Retained merupakan nilai perbandingan antara kekuatan tarik campuran aspal beton yang telah direndam selama 24 jam dalam air pada suhu 60^0C dengan kekuatan tarik campuran dengan perendaman 30 menit. Pengujian *Tensile strength Ratio (TSR)* bertujuan untuk menilai kemampuan campuran aspal beton dalam menahan gaya tarik selama terpapar air dan suhu tinggi, serta memberikan gambaran mengenai tingkat kerentanan campuran terhadap air dan

suhu. Nilai *TSR* dihitung menggunakan Persamaan 3.21, yang menunjukkan seberapa besar penurunan kekuatan tarik akibat proses perendaman.

$$TSR = (T_2/T_1) \times 100 \quad (3.21)$$

dengan:

T_1 = rata - rata nilai ITS setelah rendaman 30 menit, dan

T_2 = rata - rata nilai ITS setelah rendaman 24 jam.

3.14 Pengujian *Index of Cantabro Loss (ICL)*

Pengujian ICL bertujuan untuk mengetahui persentase ketahanan pada campuran dengan uji keausan akibat pengaruh kelembapan. Pada kondisi basah, sampel direndam dalam air selama 24 jam. Kemudian sampel dikeluarkan dari air, dan didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam sebelum dilakukannya pengujian keausan. Nilai ICL dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.22 berikut.

$$ICL = \left(1 - \frac{(100-PD)-(100-Pw)}{100-PD}\right) \times 100 \quad (3.22)$$

dengan:

ICL = nilai *ICL* (%),

P_D = kehilangan berat dalam kondisi kering (%), dan

Pw = kehilangan berat dalam kondisi barsah (%).

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode dalam penelitian adalah eksperimental. Metode penelitian eksperimen adalah suatu metode dengan membuat sejumlah spesimen benda uji dengan jumlah dan variari tertentu, melakukan sejumlah pengujian terhadap sampel tersebut untuk di peroleh data yang kemudian dilakukan pengolahan data hingga diperoleh hasil yang kemudian dibandingkan dengan standar dan persyaratan yang ada seperti, Standar Nasional Indonesia dan Bina Marga 2018.

4.2 Pengambilan Data

Pengumpulan data primer dilakukan pada saat penelitian dan data sekunder diperoleh dari penelitian-penelitian sebelumnya. Untuk memudahkan perolehan data, maka parameter pengujian didasarkan pada parameter pengujian: stabilitas, *flow*, *VITM*, *VFWA*, *density*, *Marshall*, nilai *IRS*, *ITS*, *CL* dan *AFD*.

4.2.1 Pemeriksaan Material

Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian eksperimen dengan menggunakan sampel laboratorium untuk mengumpulkan data. Data yang diperoleh kemudian diolah sesuai spesifikasi yang telah ditentukan dalam Bina Marga 2018.

4.2.2 Bahan Campuran Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian adalah:

1. Aspal Penetrasi 60/70,
2. Agregat kasar,
3. Agregat Halus, dan
4. Pasir Silika Merah dari Tuban, Jawa Timur.

4.2.3 Alat Pengujian

Alat yang akan digunakan dalam proses penelitian adalah sebagai berikut.

1. alat uji bahan (agregat kasar, agregat halus, dan aspal).

a. peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus terhadap air yaitu timbangan kapasitas 1 kg, piknometer berkapasitas 500 ml, saringan, oven, desikator, air suling, pompa hampa udara *(Vacum Pump)*, talam dan bejana tempat air.
b. Peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar terhadap air yaitu keranjang kawat dengan kapasitas kira-kira 5 kg, saringan No. 4, oven, alat pemisah contoh, timbangan kapasitas 5 kg, dan tempat air dengan bentuk dan kapasitas yang sesuai untuk pemeriksaan agregat yang dilengkapi dengan pipa, agar permukaan airnya selalu tetap.
c. Peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan analisa saringan agregat halus dan kasar yaitu timbangan, satu set saringan, oven, alat pemisah contoh, mesin pengguncang saringan, talam, kuas, sikat kuningan, sendok dan alat-alat lainnya.
d. Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan *sand equivalent* yaitu silinder ukur yang terbuat dari plastik, tutup karet, tabung *irrigator*, kaki pemberat, larutan *CaCl2, formaldehyde, glycerin*, pengguncang mekanis, corong dengan mulut luas, jam yang pembacaannya sampai detik, kaleng dengan diameter 57 ml dan isi 85 ml.
e. Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan keausan agregat dengan mesin *Los Angeles* yaitu mesin *Los Angeles*, saringan, oven, dan bola-bola baja dengan diameter 4,8 cm dan berat masing-masing 390 sampai 445 gram.
f. Peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan kelekatan aspal oleh aspal yaitu wadah untuk mengaduk yang berkapasitas 500 ml, timbangan dengan kapasitas 200 gr, pisau pengaduk yang terbuat dari baja, tabung gelas kimia, oven, saringan, termometer logam, dan air suling dengan ph 6,0 sampai 7,0.
g. Peralatan yang dipakai dalam pemeriksaan penetrasi bahan-bahan bitumen yaitu alat penetrasi yang dapat menggerakan jarum naik turun,

pemegang jarum, pemberat, jarum penetrasi, cawan contoh, bak perendam, tempat air untuk benda uji, pengukur waktu, dan termometer.

h. Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan daktilitas bahan-bahan bitumen yaitu termometer, cetakan daktilitas kuningan, bak perendam, mesin uji, *metyl alcohol* teknik dan *sodium klorida*.
i. Peralatan yang digunakan untuk pemeriksaan titik lembek aspal dan ter yaitu termometer, cincin kuningan, dudukan benda uji, alat pengaraah bola, penjepit, bola yang terbuat dari baja, dan bejana gelas.
j. Peralatan yang dipakai untuk pemeriksaan titik nyala dan titik bakar yaitu termometer, *cleaveland open cup*, pelat pemanas, sumber pemanas, penahan angin, dan nyala penguji.
k. Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan kelarutan aspal dalam *Tetra Chlorida* yaitu cawan porselin, alas dari asbes, labu *erlenmeyer*, kertas saring, labu penyaring, tabung penyaring, tabung karet untuk menahan cawan porselin, oven, neraca analitik, pembakar, pompa hampa udara, desikator, batang pembersih, *Carbon Tetra Chlorida* dan *Amonium Karbonat.*

4.3 Tahapan Penelitian

Pengumpulan data dilakukan melalui uji laboratorium uji *Marshall* untuk memperoleh nilai stabilitas, *flow*, *VITM*, *VFMA*, *VMA*, dan *Marshall Quotient*, pengujian *IRS*, pengujian *ITS*, pengujian *Cantabro*, dan pengujian *AFD*. Beberapa metode yang akan digunakan dalam penelitian ini dijelaskan dibawah ini.

4.3.1 Pengambilan Agregat Uji

Dalam penelitian ini menggunakan agregat halus berupa Pasir Silika Merah yang berasal dari daerah Tuban, JawaTimur. Selain itu penelitian ini juga menggunakan agregat kasar dan halus dari Clereng, Kulongprogo yang sudah memenuhi standar.

4.3.2 Pengujian Sifat Fisik Agregat

Pengujian sifat fisik agregat dibagi dalam beberapa macam. Pengujian ini dilakukan sebelum membuat benda uji yang bertujuan untuk mengetahui apakah

material yang digunakan memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018. Berikut adalah pengujian yang harus dilakukan untuk sifat fisik agregat dan aspal.

1. pengujian Agregat
    a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air oleh agregat kasar.

       Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis *(bulk),* berat jenis kering permukaan jenis (SSD), berat jenis semu *(Apparent Specific Gravity* dan penyerapan dari agregat kasar. Persyaratan berat jenis agregat kasar yang diizinkan menurut Bina Marga (PB 0205-76) dengan minimal 2,5 dan penyerapan air maksimal 3%.
    b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air oleh agregat halus.

       Pengujian ini bertujuan untuk menentukan berat jenis *(bulk),* berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), berat jenis semu *(Apparent Specific Gravity)* dan penyerapan dari agregat halus. Persyaratan berat jenis agregat halus yang di diizinkan menurut Bina Marga (PB 0205-76) dengan minimal 2,5 dan penyerapan air maksimal 3%.

       Beberapa karakteristik dari agregat halus adalah sebagai berikut:

       1) Terdiri dari pengayakan batu pecah atau pasir yang lolos ayakan No. 8 (2,36 mm).
       2) Harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.
       3) Pasir boleh digunakan dalam campuran aspal.
       4) Harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak diingikan lainnya.
    c. Uji kelekatan agregat terhadap aspal.

       Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal. Kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap keseluruhan luas permukaan. Persyaratan yang diizinkan menurut Bina Marga (PB 0205-76) adalah minimal 95%.
    d. Uji *Sand Equivqlent*

       Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar debu atau lumpur ataupun bahan lain yang memiliki lempung pada tanah atau agregat halus.

Persyaratan yang diizinkan menurut *AASTHO* (T-176) adalah lebih dari 50%.

e. Uji keausan agregat.

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles.* Keausan tersebut dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan No. 12 terhadap berat semula. Persyaratan yang diizinkan menurut Bina Marga adalah maksimal 40%.

2. Pengujian Aspal

a. Pengujian berat jenis aspal

Pengujian berat jenis aspal bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Besarnya berat jenis aspal diperlukan dalam membuat perencanaan perkerasan, karena digunakan untuk menentukan kadar aspal dalam campuran.

b. Pengujian titik lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk menentukan titik lembek aspal padat dan ter yang berkisar antar 30^0C sampai dengan 200^0C dengan cara *ring and ball* yaitu lapisan aspal yang ditekan dalam cincin yang didesak oleh bola-bola baja dengan berat tertentu sampai lapisan aspal tersebut menyentuh pelat dasar yang berada dibawah cincin pada ketinggian tertentu. Hasil pengujian titik lembek dapat digunakan dalam menentukan kepekaan aspal terhadap suhu.

c. Pengujian daktilitas

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi aspal. Pengujian daktilitas dilakukan dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Aspal dengan daktilitas yang lebih besar akan mengikat butiran agregat lebih baik namun lebih peka terhadap perubahan temperature.

d. Pengujian penetrasi aspal

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk mengtahui tingkat kekerasan aspal, dimana aspal termasuk dalam kategori keras atau lembek (*solid* atau semi *solid*). Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan jarum tertentu, terdapat beban dan waktu tertentu kedalam aspal pada suhu tertentu. Nilai titik lembek dan penetrasi dapat menunjukkan kepekaan aspal terhadap temperature.

e. Pengujian kelarutaan dalam *Karbon Tetra Chlorida* atau *Trichloroethylene.*

Tujuan dari pengujian kelarutan adalah untuk menentukan berapa jumlah aspal yang larut dalam *Karbon Tetra Chlorida*.

f. Pengujian titik nyala dan titik bakar

Pengujian titik nyala dan titik bakar bertujuan untuk menentukan suhu saat aspal terlihat menyala singkat dipermukaannya (titik nyala) dan suhu saat terlihat menyala sekurang-kurangnya adalah 5 detik (titik bakar).

4.3.3 Perencanaan Campuran

Campuran yang terdiri dari gabungan antara agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi *(filler),* dan aspal yang digunakan dalam pembuatan campuran harus terlebih dahulu diuji sebelum digunakan. Pengujian terlebih dahulu dilakukan untuk mengetahui bahan-bahan yang digunakan dalam pembuatan aspal beton memenuhi syarat Bina Marga 2018.

Setelah dilakukan pengujian pada bahan, kemudian dilakukan penyaringan agregat yang telah mempunyai syarat. Setelah dilakukan penyaringan agregat selesai, dilakukan penimbangan agregat untuk masing-masing ukuran agregat tertentu.

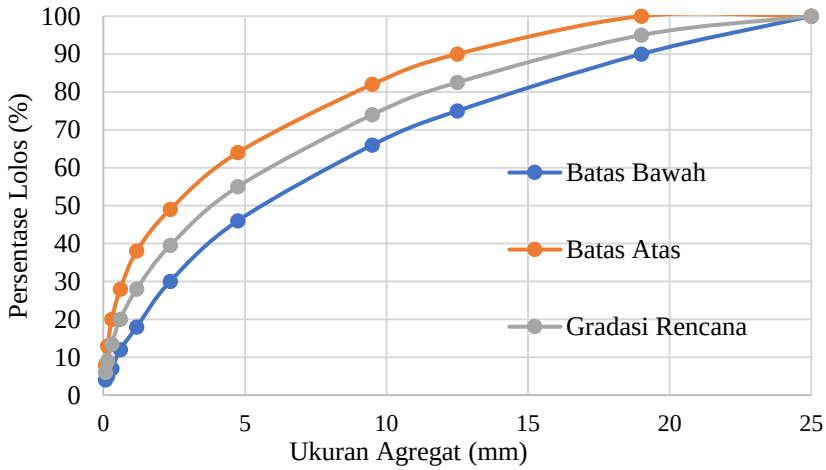
Untuk campuran aspal benda uji I digunakan variasi kadar aspal mulai dari 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dari berat benda uji masing-masing dibuat 3 buah campuran. Campuran aspal benda uji I yaitu campuran antara agregat kasar Clereng dab agregat halus Pasir Silika Merah yang dibuat variasi kadar agregat halus Pasir Silika Merah yang tertahan pada saringan No. 30, No 50, dan No. 100 sebesar 0%, 25%, 50% 75% dan 100%. Variasi aspal dan agregat tersebut kemudian dilakukan

pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum. Setelah didapatkan nilai KAO, kemudian dilakukan pembuatan campuran aspal benda uji II dengan campuran antara agregat kasar Clereng dan agregat halus Pasir Silika Merah pada kondisi KAO dan dibuat untuk variasi kadar agregat halus Pasir Silika Merah yang tertahan pada saringan No. 30, No. 50, dan No. 100 sebesar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Pada pengujian *Marshall, ITS, IRS, Cantabro Loss*, dan *AFD.* masing-masing dibuat 3 buah benda uji. Berikut adalah gradasi rencana untuk campuran *AC-BC* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4. 1 Spesifikasi Gradasi Agregat *Asphalt Concrete Binder Course*

No	Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)	
	(mm)	inchi	Min	Max	Lolos	Tertahan
1.	25	1	100	100	100	0
2.	19	3/4	90	100	95	5
3.	12,5	1/2	75	90	82,5	17,5
4.	9,5	3/8	66	82	74	26
5.	4,75	No. 4	46	64	55	45
6.	2,36	No. 8	30	49	39,5	60,5
7.	1,18	No. 16	18	38	28	72
8.	0,600	No. 30	12	28	20	80
9.	0,300	No. 50	7	20	13,5	86,5
10.	0,150	No. 100	5	13	9	91
11.	0,075	No. 200	4	8	6	94
Pan						100

Sumber: Bina Marga (2018)



Gambar 4. 1 Rencana Gradasi Agregat Campuran *Asphalt Concrete Binder Course*

Perhitungan penentuan kadar aspal sebagai berikut.

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

dengan:

Pb = kadar aspal optimum rencana,

CA = persentase agregat kasar tertahan pada saringan No. 4,

FA = persentase agregat halus lolos saringan No.4 dan No 200,

Filler = agregat halus lolos saringan No. 200, dan

K = konstanta (1-2).

Berdasarkan perhitungan didapatkan nilai CA sebesar 45%, nilai FA 95% dan nilai *filler* 6% serta konstanta dianggap 1, maka dengan persamaan 4.1 dapat dihitung kadar aspal optimum rencana adalah sebagai berikut.

Pb = 0,035(%CA) + 0,045(%FA) + 0,18 (%*Filler*) + K

Pb = 0,035 (45%) + 0,045 (49%) + 0,18 (6%) + 1

Pb = 5,86% dibulatkan ke 6%

Berdasarkan perhitungan di atas perkiraan kadar aspal optimum yang didapatkan adalah 5,86% sehingga dalam pengujian untuk mencari kadar aspal optimum (KAO), kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram. Sedangkan total kebutuhan agregat tiap campuran berdasarkan total campuran yang dikurangi berat total aspal yang dibutuhkan. Adapun kebutuhan agregat untuk tiap-tiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2 hingga 4.7.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		**Spesifikasi (%)**		**Persen Agregat (%)**		**Berat Tertahan (gr)**	
Inchi	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Kumulatif**
1	25	100	100	100	0	0,00	0
3/4	19	90	100	95	5	57,0	57,0
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	142,5	199,5
3/8	9,5	66	82	74	8,5	96,9	296,4
No. 4	4,75	46	64	55	19	216,6	513,0
No. 8	2,36	30	49	39,5	15,5	176,7	689,7
No. 16	1,18	18	38	28	11,5	131,1	820,8

Lanjutan Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Kumulatif**
No. 30	0,600	12	28	20	8	91,2	912,0
No. 50	0,300	7	20	13,5	6,5	74,1	986,1
No. 100	0,150	5	13	9	4,5	51,3	1037,4
No. 200	0,075	4	8	6	3	34,2	1071,6
Pan				0	6	68,4	1140,0
Jumlah						1140 gr	

Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Kumulatif**
1	25	100	100	100	0	0,0	0,0
3/4	19	90	100	95	5	56,7	56,7
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	141,8	198,5
3/8	9,5	66	82	74	8,5	96,4	294,8
No. 4	4,75	46	64	55	19	215,5	510,3
No. 8	2,36	30	49	39,5	15,5	175,8	686,1
No. 16	1,18	18	38	28	11,5	130,4	816,5
No. 30	0,600	12	28	20	8	90,7	907,2
No. 50	0,300	7	20	13,5	6,5	73,7	980,9
No. 100	0,150	5	13	9	4,5	51,0	1031,9
No. 200	0,075	4	8	6	3	34,0	1066,0
Pan				0	6	68,0	1134,0
Jumlah						1134 gr	

Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Kumulatif**
1	25	100	100	100	0	0,00	0
3/4	19	90	100	95	5	56,4	56,4
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	141,0	197,4
3/8	9,5	66	82	74	8,5	95,8	293,2
No. 4	4,75	46	64	55	19	214,3	507,6
No. 8	2,36	30	49	39,5	15,5	174,8	682,4
No. 16	1,18	18	38	28	11,5	129,7	812,1
No. 30	0,600	12	28	20	8	90,2	902,4
No. 50	0,300	7	20	13,5	6,5	73,3	975,7
No. 100	0,150	5	13	9	4,5	50,7	1026,4
No. 200	0,075	4	8	6	3	33,8	1060,3
Pan				0	6	67,6	1128,0
Jumlah						1128 gr	

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

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Kumulatif**
1	25	100	100	100	0	0,00	0
3/4	19	90	100	95	5	56,1	56,1
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	140,2	196,3
3/8	9,5	66	82	74	8,5	95,3	291,7
No. 4	4,75	46	64	55	19	213,1	504,9
No. 8	2,36	30	49	39,5	15,5	173,9	678,8
No. 16	1,18	18	38	28	11,5	129,0	807,8
No. 30	0,600	12	28	20	8	89,7	897,6
No. 50	0,300	7	20	13,5	6,5	72,9	970,5
No. 100	0,150	5	13	9	4,5	50,4	1021,0
No. 200	0,075	4	8	6	3	33,6	1054,6
Pan				0	6	67,3	1122,0
Jumlah						1122 gr	

Tabel 4. 7 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)	
Inchi	**mm**	**Min**	**Max**	**Lolos**	**Tertahan**	**Tertahan**	**Kumulatif**
1	25	100	100	100	0	0,00	0
3/4	19	90	100	95	5	55,8	55,8
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	139,5	195,3
3/8	9,5	66	82	74	8,5	94,8	290,1
No. 4	4,75	46	64	55	19	212,0	502,2
No. 8	2,36	30	49	39,5	15,5	172,9	675,1
No. 16	1,18	18	38	28	11,5	128,3	803,5
No. 30	0,600	12	28	20	8	89,2	892,8
No. 50	0,300	7	20	13,5	6,5	72,5	965,3
No. 100	0,150	5	13	9	4,5	50,2	1015,5
No. 200	0,075	4	8	6	3	33,4	1049,0
Pan				0	6	66,9	1116,0
Jumlah						1116 gr	

Berikut ini adalah rincian yang digunakan dalam mencari kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4. 8 Kebutuhan Benda Uji Tiap Kadar Aspal

Variasi Substitusi Agregat Halus (%)	**Jumlah Benda Uji Tiap Kadar Aspal (buah)**				
	Kadar Aspal yang Digunakan (%)				
	5	5,5	6	6,5	7
0	3	3	3	3	3
25	3	3	3	3	3
50	3	3	3	3	3
75	3	3	3	3	3
100	3	3	3	3	3
Jumlah	75				

Dengan persentase kadar aspal yang sudah ditentukan, maka dibuat benda uji sebanyak 3 buah untuk masing-masing persentase kebutuhan kadar aspal sehingga membutuhkan sebanyak 75 buah benda uji untuk mencari kadar aspal optimum (KAO). Berikut adalah jumlah sampel benda uji setelah didapatkannya nilai KAO dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4. 9 Kebutuhan Benda Uji Tiap Kadar Aspal

Jenis Pengujian	**Jumlah Benda Uji Berdasarkan Substitusi Pasir Silika Merah (buah)**				
	Substitusi Pasir Silika Merah (%)				
	0	25	50	75	100
Marshall	3	3	3	3	3
ITS	3	3	3	3	3
TSR	3	3	3	3	3
IRS	3	3	3	3	3
CL	3	3	3	3	3
ICL	3	3	3	3	3
AFD	3	3	3	3	3
Total	105				

Pada Tabel 4.8 didapatkan total benda uji secara keseluruhan setelah nilai KAO sebanyak 105 buah. Sehingga jumlah total sampel dalam penelitian ini adalah 180 buah.

Dari variasi kadar aspal didapatkan berat agregat halus yang akan digunakan pada penelitian ini menggunakan 2 jenis agregat halus yang berbeda, yaitu agregat halus dari Clereng, Kulonprogo dan agregat halus berupa Pasir Silika Merah dari Tuban, Jawa Timur. Berikut ini adalah variasi substitusi agregat halus pada 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4. 10 Kebutuhan Agregat Halus Clereng dan Pasir Silika Merah

Kadar Aspal (%)	**Ukuran Saringan**	**Variasi Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah (%)**									
		0		**25**		**50**		**75**		**100**	
		PS (gr)	**PC (gr)**	**PS (gr)**	**PC (gr)**	**PS (gr)**	**PC (gr)**	**PS (gr)**	**PC (gr)**	**PS (gr)**	**PC (gr)**
5	No. 30	0	91,20	22,66	68,40	45,31	45,60	67,97	22,80	90,62	0
	No. 50	0	74,10	18,41	55,58	36,81	37,05	55,22	18,53	73,63	0
	No. 100	0	51,30	12,74	38,48	25,49	25,65	38,23	12,83	50,97	0
5,5	No. 30	0	90,72	22,54	68,04	45,07	45,36	67,61	22,68	90,14	0
	No.50	0	73,71	18,31	55,28	36,62	36,86	54,93	18,43	73,24	0
	No. 100	0	51,03	12,68	38,27	25,52	25.52	38,03	12,76	50,71	0
6	No. 30	0	90,24	22,42	67,68	45,83	45,12	67,25	22,56	89,67	0
	No. 50	0	73,32	18,21	54,99	36,43	36,66	54,64	18,33	72,85	0
	No. 100	0	50,76	12,61	38,07	25,22	25,38	37,83	12,69	50,44	0

Lanjutan Tabel 4. 11 Kebutuhan Agregat Halus Clereng dan Pasir Silika Merah

Kadar Aspal (%)	Ukuran Saringan	Variasi Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah (%)									
		0		25		50		75		100	
		PS (gr)	PC (gr)	PS (gr)	PC (gr)	PS (gr)	PC (gr)	PS (gr)	PC (gr)	PS (gr)	PC (gr)
6,5	No. 30	0	89,76	22,30	67,32	44,59	44,88	66,89	22,44	89,19	0
	No. 50	0	72,93	18,12	54,70	36,23	36,47	54,35	18,23	72,47	0
	No. 100	0	50,49	12,54	37,87	25,08	25,25	37,63	12,62	50,17	0
7	No. 30	0	89,28	22,18	66,96	44,36	44,64	66,53	22,32	88,71	0
	No. 50	0	72,54	18,02	54,40	36,04	36,27	54,06	18,135	72,08	0
	No. 100	0	50,22	12,48	37,67	24,95	25,11	37,43	12,555	49,90	0

Keterangan:

PS = Pasir silika Merah

PC = Pasir Clereng

Untuk mendapatkan hasil berat perhitungan perbandingan volume berat jenis yang dilakukan antara kedua agregat halus. Agar hasil berat sesuai, maka perhitungan dibuat berdasarkan volume dengan mempertimbangkan berat jenis. Berikut merupakan contoh perhitungan pada variasi substitusi 25% pada nomer saringan 30 Pada kadar aspal 5%.

$$\text{Berat agregat halus silika} = \frac{(BJ\ Silika \times (\ berat\ tertahan\ no.30 \times 25\%))}{BJ\ agregat\ clereng}$$

$$= \frac{2{,}50 \times (91{,}2 \times 25\%)}{2{,}52}$$

$$= 22{,}66 \text{ gram}$$

dengan:

Bj agregat halus Clereng = 2,52 gr/cm^3

Bj agregat halus Pasir Silika Merah = 2,50 gr/cm^3

4.4 Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dimaksudkan untuk menentukan ketahanan terhadap kelelehan plastis dari campuran aspal. Adapun cara pengujian sebagai berikut.

1. Kotoran yang menempel pada benda uji dibersihkan terlebih dahulu.
2. Masing-masing benda uji diberi tanda pengenal.
3. Benda uji diukur ketinggiannya dengan ketelitian 0,1 mm.
4. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat kering.

5. Benda uji direndam kedalam air dengan waktu 24 jam pada suhu ruang. Untuk mendapatkan kejenuhan pada benda uji.
6. Benda uji ditimbang dalam kondisi jenuh setelah dilakukan proses perendaman.
7. Benda uji di lap pada bagian permukaan kemudian timbang lagi dengan kondisi sampel kering permukaan jenuh *(Saturated Surface Dry).*
8. Benda uji diremdam pada bak perendaman dalam kurun waktu 30 menit dengan suhu tetap yaitu 60^0C.
9. Sebelum pengujian dilakukan pengujian, batang penuntun dan permukaan dalam dari kepala penekan dibersihkan. Batang penuntun diberi pelumas agar kepala penekan yang di atas dapat meluncur dengan bebas, bila dikehendaki kepala penekan direndam bersama dengan benda uji dengan suhu antara 21-38^0C.
10. Arloji kelelehan dipasang pada penunjuk pada angka nol, kemudian pegang selubung tangkai arloji terhadap segmen atas kepala penekan. Selanjutnya selubung tangka arloji kelelehan tersebut ditekan pada segmen atas dari kepala penekan selama pembebanan berlangsung.
11. Sebelum pembebanan diberikan, naikkan kepala penekan dan benda uji sehingga menyentuh alas cincin arloji, kemudian kedudukan jarus arloji tekan diatur hingga angka nol.
12. Pembebanan benda uji diberikan dengan kecepatan tetap yaitu 50 mm per menit hingga pembebanan maksimum dicapai atau pembebanan menurun yang ditunjukkan pada jarum arloji tekan dan pembebanan maksimum yang dicapai (stabilitas) dicatat dan saat yang bersamaan angka pada arloji kelelehan dicatat.
13. Selubung tangka arloji kelelehan dilepas setelah nilai kelelehan dicatat.

4.5 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Pengujian ITS digunakan untuk mengetahui kuat tarik dari campuran perkerasan. Adapun metode pengujiannya dapat dilihat sebagai berikut.

1. Benda uji pada 4 sisi diukur tebalnya kemudiam ambil rata-rata tebalnya, kemudian dihitung koreksi tebal dan diameter benda uji.
2. Rendam benda uji selama 30 menit di dalam *water bath* dengan suhu air 60ºC.
3. Benda uji diletakkan kedalam alat pengujian.
4. Lakukan pembebanan hingga mencapai maksimum yang ditandai dengan arloji. Pembebanan berhenti kemudian lakukan pencatatan nilai.
5. Nilai kuat tarik terkoreksi dihitung dan lakukan analisis serta pembahasan.

4.6 Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*

Pengujian IRS digunakan untuk mengetahui nilai durabilitas pada campuran yang dilakukan dalam rendaman *water bath* selama 24 jam. Berikut adalah langkah dari pengujian IRS.

1. Rendam benda uji yang sebelumnya sudah melalui proses perendaman selama 24 jam pada suhu ruang agar benda uji dalam kondisi jenuh.
2. Timbang sampel pada kondisi jenuh.
3. Lap sampel sampai kondisi kering, lalu sampel ditimbang.
4. Rendam kembali benda uji dalam *water bath* dengan suhu 60^0C selama 24 jam.
5. Langkah terakhir dari pengujian ini adalah melakukan pengujian *Marshall.*

4.7 Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *CL* dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. bersiapkan benda uji yang sudah dibuat.
2. Timbang terlebih dahulu benda uji untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi (Mo).
3. Masukkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles* tanpa menggunakan bola baja.
4. Mengatur puturan sebanyak 300 putaran pada mesin dengan kecepatan 30-33 rpm, kemudian menekan tombol start.
5. Setelah pemutaran selesai, keluarkan benda uji dari mesin kemudian ditimbang lagi untuk mendapatkan berat benda uji setelah dilakukan pengujian abrasi (Mi).

4.8 Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Pengujian *TSR* adalah sebagai berikut.

1. Membuat benda uji dengan nilai KAO yang telah didapatkan dari pengujian Marshall.
2. Untuk benda uji TSR, benda uji direndam terlebih dahulu di dalam bak perendam (*waterbath*)dengan suhu air 60 ± 1°C selama 24 jam.
3. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian.
4. Mengamati pembacaan dial dan catat hasilnya, dan menganalisis hasil pengujian dan dibuat pembahasan pengujian.

4.9 Pengujian *Index of Cantabro Loss (ICL)*

Pengujian *ICL* adalah sebagai berikut.

1. bersiapkan benda uji yang sudah dibuat.
2. Timbang terlebih dahulu benda uji untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi (Mo).
3. Rendam benda uji didalam *waterbath* selama 24 jam, kemudian benda uji dikeluarkan dari *waterbath* dan didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam.
3. Masukkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles* tanpa menggunakan bola baja.
4. Mengatur puturan sebanyak 300 putaran pada mesin dengan kecepatan 30-33 rpm, kemudian menekan tombol start.
5. Setelah pemutaran selesai, keluarkan benda uji dari mesin kemudian ditimbang lagi untuk mendapatkan berat benda uji setelah dilakukan pengujian abrasi (Mi).

4.10 Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

Pengujian *AFD* adalah sebagai berikut.

1. Cetakan berupa nampan dengan ukuran permukaan 20x40 cm dilapisi dengan kertas aluminium foil atau kertas/karton, berat cetakan + kertas tersebut ditimbang dan dicatat (m1).

2. Selanjutnya dibuat campuran beraspal seberat ±1200 gr dan setelah tercampur merata dituangkan di atas cetakan yang telah dilapisi sebelumnya, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya (m2).
3. Cetakan yang telah berisi campuran aspal tersebut dimasukkan kedalam oven dengan suhu ±160 C semalam ± 60 menit.
4. Cetakan dikeluarkan dari dalam oven dan campuran beraspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran beraspal yang melekat pada aluminium foil/ kertas ditimbang dan dicatat (m3).
5. Prosedur diulangi sesuai kebutuhan.

4.11 Analisis Data

Berikut ini adalah analisis data yang akan dilakukan setelah melakukan pengujian.

1. Analisis Karakteristik *Marshall*

   Nilai karakteristik *Marshall* didapatkan dengan cara menganalisis data-data yang diperoleh dari hasil percobaan laboratorium, nilai-nilai karakteristik *Marshall* dapat dihitung menggunakan rumus-rumus berikut ini.

   a. Berat benda uji sebelum direndam (gram).
   b. Berat benda uji di dalam air (gram).
   c. Berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gram).
   d. Tebal benda uji (cm).
   e. Pembacaan arloji stabilitas (kg).
   f. Pembacaan arloji kelelehan *flow* (mm).

   Nilai karakteriktik *Marshall* diperoleh dengan Persamaan 4.2 dan 4.3 berikut.

$$Bj\ Aspal = \frac{Berat}{Volume} \quad (4.2)$$

$$Bj\ Agregat = \frac{(A.F1)+(B.F2)}{100} \quad (4.3)$$

   dengan:

   A = persentase agregat kasar,

   B = persentase agregat halus,

F1 = berat jenis agregat kasar, dan

F2 = berat jenis agregat halus.

Nilai stabilitas, *flow, MQ, VITM, VFMA, VMA,* dan *density* dapat diperoleh dari data di atas.

2. Analisis Uji *Indirect Tensile Strength (ITS)*

   Nilai *ITS* adalah nilai kuat tarik maksimum yang dihitung dari puncak beban, dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan (3.15).

3. Analis Uji *Index of Retained Strength (IRS)*

   Nilai *IRS* dapat diperoleh dari hasil *Immersion Test* kemudian dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.14).

4. Analisis Uji *Cantabro Loss*

   Nilai uji *CL* dihitung menggunakan Persamaan (3.16).

5. Analisis Uji *Tensile Strength Ratio (TSR)*

   Nilai uji *TSR* dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.21).

6. Analisis Uji *Index of Cantabro Loss (ICL)*

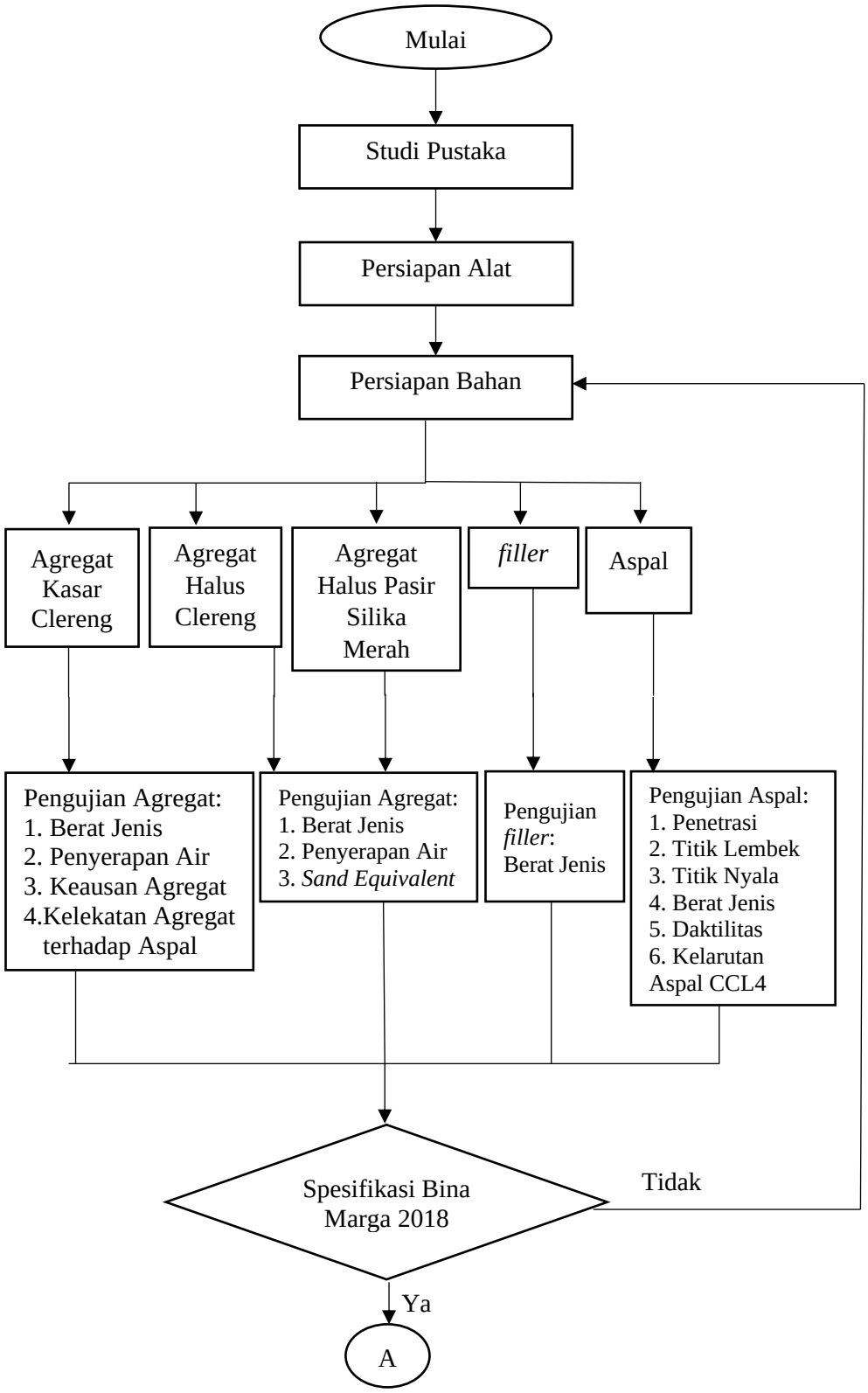
   Nilai Uji *ICL* dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.22).

7. Analisis Uji *Asphalt Flow Down (AFD)*

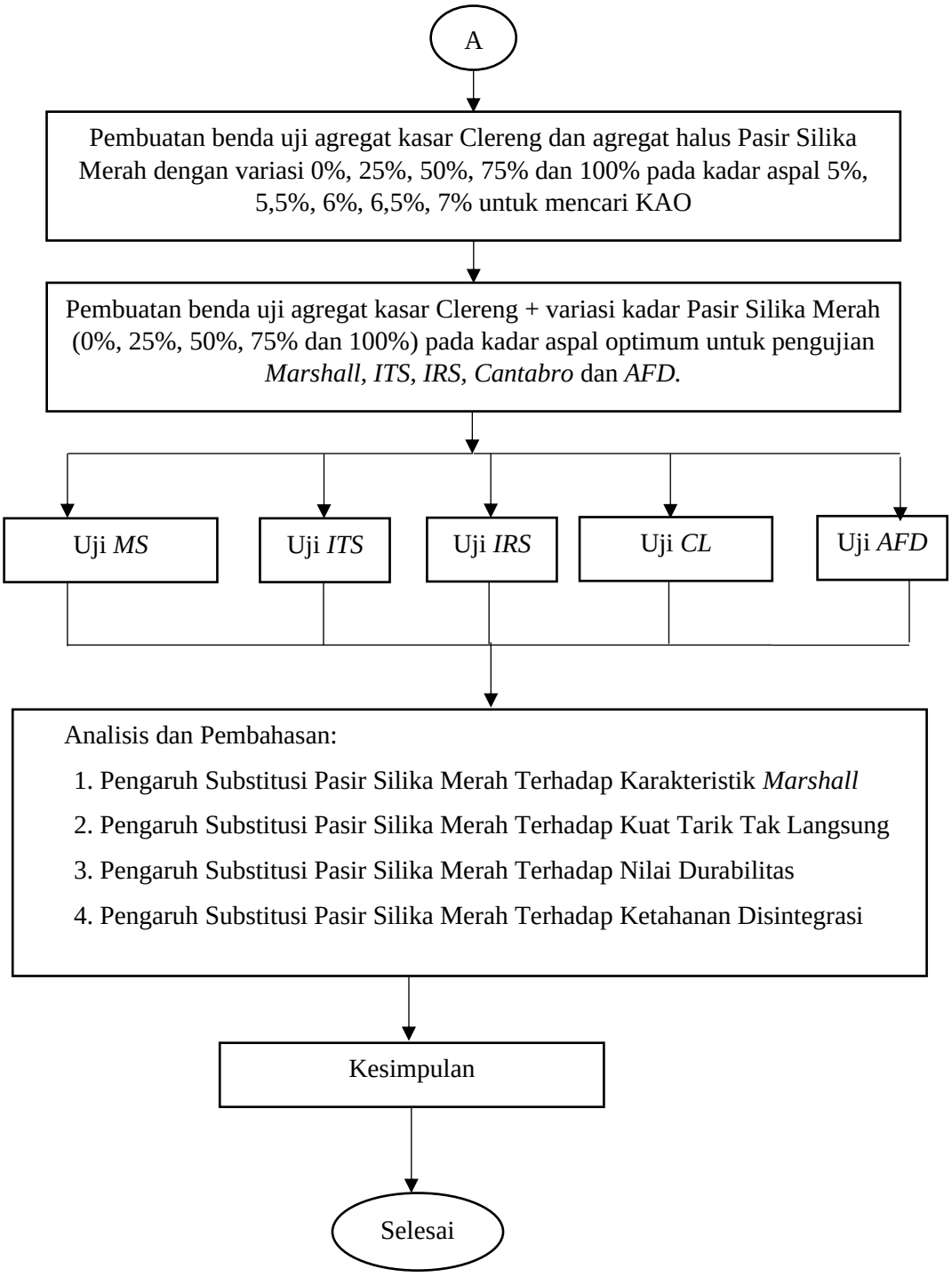
   Nilai Uji *AFD* dihitung dengan menggunakan Persamaan (3.20).

4.12 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir proses penelitian adalah penjelasan singkat tahapan tahapan penelitian. Adapun bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Diagram Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Diagram Alir Penelitian

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran

Berdasarkan dari pengujian yang telah dilakukan, material agregat mempunyai karakteristik yang meliputi pada pengujian agregat kasar, agregat halus, *filler* dan pengujian aspal Pen 60/70.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian agregat yang dilakukan adalah pengujian pada agregat kasar, agregat halus,dan pengujian *filler*. Pada pengujian karakteristik agregat, agregat yang digunakan berasal dari pasir Clereng, Kulonprogo, dan Pasir Silika Merah yang berasal dari Bancar, Tuban, Jawa Timur. Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian pada agregat kasar meliputi berat jenis, kelekatan agregat terhadap aspal, dan pengujian keausan agregat dengan menggunakan mesin Loss Angeles. Pengujian agregat halus meliputi berat jenis, penyerapan agregat terhadap air, dan pengujian *sand equivalent*. Berikut merupakan hasil pengujian karakteristik agregat yang disajikan pada Tabel 5.1 hingga Tabel 5.4.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥2,5	2,52	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadapan air (%)	≤3	2,48	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥95	98	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin *Loss Angeles* (%)	≤40	16,28	Memenuhi

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Halus Pasir Clereng

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥2,5	2,52	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat terhadap air (%)	≤3	2,41	Memenuhi
3	*Sand Equivalent* (%)	≥50	73,68	Memenuhi

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Agregat Halus Pasir Silika Merah

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥2,5	2,50	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat terhadap air (%)	≤3	1,01	Memenuhi
3	*Sand Equivalent* (%)	≥50	67,44	Memenuhi

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	*Filler*	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≤8	2,53	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian aspal dilakukan dengan menggunakan aspal pen 60/70 sesuai dengan standar spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Pengujian karakteristik aspal meliputi pengujian berat jenis aspal, penetrasi, daktilitas, titik lembek, titik nyala, titik bakar dan kelarutan pada *TCE*. Pengujian karakteristik aspal dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Aspal Pertamina 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,05	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60/70	61,20	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥100	150	Memenuhi
4	Titik Lembek (°C)	≥48	49	Memenuhi
5	Titik Nyala (°C)	≥232	332	Memenuhi
6	Titik Bakar (°C)	≥232	339	Memenuhi
7	Kelarutan pada *TCE*	≥99	99	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian Campuran AC-BC untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian untuk mencari kadar aspal optimum dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menentukan kadar aspal optimum berdasarkan karakteristik *Marshall*, meliputi nilai stabilitas, *flow, VITM, VFWA, MQ*, dan *density*. Berikut hasil dari pengujian campuran *AC-BC* dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 0%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (%)
5	1018,80	2,41	407,44	6,07	64,61	15,39	2,27
5,5	1101,00	2,51	438,65	4,36	73,87	14,91	2,30
6	1164,82	2,680	434,636	4,350	75,424	15,950	2,282
6,5	1119,04	2,69	416,00	3,97	78,41	16,65	2,28
7	1082,42	2,85	379,80	3,30	82,47	17,09	2,28
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 25%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (%)
5	966,24	2,55	378,92	6,13	64,37	15,46	2,27
5,5	1039,00	2,69	386,25	4,58	72,86	15,57	2,29
6	1110,36	2,90	382,88	4,70	73,89	16,27	2,27
6,5	1087,85	2,92	372,55	4,19	77,44	16,86	2,27
7	1087,45	3,17	343,05	3,40	82,02	17,20	2,27
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 50%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (%)
5	935,74	2,56	365,52	6,25	63,90	15,57	2,27
5,5	981,00	2,94	333,67	4,83	71,75	15,35	2,29
6	1041,90	3,08	338,28	4,91	74,46	16,46	2,27
6,5	1025,38	3,12	328,65	4,32	76,88	16,97	2,27
7	1007,72	3,15	319,91	3,57	81,27	17,35	2,27
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 75%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (%)
5	903,67	2,67	338,45	6,33	63,58	15,64	2,27
5,5	940,00	3,02	311,26	4,87	71,57	15,38	2,29
6	997,12	3,15	316,55	4,87	73,17	16,42	2,27
6,5	955,71	3,17	301,49	4,36	76,71	17,01	2,27
7	942,94	3,30	285,74	3,61	81,09	17,38	2,27
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Marshall* dengan Substitusi Pasir Silika Merah 100%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (%)
5	855,00	2,77	308,66	6,42	63,24	15,72	2,27
5,5	911,00	3,26	279,45	4,91	71,39	15,42	2,29
6	949,01	3,28	289,33	4,91	73,00	16,46	2,27
6,5	912,84	3,27	279,16	4,66	75,44	17,27	2,26
7	911,56	3,27	278,76	3,65	80,91	17,42	2,27
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>14	>2

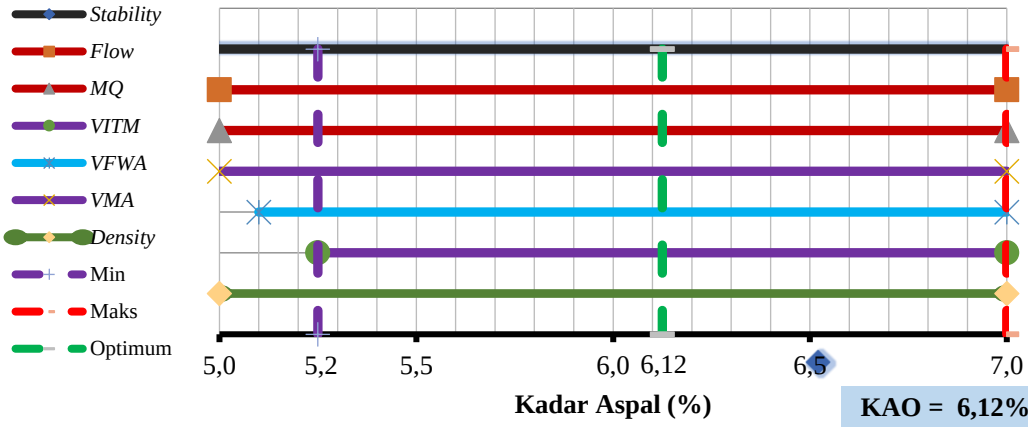
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai KAO

Pengujian	Kadar Aspal (%)	Aspal Penetrasi 60/70				
		Variasi Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah				
		0	25	50	75	100
MQ (kg/mm)	5	407,44	378,92	365,52	338,45	308,66
	5,5	438,65	386,25	333,67	311,26	279,45
	6	434,63	382,88	338,28	316,55	289,33
	6,5	416,00	372,55	328,65	301,49	279,16
	7	379,80	343,05	319,91	285,74	278,76
VITM (%)	5	6,07	6,13	6,25	6,33	6,42
	5,5	4,36	4,58	4,83	4,87	4,91
	6	4,350	4,70	4,91	4,87	4,91
	6,5	3,97	4,19	4,32	4,36	4,66
	7	3,30	3,40	3,57	3,61	3,65
VFWA (%)	5	64,61	64,37	63,90	63,58	63,24
	5,5	73,87	72,86	71,75	71,57	71,39
	6	75,424	73,89	74,46	73,17	73,00
	6,5	78,41	77,44	76,88	76,71	75,44
	7	82,47	82,02	81,27	81,09	80,91

Lanjutan Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai KAO

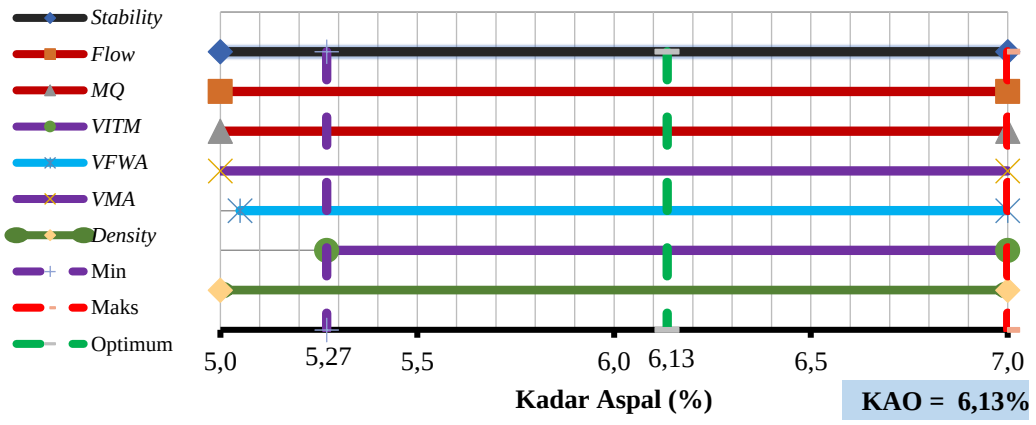
Pengujian	Kadar Aspal (%)	Aspal Penetrasi 60/70				
		Variasi Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah				
		0	25	50	75	100
VMA (%)	5	15,39	15,46	15,57	15,64	15,72
	5,5	14,91	15,57	15,35	15,38	15,42
	6	15,950	16,27	16,46	16,42	16,46
	6,5	16,65	16,86	16,97	17,01	17,27
	7	17,09	17,20	17,35	17,38	17,42
Density (%)	5	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27
	5,5	2,30	2,29	2,29	2,29	2,29
	6	2,282	2,27	2,27	2,27	2,27
	6,5	2,28	2,27	2,27	2,27	2,26
	7	2,28	2,27	2,27	2,27	2,27

Setelah pengujian yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, berdasarkan acuan Bina Marga 2018 diperoleh kadaar aspal optimum (KAO) diperoleh melalui hitungan grafik. Nilai KAO dapat dilihat pada Gambar 5.1 hingga Gambar 5.2.



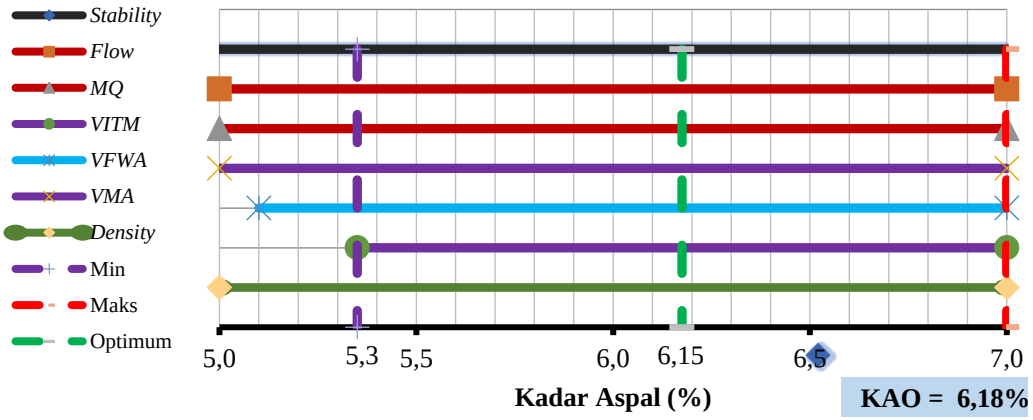
Gambar 5. 1 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 0%

Berdasarkan Gambar 5.1 nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada substitusi Pasir Silika Merah 0% adalah 6,12%, dengan batas kadar aspal minimum adalah 5,25% dan batas kadar aspal maksimal adalah 7%.



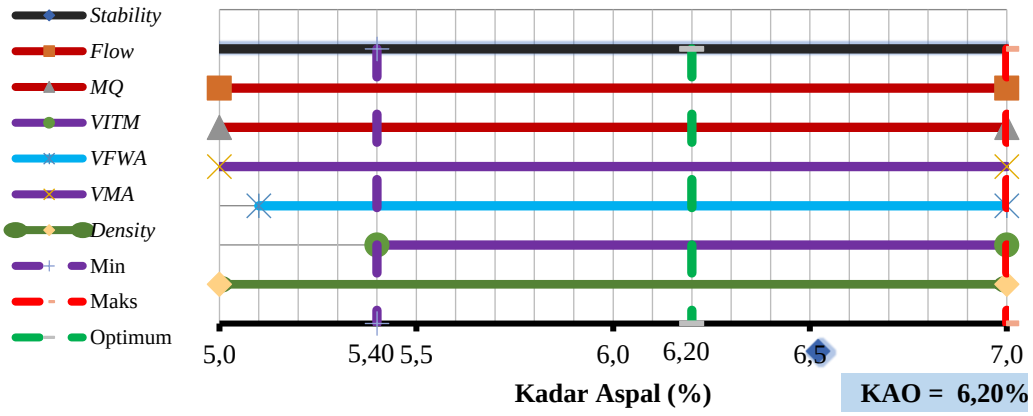
Gambar 5. 2 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 25%

Berdasarkan Gambar 5.2, nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada substitusi Pasir Silika Merah 25% adalah 6,14%, dengan batas kadar aspal minimum adalah 5,27% dan batas kadar aspal maksimal adalah 7%.



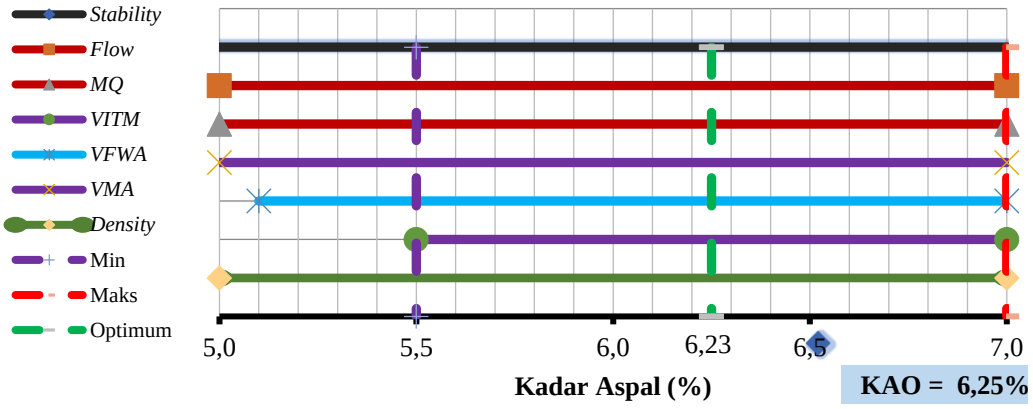
Gambar 5. 3 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 50%

Berdasarkan Gambar 5.3 nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada substitusi Pasir Silika Merah 50% adalah 6,18%, dengan batas kadar aspal minimum adalah 5,30% dan batas kadar aspal maksimal adalah 7%.



Gambar 5. 4 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 75%

Berdasarkan Gambar 5.4 nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada substitusi Pasir Silika Merah 75% adalah 6,20%, dengan batas kadar aspal minimum adalah 5,40% dan batas kadar aspal maksimal adalah 7%.



Gambar 5. 5 Penentuan KAO dengan Substitusi Pasir Silika Merah 100%

Berdasarkan Gambar 5.5 nilai kadar aspal optimum yang didapatkan pada substitusi Pasir Silika Merah 100% adalah 6,25%, dengan batas kadar aspal minimum adalah 5,50% dan batas kadar aspal maksimal adalah 7%. Berikut adalah rekapitulasi hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran *AC-BC* dengan substitusi agregat halus Pasir Silika Merah dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil KAO

Variasi Substitusi Pasir Silika Merah (%)	Kadar Aspal Minimum (%)	Kadar Aspal Maksimum (%)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	5,25	7	6,12
25	5,27	7	6,14
50	5,30	7	6,18
75	5,40	7	6,20
100	5,50	7	6,25

Berdasarkan Tabel 5.12 dapat disimpulkan bahwa peningkatan variasi substitusi Pasir Silika Merah terhadap agregat halus berpengaruh terhadap kadar aspal yang dibutuhkan dalam campuran. Semakin besar persentase Pasir Silika Merah yang digunakan maka kebutuhan aspal untuk campuran semakin tinggi juga.

5.1.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Berikut kebutuhan agregat pada kadar aspal optimum untuk setiap proporsi campuran dapat dilihat pada Tabel 5.13 hingga Tabel 5.17.

Tabel 5. 13 Kebutuhan Agregat Substitusi 0% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,12%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Silika
1	25	100	100	100	0	0	0	0	0
3/4	19	90	100	95	5	56,33	56,33	56,33	0
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	140,81	197,14	140,81	0
3/8	9,5	66	82	74	8,5	95,75	292,89	95,75	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,04	506,93	214,04	0
No.8	2,36	30	49	39,5	15,5	174,61	681,53	174,61	0
No.16	1,18	18	38	28	11,5	129,55	811,08	129,55	0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,12	901,20	90,12	0
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	73,22	974,42	73,22	0
N0.100	0,15	5	13	9	4,5	50,69	1025,12	50,69	0
No.200	0,075	4	8	6	3	33,80	1058,91	33,80	0
Pan		0	0	0	6	67,59	1126,50	67,59	0
Jumlah						1126,50	gr		

Tabel 5. 14 Kebutuhan Agregat Substitusi 25% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,14%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Silika
1	25	100	100	100	0	0	0	0	0
3/4	19	90	100	95	5	56,32	56,32	56,32	0
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	140,81	197,13	140,81	0
3/8	9,5	66	82	74	8,5	95,75	292,88	95,75	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,04	506,92	214,04	0
No.8	2,36	30	49	39,5	15,5	174,61	681,53	174,61	0
No.16	1,18	18	38	28	11,5	129,55	811,07	129,55	0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,12	901,19	67,59	22,39
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	73,22	974,42	54,92	18,19
N0.100	0,15	5	13	9	4,5	50,69	1025,11	38,02	12,59
No.200	0,075	4	8	6	3	33,80	1058,90	33,80	0
Pan		100	100	100	0	67,59	1126,49	67,59	0
Jumlah						1126,49 gr			

Tabel 5. 15 Kebutuhan Agregat Substitusi 50% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,18%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Silika
1	25	100	100	100	0	0	0	0	0
3/4	19	90	100	95	5	56,32	56,32	56,32	0
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	140,81	197,13	140,81	0
3/8	9,5	66	82	74	8,5	95,75	292,88	95,75	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,04	506,92	214,04	0
No.8	2,36	30	49	39,5	15,5	174,61	681,53	174,61	0
No.16	1,18	18	38	28	11,5	129,55	811,07	129,55	0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,12	901,19	67,59	22,39
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	73,22	974,42	54,92	18,19
N0.100	0,15	5	13	9	4,5	50,69	1025,11	38,02	12,59
No.200	0,075	4	8	6	3	33,80	1058,90	33,80	0
Pan		100	100	100	0	67,59	1126,49	67,59	0
Jumlah						1126,47	gr		

Tabel 5. 16 Kebutuhan Agregat Substitusi 75% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,20%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Silika
1	25	100	100	100	0	0	0	56,28	0
3/4	19	90	100	95	5	56,28	56,28	140,81	0
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	140,81	197,09	95,75	0
3/8	9,5	66	82	74	8,5	95,75	292,85	214,04	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,04	506,88	174,61	0
No.8	2,36	30	49	39,5	15,5	174,61	681,49	129,55	0
No.16	1,18	18	38	28	11,5	129,55	811,04	22,53	0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,12	901,16	18,31	67,16
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	73,22	974,38	12,67	54,57
N0.100	0,15	5	13	9	4,5	50,69	1025,07	33,80	37,78
No.200	0,075	4	8	6	3	33,80	1058,87	67,59	0
Pan		100	100	100	0	67,59	1126,46	56,28	0
Jumlah						1126,46	gr		

Tabel 5. 17 Kebutuhan Agregat Substitusi 100% Pasir Silika Merah dengan Kadar Aspal Optimum 6,25%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (gr)		Variasi	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah Tertahan	Clereng	Silika
1	25	100	100	100	0	0	0	56,28	0
3/4	19	90	100	95	5	56,28	56,28	140,81	0
1/2	12,5	75	90	82,5	12,5	140,81	197,09	95,75	0
3/8	9,5	66	82	74	8,5	95,75	292,85	214,04	0
No.4	4,75	46	64	55	19	214,04	506,88	174,61	0
No.8	2,36	30	49	39,5	15,5	174,61	681,49	129,55	0
No.16	1,18	18	38	28	11,5	129,55	811,04	0,00	0
No.30	0,6	12	28	20	8	90,12	901,16	0,00	89,55
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	73,22	974,38	0,00	72,76
N0.100	0,15	5	13	9	4,5	50,69	1025,07	33,80	50,37
No.200	0,075	4	8	6	3	33,80	1058,87	67,59	0
Pan		100	100	100	0	67,59	1126,46	56,28	0
Jumlah						1126,44	gr		

Berdasarkan Tabel 5.13 sampai Tabel 5.17, kebutuhan agregat pada setiap kadar aspal berbeda. Hal ini karena total agregat dalam setiap variasi substitusi agregat halus dihitung dari berat total campuran dikurangi dengan berat aspal yang sudah dihitung berdasarkan nilai kadar aspal optimum yang sudah dicari sebelumnya.

Untuk mendapatkan hasil berat di atas, perhitungan perbandingan volume berat jenis yang dilakukan antara kedua agregat halus. Agar hasil berat sesuai, maka perhitungan dibuat berdasarkan volume dengan mempertimbangkan berat jenis. Berikut merupakan contoh perhitungan pada variasi substitusi 25% pada nomer saringan 30 dengan kadar aspal 6,14%

$$\text{Berat agregat halus silika} = \frac{(BJ\ Silika \times (\ berat\ tertahan\ no.30 \times 25\%))}{BJ\ agregat\ clereng}$$

$$= \frac{2{,}50 \times (90{,}12 \times 25\%)}{2{,}52}$$

$$= 22{,}39 \text{ gram}$$

dengan:

Bj agregat halus Clereng = 2,52 gr/cm^3

Bj agregat halus pasir silika = 2,50 gr/cm^3

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran *AC-BC* pada Kadar Aspal Optimum dengan Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah

Hasil pengujian campuran AC-BC dengan substitusi agregat halus menggunakan Pasir Silika Merah pada kadar aspal optimum yang meliputi *pengujian Marshall, Index of Retained Strength (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Cantabro Loss,* dan *Asphalt Fall Down.* Hasil dari masing-masing pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.18 hingga Tabel 5.22.

1. Substitusi Agregat Halus dengan Pasir Silika Merah pada pengujian *Marshall*

   Hasil pengujian *Marshall* pada campuran *AC-BC* pada kadar aspal optimum dengan substitusi agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.18 sebagai berikut.

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum

Variasi Substitusi Agregat (%)	Stabilitas (kg)	*Flow* (mm)	*MQ* (kg/mm)	*VITM* (%)	*VFWA* (%)	*VMA* (%)	*Density* (gr/c)
0	1832,590	2,950	626,015	4,154	76,532	17,552	2,242
25	1804,682	2,913	638,738	3,620	78,881	17,111	2,254
50	1654,800	3,187	530,626	3,542	79,492	17,124	2,254
75	1365,258	3,497	397,199	3,329	80,423	16,979	2,258
100	1055,409	3,600	294,695	3,109	81,634	16,890	2,261
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3,0-5,0	>65	>15	>2

2. Substitusi Agregat Halus dengan Pasir Silika Merah pada Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*

   Hasil pengujian *IRS* pada campuran *AC-BC* pada kadar aspal optimum dengan substitusi agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.19 sebagai berikut.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)* pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum

Substitusi Pasir Silika Merah (%)	Stabilitas (kg)	Stabilitas 24 Jam (kg)	IRS (%)	IDP (%)	IDK (%)
0	1832,59	1713,15	93,48	0,28	3,26
25	1804,68	1664,42	92,23	0,34	3,89
50	1654,80	1513,11	91,44	0,37	4,28
75	1365,26	1244,86	91,18	0,38	4,41
100	1055,41	955,84	90,57	0,41	4,72
Spesifikasi	>800	>800	>90	-	-

3. Substitusi Agregat Halus dengan Pasir Silika Merah pada Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

   Hasil pengujian *ITS* pada campuran *AC-BC* pada kadar aspal optimum dengan substitusi agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.20 sebagai berikut.

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum

Substitusi Pasir Silika Merah (%)	ITS (Kpa)	ITS 24 Jam (Kpa)	TSR (%)
0	1056,47	919,40	87,03
25	962,15	820,48	85,28
50	858,99	724,03	84,29
75	791,19	666,42	84,23
100	666,02	532,65	79,98

4. Substitusi Agregat Halus dengan Pasir Silika Merah pada Pengujian *Cantabro Loss* Normal dan *Cantabro Loss* Rendaman

Hasil pengujian *Cantabro Loss* normal dan *Cantabro Loss* rendaman pada campuran *AC-BC* pada kadar aspal optimum dengan substitusi agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.21 sebagai berikut.

Tabel 5. 21 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro Loss* dan *Index of Cantabro Loss* pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum

Substitusi Pasir Silika Merah (%)	Kehilangan Berat *CL* (%)	Kehilangan Berat *ICL* (%)
0	5,82	5,82
25	6,22	6,22
50	6,86	6,86
75	7,28	7,28
100	7,52	7,52

5. Substitusi Agregat Halus dengan Pasir Silika Merah pada Pengujian *Asphalt Fall Down (AFD)*

   Hasil pengujian *AFD* pada campuran *AC-BC* pada kadar aspal optimum dengan substitusi agregat halus pada setiap variasi dapat dilihat pada Tabel 5.22 sebagai berikut.

Tabel 5. 22 Rekapitulasi Hasil Pengujian AFD pada Substitusi Agregat Halus pada Kadar Aspal Optimum

Substitusi Pasir Silika Merah (%)	*AFD* (%)
0	0,014
25	0,023
50	0,024
75	0,025
100	0,028

5.2 Pembahasan

Pembahasan ini dilakukan untuk memastikan bahwa material dan hasil pengujian yang telah digunakan dalam kegiatan pengujian telah memenuhi persyaratan yang tercantum dalam Spesifikasi Bina Marga 2018. Berikut disajikan pembahasan mengenai rangkaian pengujian yang telat dilakukan.

5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pada penelitian yang telah dilakukan, agregat kasar yang digunakan pada campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* berasal dari Clereng, Kulon Progo, Pengujian karakteristik agregat kasar diuraikan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

   Berat jenis agregat kasar merupakan parameter penting yang menunjukkan perbandingan antara massa agregat terhadap massa air pada suhu tertentu. Nilai ini berpengaruh langsung terhadap perencanaan proporsi campuran aspal. Agregat dengan berat jenis tinggi umumnya memiliki pori-pori kecil sehingga membutuhkan aspal lebih sedikit, sedangkan agregat dengan berat jenis rendah memiliki pori-pori lebih besar dan memerlukan aspal lebih banyak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis agregat kasar sebesar 2,59, yang memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (≥ 2,50), sehingga agregat yang digunakan dinilai memiliki kepadatan dan kualitas yang baik untuk campuran beraspal.

2. Penyerapan Air Pada Agregat Kasar

   Penyerapan air pada agregat kasar menunjukkan kemampuan agregat dalam menyerap air melalui pori-porinya dan memperlihatkan tingkat porositas yang berpengaruh terhadap kebutuhan aspal dan daya tahan campuran. Agregat dengan pori besar menyerap lebih banyak air, sedangkan agregat dengan pori kecil memiliki struktur yang lebih padat dan stabil. Hasil pengujian menunjukkan nilai penyerapan air sebesar 1,62%, yang memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 (<2%). Hal ini menunjukkan bahwa agregat kasar Clereng memiliki porositas rendah dan kualitas baik, sehingga layak digunakan dalam campuran *AC-BC*.

3. Kelekatan Agregat Kasar Terhadap Aspal

Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal bertujuan untuk menilai sejauh mana permukaan agregat dapat ditutupi secara merata oleh lapisan aspal, yang berperan penting dalam menentukan kekuatan ikatan antar material pada campuran perkerasan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai kelekatan agregat kasar mencapai 98%, yang berarti telah memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari 95%. Nilai ini menunjukkan bahwa lapisan aspal mampu menempel dengan baik pada permukaan agregat, sehingga menghasilkan ikatan yang kuat dan mendukung stabilitas campuran aspal.

4. Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*

   Pengujian keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* dilakukan untuk menilai tingkat ketahanan agregat terhadap abrasi atau pengikisan akibat gesekan selama proses pencampuran maupun pemadatan. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai keausan agregat kasar sebesar 16,29%, yang menunjukkan bahwa agregat memiliki ketahanan yang baik terhadap abrasi. Nilai tersebut memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu kurang dari 40%, sehingga agregat yang digunakan dinilai layak untuk campuran aspal beton karena memiliki kekuatan dan durabilitas yang memadai.

5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pada penelitian yang telah dilakukan, agregat halus yang digunakan pada campuran *Asphalt Concrete - Binder Course* berasal dari Clereng, Kulon Progo, dan Pasir Silika Merah sebagai substitusi. Pengujian karakteristik agregat halus diuraikan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

   Berat jenis agregat halus merupakan perbandingan antara massa satuan volume agregat terhadap massa air dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh berat jenis agregat halus Clereng sebesar 2,52 dan berat jenis Pasir Silika Merah sebesar 2,50. Kedua nilai tersebut memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari atau sama dengan 2,50. Hasil ini

menunjukkan bahwa keduanya memiliki kepadatan yang cukup baik dan layak digunakan sebagai material dalam campuran aspal beton, karena mampu memberikan stabilitas dan daya ikat yang optimal terhadap aspal.

2. Penyerapan Air pada Agregat Halus

Pengujian penyerapan air pada agregat halus dilakukan untuk mengetahui kemampuan agregat dalam menyerap air yang masuk melalui pori-pori atau celah di dalam butirannya. Parameter ini mencerminkan tingkat porositas agregat. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh tingkat penyerapan air sebesar 2,48% untuk agregat halus Clereng dan 1,01% untuk agregat halus pasir silika. Kedua nilai tersebut memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu kurang dari 3%. Hasil ini menunjukkan bahwa Pasir Silika Merah dan agregat halus Clereng layak digunakan sebagai agregat halus dalam campuran *AC-BC*, dengan karakteristik fisik yang mendukung kestabilan dan kepadatan campuran.

4. Sand Equivalent

Nilai *Sand Equivalent* merupakan parameter yang digunakan untuk menilai tingkat kebersihan agregat halus dari kandungan debu, lumpur, atau kotoran halus lainnya yang dapat mempengaruhi kualitas campuran beraspal. Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa agregat halus memiliki kadar partikel halus yang masih dalam batas yang diizinkan. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *Sand Equivalent* sebesar 71,84% untuk agregat Clereng dan 67,44% untuk pasir silika. Kedua nilai tersebut memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari 50%. Hasil ini menunjukkan bahwa kedua jenis agregat halus memiliki tingkat kebersihan yang baik dan layak digunakan dalam campuran aspal , karena kandungan lumpur dan debu berada dalam batas aman terhadap daya ikat aspal.

5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Pengisi *(filler)*

Pengujian karakteristik bahan pengisi (*filler*) dilakukan untuk mengetahui sifat fisik material halus yang berfungsi mengisi rongga di antara butiran agregat dalam campuran aspal. *Filler* merupakan material yang lolos saringan No. 200 dan

berperan penting dalam meningkatkan kepadatan serta stabilitas campuran. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh berat jenis *filler* sebesar 2,53 yang berasal dari material Sungai Clereng, Kulon Progo. Nilai tersebut memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yang mensyaratkan berat jenis *filler* berada dalam batas yang sesuai untuk digunakan pada campuran beraspal panas. Dengan demikian, filler dari Clereng dinilai layak digunakan sebagai bahan pengisi dalam campuran *AC-BC* karena memiliki karakteristik fisik yang baik dan stabil.

5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pada penelitian yang dilakukan, bahan ikat pada campuran *AC-BC* menggunakan jenis aspal Pertamina pen 60/70, pengujian karakteristik aspal mengacu pada Bina Marga tahun 2018 Revisi 2. Hasil pengujian dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Aspal

   Berat jenis aspal di definisikan dengan perbandingan antara massa satuan volume dan suhu yang sama. Hasil dari pengujian berat jenis aspal menunjukkan bahwa hasil berat jenis aspal Pen 60/70 adalah 1,02, yang berarti nilai tersebut memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari 1,00. Nilai ini menunjukkan bahwa aspal pen 60/70 memiliki kepadatan yang baik dan kualitas fisik yang sesuai untuk diaplikasikan dalam campuran beraspal panas, sehingga dapat mendukung stabilitas dan daya tahan perkerasan jalan.

2. Penetrasi Aspal

   Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk mengetahui tingkat kelembutan atau kekerasan aspal pada suhu tertentu, yang menggambarkan kemampuan aspal dalam menahan beban lalu lintas dan perubahan suhu. Berdasarkan hasil pengujian pada suhu 25°C, diperoleh nilai penetrasi aspal sebesar 61,20 mm. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu berada dalam rentang 60–70 mm. Hasil tersebut menunjukkan bahwa aspal yang digunakan memiliki konsistensi dan elastisitas yang sesuai,

sehingga layak digunakan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal panas untuk lapisan perkerasan jalan.

3. Titik Nyala Aspal

   Titik nyala aspal merupakan suhu dimana aspal mulai mengeluarkan percikan api sesaat akibat pemanasan, yang menandakan bahwa uap aspal telah mencapai konsentrasi mudah terbakar. Sifat ini berkaitan dengan karakteristik termoplastik aspal yaitu kemungkinan aspal mengalami perubahan bentuk berulang kali tanpa mengalami kerusakan permanen. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh titik nyala aspal sebesar 332°C, yang berarti memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari 232°C. Nilai ini menunjukkan bahwa aspal memiliki stabilitas termal yang baik dan aman digunakan dalam proses pencampuran beraspal panas, karena mampu menahan suhu tinggi tanpa mengalami pembakaran atau degradasi yang berlebihan.

4. Titik Bakar Aspal

   Titik bakar aspal merupakan suhu dimana aspal mulai tebakar dan menimbulkan nyala api yang bertahan selama kurang lebih lima detik. Fenomena ini menunjukkan bahwa uap aspal telah mencapai konsentrasi yang cukup untuk mempertahankan pembakaran. Hal tersebut berkaitan dengan sifat termoplastik aspal, yaitu kemampuannya berubah bentuk sesuai dengan pengaruh suhu. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh titik bakar aspal sebesar 339°C, yang berarti memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari 232°C. Nilai ini mengindikasikan bahwa aspal memiliki ketahanan termal yang sangat baik, aman digunakan dalam proses pencampuran beraspal panas, serta tidak mudah terbakar pada suhu kerja normal.

5. Titik Lembek Aspal

   Titik lembek aspal merupakan suhu di mana aspal mulai mengalami perubahan fase dari padat menjadi lunak akibat peningkatan suhu. Perubahan ini terjadi karena sifat termoplastik aspal, yaitu kemampuan aspal untuk melunak pada suhu tinggi dan kembali mengeras saat suhu menurun.

Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh titik lembek aspal sebesar 49°C, yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari 48°C. Nilai ini menunjukkan bahwa aspal memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi yang baik, sehingga tidak mudah melunak berlebihan saat digunakan dalam kondisi lalu lintas panas, serta tetap mempertahankan stabilitas struktural pada lapisan perkerasan jalan.

6. Daktilitas Aspal

   Uji daktilitas dilakukan untuk menilai sifat kohesi dan elastisitas aspal, yaitu kemampuan aspal untuk meregang tanpa terputus ketika dikenai gaya tarik. Nilai ini menunjukkan sejauh mana aspal mampu mempertahankan fleksibilitas dan kekuatannya sebelum terjadi pemutusan. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai daktilitas aspal sebesar 150 cm, yang memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari 100 cm. Nilai tersebut menunjukkan bahwa aspal memiliki elastisitas dan daya rekat yang baik, sehingga dapat memberikan ikatan yang kuat antaragregat serta mendukung keawetan lapisan perkerasan jalan terhadap deformasi dan retak akibat beban lalu lintas.

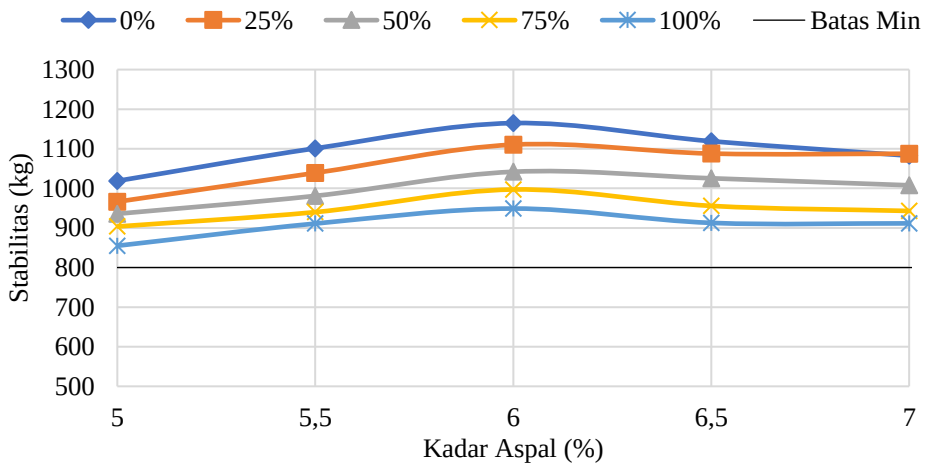
7. Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)*

   Pengujian kelarutan aspal dalam *Trichloroethylene (TCE)* bertujuan untuk mengetahui tingkat kemurnian aspal melalui persentase bagian aspal yang dapat larut dalam pelarut tersebut. Nilai kelarutan ini menunjukkan seberapa besar kandungan bahan pengikat murni dalam aspal, yang berpengaruh terhadap kemampuan aspal dalam mengikat agregat pada campuran perkerasan. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai kelarutan sebesar 99%, yang memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari atau sama dengan 99%. Hasil ini mengindikasikan bahwa aspal yang digunakan memiliki tingkat kemurnian tinggi, bebas dari campuran material non-bitumen, dan layak digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran aspal beton.

5.2.5 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* yang Digunakan Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum pada Campuran *AC-BC*

1. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk permanen. Seperti alur *(rutting)* atau gelombang, sehingga mencapai kondisi kelelehan plastis. Nilai stabilitas sangat dipengaruhi oleh tekstur permukaan dan gradasi agregat, kadar aspal, dan tingkat kepadatan campuran. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium diperoleh grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.6.



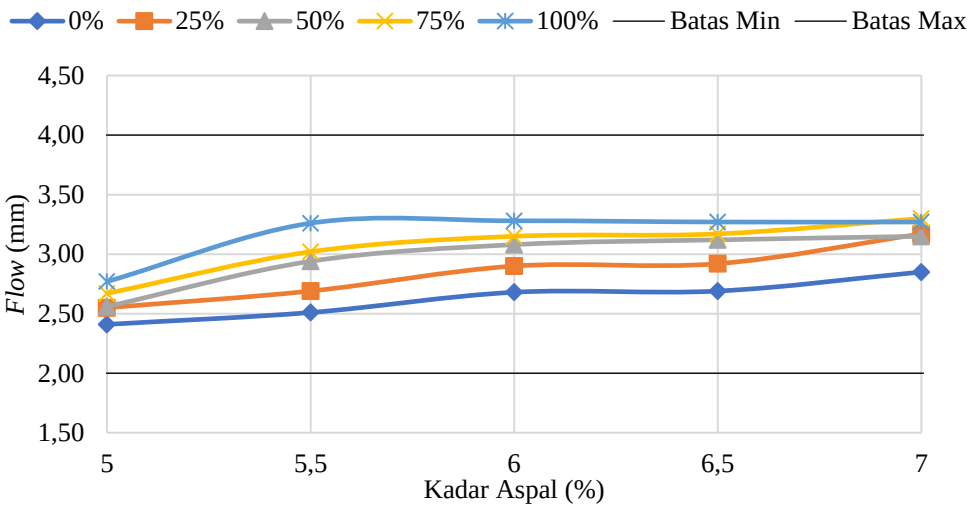
Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

Nilai stabilitas pada campuran *AC-BC* dengan substitusi agregat halus Pasir Silika Merah menunjukkan peningkatan hingga kadar aspal 6%, kemudian menurun pada kadar aspal 6,5% dan 7%. Pada kadar aspal 5% hingga 5,5%, nilai stabilitas masih rendah karena aspal belum mampu melapisi seluruh permukaan agregat secara merata. Dengan bertambahnya kadar aspal, ikatan antar agregat menjadi lebih baik akibat meningkatnya lapisan aspal di sekitar butiran agregat, sehingga stabilitas meningkat hingga mencapai kadar aspal 6% -6,5%. Namun, setelah melewati kadar aspal 6%, kelebihan aspal menyebabkan lapisan pengikat menjadi terlalu tebal, menurunkan gaya geser

antaragregat dan membuat campuran lebih plastis serta mudah mengalami deformasi permanen. Akibatnya, nilai stabilitas kembali menurun pada kadar aspal tinggi. Hal ini juga di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang. Mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai stabilitas minimum untuk campuran *AC-BC* adalah 800 kg. Dari hasil pengujian yang ditampilkan pada Gambar 5.10, seluruh campuran dengan variasi substitusi Pasir Silika Merah memiliki nilai stabilitas di atas batas minimum tersebut, sehingga masih memenuhi spesifikasi Bina Marga.

2. *Flow*

   Flow diartikan sebagai besarnya perubahan bentuk pada campuran aspal akibat pengaruh beban lalu lintas di mana sifat ini menggambarkan kemampuan campuran dalam menahan deformasi sebelum mengalami kerusakan. *Flow* merupakan parameter yang menggambarkan besarnya deformasi yang terjadi sejak awal pembebanan hingga stabilitas campuran mulai menurun. *Flow* yang rendah menandakan bahwa masih terdapat rongga dalam campuran yang tidak seluruhnya terisi oleh aspal, sehingga dapat mengurangi ketahanannya. Sebaliknya, *flow* yang tinggi menunjukkan kondisi yang berlawanan, yaitu campuran lebih terisi dan cenderung memiliki tingkat deformasi yang lebih besar. Nilai *flow* hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.7.

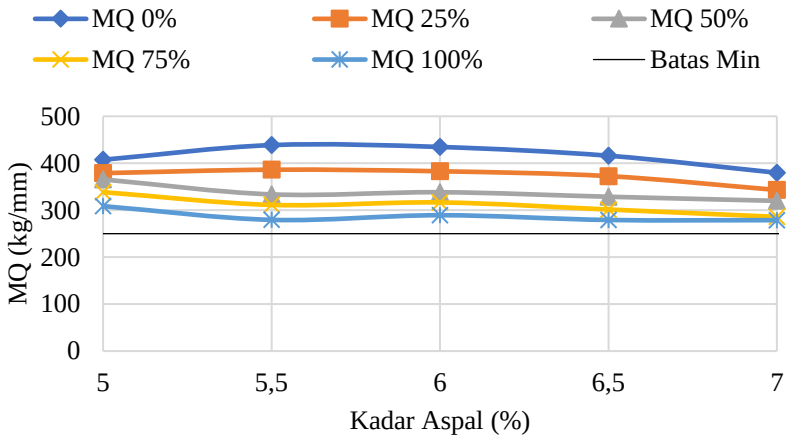


Gambar 5. 7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Flow*

Nilai *flow* pada campuran *AC-BC* dengan substitusi agregat halus Pasir Silika Merah menunjukkan kecenderungan meningkat seiring bertambahnya kadar aspal. Pada kadar aspal rendah, nilai *flow* relatif kecil, menunjukkan bahwa campuran masih bersifat kaku karena lapisan aspal yang terbentuk di sekitar agregat belum cukup untuk memberikan kelenturan. Seiring peningkatan kadar aspal, lapisan aspal menjadi lebih tebal, sehingga campuran lebih mudah mengalami deformasi plastis saat menerima beban hal ini tercermin dari kenaikan nilai *flow*. Hal ini juga di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang. Dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, rentang nilai *flow* yang diperbolehkan untuk campuran *AC-BC* adalah antara 2 - 4 mm. Dari grafik pada Gambar 5.11, terlihat bahwa seluruh variasi campuran baik tanpa substitusi maupun dengan substitusi Pasir Silika Merah memiliki nilai *flow* berada dalam kisaran 2,0 mm hingga 3,5 mm, sehingga seluruh campuran memenuhi ketentuan spesifikasi tersebut.

3. *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) didefinisikan sebagai hasil perbandingan antara stabilitas dan nilai *flow* yang digunakan untuk menggambarkan kekakuan atau ketahanan campuran terhadap deformasi plastis. Hasil nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.8.

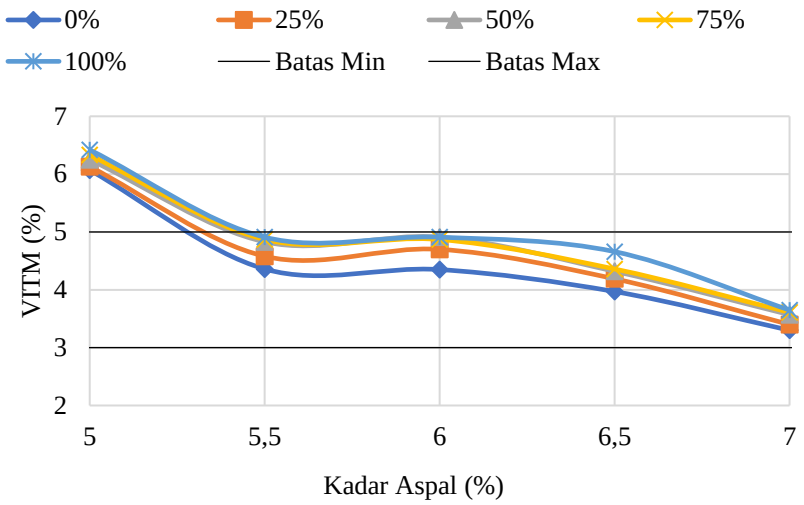


Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan *MQ*

Nilai *MQ* pada campuran *AC-BC* dengan substitusi agregat halus Pasir Silika Merah menunjukkan grafik yang meningkat, kemudian mengalami penurunan pada kadar aspal yang lebih tinggi yaitu 7%. Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang.Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *Marshall Quotient (MQ*) minimum untuk lapisan *AC-BC* adalah 250 kg/mm. Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12, seluruh variasi substitusi Pasir Silika Merah menunjukkan nilai *MQ* berada di atas batas minimum tersebut, berkisar antara 280–420 kg/mm, sehingga dapat dikatakan bahwa seluruh campuran memenuhi persyaratan standar Bina Marga.

4. *Void in Total Mix (VITM)*

VITM merupakan parameter yang menunjukkan besarnya persentase volume rongga udara dalam campuran aspal padat, yang terbentuk akibat susunan antar-agregat dan kadar aspal di dalam campuran. Hasil nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.9.



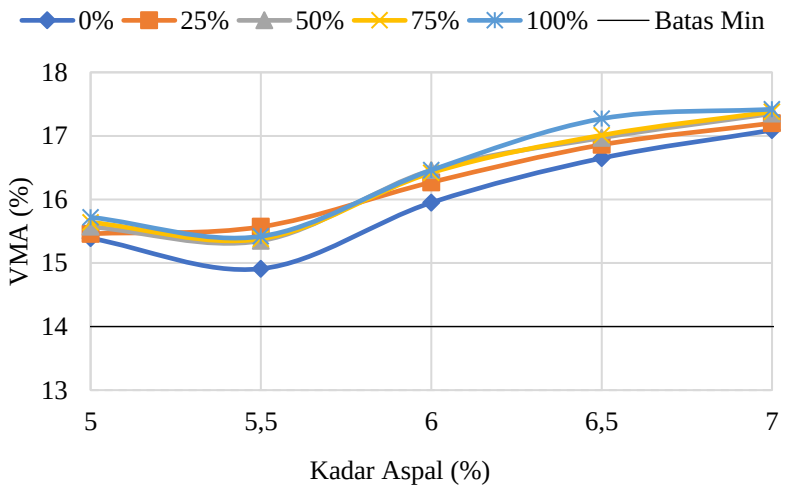
Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VITM

Nilai *VITM* campuran *AC-BC* dengan berbagai variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah menunjukkan nilai penurunan seiring dengan meningkatnya kadar aspal. Pada kadar aspal 5%, nilai *VITM* relatif tinggi karena jumlah aspal belum cukup untuk mengisi seluruh rongga antar agregat, sehingga volume udara dalam campuran masih besar. Ketika kadar aspal meningkat, aspal mulai mengisi rongga antar-butir agregat secara lebih merata, menyebabkan volume rongga udara berkurang dan nilai *VITM* menurun. Penurunan ini terjadi hingga kadar aspal optimum (kadar aspal 6%-6,5%), dimana campuran mencapai kepadatan maksimum. Setelah kadar aspal optimum, nilai *VITM* cenderung stabil atau sedikit menurun, yang disebabkan karena kelebihan aspal telah mengisi sebagian besar rongga udara, tetapi tidak lagi meningkatkan kepadatan campuran secara signifikan. Hal ini juga di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan

mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang. Mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *VITM* yang disyaratkan untuk lapisan *AC-BC* berada pada rentang 3%–5%. Dari grafik pada Gambar 5.13, terlihat bahwa variasi substitusi Pasir Silika Merah memiliki nilai *VITM* yang berada dalam batas spesifikasi tersebut, terutama pada kadar aspal antara 5,5% hingga 6,5%.

5. *Void Mineral Agregate (VMA)*

Nilai *VMA* menunjukkan persentase volume rongga yang terdapat di antara butiran agregat dalam suatu campuran beraspal, termasuk ruang yang terisi oleh aspal maupun udara. Hasil nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.10.



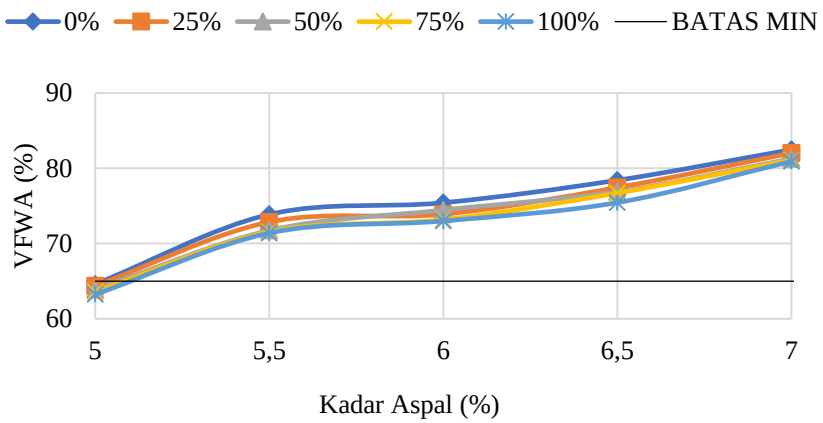
Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VMA

Nilai *VMA* pada campuran *AC-BC* dengan substitusi agregat halus Pasir Silika Merah mengalami kecenderungan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Pada kadar aspal rendah 5%, nilai *VMA* relatif kecil, kemudian meningkat secara bertahap hingga diantara 6,0–6,5%, dan terus meningkat pada kadar aspal yang lebih tinggi yaitu 7%. Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang.

Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *VMA* minimum untuk campuran *AC-BC* adalah 14%. Hasil pengujian yang ditunjukkan pada Gambar 5.14 memperlihatkan bahwa seluruh variasi substitusi Pasir Silika Merah menghasilkan nilai *VMA* di atas 14%, yaitu berkisar antara 15,5% hingga 17,5%, sehingga seluruh campuran memenuhi persyaratan standar Bina Marga 2018.

6. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

VFWA merupakan parameter yang menggambarkan seberapa besar bagian dari volume rongga antar agregat yang diisi oleh aspal**,** sehingga memperlihatkan tingkat kepadatan dan efisiensi pengisian aspal pada campuran beraspal panas**.** Hasil nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.11.



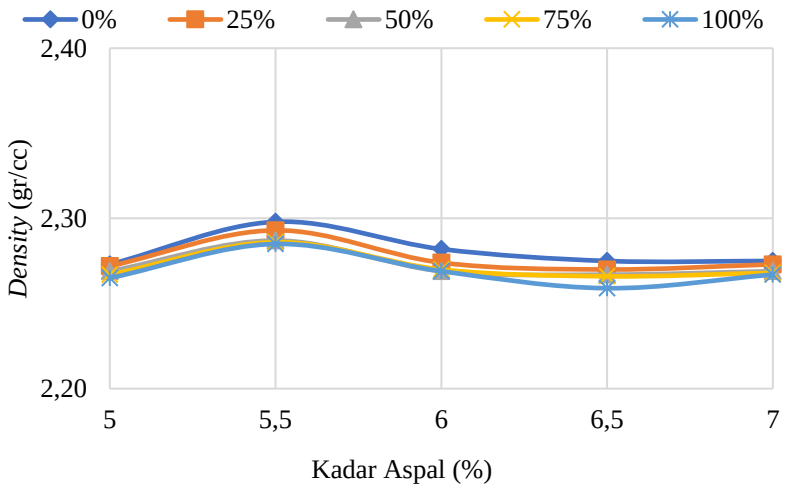
Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai VFWA

Nilai *VFWA* pada campuran *AC-BC* dengan substitusi agregat halus Pasir Silika Merah menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya kadar aspal. Pada kadar aspal 5%, nilai *VFWA* masih rendah karena jumlah aspal belum cukup untuk mengisi seluruh rongga antar agregat. Seiring peningkatan kadar aspal hingga sekitar 6,0–6,5%, nilai *VFWA* meningkat, menandakan bahwa rongga antar agregat semakin banyak terisi oleh aspal, sehingga ikatan antar partikel menjadi lebih baik dan campuran semakin padat.

Kenaikan nilai *VFWA* menunjukkan bahwa sebagian besar rongga antar agregat telah terisi aspal. Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *VFWA* untuk campuran *AC-BC* berada pada 65%. Berdasarkan grafik pada Gambar 5.15, variasi substitusi Pasir Silika Merah menunjukkan nilai *VFWA* berada dalam batas atas spesifikasi tersebut, yaitu berkisar antara 65% hingga 85%, tergantung kadar aspal yang digunakan.

7. *Density* (Kepadatan)

Density merupakan parameter yang menunjukkan tingkat kerapatan atau massa jenis campuran beraspal per satuan volume, yang menjadi indikator keberhasilan proses pemadatan. Nilai hasil pengujian *density* ditampilkan pada Gambar 5.12.



Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Density*

nilai *density* pada campuran *AC-BC* dengan substitusi agregat halus Pasir Silika Merah menunjukkan peningkatan hingga mencapai kadar aspal 5,5% kemudian mengalami penurunan hingga kadar aspal 7%. Nilai *density* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki susunan agregat yang rapat dan daya ikat yang baik, yang berpengaruh terhadap stabilitas dan ketahanan terhadap deformasi. Hal ini juga di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika

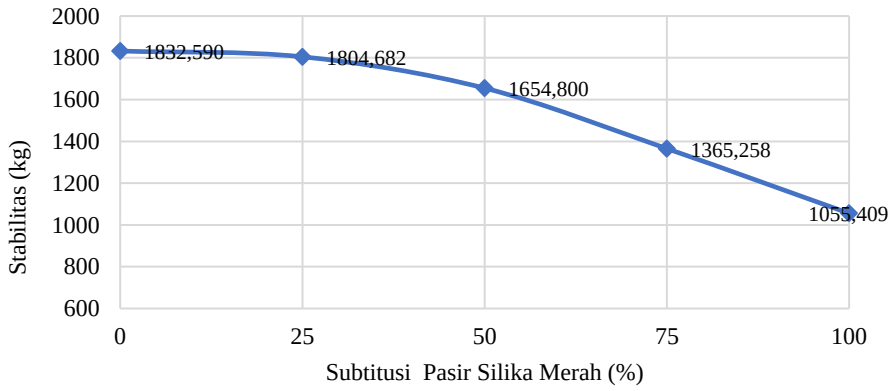
Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang. Berdasarkan hasil pada Gambar 5.12, seluruh campuran dengan substitusi Pasir Silika Merah menunjukkan nilai *density* yang relatif stabil, berada diantara 2,25–2,32 gr/cc, yang masih sesuai dengan rentang kepadatan normal untuk campuran *AC-BC* menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

5.2.6 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap Parameter *Marshall*

Hasil pengujian *Marshall* pada campuran *AC-BC* dengan Pasir Silika Merah sebagai material substitusi menunjukkan bahwa berat jenis Pasir Silika Merah lebih rendah dibandingkan dengan berat jenis agregat halus Clereng. Perbedaan ini memberikan pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik campuran aspal yang dihasilkan. Penelitian mengenai pengaruh substitusi Pasir Silika Merah sebagai agregat halus pada Kadar Aspal Optimum (KAO) disajikan sebagai berikut.

1. Pengaruh Variasi Substitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai Stabilitas

   Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai Stabilitas Pasir Silika Merah yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran AC-BC, yang ditunjukkan pada Gambar 5.13.

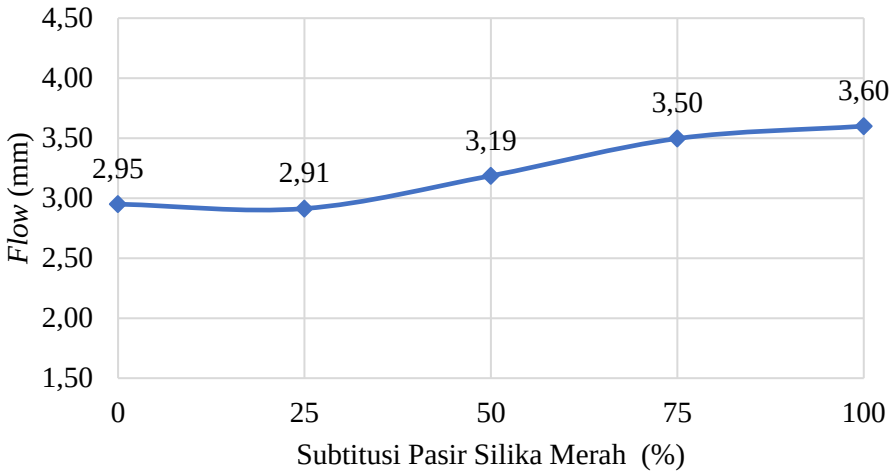


Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.13, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas campuran *AC-BC* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya persentase substitusi agregat halus Pasir Silika Merah. Pada saat tanpa substitusi 0%, campuran menunjukkan nilai stabilitas tertinggi. Penurunan nilai stabilitas 0% hingga 100% adalah 777,180 kg. Penurunan nilai stabilitas ini menunjukkan bahwa Pasir Silika Merah memiliki pengaruh terhadap kemampuan campuran aspal dalam menahan beban. Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang, sehingga menghasilkan ikatan antar partikel yang kurang padat dalam campuran. Kondisi ini mengakibatkan daya tahan campuran terhadap deformasi plastis berkurang ketika beban lalu lintas diterapkan. Selain itu, tekstur permukaan Pasir Silika Merah yang lebih halus dibandingkan agregat alami juga dapat menyebabkan pengikatan aspal dengan agregat menjadi kurang optimal. Akibatnya, stabilitas campuran menurun seiring bertambahnya kadar substitusi. Hal ini sejalan dengan penelitian Nofrianto dan Astika (2023) yang menunjukkan bahwa penggunaan pasir silika sebagai agregat halus pengganti pada campuran *AC-WC* menyebabkan penurunan nilai stabilitas *Marshall* seiring meningkatnya kadar substitusi. Berdasarkan hasil penelitian tersebut, penurunan stabilitas terjadi karena ikatan antar partikel agregat dan aspal menjadi kurang kuat, sehingga kemampuan campuran dalam menahan beban berkurang pada kadar substitusi yang tinggi. Dari hasil penelitian yang sudah dilakukan meskipun stabilitas menurun tetapi hasilnya hingga variasi 100% nilai stabilitas masih memenuhi ketentuan Bina Marga 2018 Revisi 2.

2. Pengaruh Variasi Substitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *flow*

   Berdasarkan hasil hubungan antara substitusi agregat halus dengan nilai *flow* pada campuran AC-BC dapat dilihat pada Gambar 5.14.



Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah pada Campuran AC-BC Terhadap Nilai *flow*

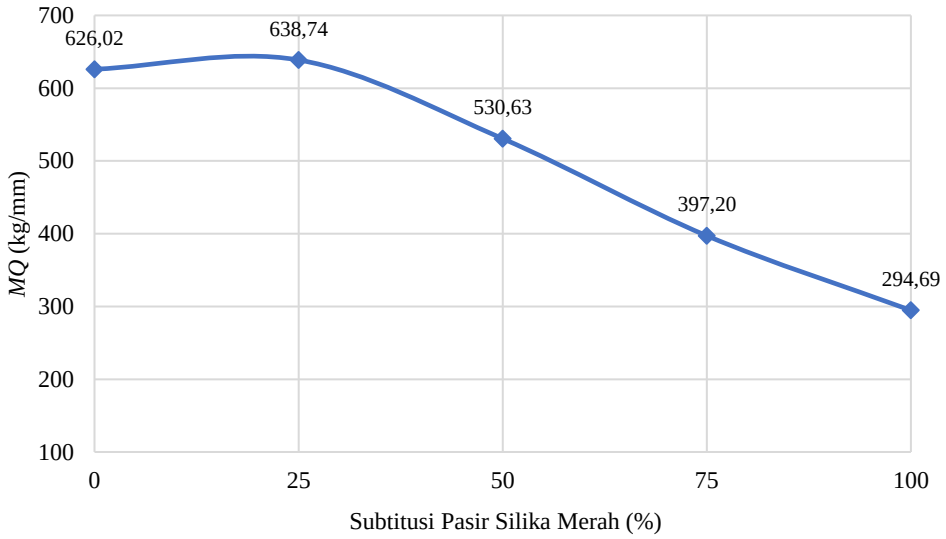
Berdasarkan Gambar 5.14, terlihat bahwa nilai *flow* pada campuran AC-BC dengan variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase substitusi. Pada kadar substitusi 0%, nilai *flow* sebesar 2,95 mm, kemudian menurun menjadi 2,91 mm pada 25%. Namun, ketika persentase substitusi meningkat menjadi 50%, 75%, dan 100%, nilai *flow* justru menunjukkan meningkat berturut-turut sebesar 3,19 mm, 3,50 mm, dan 3,60 mm. Perubahan kenaikan pada nilai *flow* dari 0% hingga 100% adalah 0,65. Kenaikan nilai *flow* ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih plastis atau mengalami deformasi yang lebih besar di bawah beban, yang berarti daya tahan terhadap deformasi (kekakuan campuran) menurun. Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang, serta tekstur butiran yang lebih halus, sehingga ikatan antara agregat dan aspal berkurang dan menyebabkan campuran lebih mudah berubah bentuk saat menerima beban lalu lintas.

Temuan ini sejalan dengan hasil Darmawan dkk (2023) pada penelitian pemanfaatan pasir silika Bangka sebagai pengganti agregat halus dalam lapis

perkerasan aspal *AC-BC*, dimana peningkatan kadar substitusi pasir silika menyebabkan perubahan karakteristik campuran, termasuk kenaikan nilai *flow*.

3. Pengaruh Variasi Substitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *MQ*

   Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *MQ* Pasir Silika Merah yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.15.



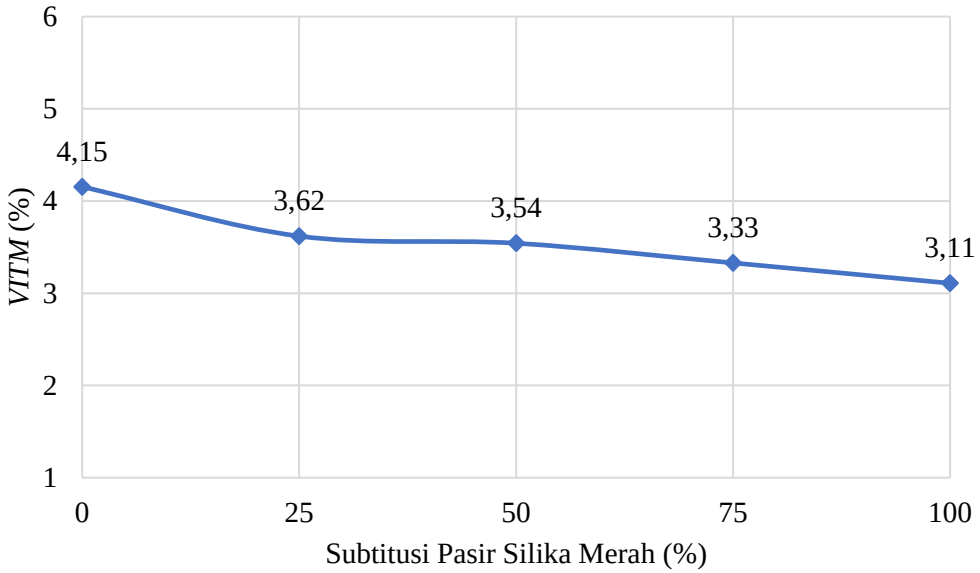
Gambar 5. 15 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai MQ

Dari Gambar 5.15, nilai *MQ* tampak stabil, sedikit naik pada substitusi 25% lalu turun ketika substitusi ditingkatkan menjadi 50%, 75%, dan 100% Hal ini menunjukkan bahwa pada kadar rendah, perubahan substitusi belum mengurangi rasio stabilitas/f*low*, namun setelah melewati variasi 25%, campuran menjadi lebih mudah terdeformasi (*flow* meningkat) sementara stabilitas menurun, sehingga nilai *MQ* turun. Penurunan nilai MQ dari 0% hingga 100% adalah 331,320kg/mm. Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga

menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang serta karakter Pasir Silika Merah yang cenderung bertekstur lebih halus, sehingga ikatan aspal agregat kurang efektif dan kekakuan campuran berkurang pada substitusi tinggi, meskipun variasi substitusi masih bisa memenuhi spesifikasi. Temuan ini sejalan dengan penurunan nilai *MQ* mengindikasikan bahwa campuran aspal menjadi lebih lentur namun kehilangan kekakuannya, sehingga berpotensi mengalami deformasi permanen seperti rutting atau jejak roda pada permukaan perkerasan. Sebaliknya, nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kekakuan yang lebih besar, namun kondisi ini dapat menyebabkan campuran lebih mudah retak, sebagaimana dijelaskan oleh Hadi dan Fauziah (2021).

4. Pengaruh Variasi Substitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *Void In The Total Mix (VITM)*

   Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai VITM Pasir Silika Merah yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran AC-BC, yang ditunjukkan pada Gambar 5.16.

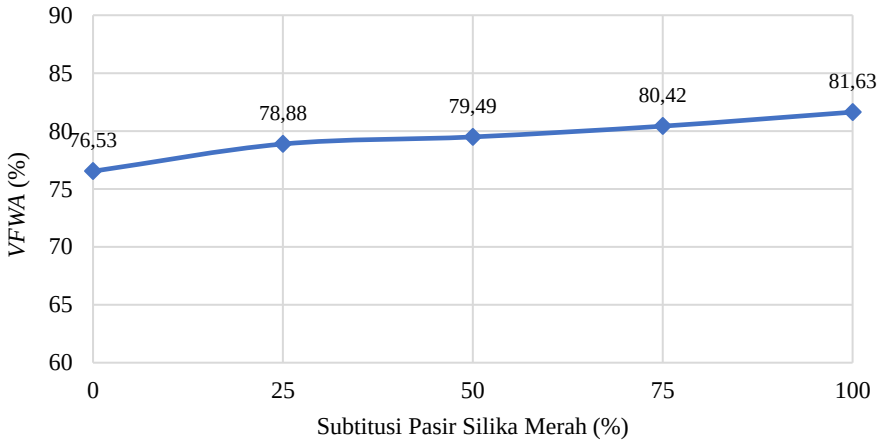


Gambar 5. 16 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai VITM

Dari Gambar 5.16 menunjukkan bahwa dengan meningkatnya variasi substitusi agregat halus oleh Pasir Silika Merah pada campuran *AC-BC* nilai *VITM* mengalami penurunan. Penurunan nilai VITM 0% hingga 100% adalah 1,05%. Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang serta karakter Pasir Silika Merah yang cenderung bertekstur lebih halus, sehingga mengisi celah yang ada. Nilai *VITM* yang mengalami penurunan masih dalam rentan yang sesuai dengan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi 2. Hal ini sama dengan yang dilakukan oleh Mukhlis dkk (2023) dalam penelitiannya nilai *VITM* menurun seiring dengan variasi substitusi pasir silika. Hal ini karena pasir silika membantu untuk mengisi rongga diantara partikel agregat sehingga campuran menjadi lebih rapat dan rongga yang tersisa menjadi berkurang. Rongga yang lebih kecil membuat campuran aspal menjadi lebih padat.

5. Pengaruh Variasi Substitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *Void Filled With Asphalt* (*VFWA)*

   Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *VFWA* Pasir Silika Merah yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.17.

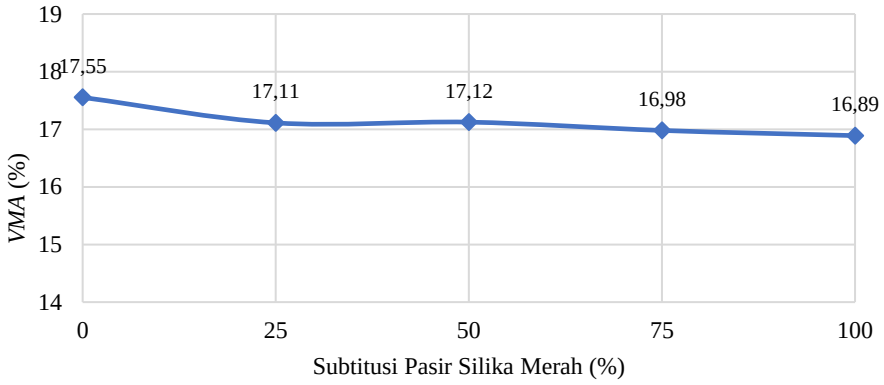


Gambar 5. 17 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai VFWA

Berdasarkan Gambar 5.17 peningkatan substitusi agregat halus menggunakan Pasir Silika Merah pada campuran *AC-BC* menaikkan nilai *VFWA* dari 76,53% pada variasi substitusi 0% menjadi 81,63% pada substitusi 100%. Kenaikan nilai VFWA 0% hingga 100% adalah 5,11%. Grafik ini sesuai dengan nilai *VITM* yang menurun. Pada variasi yang sama semakin kecil nilai VITM semakin besar nilai VFWA yang terisi oleh aspal. Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang serta karakter Pasir Silika Merah yang cenderung bertekstur lebih halus, sehingga mengisi celah yang ada. Ditinjau dari Bina Marga 2018 (Revisi 2), pada campuran *AC-BC* nilai *VITM* memenuhi ketentuan karena ≥ 65% dan dianggap baik. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rafianto dkk (2022) nilai *Void Filled by Bitumen (VFB)* mengalami peningkatan seiring dengan banyaknya proporsi substitusi agregat halus pasir pantai sadranan.

5. Pengaruh Variasi Substitusi Agregat Halus pada Campuran AC-BC Terhadap Nilai *Void Mineral Agregat (VMA)*

   Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *VMA* Pasir Silika Merah yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.18.



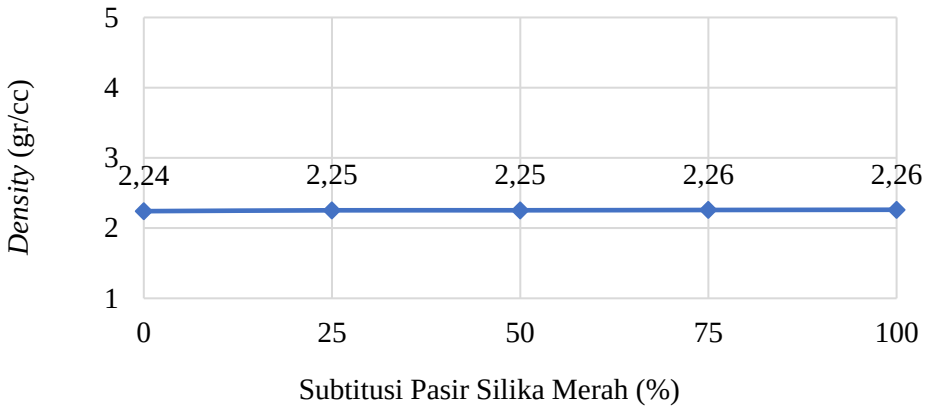
Gambar 5. 18 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai VMA

Dari Gambar 5.18 nilai *VMA* pada campuran *AC-BC* mengalami penurunan. Semua variasi substitusi memenuhi batas minimum Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk campuran *AC-BC* yaitu nilai *VMA* ≥ 15% sehingga secara volumentrik memenuhi syarat. Pada campuran aspal yang tidak terserap olah agregat lebih banyak mengisi rongga, sehingga rongga mineral agregat *(VMA)* berkurang ketika variasi substitusi bertambah. Penurunan nilai VMA 0% hingga 100% adalah 0,66%. Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang serta karakter Pasir Silika Merah yang cenderung bertekstur lebih halus, sehingga mengisi celah yang ada.

Penyerapan air pada Pasir Silika Merah lebih rendah dari pada agregat Clereng, hal ini membuat aspal yang terserap berkurang sehingga aspal mengisi rongga pada saat pemadatan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono (2025) nilai *VMA* mengalami penurunan seiring dengan penambahan jumlah substitusi. Peningkatan kadar substitusi pada pasir laut menurunkan nilai VMA, namun seluruh hasil yang didapatkan berada di atas batas minimum Spesifikasi Umum Bina Marga 2018, sehingga campuran masih layak untuk digunakan sebagai perkerasan.

6. Pengaruh Variasi Substitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC* Terhadap Nilai *Density*

   Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, diperoleh nilai *Density* Pasir Silika Merah yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.19.

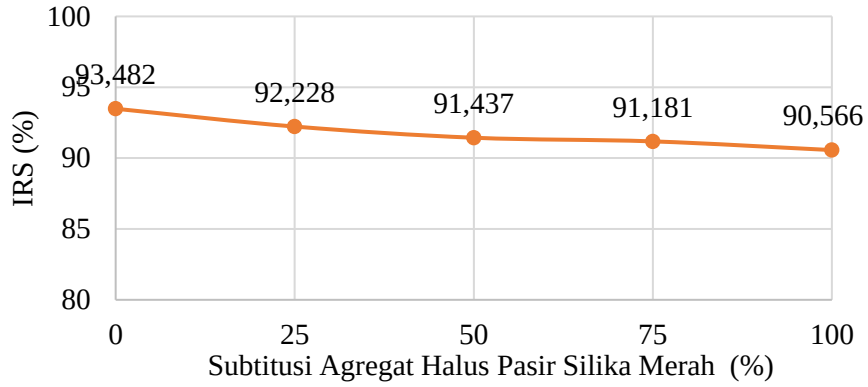


Gambar 5. 19 Grafik Hubungan kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai *Density*

Dari Gambar 5.19 nilai *Density* pada campuran *AC-BC* mengalami peningkatan nilai *Density* seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi pasir silika. Peningkatan nilai *Density* menunjukkan bahwa campuran tetap padat. Substitusi agregat halus Clereng dengan menggunakan Pasir Silika Merah sedikit mempengaruhi nilai densitas, Hal ini di pengaruhi oleh karakteristik Pasir Silika Merah yang mempunyai pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan tidak bersudut sehingga menyebabkan daya lekat terhadap aspal berkurang serta karakter Pasir Silika Merah yang cenderung bertekstur lebih halus, sehingga mengisi celah yang ada. Mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 nilai *Density* berada di atas nilai minimum. Karena densitas yang stabil maka substitusi agregat halus dengan menggunakan Pasir Silika Merah tidak merusak struktur padatan campuran dari sisi densitas campuran tetap memadai. Hal ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Mukhlis dkk (2024) bahwa semakin tinggi persentase pasir silika yang ditambahkan sebagai agregat halus pada campuran, maka semakin tinggi pula nilai densitas campuran tersebut. Hal ini disebabkan karena pasir silika memiliki berat jenis yang tinggi, sehingga menghasilkan volume yang lebih kecil, rongga (*void*) yang sedikit, dan porositas yang rendah, yang pada akhirnya meningkatkan nilai densitas campuran.

5.2.7 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Siika Merah Terhadap Nilai *Index of Retained Strength* (*IRS)*

Pengujian *IRS* bertujuan untuk mengetahui kekuatan sisa campuran *AC-BC* serta menilai tingkat kerusakan campuran akibat pengaruh suhu tinggi setelah melalui proses perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C, dibandingkan dengan kondisi perendaman standar selama 0,5 jam pada suhu yang sama. Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh nilai *IRS* Pasir Silika Merah yang digunakan sebagai substitusi agregat halus dalam campuran *AC-BC*, yang ditunjukkan pada Gambar 5.20.



Gambar 5. 20 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai IRS

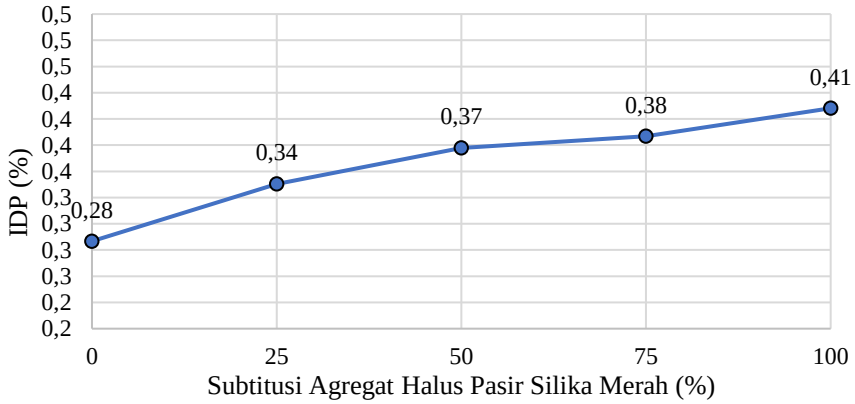
Berdasarkan Gambar 5.20 nilai *IRS* pada campuran *AC-BC* dengan variasi substitusi agregat halus 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% menunjukkan bahwa nilai IRS mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah substitusi agregat halus. Nilai *IRS* yang diperoleh berkisar antara 93,48% hingga 90,57%, dimana seluruh nilai tersebut masih berada di atas batas minimum spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu ≥ 90%, sehingga campuran tetap memenuhi standar ketahanan terhadap kerusakan akibat air. Penurunan nilai IRS dari 0% hingga 100% adalah sekitar 3%.

Penurunan nilai *IRS* ini disebabkan oleh sifat fisik Pasir Silika Merah yang memiliki daya serap air lebih rendah (1,01%) dibandingkan Pasir Clereng (2,48%). Daya serap yang rendah menyebabkan ikatan antara agregat dan aspal menjadi sedikit lebih lemah ketika terkena pengaruh air, karena lapisan aspal tidak terserap ke pori-pori agregat secara optimal. Namun, karena perbedaan berat jenis Pasir

Silika Merah (2,50) dan Pasir Clereng (2,52) sangat kecil, perubahan campuran tidak signifikan, sehingga penurunan *IRS* relatif kecil dan masih dalam batas aman. Penambahan Pasir Silika Merah hingga 100% sebagai pengganti agregat halus tidak menurunkan kemampuan campuran dalam menahan kerusakan akibat air secara signifikan. Campuran aspal tetap memiliki daya lekat dan stabilitas yang baik, dengan penurunan *IRS* yang sangat kecil (sekitar 3%), menunjukkan bahwa Pasir Silika Merah dapat digunakan sebagai alternatif agregat halus dalam campuran *AC-BC* tanpa mengurangi ketahanan terhadap kelembapan. Hal ini sejalan dengan Sunarto dan Susilowati (2025) bahwa campuran Laston dengan penambahan pasir Gunung Humbang Hasundutan hingga kadar 6% masih memiliki nilai IRS di atas 90%**,** yang berarti campuran tersebut tahan terhadap pengaruh air, suhu, dan udara bebas. penambahan pasir Humbang Hasundutan maksimal 6% masih aman digunakan, karena campuran menunjukkan ketahanan baik terhadap kerusakan akibat air**.**

5.2.8 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) yaitu nilai sensitivitas kehilangan kekuatan atau penurunan stabilitas campuran terhadap perendaman. Grafik hasil nilai IDP akibat pengaruh substitusi Pasir Silika Merah sebagai agregat halus pengganti dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.

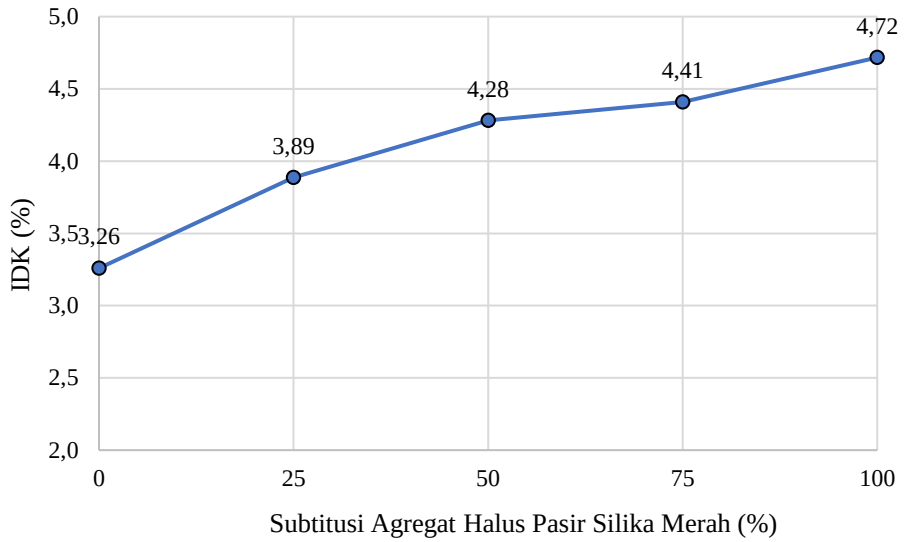


Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai Indeks Durabilitas Pertama

Dari Gambar 5.21 nilai IDP mengalami peningkatan seiring dengan peningkatan jumlah variasi substitusi. Nilai IDP meningkat dari 0,28% pada 0% substitusi menjadi 0,41% pada 100% substitusi, menandakan adanya penurunan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat beban dan lingkungan**.** Peningkatan nilai IDP dari 0% hingga 100% adalah 0,13%. Hal ini sejalan dengan yang dilakukan Sandy (2020) Nilai IDP menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar substitusi pasir pantai, namun kondisi ini justru mengindikasikan bahwa kekuatan campuran menurun. Hal tersebut terjadi karena butiran pasir pantai bertekstur lebih halus dibandingkan agregat halus dari Clereng, sehingga ikatan antara agregat dan aspal menjadi lebih lemah dan berpengaruh terhadap penurunan kekuatan campuran.

5.2.9 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

IDK merupakan ukuran yang menunjukkan rata-rata penurunan kekuatan campuran akibat proses perendaman dalam jangka waktu tertentu. Grafik hasil nilai IDK akibat pengaruh substitusi Pasir Silika Merah sebagai agregat halus pengganti dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.

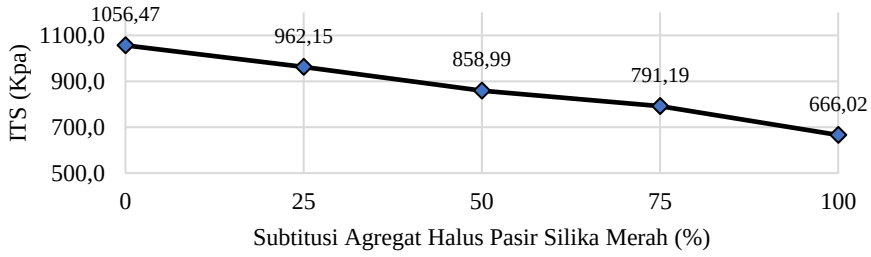


Gambar 5. 22 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai Indeks Durabilitas Kedua

Berdasarkan Gambar 5.22, terlihat bahwa nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) pada campuran *AC-BC* mengalami peningkatan bertahap seiring bertambahnya persentase substitusi agregat halus Pasir Silika Merah dari 0% hingga 100%. Nilai IDK meningkat dari 3,53% pada substitusi 0% menjadi 4,72% pada substitusi 100%. Peningkatan nilai IDK 0% hingga 100% adalah 1,46%. Kenaikan ini menunjukkan bahwa campuran mengalami penurunan kekuatan rata-rata yang sedikit lebih besar setelah perendaman. Hal ini sejalan dengan yang dilakukan Sandy (2020) Nilai IDK menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar substitusi pasir pantai, namun kondisi ini justru mengindikasikan bahwa kekuatan campuran aspal menurun. Hal tersebut terjadi karena butiran pasir pantai bertekstur lebih halus dibandingkan agregat halus dari Clereng, sehingga ikatan antara agregat dan aspal menjadi lebih lemah dan berpengaruh terhadap penurunan kekuatan campuran.

5.2.10 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap *Nilai Inderect Tensile Strength* (ITS)

Tujuan dari pengujian *ITS* adalah untuk menilai kekuatan tarik tidak langsung pada campuran aspal, yang memberikan gambaran mengenai kemampuan campuran dalam menahan kerusakan akibat gaya tarik, baik pada kondisi normal maupun pada kondisi ekstrem seperti perubahan suhu atau beban lalu lintas berat. Hasil pengujian *ITS* terhadap substitusi agregat halus Pasir Silika Merah sebagai agregat halus dapat dilihat pada Gambar 5.23.

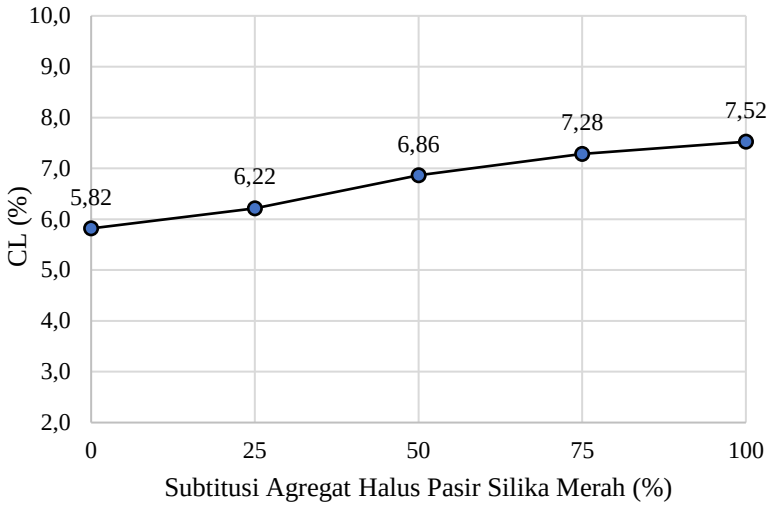


Gambar 5. 23 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai ITS

Berdasarkan Gambar 5.23, nilai *ITS* menurun seiring meningkatnya substitusi Pasir Silika Merah sebagai agregat halus. Pada substitusi 25%, 50%, 75%, hingga 100%, terjadi penurunan bertahap dari 1056,47 kpa menjadi 666,02 kPa pada perendaman 0,5 jam, serta dari 919,40 kpa menjadi 532,65 kpa pada perendaman 24 jam. Penurunan nilai ITS 0% hingga 100% adalah 391,45 kpa. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar pasir silika, semakin berkurang kekuatan tarik campuran. Hal tersebut disebabkan oleh butiran Pasir Silika Merah yang lebih halus dan daya serapnya yang rendah, sehingga ikatan antara aspal dan agregat melemah serta ruang antar partikel meningkat. Akibatnya, campuran menjadi lebih mudah mengalami retak dan memiliki ketahanan mekanis yang lebih rendah terhadap gaya tarik, meskipun secara keseluruhan masih memenuhi batas minimum spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Pada rendaman 24 Jam substitusi agregat halus Pasir Silika Merah 75% dan 100% tidak memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Sunarto dan Susilowati (2025) Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar persentase penggantian agregat halus abu batu dengan pasir Gunung Humbang Hasundutan, maka nilai *ITS* cenderung menurun. Penurunan ini terjadi karena pasir Humbang Hasundutan memiliki daya serap air, sehingga lebih banyak aspal terserap oleh agregat dan aspal efektif untuk merekatkan butiran agregat berkurang. Akibatnya, ikatan antar agregat melemah dan kekuatan tarik tidak langsung campuran menurun.

5.2.11 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap Nilai *Cantabro Loss* (CL)

Pengujian *CL* bertujuan untuk menilai ketahanan campuran aspal terhadap disintegrasi atau kerusakan butiran, yang dilakukan menggunakan mesin *Los Angeles*. Dalam pengujian ini, benda uji dimasukkan ke dalam mesin dan diputar sebanyak 300 kali tanpa bola baja. Hasil pengujian ini menunjukkan sejauh mana lapisan perkerasan aspal mampu menahan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan. Nilai hasil uji *CL* pada campuran *AC-BC* dengan substitusi Pasir Silika Merah sebagai agregat halus pengganti ditampilkan pada Gambar 5.24.

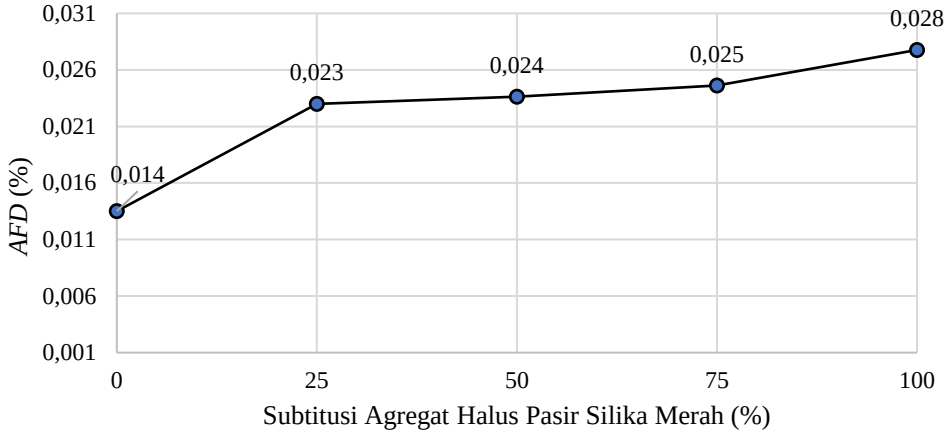


Gambar 5. 24 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai CL

Berdasarkan Gambar 5.24, terlihat bahwa nilai *CL* pada campuran *AC-BC* dengan variasi substitusi Pasir Silika Merah menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya kadar substitusi dari 0% hingga 100%, nilai *CL* meningkat dari 5,82% menjadi 7,52. peningkatan nilai CL 0% hingga 100% adalah 1,7%. Peningkatan nilai *CL* ini menandakan bahwa campuran dengan kadar Pasir Silika Merah yang lebih tinggi lebih mudah kehilangan butiran agregat akibat gesekan, terutama setelah mengalami perendaman, yang menunjukkan penurunan ketahanan terhadap disintegrasi. Hal ini berbanding terbalik dengan yang dilakukan oleh Aisy (2024) dalam penggunaan serbuk cangkang telur sebagai filler yang mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar substitusi.

5.2.12 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap *Asphalt Fall Down (AFD)*

Nilai hasil uji *AFD* pada campuran *AC-BC* dengan substitusi Pasir Silika Merah sebagai agregat halus pengganti ditampilkan pada Gambar 5.25.



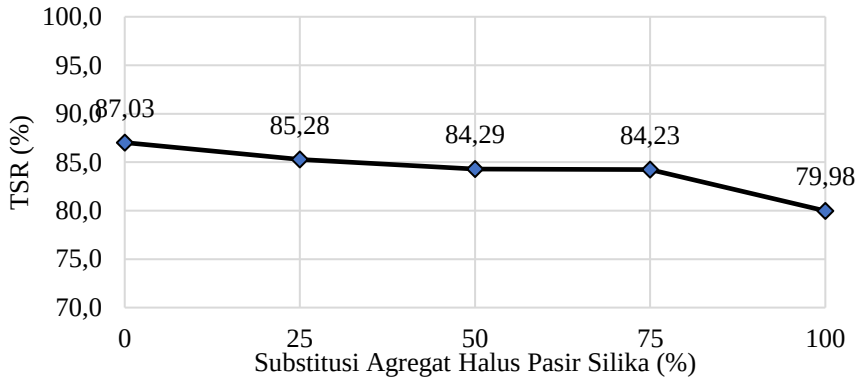
Gambar 5. 25 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai AFD

Berdasarkan Gambar 5.25, nilai *AFD* pada campuran AC-BC dengan substitusi Pasir Silika Merah sebagai agregat halus menunjukkan peningkatan bertahap seiring bertambahnya persentase substitusi dari 0% hingga 100%. Nilai *AFD* naik dari 0,014% pada 0% substitusi menjadi 0,028% pada 100% substitusi, yang berarti terjadi peningkatan kehilangan aspal pada campuran dengan kadar Pasir Silika Merah yang lebih tinggi.

Peningkatan ini disebabkan oleh sifat fisik Pasir Silika Merah yang memiliki permukaan lebih halus dan licin. Daya serap yang rendah menyebabkan aspal tidak banyak terserap ke dalam pori-pori agregat, sehingga sebagian aspal cenderung terlepas dari permukaan agregat saat proses pemadatan atau perendaman. Hal ini menyebabkan nilai *AFD* meningkat, menandakan bahwa campuran dengan kadar silika lebih tinggi lebih mudah kehilangan aspal permukaan.

5.2.13 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap *Tensile Strength Ratio* (*TSR)*

Pengujian *TSR* dilakukan untuk mengevaluasi kekuatan tarik campuran beraspal akibat pengaruh beban lalu lintas serta untuk menilai tingkat kerusakan yang terjadi pada campuran akibat perubahan suhu ekstrem. Prosedur pengujian dilakukan dengan perendaman benda uji selama 24 jam pada suhu 60°C. Nilai *TSR* mencerminkan kemampuan campuran aspal dalam menahan retak atau kerusakan yang disebabkan oleh tegangan tarik. Adapun hasil pengujian *TSR* pada berbagai variasi substitusi Pasir Silika Merah dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



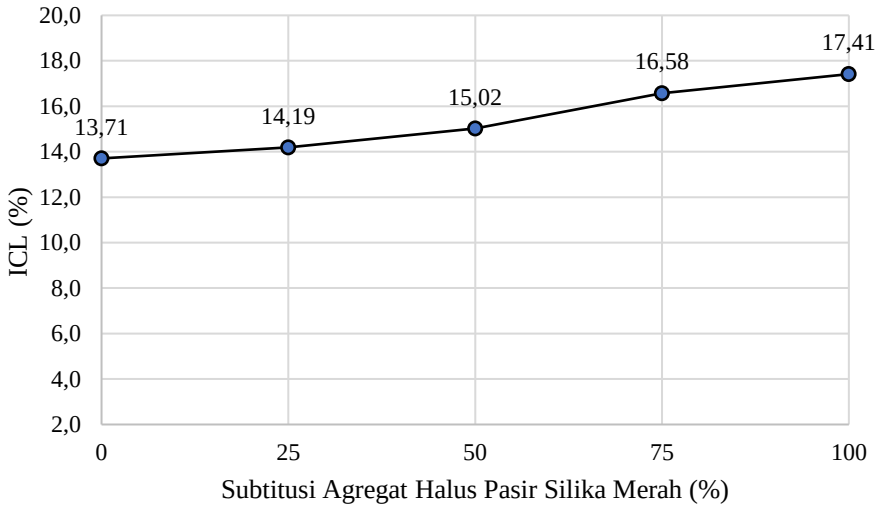
Gambar 5. 26 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah terhadap Nilai TSR

Berdasarkan Gambar 5.26, hasil pengujian *TSR* pada campuran *AC-BC* dengan variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah menunjukkan adanya penurunan nilai seiring dengan meningkatnya persentase substitusi pasir silika. Penurunan nilai TSR 0% hingga 100% adalah 7,05%. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin besar penggunaan Pasir Silika Merah sebagai pengganti agregat halus, maka kemampuan campuran untuk menahan kerusakan akibat tegangan tarik dan pengaruh air semakin menurun. Hal tersebut disebabkan oleh tekstur Pasir Silika Merah yang lebih halus dan permukaannya yang licin, sehingga daya lekat antara aspal dan agregat menjadi kurang optimal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa substitusi Pasir Silika Merah berpengaruh terhadap penurunan nilai TSR, namun campuran aspal masih memenuhi standar daya tahan terhadap kerusakan akibat air sesuai ketentuan yang berlaku. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Laudy (2025) bahwa nilai *TSR* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya substitusi pasir pantai marinsow. Meskipun terdapat persamaan pada peningkatan nilai TSR tetapi ada perbedaan yang terletak pada jenis pasir yang digunakan dan juga hasil dari berat jenis pada substitusi yang digunakan.

5.2.14 Pengaruh Kadar Substitusi Pasir Silika Merah Terhadap *Index of Cantabro Loss (ICL)*

Pengujian *ICL* bertujuan untuk menilai ketahanan campuran aspal terhadap disintegrasi atau kerusakan butiran, yang dilakukan menggunakan mesin *Los*

Angeles dengan dilakukan selama 24 Jam pada *waterbath* dan 24 Jam pada suhu ruang. Dalam pengujian ini, benda uji dimasukkan ke dalam mesin dan diputar sebanyak 300 kali tanpa bola baja. Hasil pengujian ini menunjukkan sejauh mana lapisan perkerasan aspal mampu menahan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan. Nilai hasil uji *Cantabro* pada campuran *AC-BC* dengan substitusi Pasir Silika Merah sebagai agregat halus pengganti ditampilkan pada Gambar 5.27.



Gambar 5. 27 Grafik Hubungan Kadar Substitusi Pasir Silika Merah dengan Nilai ICL

Berdasarkan Gambar 5.27, terlihat bahwa nilai *ICL* pada campuran *AC-BC* dengan variasi substitusi Pasir Silika Merah menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya kadar substitusi dari 0% hingga 100%, nilai *ICL* meningkat dari 13,71% menjadi 17,41%. Peningkatan nilai CL 0% hingga 100% adalah 3,7%. Peningkatan nilai *ICL* ini menandakan bahwa campuran dengan kadar Pasir Silika Merah yang lebih tinggi lebih mudah kehilangan butiran agregat akibat gesekan, terutama setelah mengalami perendaman, yang menunjukkan penurunan ketahanan terhadap disintegrasi. Hal ini sejalan dengan yang dilakukanoleh Kholid (2025) dalam penelitiannya menggunakan abu bauksit, dalam metode konvensional nilai ICL mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kadar substitusi yang digunakan.

5.3 Hasil Peninjauan Pasir Silika Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Campuran *AC-BC*

Hasil penelitian yang sudah dilakukan secara menyeluruh dapat di simpulkan berdasarkan berbagai data yang diperoleh. Agregat halus berupa Pasir Silika Merah memiliki berat jenis dan daya serap air yang lebih rendah dibandingkan agregat halus dari Clereng. Permukaan Pasir Silika Merah yang lebih halus menyebabkan penurunan nilai pada beberapa parameter uji, seperti karakteristik *Marshall*, uji IRS, dan ITS, serta peningkatan nilai *Cantabro Loss* dan *Asphalt Fall Down* seiring bertambahnya persentase substitusi Pasir Silika Merah. Perubahan karakteristik ini terlihat jelas pada hasil pengujian dengan variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah pada campuran *AC-BC* sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Rekapitulasi hasil pengujian substitusi pasir pantai Pasir Panjang pada campuran *AC-BC* disajikan pada Tabel 5.23 berikut.

Tabel 5. 23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Silika Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus pada Campuran AC-BC

Tinjauan	Parameter	Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Tinjauan Segi Kekuatan	Stabilitas (kg)	1832,59	1804,68	1654,80	1365,25	1055,41	Nilai stabilitas pada pengujian *Marshall* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi Pasir Silika Merah, penurunan nilai stabilitas membuat terjadinya deformasi pada campuran.
	Flow (mm)	2,95	2,91	3,19	3,50	3,60	Nilai *flow* pada pengujian *Marshall* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi Pasir Silika Merah, kenaikan pada nilai *flow* membuat campuran menjadi lebih lentur.
	MQ (kg/gr)	626,02	638,74	530,62	397,19	294,69	Nilai *MQ* pada pengujian *Marshall* mengalami penurunan seiring dengan penambahan jumlah variasi substitusi Pasir Silika Merah, penurunan nilai *MQ* membuat campuran menjadi leboh lentur dan mudah mengalami deformasi.
	ITS (kpa)	1056,47	962,15	858,99	791,19	666,02	Nilai *ITS* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi Pasir Silika Merah, penurunan nilai ITS menunjukkan bahwa campuran rentan terhadap adanya keretakan.

Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Silika Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC*

Tinjauan	Parameter	Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Tinjauan Segi Volumentrik	*VITM* (%)	4,15	3,62	3,54	3,32	3,10	Nilai *VITM* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi Pasir Silika Merah, penurunan nilai *VITM* menyebabkan campuran menjadi memiliki rongga udara yang kecil.
	VFWA (%)	76,53	78,89	79,49	80,42	81,63	Nilai *VFWA* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi Pasir Silika Merah, hal tersebut membuat campuran menjadi lebih padat karena Pasir Silika Merah mengisi rongga - rongga campuran.
	VMA (%)	17,56	17,11	17,12	16,98	16,89	Nilai *VMA* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi Pasir Silika Merah, penurunan menunjukkan berkurangan rongga dalam campuran.
	Density (%)	2,24	2,25	2,25	2,25	2,26	Nilai density cenderung mengalami kenaikan yang tidak signifikan hal ini menunjukkan kepadatan campuran yang baik.

Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Silika Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC*

Tinjauan	Parameter	Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah (%)					Keterangan
		0	**25**	**50**	**75**	**100**	
Tinjauan Segi Durabilitas	*IRS (%)*	93,49	92,23	91,44	91,19	90,57	Nilai *IRS* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya variasi substitusi agregat halus, penurunan nilai *IRS* menunjukkan bahwa kurangnya ketahanan campuran dalam udara, suhu, dan air.
	IDP (%)	0,28	0,34	0,37	0,38	0,41	Nilai IDP mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah.
	IDK (%)	3,26	3,89	4,28	4,41	4,72	Nilai IDK mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah.
	CL (%)	5,82	6,22	6,86	7,28	7,52	Nilai *CL* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah. Kenaikan nilai *CL* tanpa rendaman membuat campuran kurang dalam menerima benturan.

Lanjutan Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Pasir Silika Merah Sebagai Substitusi Agregat Halus pada Campuran *AC-BC*

Tinjauan	Parameter	Substitusi Agregat Halus Pasir Silika Merah (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
	ICL (%)	13,71	14,19	15,02	16,58	17,41	Nilai *ICL* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah. Kenaikan nilai *ICL* dengan rendaman membuat campuran kurang dalam menerima benturan.
	TSR (%)	87,03	85,28	84,29	84,23	79,98	Nilai *TSR* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah. Penurunan nilai *TSR* membuat campuran menjadi rentan terhadapan kelembaban dan air.
	AFD (%)	0,014	0,023	0,024	0,025	0,028	Nilai *AFD* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya jumlah variasi substitusi agregat halus Pasir Silika Merah. kenaikan nilai *AFD* peningkatan kehilangan aspal pada campuran.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan hasil analisis data yang telah dilakukan pengaruh substitusi agregat halus Pasir Silika Merah dengan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% pada campuran AC-BC, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. berdasarkan hasil uji *Marshall* dengan variasi substitusi Pasir Silika Merah pada campuran *AC-BC* mengalami perubahan yang signifikan. Nilai stabilitas dan *Marshall Quotient (MQ)* menurun seiring peningkatan kadar substitusi, sedangkan *flow* meningkat. Dari sisi volumentrik Nilai VITM, VMA, dan *Density* mengalami penurunan seiring dengan meningkatnya variasi kadar substitusi Pasir Silika Merah, sedangkan Nilai VFWA mengalami peningkatan seiring dengan meningkatnya kadar substitusi Pasir Silika Merah. Hal ini menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih padat karena butiran Pasir Silika Merah yang halus mampu mengisi rongga antar agregat, meskipun Pasir Silika Merah mempunyai karakteristik pori pori lebih kecil dari pada agregat halus Clereng dan mempunyai permukaan licin dan mempunyai tekstur lebih halus, sehingga mengisi celah yang ada. Meskipun demikian, seluruh parameter tersebut masih memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.
2. Nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* menunujukkan nilai penurunan pada kadar substitusi 0% adalah 1056,47 Kpa menjadi 666,02 Kpa pada kadar substitusi 100%, Penurunan nilai ITS adalah akibat dari pengaruh suhu dan permukaan Pasir Silika Merah yang halus dan licin, yang mengurangi daya lekat antara aspal dan agregat.

3. Hasil uji durabilitas (IRS, IDP, IDK) menunjukkan nilai penuruan pada nilai IRS dari variasi substitusi Pasir Silika Merah 0% adalah 93,48% menjadi 90,57% pada variasi 100%, sedangkan nilai IDP dan IDK mengalami peningkatan dari 0,28% pada variasi 0% hingga 0,41% pada variasi 100%, sedangkan untuk IDK dari 3,26% pada variasi 0% hingga 4,72% pada variasi 100%. Seluruh nilai IRS masih menunjukkan nilai di atas 90%, sehingga campuran tetap memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Nilai *TSR* mengalami penurunan dari 919,40 Kpa pada kadar substitusi 0% menjadi 532,65 Kpa pada kadar substitusi 100%. Penurunan nilai TSR adalah akibat dari pengaruh suhu dan permukaan Pasir Silika Merah yang halus dan licin, yang mengurangi daya lekat antara aspal dan agregat.
4. Pengujian *CL* menunjukkan peningkatan nilai kehilangan berat, dari 5,82% pada variasi substitusi Pasir Silika Merah 0% menjadi 7,52% pada variasi substitusi 100%, yang menandakan penurunan ketahanan campuran terhadap disintegrasi. Pengujian *ICL* menunjukkan peningkatan nilai kehilangaan berat dari 13,71% pada variasi substitusi Pasir Silika Merah 0% menjadi 17,41% pada variasi substitusi 100%, yang menandakan penurunan ketahanan campuran terhadap disintegrasi.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan pada campuran AC-BC dengan substitusi Pasir Silika Merah sebagai penggani agregat halus, maka beberapa saran dapat dikemukakan sebagai berikut.

1. Pengunaan Pasir Silika Merah sebagai alternatif substitusi pengganti agregat halus hanya dapat digunakan hingga substitusi 50%.
2. Masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk Pasir Silika Merah di dalam jenis campuran yang lain.
3. masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji kadungan mineral yang terkadung di Pasir Silika Merah.

DAFTAR PUSTAKA

Afriansyah, Y. dan Sentosa, L. 2015. Kuat Tarik Tidak Langsung *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* Menggunakan Pasir Alam Kampar. *Jom Fteknik*, Vol.2 No.1 1–3. Pekanbaru.

Agustian, K. dan Agusmaniza, R. 2021. Evaluasi Karakteristik Campuran AC-BC Menggunakan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Bahan Substitusi *filler* Terhadap Parameter *Marshall*. *Portal: Jurnal Teknik Sipil*, Vol.13 No.2 86–89. Meulaboh, Aceh Barat.

Ariawan, I.M.A. 2013. Karakteristik Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)* dengan Menggunakan Asbuton dan Limbah Bongkaran Bangunan (Batako) Sebagai Pengganti Agregat Halus dan *filler*. *Tekno Sipil*. Vol.11 No.59 10–12. Bali.

Arifiardi, I., Hadi, W. dan Purnomo, A. 2016. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Carita sebagai Campuran Agregat Halus pada Lapis Permukaan Aspal Beton terhadap Persyaratan Parameter *Marshall*. *Jurnal Menara*, Vol.XI No.1 112–117. Jakarta.

Bahri, S. 2017. Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas. *Jurnal Inersia*, Vol.9 No.2 39–42. Bengkulu.

Budiman, L. dan Sukirman, S. 2018. Studi Penggunaan Batu Kapur Kalipucang sebagai Substitusi Sebagian Agregat Halus Beton Aspal Jenis AC-BC. *Reka Racana: Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, Vol.4 No.1 1–4. Bandung.

Dewi, N. dan Ansyari, A., 2022. Pengaruh Pasir Pantai Sebagai Pengganti Pasir Pada Umumnya terhadap *Asphalt Concrete–Binder Course (AC-BC)*. *Jurnal Rekayasa Konstruksi*, Vol.2, No.1 21–31.

Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020. Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan (Revisi 2). Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.

Fauziah, M. dan Wijayati, F.S. 2016. Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Teknisia*, Vol.XXI No.2 261–265. Yogyakarta.

Gunarto, A. dan Suwarno. 2019. Pemanfaatan Bubuk Silica terhadap Hasil Stabilitas dan *Flow* pada Laston AC-BC. *Jurnal Civilla*. Vol.4 No.2 284–285. Kediri.

Gunawan, R. dan Sari, A.W.F. 2021. Pengaruh Penggunaan Batu Gamping Desa Tabarenah Sebagai Filler Pada Campuran Aspal AC-BC. *Jurnal Statika*. Vol.7 No.2 1–5. Curup.

Hakim, G.N. dan Farida, I. 2021. Ketebalan Perkerasan Lentur Dengan Metode AASHTO 1993 Dan Manual Perkerasan Jalan 2017. *Jurnal Teknik Sipil Cendekia*. Vol.2 No.1 59–68. Garut.

Haryadi, H., 2010. Perkembangan dan Prospek Bahan Galian Nonlogam Indonesia. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, Vol.6, No.1 45–63. Bandung.

Ibrahim, Z., Said, L.B. dan Alifuddin, A. 2021. Analisis Poisson Ratio dan Ketahanan Deformasi Campuran AC-WC Substitusi Pasir Silika. *Jurnal Teknik Sipil Macca*, Vol.6 No.1 36–37. Makassar.

Junaedi, D.R., 2020. Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus untuk Perkerasan Laston *AC-BC*. *Jurnal Student Teknik Sipil*, Vol. 2 No.2 109–113. Sukabumi.

Khairani, C., Saleh, S.M. dan Sugiarto. 2018. Uji *Marshall* pada Campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* dengan Tambahan Parutan Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*. Vol.1 No.3 559–570. Banda Aceh.

Kholid. 2025 Pengaruh Substitusi Filler Abu Bauksit Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* Dengan Metode Pencampuran Bertahap. Tugas Akhir; 101-103. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

Laudy. 2025. Pengaruh Pemanfaatan Material Lokal Menggunakan Pasir Pantai Marinsow sebagai Substitusi Agregat Halus terhadap Karakteristik AC-BC.Tugas Akhir: 1–85. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

Mukhlis, Lusyana, Enita Suardi, Denisa Rahma Sukri, dan Alyza Sazama. 2023. Marshall Characteristics of Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) with Substitution of Silica Sand as Fine Aggregate. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, Vol.12 No.2 250–259. Padang.

Mukhlis, Lusyana, Enita Suardi, Denisa Rahma Sukri, dan Alyza Sazama. 2024. Performance of Percentage Refusal Density (PRD) in Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC) Mixtures with Silica Sand Substitution as Fine Aggregate. *IJIMCE (International Journal of Innovation in Mechanical Construction and Energy)*, Vol.1 No.3 189–196. Padang.

Nirwana, T.A., Asukmajaya, B. dan Suryadi, A. 2025. Analisis Substitusi Pasir Besi Sebagai Agregat Halus pada Kinerja Aspal (AC-BC). *JOS-MRK*, Vol.6 No.1 8–17. Malang.

Nofrianto, H. dan Astika, S.D. 2023. Kajian Pasir Silika Sebagai Agregat Halus Pada Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC–WC)* Berdasarkan Uji *Marshall*. *Jurnal Teknologi dan Vokasi*, Vol.1 No.2 53–66. Padang.

Palimbunga, G.P., Rachman, R. dan Alpius, A., 2020. Penggunaan Agregat Sungai Batu Tiakka' pada Campuran AC-BC. *Paulus Civil Engineering Journal*, Vol.2, No.2 112–118. Makassar.

Pebrian, A.P., Sriwahyuni, W. dan Hidayati, 2022. Penggunaan Pasir di Desa Kutai Donok sebagai Bahan Aggregat Halus pada Hotmix AC–WC. *Jurnal Statika*, Vol.8, No.1 1–12. Bengkulu.

Permana, M.I.H., Tahadjuddin dan Kurniawati, E.K. 2019. Pemanfaatan Pasir Kuarsa dan *Fly Ash* pada Campuran Laston AC-BC. *Jurnal Ilmiah Santika*, Vol.9 No.2 969–970. Sukabumi.

Pratama, A., Nugroho, S., & Hidayat, R. 2020. Analisis silika (SiO_2) hasil kopresipitasi berbasis pasir pantai Bancar, Tuban menggunakan uji XRF dan XRD. *Jurnal Fisika dan Aplikasinya*, 16(1), 23–30.

Pratama, F.Y., Abrar, A. dan Putra, S.A. 2023. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Ketapang Sebagai Agregat Halus dengan Penambahan *filler* Semen pada Campuran Aspal Terhadap Karakteristik *Marshall*. *Jurnal Slump TeS*, Vol.1 No.2 59–68. Dumai.

Prayoga, D., Winarto, S. dan Cahyo, Y., 2020. Penelitian Campuran Lataston AC-WC dengan Menggunakan Agregat Halus Limbah Batubara. *Jurmateks*, Vol.3, No.1 141–142. Kediri.

Rafianto, A., Yuono, T., dan Sumina. 2022. Analisis Pemanfaatan Pasir Pantai Sadranan sebagai Bahan Tambah Campuran (AC-BC) terhadap Sifat *Marshall. Jurnal Teknik Sipil dan Arsitektur*, Vol.27 No.2 36–43. Universitas Tunas Pembangunan, Surakarta.

Rahman, I. Y., Fauziah, M., dan Purwanto, E. 2024. Comparative Study of *Marshall* Properties and Durability of Superpave Pavements Using Pen 60/70 and Starbit Pg-70 Binding Materials with Fly Ash. *Jurnal Teknik*, Vol. 45 No. 3 253–260. Universitas Diponegoro, Semarang

Rahmania, A., Sulaiman, A.R. dan Gani, F.A., 2021. Substitusi *filler* Abu Ampas Tebu pada Laston AC-WC dan Buton Granular *Asphalt* sebagai Agregat Halus. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, Vol.5, No.1 A51–A57. Lhokseumawe.

Rahmi, N., Hermanto, E. dan Lubis, K., 2025. Karakteristik Campuran AC-BC Menggunakan Batu Gunung Sebagai Agregat Kasar dan Abu Vulkanik Sebagai Filler. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Arsitektur (JITAS)*, Vol.4, No.1 40–48. Medan.

Ramadhan dan Fauziah. 2020. Kinerja Campuran SMA dengan Menggunakan Pasir Pantai Indrayanti Sebagai Pengganti Agregat Halus, *Teknisia*: Vol. XXV, No. 1-9 Yogyakarta.

Ramadhan, G.B. dan Suparma, L.B. 2018. Pengaruh Penggunaan Pasir Kuarsa pada Laston AC-WC Sebagai Pengganti Agregat Halus. *Jurnal HPJI*, Vol.4 No.2 91–104. Yogyakarta.

Ramadhan. 2020. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Pasir Panjang sebagai Pengganti Agregat Halus terhadap Karakteristik AC-BC. Tugas Akhir :1-87 Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

Ridha, R., Syarwan dan Supardin. 2020. Pengaruh Substitusi Limbah Kaca Terhadap Pasir pada Campuran Laston AC-BC. *Jurnal Sipil Sains Terapan*, Vol.3 No.2 51–58. Lhokseumawe.

Rihdatul 2024. Pengaruh Penggunaan Serbuk Cangkang Telur Sebagai Substitusi Filler Terhadap Campuran AC-BC. Tugas Akhir: 70-73 Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

Rosyidi, S. 2021. Komparasi Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Dan Pasir Sungai Sebagai Agregat Halus Pada Campuran AC-BC Terhadap *Marshall* Properties, *Workability*, dan Aspek Ekonomis. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*. Universitas Muhammadiyah Jember.

Salsabilla, N.S., Weimintoro, Nurhidayatuloh, M. dan Renggani, G.W. 2022. Pengaruh Hasil Tes *Marshall* pada Aspal dengan Penggunaan Pasir Pantai Alam Indah Tegal sebagai Campuran Agregat Halus pada Campuran AC-BC. *Jurnal Engineering*, Vol.13 No.1 53–54. Tegal.

Senolinggi, R.D., Suparma, L.B. dan Mulyono, A.T., 2023. Karakteristik *Asphalt Concrete-Binder Course* Dengan Pasir Silika Bangka Sebagai Agregat Halus. *Jurnal HPJI*, Vol. 9 No.2 105–114. Yogyakarta.

Sujatmiko, B., Zuraidah, S., Nugroho, W.A. dan Atmajaya, E.R.P., 2018. Penggunaan Pasir Silika sebagai Substitusi Agregat Halus untuk Meningkatkan Performance Bata Ringan. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura*, Vol.3, No.2 5–6. Surabaya.

Sukamto. H. 2020. Penggunaan pasir Sungai Progo sebagai Pengganti Agregat Halus Dalam Beton Aspal Campuran AC-WC. *Prosiding Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat*, Yogyakarta, 18 November. 246–247.

Sumiati dan Sukarman. 2014. Pengaruh Gradasi Agregat Terhadap Nilai Karakteristik Aspal Beton (AC-BC). *PILAR Jurnal Teknik Sipil*. Vol.10 No.1 85–86. Palembang.

Sunarto, dan Susilowati. 2025. Pemanfaatan Pasir Gunung Humbang Hasundutan sebagai Agregat Halus pada Campuran Hotmix AC-BC. *Jurnal Media Konstruksi*, Vol.10 No.2 242–254. Universitas Kahuripan Kediri.

Syarwan, Mulizar, Fahmi, M., Anwar, C., Majuar, E., dan Puja, S. 2025. Kinerja Campuran Beton Aspal AC-BC dengan Penggunaan Pasir Laut sebagai

Agregat Halus. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, Vol.8 No.1 225–230. Lhokseumawe.

Tajudin, A.N. dan Suparma, L.B. 2017. Pengaruh Rendaman pada *Indirect Tensile Strength* Campuran AC-BC dengan Limbah Plastik sebagai Agregat Pengganti. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, Vol.23 No.2 166–173. Jakarta

Umurrudin, A., Khatulistiani, U. dan Soerjandani, S., 2018. Pasir Kuarsa Tuban sebagai Bahan Substitusi Semen dan Batu Pecah Substitusi Pasir untuk Campuran Paving. *Jurnal Aksial*, Vol.6, No.1 47–52. Surabaya.

Virani, I.S. dan Hidayati. 2023. Tambahan Limbah Botol Air Mineral Sebagai Campuran Aspal Pada Perkerasan Jalan *Asphalt Concrete-Binder Course (AC-BC)* Terhadap Nilai *Marshall*. *Jurnal Statika*, Vol.9 No.1 14–18. Rejang Lebong.

Wibowo, R., Santoso, B., & Prasetyo, A. 2025. Analisis Struktur Kristal Silika (SiO_2) Pasir Pantai Dogolan Kecamatan Bancar Kabupaten Tuban menggunakan metode Rietveld. *Journal of Urban and Environmental Studies (JUSES)*, 7(1), 45–54.

Zaenuri, M., Romadhon dan Gunarto, A. 2018. Penelitian Menggunakan Batu Gamping Sebagai Agregat Kasar dan *Filler* pada Aspal Campuran AC-BC. *Ukarst*, Vol.2 No.1 28–33. Kediri.

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 : Aspal Pertamina Pen 60/70
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : Juli 2025

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,83	23,87
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47	47,07
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	23,17	23,20
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	24,9	25,21
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,07	1,34
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,02	47,11
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	22,12	21,90
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,05	1,30
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,02	1,03
10	Rata-rata BJ Aspal	1,02	

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Ketua Program Studi/Jurusan Teknik Sipil

Ir. Faisal Fathani, M.Sc., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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

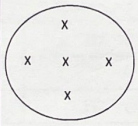
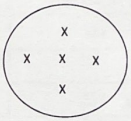
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

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

1 Sumber Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : Juli 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 ^{o}C	12.30 WIB	
	Selesai pemanasan	140 ^{o}C	13.00 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 ^{o}C	13.00 WIB	
	Selesai	27 ^{o}C	15.30 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	25 ^{o}C	15.30 WIB	
	Selesai	25 ^{o}C	15.40 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	62	60			
2	62	62			
3	60	63			
4	61	60			
5	60	61			
Rata2	61	61,2			
Rata2	61,1				

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernha Kusbari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 : Juli 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	28 ^{o}C	11.15 WIB	
	Selesai pemanasan	130 ^{o}C	11.30 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	130 ^{o}C	11.30 WIB	
	Selesai	28 ^{o}C	13.22 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	28 ^{o}C	14.47 WIB	
	Selesai	339 ^{o}C	15.47 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	332 ^{o}C	339 ^{o}C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	332 ^{o}C	339 ^{o}C	

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernah Kusnari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 : Aspal Pertamina Pen 60/70
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : Juli 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	28 ^{o}C	09.20 WIB	
	Selesai pemanasan	130 ^{o}C	09.35 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	130 ^{o}C	09.35 WIB	
	Selesai	28 ^{o}C	10.40 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	5 ^{o}C	14.15 WIB	
	Selesai	50 ^{o}C	14.30 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	468 detik	468 detik		
3	15 ^{o}C	154 detik	154 detik		
4	20 ^{o}C	140 detik	140 detik		
5	25 ^{o}C	135 detik	135 detik		
6	30 ^{o}C	149 detik	149 detik		
7	35 ^{o}C	148 detik	148 detik		
8	40 ^{o}C	147 detik	147 detik		
9	45 ^{o}C	153 detik	153 detik	48^{o}C	50^{o}C
10	50 ^{o}C	detik	detik		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachan Kusbari, M.Eng, IPM, ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 : Aspal Pertamina Pen 60/70
2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diperiksa tg : Juli 2025

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	150 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	150 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	150 cm	

Disahkan Oleh
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernardinus Hanadi, M.Eng.,IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 PEN 60/70 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 : Juli 2025

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			%	

Yogyakarta, November 2025

Diperiksa Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernardinus Herbudiman, S.T., M.T., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 : Juli 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1633,68	1596,50	1615,09
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000,00	1000,00	1000,00
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1610,47	1568,35	1589,41
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA}$	2,541	2,629	2,585
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA}$	2,578	2,676	2,627
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,638	2,759	2,699
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,441	1,795	1,618
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,590	2,694	2,642

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernardus Rusbintardjo, M.Eng. IPM. ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 : Juli 2025

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, November 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 : Juli 2025

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	2500,00	
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00	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	5000,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4126,70	4244,20	
13	KEAUSAN 100x = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		17,466	15,116	
17	Rata-rata Keausan (%)		16,29		

Yogyakarta, November 2025

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachnas Kadarisman, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 04 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

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 Halus
3 Diuji Pada : Juli 2025

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	641,49	640,23	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	949,07	945,23	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	487,55	488,23	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,534	2,504	2,519
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,598	2,564	2,581
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,709	2,665	2,687
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2,554	2,411	2,482
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,621	2,584	2,603

Yogyakarta, November 2025

Diketahui Oleh
Manager Laboratorium Uurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Berat Jenis Agregat Halus Pasir Silika

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

1 Sumber Material : Bancar, Tuban, Jawa Timur
2 Jenis Material : Pasir Silika
3 Diuji Pada : Juli 2025

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	703,40	703,40	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1005,62	1005,62	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	495,01	495,01	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,503	2,503	2,503
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,528	2,528	2,528
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,568	2,568	2,568
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	1,008	1,008	1,008
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,535	2,535	2,535

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Rel

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Sand Equivalent

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : Juli 2025

No.	Keterangan		Benda uji		Rata-rata
			1	2	
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (± 10.1 menit).	Mulai	15.40	15.06	
		Selesai	14.25	15.16	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	14.36	15.22	
		Selesai	14.56	15.42	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		4,00	3,80	3,90
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		2,80	2,80	2,80
6	$Sand\ Eqiuvalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ \%$`		70,00	73,68	71,84
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		30,00	26,32	28,16

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Sand Equivalent

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

1 Sumber Material : Bancar, Tuban, Jawa Timur
2 Jenis Material : Pasir Silika
3 Diuji Pada : Juli 2025

No.	Keterangan		Benda uji		Rata-rata
			1	2	
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (± 10.1 menit).	Mulai	14.15	15.06	
		Selesai	14.25	15.16	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	14.36	15.22	
		Selesai	14.56	15.42	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		4,30	4,30	4,30
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		2,90	2,90	2,90
6	$Sand\ Eqiuvalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ \%$`		67,44	67,44	67,44
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		32,56	32,56	32,56

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manajer Labor. Struktur, Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernai Kusnan, M.Eng.IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 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 : Juli 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,80	23,75	
2	Berat Vicnometer + Air gr	47,33	47,16	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	23,53	23,41	
4	Berat Vicnometer + *Filler* gr	31,55	30,41	
5	Berat *Filler* (4-1) gr	7,750	6,660	7,21
6	Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr	52,430	50,710	51,57
7	Berat Aquadest (6-4) gr	20,880	20,300	20,59
8	Volume *Filler* (3-7) gr	2,650	3,110	2,88
9	Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8)	2,925	2,141	2,533

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hj. Isnati, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 21 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 0%

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

Tanggal Pengujian : **Agustus 2025**
Tipe Campuran : *AC-BC*

KADAR ASPAL	SAMPEL	TEBAL	BJ MAKS CAMP	BERAT KERING	BERAT BASAH	SSD	VOLUME ISI	BJ BULK CAMP	VITM	VMA	VFWA	PEMBC. ARLOJI	STAB DISESUAIKAN	FLOW	MQ
(%)		(cm)		(gram)	(gram)	(gram)	(gram)		(%)	(%)	(%)				
5,00	I	66,57	2,420	1.178,21	671,57	1.188,06	516,49	2,281	5,74	15,09	65,956	81,0	1.006,4	2,47	407,438
	II	66,86	2,420	1.175,73	667,09	1.189,79	522,70	2,249	7,06	16,28	60,831	86,0	1.068,5	2,54	420,667
	III	70,22	2,420	1.148,87	657,41	1.159,00	501,59	2,290	5,37	14,75	67,522	79,0	981,5	2,21	444,129
		67,89		1.167,60	665,36	1.178,95		2,273	6,07	15,39	64,61	82,0	1.018,8	2,41	422,737
5,50	I	68,53	2,403	1.161,72	668,50	1.173,45	504,95	2,301	4,23	14,79	74,47	89,0	1.139,2	2,62	434,819
	II	66,22	2,403	1.162,16	669,04	1.172,20	503,16	2,310	3,86	14,46	76,24	83,0	1.062,4	2,42	439,018
	III	65,48	2,403	1.169,20	667,70	1.179,80	512,10	2,283	4,98	15,46	71,09	86,0	1.100,8	2,47	445,678
		66,74		1.164,36	668,41	1.175,15		2,298	4,36	14,91	73,87	86,0	1.101,0	2,51	438,645
6	I	65,42	2,386	1.169,80	668,23	1.175,60	507,37	2,306	3,34	15,06	80,16	88,0	1.130,6	2,29	493,696
	II	67,44	2,386	1.164,41	662,16	1.178,20	516,04	2,256	5,44	16,9	70,81	91,0	1.169,1	2,91	401,755
	III	66,07	2,386	1.167,00	663,12	1.173,78	510,66	2,285	4,22	15,83	76,01	93,0	1.194,8	2,83	422,191
		66,31		1.167,07	664,50	1.175,86		2,282	4,35	15,95	75,42	90,7	1.164,8	2,68	434,636
6,5	I	66,77	2,369	1.161,85	669,86	1.174,00	504,14	2,305	3,38	15,55	81,21	84,0	1.056,2	2,94	359,241
	II	66,83	2,369	1.153,82	651,63	1.161,66	510,03	2,262	5,19	17,13	73,42	94,0	1.181,9	2,23	530,001
	III	65,67	2,369	1.159,89	654,84	1.168,18	513,34	2,259	5,31	17,23	72,95	89,0	1.119,0	2,90	385,874
		66,42		1.158,52	658,78	1.167,95		2,275	3,97	16,65	78,41	89,0	1.119,0	2,69	415,998
7	I	65,90	2,353	1.169,67	663,29	1.173,29	510,00	2,293	2,53	16,44	86,08	75,0	940,3	2,30	408,838
	II	67,71	2,353	1.168,77	661,01	1.176,43	515,42	2,268	3,59	17,35	81,17	95,0	1.191,1	2,53	470,784
	III	66,43	2,353	1.156,40	653,45	1.164,03	510,58	2,265	3,72	17,46	80,60	89,0	1.115,9	3,70	301,583
		66,68		1.164,95	659,25	1.171,25		2,275	3,30	17,09	82,47	86,3	1.082,4	2,85	379,797

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachan Syahril, M.Sc. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0041

Mengetahui
Kalab. Tanah Jaya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 25%

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

Tanggal Pengujian : **Agustus 2025**
Tipe Campuran : ***AC-BC***

KADAR ASPAL	SAMPEL	TEBAL	BJ MAKS CAMP	BERAT KERING	BERAT BASAH	SSD	VOLUME ISI	BJ BULK CAMP	VITM	VMA	VFWA	PEMBC. ARLOJI	STAB DISESUAIKAN	FLOW	MQ
(%)		(cm)		(gram)	(gram)	(gram)	(gram)		(%)	(%)	(%)				
5,00	I	66,27	2,420	1.179,33	669,87	1.183,73	513,86	2,295	5,18	14,6	68,35	73,0	936,3	2,70	346,781
	II	66,97	2,420	1.177,01	662,75	1.189,03	526,28	2,236	7,61	16,8	58,89	78,0	1.000,4	2,15	465,320
	III	66,17	2,420	1.169,31	660,63	1.172,46	511,83	2,285	5,59	14,97	66,59	75,0	962,0	2,80	343,557
		66,47		1.175,22	664,42	1.181,74		2,272	6,13	15,46	64,37	75,3	966,2	2,55	378,916
5,50	I	65,67	2,403	1.160,26	674,57	1.177,31	502,74	2,308	3,96	14,57	75,76	81,0	1.034,1	2,95	350,537
	II	66,60	2,403	1.160,87	665,10	1.178,87	513,77	2,260	5,95	16,35	67,07	81,0	1.034,1	2,95	350,537
	III	67,57	2,403	1.168,17	670,54	1.175,96	505,42	2,311	3,83	14,46	76,39	82,0	1.046,9	2,15	486,908
		66,61		1.163,10	670,07	1.177,38		2,293	4,58	15,57	72,86	81,3	1.039,0	2,69	386,245
6	I	66,53	2,386	1.177,97	664,28	1.188,84	524,56	2,246	5,83	17,3	69,27	86,0	1.114,7	2,85	391,115
	II	64,70	2,386	1.179,88	679,52	1.185,31	505,79	2,333	2,21	14,1	86,06	85,0	1.101,7	3,00	367,239
	III	67,03	2,386	1.176,72	664,50	1.189,09	524,59	2,243	5,96	17,41	68,77	86,0	1.114,7	2,85	391,115
		66,09		1.178,19	669,43	1.187,75		2,274	4,70	16,27	73,89	85,7	1.110,4	2,90	382,882
6,5	I	64,40	2,369	1.169,79	666,38	1.177,76	511,38	2,288	3,44	16,21	80,83	79,0	1.087,9	2,88	377,727
	II	62,37	2,369	1.166,87	678,00	1.171,62	493,62	2,364	0,23	13,42	98,49	80,0	1.101,6	2,97	370,917
	III	65,17	2,369	1.176,28	637,81	1.182,85	545,04	2,158	8,92	20,97	60,53	78,0	1.074,1	2,89	371,655
		63,98		1.170,98	660,73	1.177,41		2,270	4,19	16,86	77,44	79,0	1.087,9	2,92	372,553
7	I	64,10	2,353	1.157,64	668,55	1.179,98	511,43	2,264	3,78	17,53	80,35	78,0	1.087,5	3,39	320,783
	II	63,50	2,353	1.159,96	667,52	1.172,94	505,42	2,295	2,46	16,4	85,53	77,0	1.073,5	2,87	374,046
	III	64,70	2,353	1.172,92	669,93	1.188,91	518,98	2,260	3,95	17,67	78,38	79,0	1.101,4	3,23	340,989
		64,10		1.163,51	668,67	1.180,61		2,273	3,40	17,2	82,02	78,0	1.087,5	3,17	343,045

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 50%

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

Tanggal Pengujian **Agustus 2025**
Tipe Campuran *AC-BC*

KADAR ASPAL	SAMPEL	TEBAL	BJ MAKS CAMP	BERAT KERING	BERAT BASAH	SSD	VOLUME ISI	BJ BULK CAMP	VITM	VMA	VFWA	PEMBC. ARLOJI	STAB DISESUAIKAN	FLOW	MQ
(%)		(cm)		(gram)	(gram)	(gram)	(gram)		(%)	(%)	(%)				
5,00	I	66,61	2,420	1.161,61	659,67	1.174,52	514,85	2,256	6,79	16,05	61,83	72,0	931,4	2,56	363,838
	II	65,03	2,420	1.163,98	662,40	1.176,69	514,29	2,263	6,5	15,79	62,93	74,0	957,3	2,75	348,109
	III	66,90	2,420	1.162,42	669,03	1.176,63	507,60	2,290	5,38	14,79	67,48	71,0	918,5	2,37	387,548
		66,18		1.162,67	663,70	1.175,95		2,269	6,25	15,57	63,90	72,3	935,7	2,56	365,523
5,50	I	66,68	2,403	1.168,02	662,82	1.174,00	511,18	2,285	4,88	15,42	71,52	80,0	1.001,6	3,05	328,386
	II	66,91	2,403	1.165,12	664,02	1.170,77	506,75	2,299	4,3	14,9	74,14	78,0	976,5	2,85	342,644
	III	66,84	2,403	1.170,22	667,01	1.181,05	514,04	2,277	5,21	15,72	70,09	77,0	964,0	2,90	332,420
		66,81		1.167,79	664,62	1.175,27		2,287	4,83	15,35	71,75	78,3	981,0	2,94	333,673
6	I	64,82	2,386	1.166,08	665,59	1.177,67	512,08	2,277	4,57	16,16	74,46	82,0	1.072,4	3,35	320,125
	II	65,89	2,386	1.168,51	672,71	1.177,55	504,84	2,315	2,98	14,76	81,96	77,0	1.007,0	2,82	357,102
	III	66,58	2,386	1.176,19	668,88	1.199,95	531,07	2,215	7,17	18,44	64,38	80,0	1.046,3	3,05	343,037
		65,76		1.170,26	669,06	1.185,06		2,269	4,91	16,46	73,00	79,7	1.041,9	3,08	338,280
6,5	I	65,57	2,369	1.175,09	668,96	1.182,59	513,63	2,288	3,44	16,21	80,83	77,0	1.034,3	3,15	328,361
	II	65,51	2,369	1.173,70	652,52	1.181,16	528,64	2,220	6,3	18,7	69,07	80,0	1.074,6	3,36	319,832
	III	63,66	2,369	1.186,96	675,70	1.193,38	517,68	2,293	3,22	16,02	81,86	72,0	967,2	2,85	339,359
		64,91		1.178,58	665,73	1.185,71		2,267	4,32	16,97	76,88	76,3	1.025,4	3,12	328,648
7	I	64,12	2,353	1.172,12	665,17	1.180,28	515,11	2,275	3,31	17,13	82,43	74,0	998,7	2,75	363,173
	II	64,03	2,353	1.185,88	662,08	1.197,85	535,77	2,213	5,95	19,39	71,74	77,0	1.039,2	3,63	286,285
	III	65,64	2,353	1.178,86	676,06	1.183,91	507,85	2,321	1,36	15,45	92,09	73,0	985,2	3,05	323,026
		64,59		1.178,95	667,77	1.187,35		2,269	3,57	17,35	81,27	74,7	1.007,7	3,15	319,912

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hadi Kusuma, MEng, IPM, ASEAN Eng
NIK : 04 511 101

Mengetahui
Kaleb Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Hasil Pengujian Marshall Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 75%

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

Tanggal Pengujian : **Agustus 2025**
Tipe Campuran : *AC-BC*

KADAR ASPAL	SAMPEL	TEBAL	BJ MAKS CAMP	BERAT KERING	BERAT BASAH	SSD	VOLUME ISI	BJ BULK CAMP	VITM	VMA	VFWA	PEMBC. ARLOJI	STAB DISESUAIKAN	FLOW	MQ
(%)		(cm)		(gram)	(gram)	(gram)	(gram)		(%)	(%)	(%)				
5,00	I	68,99	2,420	1.167,01	654,91	1.178,97	524,06	2,227	7,99	17,13	57,61	70,0	870,5	2,60	334,809
	II	69,12	2,420	1.178,27	673,06	1.184,53	511,47	2,304	4,8	14,27	70,06	73,0	907,8	2,55	356,004
	III	67,02	2,420	1.168,13	665,41	1.179,64	514,23	2,272	6,13	15,46	64,37	75,0	932,7	2,85	327,257
		68,38		1.171,14	664,46	1.181,05		2,267	6,33	15,64	63,58	72,7	903,7	2,67	338,451
5,50	I	69,62	2,403	1.171,53	680,75	1.186,62	505,87	2,316	3,6	14,27	77,53	72,0	894,1	2,75	325,144
	II	65,47	2,403	1.163,98	665,13	1.178,48	513,35	2,267	5,62	16,09	68,39	80,0	993,5	3,45	287,970
	III	68,63	2,403	1.177,68	667,39	1.184,61	517,22	2,277	5,21	15,72	70,09	75,0	931,4	2,85	326,808
		67,91		1.171,06	671,09	1.183,24		2,286	4,87	15,38	71,57	75,7	940,0	3,02	311,258
6	I	69,70	2,386	1.173,78	656,87	1.182,66	525,79	2,232	6,46	17,82	66,90	73,0	953,6	2,85	334,588
	II	66,59	2,386	1.174,13	676,76	1.186,35	509,59	2,304	3,44	15,17	79,67	76,0	992,8	3,15	315,163
	III	60,23	2,386	1.166,19	667,42	1.179,80	512,38	2,276	4,61	16,2	74,28	80,0	1.045,0	3,45	302,903
		65,51		1.171,37	667,02	1.182,94		2,270	4,87	16,42	73,17	76,3	997,1	3,15	316,545
6,5	I	70,30	2,369	1.173,96	676,93	1.181,65	504,72	2,326	1,83	14,81	88,96	78,0	943,6	3,05	309,380
	II	69,34	2,369	1.171,16	661,51	1.189,24	527,73	2,219	6,35	18,73	68,89	76,0	919,4	2,45	375,271
	III	69,93	2,369	1.169,19	657,44	1.176,31	518,87	2,253	4,91	17,49	74,41	83,0	1.004,1	4,00	251,024
		69,86		1.171,44	665,29	1.182,40		2,266	4,36	17,01	76,71	79,0	955,7	3,17	301,485
7	I	66,27	2,353	1.168,03	668,90	1.181,37	512,47	2,279	3,14	16,98	83,20	75,0	973,2	3,50	278,061
	II	65,19	2,353	1.163,83	658,08	1.176,43	518,35	2,245	4,59	18,22	76,95	65,0	843,5	2,95	285,916
	III	66,03	2,353	1.172,07	672,43	1.186,29	513,86	2,281	3,06	16,91	83,57	78,0	1.012,1	3,45	293,374
		65,83		1.167,98	666,47	1.181,36		2,268	3,61	17,38	81,09	72,7	942,9	3,30	285,738

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Sri Amini Yuni Fitriani, M.Eng, IPM, ASEAN Eng
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Untuk Menentukan KAO Variasi Substitusi Pasir Silika Merah 100%

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

Tanggal Pengujian : **Agustus 2025**
Tipe Campuran : ***AC-BC***

KADAR ASPAL	SAMPEL	TEBAL	BJ MAKS CAMP	BERAT KERING	BERAT BASAH	SSD	VOLUME ISI	BJ BULK CAMP	VITM	VMA	VFWA	PEMBC. ARLOJI	STAB DISESUAIKAN	FLOW	MQ
(%)		(cm)		(gram)	(gram)	(gram)	(gram)		(%)	(%)	(%)				
5,00	I	68,77	2,420	1.179,96	671,98	1.188,83	516,85	2,283	5,67	15,05	66,25	72,0	879,4	2,70	325,714
	II	68,60	2,420	1.177,77	662,98	1.185,10	522,12	2,256	6,79	16,05	61,83	68,0	830,6	2,20	377,532
	III	69,67	2,420	1.177,76	662,83	1.185,00	522,17	2,256	6,79	16,05	61,83	70,0	855,0	3,40	251,470
		69,01		1.178,50	665,93	1.186,31		2,265	6,42	15,72	63,24	70,0	855,0	2,77	308,664
5,50	I	67,38	2,403	1.175,05	679,59	1.183,13	503,54	2,334	2,85	13,61	81,45	68,0	844,3	3,00	281,436
	II	68,75	2,403	1.178,47	672,19	1.186,79	514,60	2,290	4,67	15,24	72,45	70,0	869,1	3,15	275,918
	III	67,62	2,403	1.180,69	669,70	1.198,73	529,03	2,232	7,07	17,38	62,87	82,0	1.018,1	3,63	280,478
		67,92		1.178,07	673,83	1.189,55		2,285	4,91	15,42	71,39	73,3	911,0	3,26	279,448
6	I	68,10	2,386	1.167,96	657,30	1.178,50	521,20	2,241	6,08	17,49	68,32	77,0	953,1	3,80	250,826
	II	68,25	2,386	1.166,81	668,21	1.177,91	509,70	2,289	4,07	15,72	76,69	68,0	841,7	3,54	237,778
	III	67,82	2,386	1.177,48	668,65	1.185,53	516,88	2,278	4,53	16,13	74,63	85,0	1.052,2	2,50	420,866
		68,06		1.170,75	664,72	1.180,65		2,269	4,91	16,46	73,00	76,7	949,0	3,28	289,333
6,5	I	66,40	2,369	1.158,58	657,91	1.170,76	512,85	2,259	4,66	17,27	75,44	93,0	1.201,3	3,45	348,214
	II	68,44	2,369	1.157,95	659,81	1.176,21	516,40	2,242	5,38	17,89	72,54	60,0	775,1	3,30	234,866
	III	63,80	2,369	1.166,48	663,88	1.176,24	512,36	2,277	3,9	16,61	78,72	59,0	762,1	3,05	249,882
		66,21		1.161,00	660,53	1.174,40		2,259	4,66	17,27	75,44	70,7	912,8	3,27	279,157
7	I	64,77	2,353	1.159,55	666,46	1.171,99	505,53	2,294	2,5	16,43	86,23	70,0	920,3	3,40	270,684
	II	66,35	2,353	1.166,76	663,63	1.172,22	508,59	2,294	2,5	16,43	86,23	65,0	854,6	2,75	310,759
	III	65,59	2,353	1.157,70	645,39	1.168,24	522,85	2,214	5,9	19,35	71,92	73,0	959,8	3,65	262,950
		65,57		1.161,34	658,49	1.170,82		2,267	3,65	17,42	80,91	69,3	911,6	3,27	278,764

Diperiksa Oleh
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernadette Tri M.Eng., PhD., ASEAN Eng.
NIP : 01 511 010

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* KAO

REKAPITULASI PENGUJIAN *Marshall*

Pengujian	Kadar Aspal (%)	Aspal Penetrasi 60/70 Variasi Substitusi Agregat Halus Pasir Silika				
		0	25	50	75	100
MQ (kg/mm)	5	407,44	378,92	365,52	338,45	308,66
	5,5	438,65	386,25	333,67	311,26	279,45
	6	434,63	382,88	338,28	316,55	289,33
	6,5	416	372,55	328,65	301,49	279,16
	7	379,8	343,05	319,91	285,74	278,76
VITM (%)	5	6,07	6,13	6,25	6,33	6,42
	5,5	4,36	4,58	4,83	4,87	4,91
	6	4,35	4,7	4,91	4,87	4,91
	6,5	3,97	4,19	4,32	4,36	4,66
	7	3,3	3,4	3,57	3,61	3,65
VFWA (%)	5	64,61	64,37	63,9	63,58	63,24
	5,5	73,87	72,86	71,75	71,57	71,39
	6	75,424	73,89	74,46	73,17	73
	6,5	78,41	77,44	76,88	76,71	75,44
	7	82,47	82,02	81,27	81,09	80,91
VMA (%)	5	15,39	15,46	15,57	15,64	15,72
	5,5	14,91	15,57	15,35	15,38	15,42
	6	15,95	16,27	16,46	16,42	16,46
	6,5	16,65	16,86	16,97	17,01	17,27
	7	17,09	17,2	17,35	17,38	17,42
Density (%)	5	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27
	5,5	2,3	2,29	2,29	2,29	2,29
	6	2,282	2,27	2,27	2,27	2,27
	6,5	2,28	2,27	2,27	2,27	2,26
	7	2,28	2,27	2,27	2,27	2,27

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium/Kepala Urusan Teknik Sipil

Ir. Bernati Kusmiyo, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

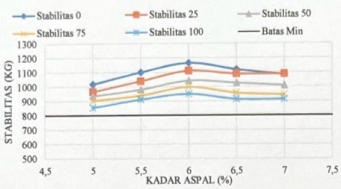
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

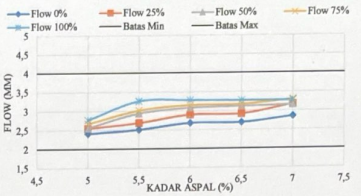
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

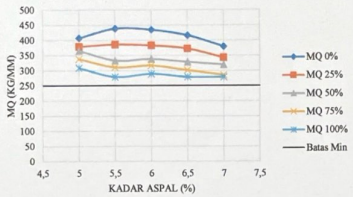
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

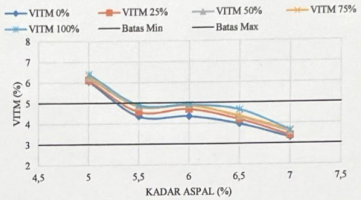
Lampiran 21 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* KAO

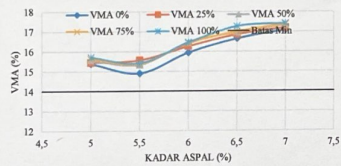
REKAPITULASI PENGUJIAN *Marshall*

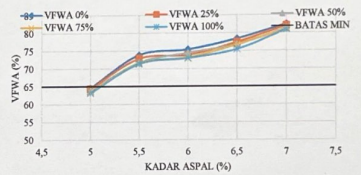


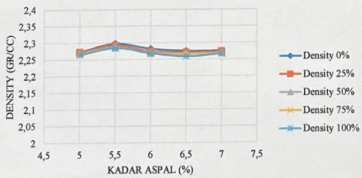












Diperiksa Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Dwi Ratnaningsih M.Eng, IPM, ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Marshall Setelah KAO

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

Tanggal Pengujian **September 2025**

Tipe Campuran ***AC-BC***

Kadar	Sampel	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas	Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0%	1	65,60	6,53	6,13	1171,65	1191,0	660,80	530,2	2,210	2,340	13,207	81,227	5,566	18,72	70,54	5,52	134,00	0,93	1783,78	2,6	686,07
	2	65,67	6,53	6,13	1170,93	1187,6	668,48	519,1	2,256	2,340	13,483	82,921	3,596	17,03	79,17	3,55	140,00	0,93	1863,65	3,3	564,74
	3	64,23	6,53	6,13	1153,07	1169,6	659,25	510,4	2,259	2,340	13,503	83,046	3,450	16,90	79,88	3,40	139,00	0,93	1850,34	2,95	627,23
		65,17					662,84		2,242					17,55	76,53	4,15	137,67		1832,59	2,95	626,02
25%	1	62,63	6,54	6,14	1170,25	1183,45	666,84	516,61	2,265	2,326	13,561	83,808	2,630	16,68	81,30	3,12	121,00	0,97	1675,45	3,54	473,29
	2	63,80	6,54	6,14	1161,27	1175,37	657,85	517,52	2,244	2,326	13,434	83,019	3,547	17,46	76,92	4,03	142,00	0,97	1966,23	2,50	786,49
	3	65,30	6,54	6,14	1169,37	1178,53	659,14	519,39	2,251	2,326	13,479	83,297	3,224	17,19	78,42	3,71	128,00	0,97	1772,37	2,70	656,43
		63,91					661,28		2,254					17,11	78,88	3,62	130,33		1804,68	2,91	638,74
50%	1	65,20	6,59	6,18	1175,4	1186,07	666,82	519,25	2,264	2,312	13,640	84,268	2,091	16,76	81,36	3,12	121,00	0,92	1593,35	3,26	488,76
	2	66,13	6,59	6,18	1172,32	1189,06	662,29	526,77	2,225	2,312	13,410	82,848	3,742	18,17	73,81	4,76	107,00	0,92	1408,99	2,30	612,61
	3	65,20	6,59	6,18	1164,43	1178,15	665,75	512,4	2,273	2,312	13,694	84,598	1,709	16,44	83,30	2,75	149,00	0,92	1962,06	4,00	490,51
		65,51					664,95		2,254					17,12	79,49	3,54	125,67		1654,80	3,19	530,63
75%	1	66,17	6,61	6,2	1171,87	1189,01	668,15	520,86	2,250	2,298	13,601	84,297	2,102	17,28	78,72	3,68	96,00	0,89	1228,73	4,00	307,18
	2	66,03	6,61	6,2	1166,27	1179,91	665,85	514,06	2,269	2,298	13,715	85,003	1,281	16,59	82,70	2,87	109,00	0,89	1395,12	3,09	451,50
	3	67,27	6,61	6,2	1170,83	1188,17	669,06	519,11	2,255	2,298	13,635	84,506	1,860	17,07	79,86	3,44	115,00	0,89	1471,92	3,40	432,92
		66,49					667,69		2,258					16,98	80,42	3,33	106,67		1365,26	3,50	397,20
100%	1	66,93	6,67	6,25	1170,03	1189,01	671,10	517,91	2,259	2,283	13,767	85,167	1,066	16,97	81,11	3,21	89,00	0,89	1131,70	3,90	290,18
	2	66,70	6,67	6,25	1177,28	1186,91	669,11	517,8	2,274	2,283	13,855	85,713	0,432	16,44	84,28	2,59	78,00	0,89	991,83	3,70	268,06
	3	66,77	6,67	6,25	1174,83	1188,17	666,36	521,81	2,251	2,283	13,720	84,877	1,403	17,26	79,51	3,53	82,00	0,89	1042,69	3,20	325,84
		66,80					668,86		2,261					16,89	81,63	3,11	83,00		1055,41	3,60	294,69

Disahkan Oleh
Ketua Program Studi Jurusan Teknik Sipil

Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 *IRS* 24 Jam dengan KAO

HASIL PENGUJIAN *IRS*

Variasi Substitusi		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
0%	1	65,60	0,92	131	31,56	4134,99	3,10	2,93	1720,86	1713,15	800	65,1	66,7	0,93	0,89
	2	66,20	0,90	142	31,56	4482,20	3,50		1834,87			65,1	66,7	0,93	0,89
	3	66,03	0,91	122	31,56	3850,91	2,20		1583,71			65,1	66,7	0,93	0,89
25%	1	64,50	0,95	125	31,56	3945,60	3,30	2,67	1693,70	1664,42	800	64	65,1	0,96	0,93
	2	64,87	0,94	117	31,56	3693,08	2,00		1568,55			64	65,1	0,96	0,93
	3	65,10	0,93	130	31,56	4103,42	2,70		1730,99			65,1	66,7	0,93	0,89
50%	1	65,17	0,93	100	31,56	3156,48	2,40	2,43	1329,15	1513,11	800	65,1	66,7	0,93	0,89
	2	65,40	0,92	115	31,56	3629,95	2,60		1518,91			65,1	66,7	0,93	0,89
	3	64,50	0,95	125	31,56	3945,60	2,30		1691,26			65,1	66,7	0,93	0,89
75%	1	66,57	0,89	96	31,56	3030,22	2,20	2,83	1227,87	1244,86	800	65,1	66,7	0,93	0,89
	2	66,93	0,88	95	31,56	2998,66	3,10		1202,61			65,1	66,7	0,93	0,89
	3	65,87	0,91	100	31,56	3156,48	3,20		1304,09			65,1	66,7	0,93	0,89
100%	1	66,53	0,89	71	31,56	2241,10	2,10	2,77	908,96	955,84	800	65,1	66,7	0,93	0,89
	2	66,70	0,89	73	31,56	2304,23	3,70		930,21			66,7	68,3	0,89	0,86
	3	67,90	0,85	85	31,56	2683,01	2,50		1028,36			66,7	68,3	0,89	0,83

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

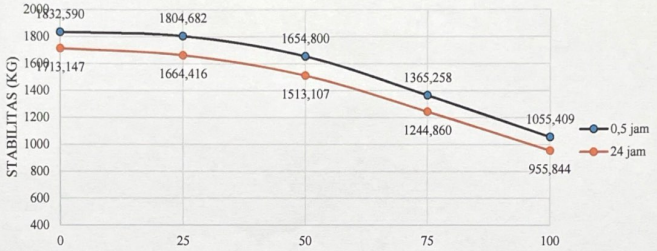
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

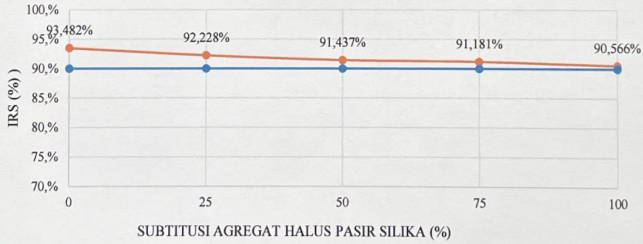
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 24 Rekapitulasi Pengujian *IRS*

REKAPITULASI PENGUJIAN *IRS*

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	Stabilitas 0,5 Jam	Stabilitas 24 Jam	IRS
0	6,13	1832,59	1713,15	93,48
25	6,14	1804,68	1664,42	92,23
50	6,18	1654,80	1513,11	91,44
75	6,20	1365,26	1244,86	91,18
100	6,25	1055,41	955,84	90,57





Disahkan Oleh
Mahasiswa Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil

Ir. Ruzhanji Kurnhari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 ITS dari Hasil KAO

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		
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibras	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	Kpa rata2	Kpa MIN
6,13%	0,0%	1	64,76	64,78	64,01	64,52	0,97	101,39	102,12	101,40	4,00	0,16	64	14,32	916,32	405,08	441,56	800	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	960,18	1056,47	800
		2	65,00	65,08	64,95	65,01	0,96	101,16	102,45	105,35	4,05	0,15	72	14,32	1030,86	449,68			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1043,40		
		3	61,52	60,88	60,99	61,13	1,06	102,69	101,35	103,33	4,03	0,15	68	14,32	973,59	469,91			60,3	61,9	1,09	1,04	4	4,1	0,156	0,152	1165,83		
6,14%	25,0%	1	64,51	64,52	64,59	64,54	0,97	100,67	101,48	102,87	4,00	0,16	56	14,32	801,78	354,23	400,74	800	63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	839,04	962,15	800
		2	62,83	63,41	62,48	62,91	1,01	102,17	103,12	101,12	4,02	0,16	60	14,32	859,05	395,45			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	956,48		
		3	62,63	62,49	62,41	62,51	1,02	103,02	104,13	102,11	4,06	0,15	68	14,32	973,59	452,55			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	1090,93		
6,18%	50,0%	1	63,75	64,67	65,40	64,61	0,97	101,36	102,00	100,18	3,98	0,16	68	14,32	973,59	429,40	363,82	800	63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	1021,11	858,99	800
		2	63,09	64,20	64,91	64,07	0,99	102,98	102,92	103,19	4,06	0,15	60	14,32	859,05	384,15			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	904,05		
		3	65,28	64,24	64,28	64,60	0,97	101,77	103,76	102,12	4,04	0,15	44	14,32	629,97	277,90			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	651,80		
6,20%	75,0%	1	63,70	64,30	64,50	64,17	0,98	103,50	103,10	104,00	4,08	0,15	52	14,32	744,51	332,08	337,16	800	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	776,29	791,19	800
		2	64,30	65,30	64,50	64,70	0,97	102,60	101,70	102,60	4,03	0,15	48	14,32	687,24	302,38			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	709,93		
		3	64,70	65,50	64,20	64,80	0,97	102,80	100,20	102,70	4,01	0,16	60	14,32	859,05	377,00			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	887,35		
6,25%	100,0%	1	67,20	68,50	68,10	67,93	0,90	100,90	101,40	101,80	3,99	0,16	48	14,32	687,24	280,30	292,77	800	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	632,71	666,02	800
		2	66,00	66,70	67,80	66,83	0,93	100,80	101,30	103,00	4,00	0,16	56	14,32	801,78	337,02			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	770,67		
		3	66,30	66,90	68,90	67,37	0,91	101,20	101,30	101,30	3,99	0,16	44	14,32	629,97	260,99			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	594,68		

Yogyakarta, November 2025

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

Diketahui Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hasbi Kurniawan, S.T., M.M., ASEAN Eng.
NIK : 21 511 061

Mengetahui
Kalab Jalan Raya

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

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 TSR

HASIL PENGUJIAN *TSR*

Kadar Aspal	Substitusi		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi				Angka Koreksi				ITS 24 JAM Kpa	
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibras	Adjust	awal	rata2	Tebal Sampel MIN	Tebal Sampel MAX	Koreksi MIN	Koreksi MAX	Tebal Sampel MIN	Tebal Sampel MAX	Koreksi MIN	Koreksi MAX	awal	rata2
6,13%	0,0%	1	67,20	67,40	67,50	67,37	0,91	102,20	101,80	103,00	4,03	0,155	60	14,32	859,05	355,89	396,24	66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,1560	0,1520	802,21	919,40
		2	64,60	63,40	64,90	64,30	0,98	101,10	102,00	101,90	4,00	0,16	68	14,32	973,59	432,78		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	1028,99	
		3	65,20	65,40	64,40	65,00	0,96	103,20	102,60	103,60	4,06	0,15	64	14,32	916,32	400,05		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	926,98	
6,14%	25,0%	1	67,90	68,10	66,30	67,43	0,91	102,40	102,00	101,30	4,01	0,156	68	14,32	973,59	402,61	360,11	66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	910,61	820,48
		2	67,70	66,20	65,70	66,53	0,93	101,10	102,20	101,90	4,01	0,156	44	14,32	629,97	266,64		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	612,28	
		3	66,00	66,70	67,30	66,67	0,93	102,00	101,30	103,00	4,02	0,155	68	14,32	973,59	411,07		66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,160	0,156	938,54	
6,18%	50,0%	1	64,40	64,10	65,40	64,63	0,97	102,50	102,80	102,70	4,04	0,15	48	14,32	687,24	302,90	290,63	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	709,22	724,03
		2	65,70	66,10	65,90	65,90	0,95	101,80	100,00	101,50	3,98	0,16	56	14,32	801,78	343,68		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	801,86	
		3	65,10	65,40	63,10	64,53	0,97	101,30	102,80	100,20	3,99	0,16	44	14,32	629,97	278,37		63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	661,02	
6,20%	75,0%	1	65,50	66,20	67,60	66,43	0,94	100,90	102,00	103,40	4,02	0,16	52	14,32	744,51	315,75	293,60	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	723,45	666,42
		2	68,20	69,00	68,60	68,60	0,89	101,00	102,10	101,90	4,00	0,16	56	14,32	801,78	323,68		68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	721,34	
		3	66,90	67,50	65,80	66,73	0,93	100,80	101,90	101,50	3,99	0,16	40	14,32	572,70	241,37		66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	554,46	
6,25%	100,0%	1	67,20	67,00	66,30	66,83	0,93	100,90	101,50	101,30	3,99	0,16	44	14,32	629,97	264,80	232,21	66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	608,37	532,65
		2	67,40	67,70	68,50	67,87	0,90	101,10	100,50	103,60	4,01	0,16	36	14,32	515,43	210,61		66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	474,12	
		3	68,00	64,00	65,50	65,83	0,95	100,70	101,20	102,10	3,99	0,16	36	14,32	515,43	221,23		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	515,48	

Diolahkan Oleh
Pembina Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hedah Kusbandiyah, M.Sc, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 211 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

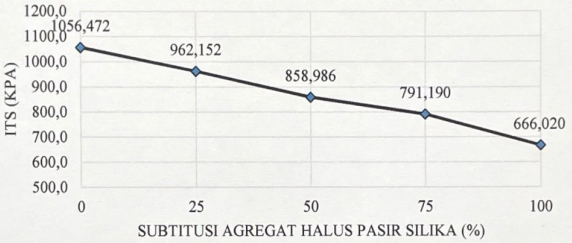
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

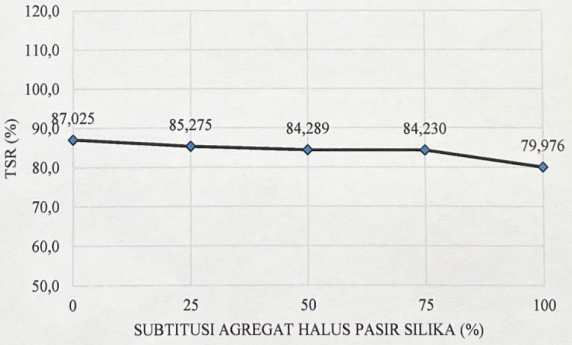
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 27 Rekapitulasi Pengujian *ITS & TSR*

REKAPITULASI PENGUJIAN *ITS & TSR*

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	ITS 0,5 Jam	ITS 24 Jam	TSR (%)
0	6,13	1056,47	919,40	87,03
25	6,14	962,15	820,48	85,28
50	6,18	858,99	724,03	84,29
75	6,20	791,19	666,42	84,23
100	6,25	666,02	532,65	79,98





Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh	Mengetahui	Peneliti
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil	Kalab. Jalan Raya	
Ir. Bonjan Kosbani, M.Eng, IPM.ASEAN.Eng.	Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.	Alfina Aflah Aribah
NIK : 01 511 0101	NIK : 21 511 1307	NIM : 21 511 216

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 *CL*

HASIL PENGUJIAN *CL*

Variasi Subtitusi (%)	Sampel	Berat Benda Uji (gram)		Berat Sebelum Di Abrasi (gram)	Kehilangan Berat (%)	Rata-rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0	1	1163,73	1093,11	70,62	6,0684	5,8189
	2	1146,49	1075,77	70,72	6,1684	
	3	1169,95	1108,88	61,07	5,2199	
25	1	1176,9	1089,21	87,69	7,4509	6,2156
	2	1179,57	1109,98	69,59	5,8996	
	3	1177,24	1114,89	62,35	5,2963	
50	1	1165,22	1073,9	91,32	7,8371	6,8632
	2	1175,34	1110,62	64,72	5,5065	
	3	1163,12	1078,84	84,28	7,2460	
75	1	1177,16	1076,2	100,96	8,5766	7,2838
	2	1165,78	1094,02	71,76	6,1555	
	3	1169,49	1086,23	83,26	7,1193	
100	1	1186,6	1045,6	141	11,8827	7,5245
	2	1170,42	1109,64	60,78	5,1930	
	3	1167,55	1103,36	64,19	5,4978	

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bunda Susmiati, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 Hasil Pengujian *CL*

REKAP PENGUJIAN *CL*

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL (%)
0	6,13	5,82
25	6,14	6,22
50	6,18	6,86
75	6,2	7,28
100	6,25	7,52



Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Ilerdan Kasnedi, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 30 Hasil Pengujian I*CL*

HASIL PENGUJIAN I*CL*

Variasi Subtitusi (%)	Sampel	Berat Benda Uji (gram)		Berat Sebelum Di Abrasi (gram)	Kehilangan Berat (%)	Rata-rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0	1	1161,58	1019,42	142,16	12,2385	13,7060
	2	1186,48	1001,49	184,99	15,5915	
	3	1165,79	1010,88	154,91	13,2880	
25	1	1164,91	1047,42	117,49	10,0858	14,1875
	2	1160,55	1018,63	141,92	12,2287	
	3	1177,05	938,72	238,33	20,2481	
50	1	1191,17	1091,93	99,24	8,3313	15,0194
	2	1168,98	995,93	173,05	14,8035	
	3	1176,96	918,93	258,03	21,9234	
75	1	1174,05	948,53	225,52	19,2087	16,5768
	2	1180,75	978,53	202,22	17,1264	
	3	1153,09	998,63	154,46	13,3953	
100	1	1155,97	976,09	179,88	15,5610	17,4147
	2	1177,59	920,63	256,96	21,8208	
	3	1167,44	993,93	173,51	14,8624	

Yogyakarta, November 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Ibnu Kusharjanta, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 31 Hasil Pengujian *ICL*

REKAP PENGUJIAN *ICL*

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	ICL (%)
0	6,13	13,71
25	6,14	14,19
50	6,18	15,02
75	6,2	16,58
100	6,25	17,41



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernet Kusnan, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0104

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2025
Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 32 Hasil Pengujian *Asphalt Fall Down*

HASIL PENGUJIAN *Asphalt Fall Down*

Kadar (%)	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1477,09	1468,70	1348,15
	2	Berat Benda Uji	1138,25	1180,31	1155,01
	3	Berat Awal Piring Penampung	338,84	288,39	193,14
	4	Berat Akhir Piring Penampung	338,99	288,58	193,27
	5	Draindown	0,013%	0,02%	0,01%
	6	Rata-Rata Draindown		0,014	
25%	1	Berat Piring + Benda Uji	1254,98	1451,84	1466,79
	2	Berat Benda Uji	951,60	1146,46	1161,90
	3	Berat Awal Piring Penampung	303,38	305,38	304,89
	4	Berat Akhir Piring Penampung	303,88	305,45	305,01
	5	Draindown	0,053%	0,01%	0,01%
	6	Rata-Rata Draindown		0,023	
50%	1	Berat Piring + Benda Uji	1511,44	1486,13	1484,12
	2	Berat Benda Uji	1206,90	1181,06	1180,74
	3	Berat Awal Piring Penampung	304,54	305,07	303,38
	4	Berat Akhir Piring Penampung	304,68	305,55	303,60
	5	Draindown	0,01%	0,04%	0,02%
	6	Rata-Rata Draindown		0,024	
75%	1	Berat Piring + Benda Uji	1475,47	1365,17	1467,19
	2	Berat Benda Uji	1188,31	1172,95	1180,48
	3	Berat Awal Piring Penampung	287,16	192,22	286,71
	4	Berat Akhir Piring Penampung	287,33	192,67	286,96
	5	Draindown	0,01%	0,04%	0,02%
	6	Rata-Rata Draindown		0,025	
100%	1	Berat Piring + Benda Uji	1480,81	1482,81	1528,88
	2	Berat Benda Uji	1177,80	1178,26	1224,10
	3	Berat Awal Piring Penampung	303,01	304,55	304,78
	4	Berat Akhir Piring Penampung	303,36	304,70	305,28
	5	Draindown	0,03%	0,01%	0,04%
	6	Rata-Rata Draindown		0,028	

Yogyakarta, November 2025

Diketahui Oleh
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Bernardus Kushartomo M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Alfina Aflah Aribah
NIM : 21 511 216

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 33 Hasil Pengujian AFD

REKAP PENGUJIAN AFD

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	AFD (%)
0	6,13	0,014
25	6,14	0,023
50	6,18	0,024
75	6,2	0,025
100	6,25	0,028



Yogyakarta, Noveber 2025

Disahkan Oleh	Mengetahui	Peneliti
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil	Kalab. Jalan Raya	
Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.	Ir Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.	Alfina Aflah Aribah
NIK : 01 511 0101	NIK : 21 511 1307	NIM : 21 511 216