TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI *FILLER* LIMBAH SERBUK BATA MERAH TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)* DENGAN METODE PENCAMPURAN BERTAHAP

(THE EFFECT OF SUBSTITUTION RED BRICK POWDER WASTE FILLER ON THE CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES – BINDER COURSE (AC – BC) USING THE SEQUENTIAL MIXING METHOD)

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

Sarah Nurul Adellia
20511275

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

2025

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI *FILLER* LIMBAH SERBUK BATA MERAH TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE (AC-BC)* DENGAN METODE PENCAMPURAN BERTAHAP

(THE EFFECT OF SUBSTITUTION RED BRICK POWDER WASTE FILLER ON THE CHARACTERISTICS OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES – BINDER COURSE (AC – BC) USING THE SEQUENTIAL MIXING METHOD)

Disusun Oleh :

Sarah Nurul Adellia

20511275

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

Diuji pada tanggal 14 Agustus 2025

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
iftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.	Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.	Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc
IK: 955110103	NIK: 215111307	NIK: 145110101

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D (Eng)., IPM.
NIK: 025110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 14 Agustus 2025

Yang membuat pernyataan,



Sarah Nurul Adellia

(20511275)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur atas kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Substitusi Filler Limbah Serbuk Bata Merah Terhadap Karakteristik Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC) dengan Metode Pencampuran Bertahap*. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan Tugas Akhir banyak rintangan dan hamparan yang dilalui oleh penulis, namun kritikan, nasehat dan semangat yang di dapatkan dari berbagai pihak diberikan kepada penulis sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam – dalamnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu yang baru dan nasihat baik serta motivasi yang membangkitkan semangat penulis selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., dan Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran, arahan, serta masukan untuk menjadikan tugas akhir ini semakin baik.
3. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng)., IPM. selaku kepala Prodi Teknik Sipil yang telah membantu untuk kelancaran dalam masalah akademik selama ini.
4. Bapak Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Ayahanda Drs. Suwaryanto Junaedi, M.Pd. dan Ibu Aminah, S.Pd. selaku kedua orang tua penulis kemudian Ns. Miftahul Jannah Kusumastuti, S.Kep. selaku

saudara kandung penulis yang selalu mendoakan dan mendukung penulis hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.

6. Bapak Sukamto HM, S.T., Bapak Pranoto, dan Giri Widhiatmoko, S.T. selaku laboran di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah membantu penulis selama penelitian Tugas Akhir.

Yogyakarta, 14 Agustus 2025

Penulis,



Sarah Nurul Adellia

(20511275)

DAFTAR ISI

Halaman Judul i

Halaman Pengesahan ii

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR TABEL xi

DAFTAR GAMBAR xii

DAFTAR LAMPIRAN xv

DAFTAR NOTASI xvii

DAFTAR SINGKATAN xix

ABSTRAK xx

ABSTRACT xxi

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Manfaat Penelitian 4

1.5 Batas Penelitian 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 6

2.1 Pengaruh Berbagai Substitusi *Filler* terhadap Karakteristik Campuran Aspal 6

2.2 Pemanfaatan *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran Aspal Beton 8

2.3 Kinerja Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* dengan Substitusi *Filler* 9

2.4 Pengaruh Metode Pencampuran Bertahap terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton 10

BAB III LANDASAN TEORI 22

3.1 Perkerasan Lentur *(Flexible Pavement)* 22

3.2 Limbah Serbuk Bata Merah 22

3.3 Karakteristik Campuran Beton Aspal 24

3.3.1 Stabilitas *(Stability)* 24

3.3.2 Daya Tahan/Keawetan *(Durability)* 25

3.3.3 Kelenturan *(Flexibility)* 25

3.3.4 Ketahanan Kelelahan *(Fatigue Resistance)* 26

3.3.5 Kekesatan atau Ketahanan terhadap Gaya Geser *(Skid Resistence)* 26

3.3.6 Kedap Air *(Impermeability)* 26

3.3.7 Kemudahan Pelaksanaan *(Workability)* 26

3.4 Karakterisitik Material Penyusun *Asphalt Concrete –Binder Course (AC – BC)* 27

3.5 Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* 31

3.6 Metode Pencampuran Bertahap 33

3.7 Karakteristik Pengujian *Marshall* 34

3.7.1 Pengujian Stabilitas *(Stability)* 35

3.7.2 Kepadatan *(Density)* 36

3.7.3 Kelelehan *(Flow)* 37

3.7.4 Pengujian Jenis Volume Pori 37

3.8 Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)* 42

3.9 Pengujian *Indirec Tensile Strenght (ITS*) 42
3.10 Pengujian *Tensile Strenght Ratio (TSR)* 43
3.11 Indeks Durabilitas Pertama (IDP) 44
3.12 Indeks Durabilitas Kedua (IDK) 44
3.13 Pengujian *Cantabro Loss (CL)* 45
3.14 Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)* 46
3.15 Pengujian *Index of Cantabro Loss (ICL)* 46
BAB IV METODE PENELITIAN 47
4.1 Metode Penelitian 47
4.2 Metode Pengambilan Sampel 47
4.3 Metode Pengambilan Data 48
4.4 Tahapan Penelitian 48
4.4.1 Persiapan Material 48
4.4.3 Perencanaan dan Persiapan Campuran 52
4.4.4 Pembuatan Campuran Benda Uji 60
4.4.5 Pengujian *Marshall* 62
4.4.6 Pengujian *ITS* 63
4.4.7 Pengujian *IRS* 63
4.4.8 Pengujian *TSR* 64
4.4.9 Pengujian *CL* 64
4.4.10 Pengujian *AFD* 65
4.5 Analisis Data 65
4.5.1 Analisis Karakteristik *Marshall Test* 65
4.5.2 Analisis Pengujian *IRS* 67
4.5.3 Analisis Nilai *ITS* 67

4.5.4 Analisis Nilai *TSR* 67
4.5.5 Analisis Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) 67
4.5.6 Analisis Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) 67
4.5.7 Analisis Nilai *Cantabro Loss (CL)* 67
4.5.8 Analisis Nilai *Asphalt Flow Down (AFD)* 67
4.5.9 Analisis *Nilai Index of Cantabro Loss (ICL)* 67
4.6 Bagan Alir Penelitian 67
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 70
5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran 70
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 70
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat 70
5.1.3 Hasil Pengujian Untuk Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO) 72
5.1.4 Hasil Pengujian Pada Kadar Aspal Optimum (KAO) 74
5.2 Pembahasan 80
5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar 82
5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus 83
5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Pengisi (*Filler*) 84
5.2.4 Pembahasan Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) 85
5.2.5 Pembahasan Variasi Kadar Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada KAO Campuran Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap 91
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 132
6.1 Kesimpulan 132

6.2 Saran 133

DAFTAR PUSTAKA 134

LAMPIRAN 140

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terkait Penggunaan *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran Aspal 12

Tabel 2. 2 Kinerja Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC) dengan* Substitusi *Filler* 15

Tabel 2. 3 Pengaruh Metode Pencampuran Bertahap terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton 18

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Limbah Serbuk Bata Merah 23

Tabel 3. 2 Persyaratan Agregat Kasar 28

Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Halus 29

Tabel 3. 4 Persyaratan Gradasi Agregat Lolos Saringan 30

Tabel 3. 5 Persyaratan Aspal Keras AC 60/70 31

Tabel 3. 6 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC) 32

Tabel 4. 1 Batasan Gradasi Agregat Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* 53

Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5% 55

Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5% 55

Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6% 56

Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5% 57

Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7% 58

Tabel 4. 7 Kebutuhan Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO 58

Tabel 4. 8 Jumlah Benda Uji untuk Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah pada KAO dengan Metode Pencampuran Konvensional 59

Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji untuk Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah pada KAO dengan Metode Pencampuran Bertahap 59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Limbah Serbuk Bata Merah 23
Gambar 3. 2 Ilustrasi Proses Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap 34
Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai Stabilitas 36
Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai *Flow* 37
Gambar 3. 5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA* 39
Gambar 3. 6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM* 40
Gambar 3. 7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA* 41
Gambar 3. 8 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *MQ* 42
Gambar 4. 1 Grafik Batasan Gradasi Agregat Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* 54
Gambar 5. 1 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) 73
Gambar 5. 2 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas 86
Gambar 5. 3 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* 87
Gambar 5. 4 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* 88
Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* 88
Gambar 5. 6 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* 89
Gambar 5. 7 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *MQ* 90
Gambar 5. 8 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *IRS* 91
Gambar 5. 9 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Stabilitas 92
Gambar 5. 10 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Flow* 94
Gambar 5. 11 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *MQ* 96

Gambar 5. 12 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *ITS Unconditioned* 97
Gambar 5. 13 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *ITS Conditioned* 97
Gambar 5. 14 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *ITS* 98
Gambar 5. 15 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *CL* Normal 99
Gambar 5. 16 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *CL* Rendaman 100
Gambar 5. 17 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *AFD* 101
Gambar 5. 18 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VITM* 103
Gambar 5. 19 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VMA* 104
Gambar 5. 20 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VFWA* 106
Gambar 5. 21 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Density* 107

Gambar 5. 22 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Rendaman 0,5 Jam dan 24 Jam Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap 108
Gambar 5. 23 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *IRS* 109
Gambar 5. 24 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai IDP 111
Gambar 5. 25 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai IDK 112
Gambar 5. 26 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *TSR* 113
Gambar 5. 27 Grafik *CL* Normal dan *CL* Rendaman Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap 114
Gambar 5. 28 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *ICL* 115

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal 141

Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal 142

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal 143

Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal 144

Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal 145

Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam *TCE* 146

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar 147

Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal 148

Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar Dengan Mesin *Los Angeles* 149

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus 150

Lampiran 11 Pemeriksaan *Sand Equivalent* 151

Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Debu Batu 152

Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Serbuk Bata Merah 153

Lampiran 14 Pengujian *Marshall Test* dengan Metode Pencampuran Konvensional 154

Lampiran 15 Pengujian *Marshall Test* dengan Metode Pencampuran Bertahap 155

Lampiran 16 Pengujian *IRS* dengan Metode Pencampuran Konvensional 156

Lampiran 17 Pengujian *IRS* dengan Metode Pencampuran Bertahap 157

Lampiran 18 Rekapitulasi Hasil Pengujian IDP dan IDK 158

Lampiran 19 Grafik *Marshall* 159

Lampiran 20 Pengujian *ITS* dengan Metode Pencampuran Konvensional 160

Lampiran 21 Pengujian *TSR* dengan Metode Pencampuran Konvensional 161

Lampiran 22 Pengujian *ITS* dengan Metode Pencampuran Bertahap 162

Lampiran 23 Pengujian *TSR* dengan Metode Pencampuran Bertahap 163

Lampiran 24 Rekapitulasi Grafik *ITS* dan *TSR* 164

Lampiran 25 Pengujian *CL* dengan Metode Pencampuran Konvensional 165

Lampiran 26 Pengujian *CL* dengan Metode Pencampuran Bertahap 166

Lampiran 27 Grafik *CL* Konvensional dan Bertahap 167

Lampiran 28 Pengujian *CL* Rendaman Konvensional 168

Lampiran 29 Pengujian *CL* Rendaman Bertahap 169

Lampiran 30 Grafik *CL* Konvensional dan Bertahap 170

Lampiran 31 Pengujian *ICL* 171

Lampiran 32 Pengujian *AFD* Konvensional 172

Lampiran 33 Pengujian *AFD* Bertahap 173

Lampiran 34 Grafik *AFD* 174

DAFTAR NOTASI

A = persentase agregat kasar (%)

a = Nilai IDK (%)

a = Total kehilangan kekuatan rerata satu hari (%)

B = persentase agregat halus (%)

b = Berat Jenis Abu Batu (gr/cm^3)

Ba = berat beton aspal padat di dalam air (gram),

Bk = berat kering beton aspal padat (gram),

Bssd = berat kering permukaan dari beton aspal dipadatkan (gram),

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

CL_d = nilai *cantabro loss* dalam kondisi normal/dry (%)

CL_w = nilai *cantabro loss* dalam kondisi rendaman/wet (%)

D = diameter benda uji (cm)

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

d = Diameter benda uji (mm)

e = berat dalam air (gr)

F1 = berat jenis agregat kasar, dan

F2 = berat jenis agregat halus.

f = volume / isi (cm^3).

g = nilai density (gr/cc),

G_{mb} = berat jenis bulk dari beton aspal padat,

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran beton aspal belum dipadatkan,

G_a = berat jenis aspal,

h = Tinggi benda uji (mm)

L = persentasi kehilangan berat (%)

M_o = Berat sebelum abrasi (gr)

M_i = Berat sesudah abrasi (gr)

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

P = Nilai Stabilitas (N),

q = angka stabilitas,

r = angka koreksi tebal benda uji.

r = Indeks penurunan stabilitas (%)

P_a = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%),

P_s = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%),

Sa = persen kuat sisa rata-rata satu hari (%)

S_1 = rata-rata nilai stabilits *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit,

S_2 = rata-rata nilai stabilits *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam.

Si = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti (%)

Si +1 = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti +1, dan

T1 = rata-rata nilai *ITS* tanpa rendaman (kg)

T2 = rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg)

Ti,ti+1 = Periode perendaman (dari awal pengujian)

tn = total waktu rendaman (jam)

DAFTAR SINGKATAN

AASHTO = *America Association of State Highway and Transport*

AC - BC = *Asphalt Concrete – Binder Course*

AFD = *Asphalt Flow Down*

CL = *Cantabro Loss*

ICL = *Index of Cantabro Loss*

IDP = Indeks Durabilitas Pertama

IDK = Indeks Durabilitas Kedua

ITS = *Indirect Tensile Strength*

IRS = *Index of Retained Strength*

KAO = Kadar Aspal Optimum

MQ = *Marshall Quotient*

SNI = Standar Nasional Indonesia

SSD = *Saturated Surface Dry*

TSR = *Tensile Strength Ratio*

VITM = *Void in the Total Mix*

VFWA = *Void Filled With Asphalt*

VMA = *Void in Mineral Agregate*

ABSTRAK

Kemajuan teknologi pada perkerasan jalan mendorong lahirnya metode pencampuran baru untuk mendukung peningkatan kekuatan perkerasan jalan, salah satunya adalah metode pencampuran bertahap. Di sisi lain, limbah serbuk bata merah berpotensi sebagai bahan alternatif *filler* di dalam campuran aspal. Penelitian ini bertujuan mengetahui pengaruh substitusi limbah serbuk bata merah sebagai *filler* terhadap karakteristik volumetrik, kekuatan struktur, dan daya tahan atau durabilitas campuran *AC-BC* dengan perbandingan menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap.

Pengujian diawali dengan pengujian fisik material agregat dan aspal. Kemudian pada tahap kedua yaitu menentukan KAO pada campuran *AC-BC* dengan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dari total berat campuran menggunakan pengujian *Marshall* dan *IRS*. Setelah itu, dilanjutkan dengan analisis nilai stabilitas, *flow, MQ, density, VITM, VMA, VFWA, IRS,* IDP, IDK, *ITS, TSR, CL, ICL, dan AFD.* Pengujian dilakukan dengan variasi kadar substitusi *filler* limbah serbuk bata merah sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%.

Hasil pengujian karakteristik volumetrik menunjukkan substitusi *filler* limbah serbuk bata merah semakin meningkat menghasilkan karaktertistik volumetrik lebih baik hingga kadar subtitusi *filler* optimum 40%. Penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan karakteristik volumetrik semakin baik dimana rongga yang dihasilkan semakin kecil dibanding metode pencampuran konvensional. Pada parameter kekuatan, kadar substitusi *filler* limbah serbuk bata yang semakin banyak menghasilkan kekuatan campuran semakin kuat hingga kadar optimum substitusi *filler* limbah serbuk bata merah 40% ditandai dengan peningkatan stabilitas, *MQ*, *ITS* dan penurunan nilai *CL* dan *AFD*. Penggunaan metode bertahap menghasilkan kekuatan campuran yang semakin kuat dibanding metode pencampuran konvensional. Hal ini menandakan bahwa campuran lebih kuat menahan beban dan keausan serta tidak akan mudah mengalami deformasi. Meskipun demikian, penambahan kadar substitusi *filler* limbah serbuk bata merah pada campuran *AC-BC* menghasilkan ketahanan yang lebih baik hingga kadar optimum substitusi *filler* 40%. Menggunakan metode pencampuran bertahap menghasilkan campuran menjadi lebih awet dibanding metode pencampuran konvensional sehingga campuran lebih awet terhadap suhu, cuaca, dan temperatur.

Kata Kunci: *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC),* metode pencampuran bertahap, limbah serbuk bata merah, dan substitusi *filler.*

ABSTRACT

The advances in road pavement technology have led to the emergence of new mixing methods to support improvements in pavement strength, one of which is the stepwise mixing method. On the other hand, red brick dust waste has the potential to serve as an alternative filler material in asphalt mixtures. This study aims to investigate the effect of substituting red brick dust waste as a filler on the volumetric characteristics, structural strength, and durability of AC-BC mixtures, comparing the results obtained using conventional mixing methods and the stepwise mixing method.

The testing began with physical testing of aggregate and asphalt materials. Then, in the second stage, the KAO was determined in AC-BC mixtures with asphalt content of 5%, 5.5%, 6%, 6.5%, and 7% of the total mixture weight using Marshall and IRS testing. Following this, an analysis of stability values, flow, MQ, density, VITM, VMA, VFWA, IRS, IDP, IDK, ITS, TSR, CL, ICL, and AFD was conducted. The testing was performed with variations in the substitution rate of red brick powder waste filler at 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, and 50%.

The results of volumetric characteristic testing show that increasing the substitution of red brick powder filler results in better volumetric characteristics up to an optimum filler substitution level of 40%. The use of the gradual mixing method results in better volumetric characteristics, where the resulting pores are smaller compared to the conventional mixing method. In terms of strength parameters, increasing the substitution rate of red brick powder filler results in stronger mixture strength up to the optimal substitution rate of 40%, marked by improved stability, MQ, ITS, and reduced CL and AFD values. The use of the gradual mixing method results in stronger mixture strength compared to the conventional mixing method. This indicates that the mixture is stronger in withstanding loads and wear and tear and will not easily deform. However, increasing the substitution rate of red brick powder filler in the AC-BC mixture results in better durability up to an optimum substitution rate of 40%. Using the gradual mixing method results in a more durable mixture compared to the conventional mixing method, making the mixture more resistant to temperature, weather, and environmental conditions.

***Keywords**: Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC), sequential mixing method, red brick powder waste, and filler substitution.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan menurut Zain (2019), merupakan infrastruktur yang menghubungkan satu daerah dengan daerah yang lain yang sangat penting dalam sistem pelayanan masyarakat. Konstruksi jalan yang ada di Indonesia sebagian besar menggunakan perkerasan lentur *(flexible pavement)* dengan material beton aspal. Pekerasan yang baik mampu menjadikan kelancaran perekonomian di Indonesia karena dengan adanya perkerasan yang baik dapat memperlancar perjalanan dan dapat mengurangi waktu tempuh pengiriman yang dapat mempengaruhi harga jual dari suatu barang. Perkerasan yang baik memerlukan karakteristik campuran aspal beton yang berkualitas.

Upaya untuk meningkatkan kinerja aspal beton sendiri yaitu dengan mengganti bahan pengisi *(filler)* dengan material lain yang memiliki karakteristik mampu menggantikan debu batu sebagai *filler* yang biasa digunakan dalam campuran aspal beton. Pengujian yang dilakukan oleh Sonata (2018), bahan pengisi yang dapat menggantikan material lain salah satunya yaitu limbah serbuk bata merah yang mempunyai kandungan mirip semen yaitu Silika (SiO_2) ± 60% dan Aluminat ($Al2O_3$) ± 30% karena dapat menghasilkan nilai yang signifikan terhadap nilai stabilitas dan karakteristik *marshall* seperti nilai kekuatan, parameter volumetrik, dan keawetan pada campuran.

Umumnya pada saat pembuatan perkerasan jalan, campuran yang umum digunakan di Indonesia yaitu campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* dikarenakan lapisan tersebut adalah salah satu dari bagian dari perkerasan jalan yang berfungsi sebagai lapis antara yang terletak di bawah lapisan aus *(wearing course)* dan diatas lapisan pondasi *(base course)* yang dapat menahan beban maksimum lalu lintas. Lapisan *AC – BC* harus memiliki kriteria seperti memiliki ketebalan dan kekakuan yang sangat baik sehingga dapat mengurangi tegangan atau

regangan yang diterima akibat beban lalu lintas yang dapat diteruskan ke lapisan bawahnya. Lapisan ini merupakan lapisan yang mempunyai gradasi agregat gabungan rapat/menerus *(dense graded aggregate)* yang menjadikan campuran dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap air, dan memiliki berat isi yang besar . Selain dapat mengurangi tegangan atau regangan yang terjadi, campuran *AC – BC* merupakan campuran yang waktu pelaksanaannya mudah dan lebih cepat dan biaya pemeliharaannya relatif lebih ekonomis.

Limbah serbuk bata merah digunakan sebagai *filler* pengganti abu batu. Hal ini mempunyai tujuan untuk mengetahui serbuk bata merah sebagai *filler* terhadap *density* dan uji parameter *marshall* yang ditunjukkan dengan adanya nilai stabilitas dan *flow* terhadap beton aspal. Menurut Wibowo, dkk (2022) bahwa penggunaan *filler* serbuk bata merah ini pada proporsi campuran mengalami kenaikan pada nilai *Void in Mixture (VIM)* yang menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga bersifat porous pada penggunaan *filler* serbuk bata merah ini.

Selain mengganti material untuk *filler,* menggunakan metode pencampuran bertahap merupakan salah satu hal yang dapat digunakan dalam peningkatan campuran *AC - BC.* Menurut Kok dan Kuloglu (2011) metode pencampuran bertahap ini mampu memaksimalkan campuran karena metode ini didasarkan pada langkah awal seperti *pre-coating* agregat kasar dengan kadar aspal optimumnya, kemudian mencampurkan dengan *filler,* dan tahap terakhir yaitu mencampurkan dengan agregat halus.

Beberapa penelitian tentang metode pencampuran ini memberikan kesimpulan hasil terhadap parameter volumetrik, kekuatan dengan meningkatkan penyelimutan aspal pada campuran, mengurangi rongga agregat pada campuran, kepadatan yang lebih baik, peningkatan kinerja daya tahan, peningkatan kinerja kuat tarik, peningkatan kinerja kemampuan terhadap keausan yang lebih baik, dan meningkatkan ikatan aspal menjadi lebih kuat sehingga dapat digunakan untuk peningkatan kualitas pada campuran *AC - BC* melalui pengujian *Marshall, IRS, ITS, TSR, CL, AFD,* dan *ICL.*

Serbuk bata merah sebagai substitusi *filler* ini didapatkan di wilayah Jawa tengah tepatnya di Desa Kembangarum Kecamatan Mranggen Kabupaten Demak. Penelitian ini juga menggunakan metode bertahap sebagai metode utama dalam penelitian ini.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang, maka permasalahan yang dapat ditentukan dalam penelitian tugas akhir ini sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh substitusi *filler* limbah serbuk bata merah terhadap kekuatan campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* dengan metode pencampuran bertahap?
2. Bagaimana pengaruh substitusi *filler* limbah serbuk bata merah terhadap parameter volumetrik (*VITM, VFWA, VMA*) campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* dengan metode pencampuran bertahap?
3. Bagaimana pengaruh substitusi *filler* limbah serbuk bata merah terhadap keawetan *(durability)* campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* dengan metode pencampuran bertahap?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan yang akan didapatkan pada penelitian ini sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh substitusi *filler* limbah serbuk bata merah dengan metode pencampuran bertahap dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional terhadap kekuatan campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC).*
2. Menginvestigasi pengaruh substitusi *filler* limbah serbuk bata merah terhadap nilai *Void In Total Mix (VITM), Void Filled With Asphalt (VFWA),* dan *Void in Mineral Aggregate (VMA)* pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC).*
3. Memprediksi pengaruh substitusi *filler* limbah serbuk bata merah terhadap keaweatan pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC).*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan di berikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut ini.

1. Memanfaatkan limbah bata merah seperti serbuk bata merah sebagai bahan tambah substitusi *filler* pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC).*
2. Memberi pengetahuan pada pembaca tentang *filler* limbah serbuk bata merah.
3. Menambah pengetahuan mengenai pengaruh substitusi *filler* limbah serbuk bata merah dengan campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* menggunakan metode pencampuran bertahap.

1.5 Batas Penelitian

Adapun batasan penelitian di lakukan agar dapat terarah dan tepat sasaran, adalah sebagai berikut ini.

1. Peraturan yang digunakan adalah Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 Tahun 2020.
2. Bahan ikat yang di gunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina Penetrasi 60/70.
3. Agregat kasar di peroleh dari Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Agregat halus di peroleh dari di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Pengganti *filler* berupa limbah serbuk bata merah yang di peroleh dari Desa Kembangarum Kecamatan Mranggen, Kabupaten Demak, Jawa Tengah.
6. Variasi substitusi *filler* yang di gunakan adalah 0%, 10%, 20%, 30%, 40% dan 50% terhadap total *filler.*
7. Bahan pengisi *(filler)* yang di gunakan adalah limbah serbuk bata merah.
8. Tinjauan pengujian terhadap kekuatan struktur berdasarkan nilai stabilitas, nilai *flow* yang didapat dan *Marshall Quotient* (*MQ), Indirec Tensile Strength (ITS), Asphalt Flow Down (AFD)*, dan *Cantabro Loss (CL).*

9. Tinjauan pengujian terhadap parameter volumetrik berdasarkan nilai *density, Void In Total Mix (VITM), Void Filled With Asphalt (VFWA),* dan *Void in Mineral Aggregate (VMA).*
10. Tinjauan pengujian terhadap durabilitas campuran aspal berasal dari hasil pengujian *Index of Retained Strength (IRS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*, Indeks Durabilitas Pertama (IDP*)*, Indeks Durabilitas Kedua (IDK)*,* dan *Index of Cantabro Loss (IDP).*
11. Pengujian ini di lakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
12. Penelitian ini tidak menguji kandungan kimia dan kandungan fisik yang terkandung didalam limbah serbuk bata merah.
13. Penelitian ini menggunakan dua metode pencampuran, yaitu metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengaruh Berbagai Substitusi *Filler* terhadap Karakteristik Campuran Aspal

Filler menurut Totomiharjo dan Soeprapto (1994) merupakan bahan berbutir halus yang lolos pada ayakan No. 200 atau 0,075 mm. Pada campuran aspal, biasanya *filler* itu sendiri terdiri dari debu batu, kapur, semen *portland* atau yang lainnya. Silalahi (2021) mengatakan *filler* mempunyai fungsi utama yaitu untuk memperbaiki kepadatan dan stabilitas pada campuran, kemudian *filler* ini juga untuk mengurangi banyaknya bitumen yang digunakan untuk mengisi rongga di dalam campuran yang dapat mengurangi kepadatan suatu campuran aspal tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahayu (2018) yang tentang kinerja campuran *Split Mastic Asphalt* berbahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dengan *filler* serbuk batu bata akibat lama rendaman laut yang bertujuan untuk mengetahui penggunaan *filler* terhadap pengujian *marshall, IRS, ITS,* dan *CL*. Serbuk batu bata sebagai pengganti *filler* dapat meningkatkan kinerja campuran *Split Mastic Asphalt* dengan persentase 50% *filler* abu batu bata karena terjadi peningkatan pada nilai stabilitas dan *MQ* serta mengalami penurunan pada nilai *flow* dan untuk daerah pesisir pantai yang rawan terjadinya banjir rob direkomendasikan untuk menggunakan *filler* serbuk bata merah.

Pada penelitian yang dilakukan Yacob dan Wesli (2017) tentang pengaruh kadar *filler* abu batu kapur dan abu tempurung kelapa terhadap karakteristik *marshall* pada campuran aspal beton *AC-BC* ini mempunyai tujuan untuk mengetahui pengaruh campuran dengan pengujian parameter *marshall.* Abu batu kapur dan abu tempurung kelapa sebagai *filler* pada campuran *AC-BC* mempengaruhi pada nilai stabilitas dimana nilai dari stabilitas pada campuran *AC-BC* cenderung tinggi

Penelitian yang dilakukan oleh Sakur dan Farida (2019) membahas tentang analisis penggunaan limbah serbuk bata merah sebagai *filler* pada campuran laston lapis aus *(AC-WC)*, membuktikan dengan dilakukannya pengujian parameter *marshall* pengaruh *filler* terhadap campuran *AC-WC* menunjukkan penggunaan *filler* serbuk bata merah pada campuran sebanyak 6% dengan nilai KAO 5,4% memenuhi persyaratan spesifikasi oleh Bina Marga Tahun 2010 (Revisi 3) dengan nilai stabilitas 1029 kg.

Penelitian yang dilakukan oleh Rahmawati dkk (2023) tentang pengaruh limbah batu kapur bukit sekapuk Gresik sebagai *filler* campuran *AC-BC* membuktikan bahwa dari pengujian parameter *marshall* yang dilakukan terhadap campuran dengan *filler* limbah batu kapur bukit sekapuk gresik ditinjau dari nilai *flow* dan stabilitas pada setiap kadar aspal memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 (Revisi 2) dengan menggunakan *filler* batu kapur dengan nilai KAO 5,8% sehingga karakteristik pada campuran mengalami peningkatan.

Penelitian yang dilakukan oleh Wibowo dkk (2022) yang membahas tentang pemanfaatan serbuk bata merah untuk campuran aspal beton *AC-WC* terhadap karakteristik *marshall* menghasilkan bahwa pengujian sebelum dan sesudah menggunakan *filler* serbuk bata merah dengan menggunakan proporsi campuran memiliki nilai *flow,* peningkatan nilai *VIM*, mengalami penurunan nilai *MQ,* dan penurunan nilai *density* pada kadar 5%, 6%, dan 7% *filler* serbuk bata merah.

Pada penelitian Winayati dkk (2017) yang membahas pengaruh *filler* abu tandan sawit terhadap karakteristik *marshall* pada campuran *AC-BC*, dilakukan pengujian parameter *marshall* untuk mengetahui pengaruh *filler* abu tandan sawit pada campuran *AC-BC*. Hasil dari pengujian tersebut, pada campuran *AC-BC* memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu 25% *filler* abu tandan sawit dicampur 75% abu batu memenuhi standar nilai stabilitas, *flow, VIM, VMA, VFA*, *MQ,* dan *IRS*. Persentase abu tandan sawit memengaruhi nilai pada *Void In Mix* (VIM) yaitu 5,77%s

2.2 Pemanfaatan *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran Aspal Beton

Bata merah itu sendiri terbuat dari tanah liat kemudian di bakar pada suhu yang sangat tinggi dan tidak akan hancur apabila setelah pembakaran dengan suhu tinggi tersebut bataa merah tidak mengalami kehancuran apabila di rendam air. Karakteristik bata merah sebagian besar terdiri dari pasir *(silika)* dan tanah liat *(aluminia),* yang terdiri dari perbandingan tertentu dan apabila terkena air akan bersifat plastis yang penting tanah tersebut dapat di cetak dengan mudah lalu di keringkan mengalami susut, hingga mengalami retak maupun mengalami melengkung. Serbuk bata merah di sini yang dimaksud apabila bata merah di haluskan dan menjadi halus, serbuk itulah yang akan di gunakan dalam penambahan substitusi *(filler)* pada penelitian yang akan di lakukan.

Penelitian yang dilakukan oleh Bakarbessy, dkk (2019) yang berjudul "Pemanfaatan Abu Bata Merah Sebagai Pengganti *Filler* Pada Campuran Aspal Beton (Laston)" membuktikan bahwa abu bata merah sebagai pengganti *filler* pada campuran memenuhi spesifikasi dari segi kekuatan (stabilitas dan *flow*), parameter volumetrik (*VIM, VMA, VFB*), nilai *MQ.*

Penggunaan limbah serbuk bata merah pada penelitian kali ini di harapkan penambahan substitusi *(filler)* meenggunakan serbuk bata merah dapat meningkatkan nilai kekuatan, meningkatkan parameter volumetrik pada campuran, dan keawetan atau durbalitias pada campuran dikarenakan bata merah mempunyai karakteristik apabila terkena suhu tinggi tidak akan retak dan apabila di rendam oleh air tidak akan hancur yang sangat dapat terjadi akibat gesekan roda kendaraan yang menyebabkan kausan. Limbah serbuk bata merah ini dapat menjadi alternatif agar rongga di dalam campuran (*VITM*) dapat teratasi sehingga udara tidak akan masuk ke dalam campuran yang menyebabkan ikatan antar agregat kasar dan halus berkurang kinerjanya. Penggunaan limbah serbuk bata merah ini sebagai substitusi *(filler)* pada campuran *AC - BC* ini di maksudkan untuk mengurangi keretakan yang terjadi pada perkerasan jalan akibat deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas yang berulang, dan pada saat suhu tinggi campuran aspal tidak akan mengalami

penurunan viskositas yang bisa menyebabkan terjadinya kegemukan pada permukaan aspal atau permukaan perkerasan jalan tersebut.

2.3 Kinerja Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* dengan Substitusi *Filler*

Lapisan *AC – BC* merupakan campuran yang terletak di bawah lapis aus atau juga disebut *(wearing course)* dan diatas lapisan pindasi atau (*base course).* Campuran *AC – BC* mempunyai spesifikasi gradasi agregat dimana fraksi agregat kasar yang tertahan yaitu lolos saringan No. 1" (25 mm) dan diharuskan bersih, keras awet dan bebas dari lempung atau bahan yang bisa menyebabkan aspal tidak menempel dengan sempurna di agregat tersebut. Kemudian pada agregat halus biasanya terdiri dari pasir atau sisa saringan batu pecah yang lolos saringan No.4 (4,75 mm).

Saleh dan Suparma (2015) dalam penelitiannya menggunakan *filler* zeolit alam dengan pengujian parameter *marshall, Marshall Imersion Test*, *ITS, TSR* untuk perancangan laboratorium pada campuran *AC-BC*. Dalam penelitian tersebut, menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar zeolit alam maka nilai *MQ* semakin menurun yang disebabkan stabillitas yang menurun dan nilai *flow* yang semakin meningkat. Kemudian pada nilai *TSR* memenuhi spesifikasi persyaratan AASHTO T-283 (*Standard Method Of Test For Resistance Of Compacted Asphalt Mixture To Moisture-Induced Damage*) yaitu minimum nilai *TSR* adalah 80%.

Bancin, dkk (2021) melakukan penelitian terkait pengaruh penggunaan tanah merah sebagai *filler* pada campuran aspal *AC-BC* terhadap nilai parameter *marshall.* Dalam penelitian ini tanah merah sebagai pengganti *filler* menghasilkan bahwa semakin banyak penggunaan tanah merah sebagai *filler* semakin berpengaruh terhadap karakteristik campuran ditinjau dari nilai stabilitas rata-rata sebesar 1325 kg, *flow ,* maupun dari *MQ* yang memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 (Revisi 2).

2.4 Pengaruh Metode Pencampuran Bertahap terhadap Kinerja Campuran Aspal Beton

Metode pencampuran bertahap yaitu metode pencampuran yang dilakukan dimana pada tahap pertama pencampuran di dasarkan pada pelapisan awal agregat kasar dengan aspal sesuai kadar aspal optimum yang di gunakan untuk agregat kasar dan aspal tersebut. Kemudian tahap pencampuran yang kedua yaitu mencampurkan bahan pengisi *(filler)* yang kemudian tahap terakhir dicampurkan dengan agregat halus dengan jenis campuran *AC – BC* menggunakan bahan ikat aspal dengan penetrasi 60/70.

Penelitian yang dilakukan Iqbal dan Fauziah (2023) yang membahas tentang pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Sheet* dengan metode pencampuran konvensional dan bertahap. Pada penelitian ini menggunakan serbuk ban karet dengan persentase penambahan sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat aspal pada kondisi KAO. Hasil penelitian ini menyimpulkan bahwa tidak ada perbedaan yang signifikan antara dua metode pencampuran terhadap parameter volumetrik pada campuran. Namun dilihat dari penambahan serbuk ban karet pada campuran mengalami perbedaan yang signifikan pada nilai *VITM, VFWA*, dan *Density.* Pada penambahan serbuk ban karet pada campuran *Hot Rolled Sheet (HRS-WC)* dengan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *IRS, ITS, TSR* yang signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Namun metode pencampuran bertahap dengan penambahan serbuk ban karet menghasilkan nilai *Cantabro Loss* yang cenderung menurun yang di iringi dengan bertambahnya persentase kadar serbuk ban karet. Penurunan nilai *CL* menandakan penggunaan metode pencampuran bertahap dan penambahan serbuk ban karet sebagai *filler* mampu menghasilkan campuran yang memiliki daya dukung dan daya lekat yang lebih baik sehingga mampu memperlambat pengelupasan aspal dari campuran. Selain itu pada penelitian ini, metode pencampuran bertahap dengan penambahan serbuk ban karet menghasilkan nilai *AFD* yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan metode konvensional. Hal ini menandakan bahwa metode pencampuran bertahap

menghasilkan campuran yang homogen sehingga mampu mengurangi terjadinya pemisahan aspal pada campuran tersebut.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Mentari (2023) tentang pengaruh bahan *additive* karet alam terhadap durabilitas aspal porus dengan metode pencampuran bertahap dibandingkan dengan pencampuran konvensional. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa campuran *Porous* menunjukkan hasil ketahanan atau durabilitas yang ditinjau dari hasil perendaman *waterbath* pada nilai *IRS* dan *TSR* hingga 5% pada penambahan kadar *Latex.* Nilai *CL, AFD* dengan penggunaan *Latex* cenderung menurun dan nilai Stabilitas, *MQ,* dan *VFWA* mengalami peningkatan yang membuat campuran cenderung tidak berongga, lebih padat, dan tahan terhadap daya bentur maupun daya kuat tariknya.

Penelitian yang dilakukan oleh Kholid (2025) tentang pengaruh substitusi *filler* abu bauksit terhadap karakteristik campurann *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan metode pencampuran bertahap membuktikan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap dengan menggunakan *filler* abu bauksit menghasilkan rongga dalam campuran yang lebih kecil dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional sehingga meningkatkan nilai stabilitas dan mengalami penurunan nilai *flow* dengan menggunakan variasi kadar *filler* 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami kenaikan setiap penambahan kadar *filler*. Pada hasil pengujian *IRS, TSR*, IDP, IDK, dan *ICL* menghasilkan nilai durabilitas atau keawetan yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Atthaullah (2024) tentang pengaruh substitusi *filler* abu bauksit terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap menghasilkan bahwa menggunakan metode pencampuran bertahap dari parameter kekuatan, volumetric, dan durabilitas terutama pada nilai *CL* pada metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *cantabro loss* yang lebih rendah sehingga menghasilkan campuran memiliki kemampuan mempertahankan ikatan antara agregat dan aspal sehingga mencegah terjadinya *stripping* atau lepasnya aspal dari agregat akibat kelembaban.

Tabel 2. 1 Penelitian terkait Penggunaan *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran Aspal

No	Aspek	Peneliti					
		Rahayu (2018)	Bakarbessy dkk (2019)	Sakur dan Farida (2019)	Wibowo dkk (2022)	Dimas (2011)	Penulis
1	Judul Penelitian	Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt* Berbahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dengan *Filler* Serbuk Batu Bata Akibat Lama Rendaman Air Laut	Pemanfaatan Abu Bata Merah Sebagai Pengganti *Filler* Pada Campuran Aspal Beton (Laston)	Analisis Penggunaan Serbuk Bata Merah Sebagai *Filler* Pada Campuran Laston Lapis Aus (ACWC)	Pemanfaatan Serbuk Bata Merah Untuk Campuran Aspal Beton *Ac-Wc* Terhadap Karakteristik *Marshall*	Studi Penggunaan Serbuk Bata Merah Sebagai *Filler* Pada Pekerasan *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)*	Pengaruh Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah Terhadap Karakteristik Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* Dengan Metode Pencampuran Bertahap
2	Jenis Campuran	*Split Mastic Asphalt (SMA)*	*Asphalt Concrete – Waering Course (AC-WC)*	*Asphalt Concrete – Waering Course (AC-WC)*	*Asphalt Concrete – Waering Course (AC-WC)*	*Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)*	*Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*
3	Bahan Yang Digunakan	Serbuk Bata Merah	Serbuk Bata Merah	Serbuk Bata Merah	Serbuk Bata Merah	Serbuk Bata Merah	Serbuk Bata Merah
4	Pengujian	*Marshall, IRS,ITS,* dan *Cantabro Loss*	*Marshall (VMA, VITM, VFWA*, Stabilitas*, Flow,*	*Marshall (VMA, VIM, VFB,* Stabilitas*, Flow, Stabilitas Sisa,*	*Marshall (VMA, VIM, VFWA,* Stabilitas*, Flow,*	*Marshall (VMA, VIM, VFA, flow, MQ)*	Parameter *Marshall, ITS, IRS, TSR*, IDP, IDK, *AFD, Cantabro Los, Index of*

Sumber: Rahayu (2018), Bakarbessy dkk (2019), Sakur dan Farida (2019), Wibowo dkk (2022), dan Dimas (2011)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah Pada Campuran Aspal

No	Aspek	Peneliti					
		Rahayu (2018)	Bakarbessy dkk (2019)	Sakur dan Farida (2019)	Wibowo dkk (2022)	Dimas (2011)	Penulis
			MQ, dan Density)	*VIM PRD dan Density)*	*MQ, dan Density)*		*Cantabro Loss (IDP).*
5	Hasil Penelitian	Daerah pesisir pantai yang rawan terjadi banjir rob direkomendasikan untuk menggunakan *filler* serbuk bata merah dengan prsesntase 50% karena terjadi peningkatan pada nilai stabilitas dan *MQ* dan penurunan pada nilai *flow*	Penggunaan *filler* serbuk bata merah sebagai bahan pengisi dalam campuran *AC – WC* memenuhi spesifikasi SNI (06-2489-1991) dan mengalami peningkatan signifikan terhadap nilai minimum SNI	Penggunaan *filler* serbuk bata merah pada campuran sebanyak 6% dengan nilai KAO 5,4% memenuhi persyaratan spesifikasi oleh Bina Marga tahun 2010 (Revisi 3) dengan nilai stabilitas 1029 kg.	Hasil pengujian nilai karakteristik *marshall* sebelum dan sesudah menggunakan serbuk bata merah dengan menggunakan proporsi campuran memiliki nilai penurunan stabilitas, *flow,* penurunan *VITM,* peningkatan	Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas terus mengalami kenaikan setiap bertambahnya kadar aspal.	Penggunaan serbuk bata untuk *filler* pada campuran sebanyak 40% meningkatkan nilai stabilitas pada campuran *AC-BC.* Pada penambahan kadar 50% serbuk bata merah mengakibatkan nilai stabilitas menurun akibat nilai *VITM* naik disebabkan oleh serbuk bata merah yang bepori dan menyebabkan rongga dalam campuran meningkat sehingga

Sumber: Rahayu (2018), Bakarbessy dkk (2019), Sakur dan Farida (2019), Wibowo dkk (2022), dan Dimas (2011)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah Pada Campuran Aspal

No	Aspek	Peneliti					
		Rahayu (2018)	Bakarbessy dkk (2019)	Sakur dan Farida (2019)	Wibowo dkk (2022)	Dimas (2011)	Penulis
5	Hasil Penelitian				peningkatan nilai *VMA,* mengalami penurunan pada *MQ,* dan penurunan nilai *density* pada kadar 5%, 6%, dan 7%.		Menyebabkan kurangnya campuran menahan beban deformasi permanen akibat beban lalu lintas secara berulang.

Sumber: Rahayu (2018), Bakarbessy dkk (2019), Sakur dan Farida (2019), Wibowo dkk (2022), dan Dimas (2011)

Tabel 2. 2 Kinerja Campuran *Asphalt Concrete - Binder Course (AC-BC) dengan* Substitusi *Filler*

No	Aspek	Peneliti					
		Saleh dan Suparma (2015)	Rahmawati dkk (2023)	Bancin dkk (2021)	Yacob dan Wesli (2017)	Winayati dkk (2017)	Penulis
1	Judul Penelitian	Perancangan Laboratorium Pada Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC – BC) Dengan Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dan Zeolit Alam Sebagai *Filler*	Pemanfaatan Limbah Batu Kapur Bukit Sekapuk Gresik Sebagai *Filler* Campuran *AC – BC*	Pengaruh Penggunaan Tanah Merah Sebagai *Filler* Pada Campuran Aspal *AC-BC* Terhadap Nilai Marshall	Pengaruh Kadar *Filler* Abu Batu Kapur Dan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall Pada Camuran Aspal Beton *AC-BC*	Pengaruh *Filler* Abu Tandan Sawit Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran *AC-BC*	Pengaruh Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah Terhadap Karakteristik Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* Dengan Metode Pencampuran Bertahap
2	Jenis Campuran	*AC – BC*	*AC – BC*	*AC – BC*	*AC – BC*	*AC – BC*	*AC – BC*
3	Bahan Yang Digunakan	Zeolit Alam	Limbah Batu Kapur Bukit Sekapuk Gresik	Tanah Merah	Abu Batu Dan Tempurung Kelapa	Abu Tandan Sawit	Serbuk Bata Merah

Sumber: Saleh dan Suparma (2015), Rahmawati dkk (2023), Bancin dkk (2021), Yacob dan Wesli (2017), dan Winayati (2017)

Lanjutan Tabel 2.2 Kinerja Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* dengan Substitusi *Filler*

No	Aspek	Peneliti					
		Saleh dan Suparma (2015)	Rahmawati dkk (2023)	Bancin dkk (2021)	Yacob danWesli (2017)	Winayati dkk (2017)	Penulis
4	Pengujian	*Marshall (VMA, VITM, VFWA*, Stabilitas*, Flow, MQ, dan Density), Marshall Imersion Test, ITS, TSR*	*Marshall (VMA, VIM, VFB,* Stabilitas*, Flow, MQ)*	*Marshall (VMA, VITM, VFWA,* Stabilitas*, Flow, MQ, dan Density)*	*Marshall (VMA, VITM, VFWA*, Stabilitas*, Flow, MQ, dan Density)*	Marshall *(VMA, VIM, ,* Stabilitas*, Flow,* dan *MQ)*	Parameter *Marshall, ITS, IRS, TSR*, IDP, IDK, *AFD, Cantabro Los, ICL.*
5	Hasil Penelitian	Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin lama perendaman dan semakin tinggi kadar zeolit alam maka nilai *MQ* semakin menurun disebabkan nilai stabilitas yang semakin menurun dan nilai *flow* semakin meningkat	Ditinjau dari nilai *flow* dan stabilitas pada setiap kadar aspal memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 menggunakan *filler* batu kapur dengan KAO 5,8%.	Berdasarkan penelitian yang dilakukan bahwa nilai hasil uji parameter *Marshall* perbandingan antara *filler* 2% tanah merah dan 4% tanah merah menghasilkan hasil yang baik, dimana ditinjau dari nilai	Hasil pengujian membuktikan bahwa penggunaan *filler* abu batu kapur Dan abu tempurung kelapa dapat digunakan sebagai *filler* karena menunjukkan nilai *density, VMA, VITM,*	Dari penelitian tersebut pada campuran *AC-BC* memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2010 yaitu 25% *filler* abu tandan sawit dicampur 75% abu batu. Variasi tersebut memenuhi standar nilai	Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serbuk bata merah sebagai *filler* dengan kadar 50% membuat campuran *AC-BC* mengalami penurunan nilai stabilitas, peningkatan nilai *flow,* peningkatan nilai *VITM,*

Sumber: Saleh dan Suparma (2015), Rahmawati dkk (2023), Bancin dkk (2021), Yacob dan Wesli (2017), dan Winayati (2017)

Lanjutan Tabel 2.2 Kinerja Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* dengan Substitusi *Filler*

No	Aspek	Peneliti					
		Saleh dan Suparma (2015)	Rahmawati dkk (2023)	Bancin dkk (2021)	Yacob danWesli (2017)	Winayati dkk (2017)	Penulis
5	Hasil Penelitian	kemudian nilai *ITS* lebih rendah dari persyaratan sehingga tidak masuk dalam persyaratan yang digunakan.		stabilitas *flow* maupun hasil *Marshall Quotient (MQ)*.	*flow, MQ* sesuai spesifikasi, sedangkan nilai stabilitas cenderung tinggi.	stabilitas, *flow, VIM, VMA, VFA, MQ, IRS.* Presentasi ATS mempengaruhi nilai *VIM*	peningkatan nilai *CL*, dan peningkatan nilai *AFD* pada campuran.

Sumber: Saleh dan Suparma (2015), Rahmawati dkk (2023), Bancin dkk (2021), Yacob dan Wesli (2017), dan Winayati (2017)

Tabel 2. 3 Pengaruh Metode Pencampuran Bertahap terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton

No	Aspek	Peneliti					
		Iqbal (2023)	Mentari (2023)	Hidayat (2021)	Atthaullah (2024)	Kholid (2025)	Penulis
1	Judul Penelitian	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Karakteristik Campuran *Hot Rolled Sheet* Dengan Metode Pencampuran Konvensional Dan Bertahap	Pengaruh Bahan *Additive* Karet Alam Terhadap Durabilitas Aspal Porus Dengan Metode Pencampuran Bertahap Dibandingkan Dengan Pencampuran Konvensional	Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt* Dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 Dan Aspal *Crumb Rubber*	Pengaruh Substitusi *Filler* Abu Bauksit Terhadap Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* Dengan Metode Pencampuran Konvensional Dan Metode Pencampuran Bertahap	Pengaruh Substitusi *Filler* Abu Bauksit Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* Dengan Metode Pencampuran Bertahap	Pengaruh Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah Terhadap Karakteristik Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* Dengan Metode Pencampuran Bertahap
2	Jenis Campuran	*Hot Rolled Sheet (HRS)*	Campuran Aspal Porus	*Stone Matrix Asphalt*	*Hot Rolled Asphalt (HRA)*	*Stone Matrix Asphalt (SMA)*	*Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)*
3	Bahan yang di Gunakan	Serbuk Ban Karet	Bahan *Additive* Karet Alam	Aspal *Crumb Rubber*	Abu Bauksit	Abu Bauksit	Serbuk Bata Merah

Sumber: Iqbal (2023), Mentari (2023), Hidayat (2021), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025)

Lanjutan Tabel 2.3 Pengaruh Metode Pencampuran Bertahap terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton

No	Aspek	Peneliti					
		Iqbal (2023)	Mentari (2023)	Hidayat (2021)	Atthaullah (2024)	Kholid (2025)	Penulis
4	Pengujian	*Marshall,Immersion Test, ITS, IRS, TSR, Cantabro, AFD,Indeks Penetrasi, Stiffness Modulus*	*Marshall, , Density, ITS, IRS, , Cantabro Test, AFD, Wheel Tracking Test*	*Marshall, IRS, ITS, TSR,* dan *Cantabro Loss.*	*Marshall, IRS, ITS, TSR,* IDP, IDK, *Cantabro Loss,* dan *Ketahanan Cantabro Loss*	*Marshall, ITS, IRS, TSR*, IDP, IDK, *AFD, Cantabro Los, Index of Cantabro Loss (IDP).*	*Marshall, ITS, IRS, TSR*, IDP, IDK, *AFD, Cantabro Los, Index of Cantabro Loss (IDP).*
5	Hasil Pengujian	Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua jenis metode pencampuran terhadap nilai *VITM, VFWA*, dan *VMA* namun dilihat dari penambahan serbuk ban ada perbedaan yang	*Durability* campuran aspal porus, dapat dilihat dari nilai *IRS*, dan *TSR* yang mengalami peningkatan hingga kadar 5% karet alam. Nilai f*low*, *VIM, VMA, density*,	Karakteristik *Marshall* dan *ITS,* pada campuran *SMA* 12,5 mm menggunakan pencampuran dua tahap berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal *Crumb*	Penggunaan metode pencampuran bertahap menggunakan campuran *HRA* dengan substitusi *filler* menggunakan abu bauksit berpengaruh	Persentase substitusi *filler* abu bauksit sebesar 100% menjadi kadar variasi yang terbaik karena membuat	Penggunaan variasi kadar substitusi *filler* serbuk bata merah pada campuran *AC-BC* memiliki nilai terbaik pada kadar variasi 40%. Pada setiap penambahan variasi kadar substitusi *filler* serbuk bata merah

Sumber: Iqbal (2023), Mentari (2023), Hidayat (2021), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025)

Lanjutan Tabel 2.3 Pengaruh Metode Pencampuran Bertahap terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton

No	Aspek	Peneliti					
		Iqbal (2023)	Mentari (2023)	Hidayat (2021)	Atthaullah (2024)	Kholid (2025)	Penulis
5	Hasil Pengujian	pada nilai *VITM, VFWA*, dan *Density*. Dari segi parameter mekanisnya, nilai stabilitas, *flow*, dan *MQ* memiliki perbedaan signifikan terhadap dua metode pencampuran. Penambahan serbuk ban karet pada campuran dengan penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *IRS , ITS, TSR* yang signifikan lebih tinggi.	*Cantabro Loss* dan *AFD* sedangkan nilai stabilitas, *MQ, VFWA* dan *ITS* yang mengalami peningkatan yang berarti bahwa penambahan karet alam pada campuran aspal porus mudah tercampur, hal tersebut membuat nilai rongga pada campuran semakin mengecil, fungsi	*Rubber* memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini menandakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan kemampuan campuran dalam menerima beban lalu lintas tanpa	lebih baik terhadap kekuatan karena naiknya nilai dari stabilitas, *MQ*, *ITS,* dan penurunan nilai *flow* dibandingkan menggunakan metode konvensional sehingga campuran menjadi lebih kaku dan dapat menahan beban yang lebih baik dan mengurangi terjadinya	campuran lebih berongga ditandai dengan peningkatan nilai *VITM, VMA*, dan penurunan nilai *VFWA* dan *density.* Abu bauksit sebagai substitusi *filler* menjadikan campuran *SMA* lebih tahan terhadap deformasi	terjadi peningkatan nilai yang lebih optimal dilihat dari peningkatan nilai stabilitas, *VMA, VFWA, density, MQ, IRS, ITS,* dan *ICL.* Terjadi penurunan nilai *flow, VITM,* IDP, IDK, *CL, AFD* sehingga menjadikan campuran *AC-BC* mampu memiliki karakteristik yang lebih optimal ditinjau dari parameter kekuatan, volumetrik dan durabilitas dimana dengan menggunakan

Sumber: Iqbal (2023), Mentari (2023), Hidayat (2021), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025)

Lanjutan Tabel 2.3 Pengaruh Metode Pencampuran Bertahap terhadap Karakteristik Campuran Aspal Beton

No	Aspek	Peneliti					
		Iqbal (2023)	Mentari (2023)	Hidayat (2021)	Atthaullah (2024)	Kholid (2025)	Penulis
5	Hasil Pengujian	Modulus kekakuan bitumen *(Sbit)* menghasilkan peningkatan nilai *Sbit* seiring penambahan serbuk ban karet. nilai *Cantabro Loss* secara signifikan lebih rendah dari metode metode pencampuran konvensional. nilai *AFD* lebih rendah menggunakan metode pencampuran bertahap. Hal tersebut menandakan bahwa	porus yang menyalurkan air menjadi kehilangan karakteristiknya namun jika Kehilangan karakteristiknya namun jika campuran cenderung lebih rapat, maka campuran tersebut tahan terhadap daya bentur, nilai gaya tarik meningkat dan mengurangi potensi	terjadi perubahan Bentuk seperti gelombang, alur hingga *bleeding.* Peningkatan secara signifikan terhadap nilai *IRS* dan *TSR* menggunakan metode pencampuran dua tahap membuktikkan bahwa pelapisan awal agregat kasar dengan aspal membuat aspal dapat menembus	keretakan pada campuran. Parameter volumetrik dari pencampuran bertahap ini aspal mampu mengisi rongga dalam campuran dengan optimal dibanding menggunakan metode konvensional. Dari segi durabilitasnya, metode pencampuran bertahap	permanen. Pada hasil ini, metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai yang lebih baik pada setiap parameter pengujian dari segi kekuatan, volumetrik, dan durabilitas dibandingkan metode konvensional.	dimana dengan menggunakan metode bertahap menghasilkan nilai yang lebih baik dibanding menggunakan metode konvensional.

Sumber: Iqbal (2023), Mentari (2023), Hidayat (2021), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur *(Flexible Pavement)*

Didalam dunia konstruksi, terutama konstruksi jalan terdapat jenis perkerasan yang dipakai salah satunya adalah perkerasan lentur *(flexible pavement)*. Pada konstruksi perkerasan lentur ini menggunakan campuran yang berupa agregat kasar, agregat halus, material pengisi *(filler)* dan cairan aspal yang setelah itu penghamparannya dan pemadatannya menggunakan alat berat. Sukirman (1999) menyatakan bahwa perkerasan lentur ini pada umumnya digunakan untuk melayani beban laltu lintas dari ringan sampai sedang dengan contoh seperti jalan perkotaan, perkerasan bahu jalan dan perkerasan dengan menggunakan konstruksi secara bertahap atau berlapis pada saat pekerjaannya.

3.2 Limbah Serbuk Bata Merah

Menurut SNI 15-2094-2000 bata merah merupakan batu bata yang terbuat dari tanah liat yang kemudian dibakar dengan suhu yang sangat tinggi hingga berwarna kemerah-merahan. Bata merah biasanya digunakan untuk material bahan pembuat dinding rumah yang paling banyak digunakan oleh masyarakat dalam membangun rumah mereka karena bata merah adalah bahan material yang termasuk tahan oleh api. Selain itu, bata merah sebagai material relatif ringan untuk sebuah bangunan. Oleh sebab itu, bata merah dapat menjadi pilihan sebagai salah satu bahan material yang sering digunakan. Senyawa yang terkandung didalam bata merah yaitu silika dan aluminat dapat meningkatkan sifat *pozzolan* yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida untuk membentuk sifat pengikat didalam campuran yang menyebabkan campuran menjadi lebih kaku dan keras sehingga dapat meningkatkan kekuatan, volumetrik, dan durabilitas pada campuran. Sehingga serbuk bata merah dapat menjadi alternatif untuk penggunaan *filler* campuran aspal.



Gambar 3. 1 Limbah Serbuk Bata Merah

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Sonata (2018) dimana tumbukan batu bata merah tersebut mengandung unsur silika yang dapat mengurangi pembebasan kapur yang dapat membentuk zat perekat jika ditambahkan pada aspal. Pada penelitian ini bata merah memiliki komposisi kimia dengan hasil pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3. 1 Komposisi Kimia Limbah Serbuk Bata Merah

Komposisi	Persentase (%)
Silika (SiO_2)	± 60
Aluminat (Al_2O_3)	± 30
Ferri Trioksida ($FeO_{3)}$	± 5
Kalsium Oksida (CaO)	< 5
Magnesium	± 1

Sumber: Sonata (2018)

Serbuk bata memiliki berbagai ukuran tergantung pada proses penghancuran. Padaa penelitian ini serbuk bata merah digunakan sebagai substitusi *filler* pada campuran. Hal itu ukuran partikel pada serbuk bata merah harus memenuhi saringan No. 200 (0,075 mm) sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6 (Revisi 2).

3.3 Karakteristik Campuran Beton Aspal

Metode yang digunakan untuk penelitian saya ini dengan menggunakan metode Marshall Test yang dikembangkan pertama kali oleh Bruce Marshall dan dilanjutkan oleh U.S. Corps. Engineer. Berikut ini merupakan karateristik *Marshall Test* pada pengujian campuran aspal yang didapatkan dari beberapa parameter pengujian.

3.3.1 Stabilitas *(Stability)*

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan lentur menahan deformasi yang diakibatkan beban lalu lintas yang melintas diatas perkerasan jalan tersebut tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur hingga *bleeding*. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi yang didominasi oleh kendaraan berat membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas yang tinggi juga karena kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan beban lalu lintas yang dilayaninya. Namun, kestabilan yang tinggi menyebabkan lapisan perkerasan menjadi kaku dan retak akibat nilai stabilitas yang tinggi yang ditentukan dari bentuk agregat, kekasaran permukaan agregat, dan jenis gradasi agregat yang dipakai. Nilai stabilitas benda uji diperoleh dari pembacaan arloji Stabilitas pada saat pengujian *dengan Marshall Test*. Pengujian nilai stabilitas disebut juga kemampuan maksimum yang dialami beton aspal padat menerima beban sampai terjadinya kelelehan platis.

Faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas pada beton aspal yang pertama yaitu terjadinya gesekan internal diantara butir-butir agregat dan juga kondisi dimana antar agregat saling mengunci dan mengisinya butir-butir agregat kemudian terjadinya masing-masing butir yang saling terikat akibat adanya gesekan antar butir dan adanya aspal sehingga pemilihan agregat yang bergradasi baik atau rapat dapat memperkecil rongga antar agregat dan mengakibatkan aspal yang ditambahkan dalam campuran akan berkurang karena kadar aspal yang optimal akan memberikan nilai stabilitas maksimum pada saat pengujian.

Kedua, yaitu kohesi dimana gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekat pada campuran mampu memlihara tekanan antar butir agregat. Daya kohesi pada campuran ditentukan oleh penetrasi aspal, perubahan nilai viskositas yang

disebabkan oleh suhu, tingkat pembebanan lalu lintas yang dilayani, dan dari efek waktu dan umur aspal tersebut.

3.3.2 Daya Tahan/Keawetan *(Durability)*

Daya tahan atau *Durability* merupakan kemampuan aspal menerima beban lalu lintas dimana ditinnjau dari beban kendaraan yang dilayani dan gesekan antar roda kendaraan dengan lapisan permukaan jalan dan kekuatan aspal saat dipengaruhi oleh cuaca dan iklim seperti udara, air dan perubahan suhu.

Durabilitas beton aspal dipengaruhi oleh tebalnya selimut aspal, banyaknya pori dalam campuran, kepadatan dan kedap air dalam campuran. Namun, selimut aspal yang tebal akan menyelimuti agregat secara keseluruhan tetapi dapat mengakibatkan *bleeding* dimana dapat mengakibatkan jalan menjadi licin. Besarnya pori pada campuran setelah pemadatan mengakibatkan durabiliras beton aspal semakin menurun karena pori yang besar mengakibatkan campuran semakin tidak kedap air sehingga terjadi lobang *(pot holes)* yang diakibatkan air meresap kedalam celah atau retakan pada permukaan jalan. Hal ini mengakibatkan udara masuk didalam beton aspal dan memudahkan selimut aspal beroksidasi dengan udara sehingga menjadi getas dan durabilitasnya akan menurun seiring berjalannya waktu.

3.3.3 Kelenturan *(Flexibility)*

Kelenturan *(flexibility)* merupakan kemampuan campuran untuk menahan beban lalu lintas dan perubahan suhu pada campuran tanpa mengalami deformasi tanpa terjadinya retak. Dengan campuran yang mempunyai kelenturan yang baik, kelenturan juga berkontribusi pada umur pakai yang lebih lama. Kelenturan pada campuran dapat ditingkatkan menggunakan agregat yang terbuka karena memiliki rongga dalam campuran yang lebih besar sehingga dapat meningkatkan kelenturan pada campuran dan penggunaan kandungan aspal dengan penetrasi tinggi juga dapat meningkatkan kelenturan karena aspal dengan penetrasi tinggi lebih lunak dan lebih lentur. Kelenturan pada campuran sangat diperlukan karena campuran harus memiliki sifat *flexibility* untuk menahan gaya deformasi akibat beban lalu lintas.

3.3.4 Ketahanan Kelelahan *(Fatigue Resistance)*

Ketahanan Kelelahan *(Fatigue Resistance)* merupakan kemampuan pada lapis perkerasan jalan dalam menahan beban kendaraan yang dilayani secara terus menerus tanpa mengalami kerusakan seperti lobang *(pot holes)*, retak kulit buaya (*alligator cracking)*, gelombang pada lapisan permukaan jalan. Hal ini disebabkan karena rongga antar campuran yang tinggi tetapi kadar aspal rendah yang mengakibatkan terjadinya kecepatan kelelahan pada aspal.

3.3.5 Kekesatan atau Ketahanan terhadap Gaya Geser *(Skid Resistence)*

Kekesatan atau ketahanan terhadap gaya geser *(Skid Resistence)* merupakan kemampuan untuk memberikan tahanan saat terjadi gaya gesek antara roda kendaraan dengan lapisan permukaan sehingga kendaraan tidak tergelincir akibat pengereman. Faktor yang dapat mendapatkan kekesatan atau ketahanan terhadap gaya geser yaitu ukuran maksimum butir agregat yang digunakan harus mempunyai permukaan yang kasar agar permukaan jalan tidak licin.

3.3.6 Kedap Air *(Impermeability)*

Impermeabilitas pada campuran aspal beton merupakan kemampuan beton aspal untuk tidak mudah dimasuki air ataupun udara kedalam lapisan beton aspal yang dapat mempengaruhi berbagai kerusakan retak maupun alur. Air dan udara pada lapisan beton aspal mengakibatkan lepasnya aspal dari agregat diakibatkan air dan udara masuk kedalam pori.

3.3.7 Kemudahan Pelaksanaan *(Workability)*

Workability merupakan kemampuan beton aspal dalam pelaksanaan pekerjaan pada saat dihamparkan dan dipadatkan. Faktor yang mempengaruhinya yaitu viskositas aspal dan suhu pada beton aspal saat penghamparan dan pemadatan. Semakin dingin campuran beton aspal makan kemudahan dalam pelaksanaan pekerjaan semakin lama dan tidak efisien waktu, sementara jika campuran berada pada suhu yang sesuai atau panas makan dalam melaksanaan pekerjaan penghamparan dan pemadatan akan semakin mudah sehingga dapat efisien waktu pekerjaan.

3.4 Karakterisitik Material Penyusun *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)*

Dalam menyusun suatu campuran aspal panas terutama pada campuran *AC – BC* ada agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi *(filler)* dan bahan pengikat aspal penetrasi 60/70. Abrasi agregat kasar maupun agregat halus disesuaikan oleh jenis kebutuhan campuran yang akan dipakai.

3.4.1 Agregat

Menurut Dani, dkk (2023) yaitu agregat adalah bahan campuran yang bersifat keras yang digunakan sebagai bahan campuran yang biasnya berupa berbagai jenis butiran atau pecahan yang didalamnya antara lain: pasir, kerikil, agregat pecah, terak dapur tinggi, dan debu agregat. Menurut Wahyudi (2010), bahwa banyaknya agregat dalam campuran aspal umumnya berkisar antara 90% sampai 95% terhadap total berat campuran aspal tersebut atau 70% sampai 85% terhadap volume campuran aspal tersebut.

Menurut Sukirman (2003), agregat merupakan butiran mineral yang berfungsi sebagai bahan utama dalam campuran beton aspal itu sendiri, agregat mempunyai fungsi utama yaitu sebagai pemberi kekuatan struktural, kestabilan, serta membentuk kerangka utama campuran pada beton aspal.

Hal itu mengapa agregat sangat penting didalam campuran beton aspal karena agregat adalah bahan penyusun untuk campuran aspal yang memiliki fungsi untuk mengurangi susut dan mengisi rongga pada suatu campuran. Agregat menurut ukurannya dibedakan menjadi agregat kasar dan agregat halus yaitu:

a. Agregat Kasar

Sesuai dengan ASTM C125 bahwa agregat kasar didefinisikan sebagai material mineral alami atau hasil dari pemrosesan buatan yang berukuran No.4 (4,75 mm) yang digunkanan dalam konstruksi jalan perkerasan lentur maupun perkerasan kaku yang digunakan untuk memperkuat campuran.

Dimana agregat kasar yaitu agregat yang tertahan uji saringan No.4 dengan ukuran (4,75 mm). Agregat kasar biasanya terdiri dari batu pecah berupa kerikil-kerikil . Fraksi agregat kasar sendiri biasanya digunakan untuk rancangan campuran tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang cara pengayakannya dilakukan secara basah

dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari segala lempung atau bahan aditif lainnya yang tidak dikehendaki dan harus memenuhi ketentuan-ketentuan yang berada pada Tabel 3.2.

Tabel 3. 2 Persyaratan Agregat Kasar

<table>
<tr><th colspan="3">Pengujian</th><th>Metode pengujian</th><th>Nilai</th></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Kekekalan Bentuk agregat terhadap larutan</td><td>Natrium Sulfat</td><td rowspan="2">SNI 3407 : 2008</td><td>Maks 12%</td></tr>
<tr><td>Magnesium Sulfat</td><td>Maks 18%</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Abrasi dengan Mesin Los Angeles</td><td rowspan="2">Campuran AC modifikasi dan SMA</td><td>100 putaran</td><td rowspan="4">SNI 2417 : 2008</td><td>Maks 6 %</td></tr>
<tr><td>500 putaran</td><td>Maks 30 %</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Semua Jenis Campuran Aspal bergradasi lainnya</td><td>100 putaran</td><td>Maks 8 %</td></tr>
<tr><td>500 putaran</td><td>Maks 40 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">Kelekatan agregat terhadap aspal</td><td>SNI 2439 : 2011</td><td>Min 95 %</td></tr>
<tr><td colspan="3">Butir pecah pada agregat kasar</td><td>SNI 7619 : 2012</td><td>95/90(*)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Partikel pipih dan lonjong (Perbandingan 1:5)</td><td>SNI 8287 : 2016</td><td>Maks 10%</td></tr>
<tr><td colspan="3">Material lolos Ayakan No.200</td><td>SNI ASTM C117 : 2012</td><td>Maks 1%</td></tr>
</table>

Sumber : Bina Marga (2020)

Catatan :

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

b. Agregat Halus

Kemudian untuk agregat halus biasanya bisa dari sumber manapun dan harus terdiri dari pasir atau pengayakan batu pecah. Agregat halus dimana ukurannya lolos ayakan No. 4 (4,75 mm) dengan maksimum lolos ayakan No.200 (0,075 mm) dengan persentase 10%. Agregat halus juga memiliki peranan yang sangat penting

untuk memperkuat struktur perkerasan jalan karena agregat halus dapat mengisi rongga pada campuran. Untuk agregat halus memiliki ketentuan yang ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Persyaratan 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 C177 : 2012	Maks 10%

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4.2 Bahan Pengisi *(Filler)*

Menurut Silalahi (2021) bahan pengisi *(filler)* merupakan bahan yang lolos saringan No.200 (0,075 mm) yang didalam campuran aspal beton sangat dibatasi. Karena jika penggunaan bahan pengisi *(filler)* terlalu banyak maka campuran akan sangat kaku sehingga akan terjadi kemudahan retak pada campuran aspal beton tersebut. Namun, apabila didalam campuran kekurangan bahan pengisi *(filler)* akan menjadikan campuran aspal beton menjadi sangat lentur dan akan sangat mudah mengalami deformasi yang diakibatkan oleh kendaraan sehingga dapat menghasilkan jalan yang bergelombang akibat campuran aspal beton yang sangat lentur. Bahan pengisi *(filler)* ini pada campuran perkerasan jalan memiliki fungsi sebagai bahan pengisi rongga untuk meningkatkan daya ikat antar partikel yang ada didalam campuran sehingga stabilitas pada campuran akan memenuhi kriteria dan dapat memperkecil kelelehan hingga penurunan. Sesuai Bina Marga (2020) bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan yang setidaknya 75% mengandung berat bahan lolos saringan No. 200 (75 mikron) pada saat diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM CI 36.

3.4.3. Gradasi Agregat *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)*

Gradasi menurut Sukirman (1999) adalah susunan butir agregat sesuai dengan ukurannya yang merupakan hal penting dalam menentukan stabilitas perkerasan pada campuran yang mempengaruhi besarnya volume rongga *(Void)*, *Workability* dan *Stabililty* pada campuran. Ukuran butiran ditinjau dari pemeriksaan analisis saringan. Berikut adalah persyaratan gradasi agregat *Asphalt AC – BC* dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Persyaratan Gradasi Agregat Lolos Saringan

Ukuran Ayakan		% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat
		Laston (AC)
ASTM	(mm)	BC *(Binder Course)*
1”	25	100
3/4"	19	90 – 100
1/2"	12,5	75 – 90
3/8"	9,5	66 – 82
No.4	4,75	46 – 64
No.8	2,36	30 – 49
No.16	1,18	18 – 38
No.30	0,6	12 – 28
No.50	0,3	7 – 20
No.100	0,15	5 – 13
No.200	0,075	4 – 8

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4.4 Aspal

Aspal merupakan bahan pengikat antar agregat pada campuran yang memiliki ciri berupa warna hitam pekat atau coklat tua pada temperatur ruang yang berbentuk padat hingga semi padat yang bersumber daru alam maupun dari pengolahan minyak bumi. Aspal juga memiliki sifat *thermoplastic* apabila aspal dipanaskan

hingga temperatur tertentu sehingga aspal dapat berubah bentuk menjadi lunak hingga cair yang dapat membungkus partikel agregat pada saat pembuatan campuran aspal beton dan juga aspal yang menjadi cair dapat mengisi pori-pori pada agregat sehingga agregat tidak terdapat rongga didalamnya lagi. Menurut Sukirman (2007) banyaknya aspal didalam campuran perkerasan berkisar antara 4% - 10% berdasarkan berat campurannya, atau juga 10% - 15% berdasarkan volume campuran. Biasanya jenis aspal yang dipakai yaitu jenis aspal minyak. Berdasarkan campuran yang dipakai untuk *AC – BC* menggunakan aspal dengan Penetrasi 60/70. Berikut Tabel 3.5 Persyaratan Aspal AC Penetrasi 60/70.

Tabel 3. 5 Persyaratan Aspal Keras AC 60/70

No.	Jenis Pengujian	Standar	Nilai Persyaratan
1	Berat Jenis	SNI 2441: 2011	≥ 1,0
2	Penetrasi pada 25ºC	SNI 2456:2011	60 - 70
3	Daktilitas pada 25ºC	SNI 2432:2011	≥ 100
4	Titik Nyala	SNI 2433:2011	≥ 232
5	Kelarutan dalam *TCE*	AASHTO T44-14	≥ 99
6	Titik Lembek	AASHTO D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	≥ 48

Sumber : Bina Marga 2018 (Revisi 2)

3.5 Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)*

AC – BC adalah campuran agregat halus dengan agregat kasar yang kemudian ditambahkan bahan pengisi *(filler)* dan bahan pengikat aspal penetrasi 60/70 dengan kondisi suhu panas yang tinggi. Muhammad, dkk (2018) mengatakan biasanya pada *AC – BC* diproduksi dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* secara granular pada suhu pencampuran 145°C - 155°C kemudian pada saat dimuat didalam truk suhu pemuatan ke dalam truk antara 135°C-150°C.

Campuran *AC – BC* biasa digunakan untuk lapis antara pada perkerasan lentur. Peran *AC – BC* dalam struktur jalan yaitu sebagai lapis transisi atau lapis

antara lapis dasar yang kaku biasanya digunakan untuk mendistribusikan beban ke *subgrade* dan lapisan permukaan yang lebih fleksibel dimana biasanya memberikan permukaan yang lebih halus untuk berkendara.

Campuran *AC – BC* merupakan salah satu dari jenis Lapis Aspal Beton atau Laston. Lapisan aspal beton (Laston) ini mempunyai nilai struktural yang dikembangkan di Amerika oleh *Asphalt Institute* dengan nama i *(Asphalt Concrete).*

Menurut Bina Marga (2020), lapis aspal beton ini memiliki tiga jenis: AC Lapis Aus *(AC-WC),* AC Lapis Antara *(AC-BC)* dan AC Lapis Fondasi *(AC-Base),* dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm; 25,4 mm; 37,5 mm. Ketentuan sifat – sifat Campuran Laston *(AC)* dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3. 6 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112 (3)
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	0,6		
	Maks.	1,6		
Rongga dalam campuran *VITM* (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat *VMA* (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal *VFWA* (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1800 (3)

Sumber: Bina Marga 2018 (Revisi 2)

Lanjutan Tabel 3.6 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC)

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Fondasi
Pelelehan (*flow)* (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6 (3)
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ºC Maks *(IRS)*	Min.	90		

Sumber: Bina Marga 2018 (Revisi 2)

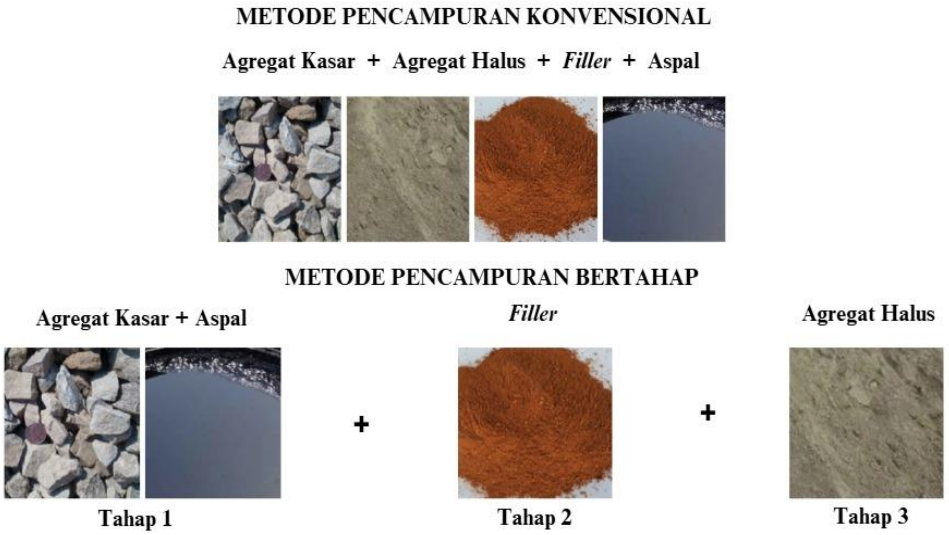
3.6 Metode Pencampuran Bertahap

Metode pencampuran konvensional merupakan metode yang sering digunakan dalam pencampuran beton aspal dengan cara tahapan awal yaitu mencampur agregat kasar, agregat halus dan *filler,* kemudian menambahkan bahan ikat aspal. Selain metode konvensional, saat ini telah diperkenalkan metode pencampuran yang baru yaitu metode pencampuran beton aspal dengan metode pencampuran bertahap.

Penelitian yang dilakukan oleh Kok dan Kuloglu (2011), bahwa metode pencampuran bertahap merupakan upaya yang digunakan untuk mengingkatkan kinerja campuran beton aspal dengan mengubah tahapan pada pencampuran aspal dengan agregat pada saat pencampuran berlangsung. Metode pencampuran bertahap ini didasarkan pada *pre-coating* agregat kasar dengan bahan ikat aspal sesuai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang kemudian tahap kedua dicampur dengan bahan pengisi *(filler)* dan tahap terakhir dicampur dengan agregat halus yang bertujuan untuk meningkatkan daya lekat aspal dengan agregat dan memperkuat sifat *adhesi* aspal dengan agregat yang biasanya dapat mempengaruhi penyerapan air pada lapis permukaan perkerasan jalan dan dapat menurunkan kecenderungan pengelupasan agregat pada campuran yang disebabkan oleh kelembaban dan dapat

juga meminimalkan adanya debu atau kotoran yang dapat menurunkan kinerja campuran aspal tersebut.

Campuran yang dihasilkan dari metode pencampuran bertahap ini menunjukkan distribusi rongga yang merata. Ini menandakan bahwa metode pencampuran bertahap lebih mudah dipadatkan daripada metode pencampuran konvensional karena metode pencampuran bertahap menghasilkan daya ikat aspal yang lebih baik. Campuran aspal yang dihasilkan dengan metode pencampuran bertahap memiliki ketahan yang lebih baik terhadap deformasi permanen akibat campuran memiliki daya ikat aspal yang lebih baik dan memiliki kekuatan tarik tidak langsung yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Di bawah ini merupakan ilustrasi atau tahapan perbandingan metode pencampuran konvensional dengan metode pencampuran bertahap pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 Ilustrasi Proses Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

(Sumber: Adaptasi, Hesami dkk, 2015)

3.7 Karakteristik Pengujian *Marshall*

Metode yang digunakan untuk penelitian saya ini dengan menggunakan metode *Marshall Test* yang dikembangkan pertama kali oleh *Bruce Marshall* dan dilanjutkan oleh *U.S. Corps. Engineer*. Berikut ini merupakan karateristik *Marshall*

Test pada pengujian campuran aspal yang didapatkan dari beberapa parameter pengujian.

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

3.7.1 Pengujian Stabilitas *(Stability)*

Stabilitas atau *Stability* yaitu kemampuan perkerasan untuk menahan gaya deformasi akibat beban lalu lintas yang dapat berupa gelombang atau alur pada lapisan permukaan jalan. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kadar aspal yang menyelimuti agregat pada campuran beton aspal. Nilai stabilitas pada benda uji diperoleh dari pembacaan arloji Stabilitas pada saat menerima beban hingga terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam satuan Kilogram (Kg). Nilai stabilitas dapat diperoleh pada Persamaan 3.1.

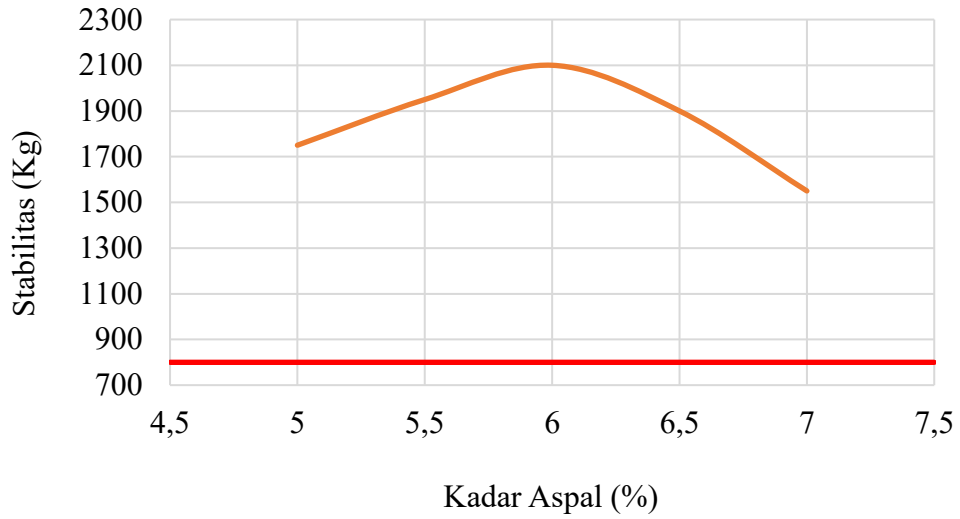
$$q = p \text{ x } r \tag{3.1}$$

keterangan :

q = angka stabilitas (kg),

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

r = angka koreksi tebal benda uji.



Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai Stabilitas

3.7.2 Kepadatan *(Density)*

Nilai kepadatan *(Density)* yaitu nilai yang menunjukkan tingkat kepadatan atau nilai berat volume suatu campuran antara agregat dan aspal. Semakin padat suatu campuran makan semakin kuat campuran tersebut menahan beban karen rongga didalam campuran mengecil dan gesekan antar agregat akan membesar dan membuat campuran lebih kedap dengan air dan udara sehingga sulit terjadi oksidasi pada campuran. Nilai kepadatan dapat diperoleh dengan Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3.

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

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

keterangan :

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

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

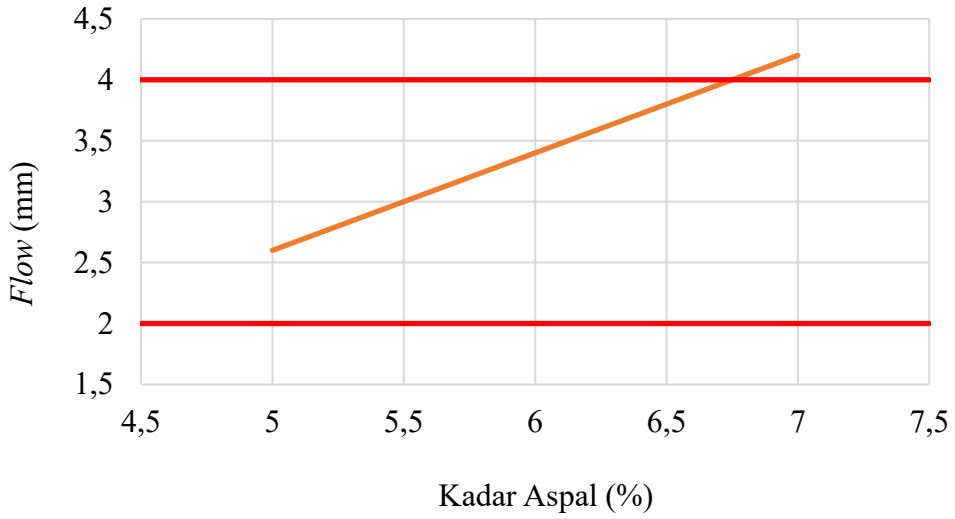
d = berat benda uji dalam keadaan jenuh / SSD (gr),

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume / isi (cm^3).

3.7.3 Kelelehan *(Flow)*

Flow atau kelelehan plastis yaitu besarnya penurunan deformasi pada benda uji akibat suatu beban sampai batas runtuh dan dinyatan dalam satuan Panjang (mm). Biasanya terjadi perubahan bentuk plastis pada benda uji yang terjadi akibat suatu beban sampai batas maksimal. Nilai flow yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis sehingga mudah mengalami bentuk akibat beban lalu lintas. Namun, nilai flow yang rendah menunjukkan bahwa campuran bersifat kaku yang dapat mengakibatkan terjadinya retak atau *cracking.* Berikut ini adalah grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai *Flow*

3.7.4 Pengujian Jenis Volume Pori

Menurut Sukirman (2003), sifat volumetrik beton aspal padat dapat diketahui dengan menggunakan beberapa parameter yaitu berat jenis *bulk* (G_{mb}), berat jenis maksimum (Gmm), pori dalam agregat campuran *(VMA)*, volume pori beton aspal *(VIM)*, volume pori antar butir agregat *(VFWA)*, dan kepadatan *(Density).*

1. Volume Bulk (V_{mb})

1.1 Berat jenis bulk beton aspal padat (G_{mb})

Berat jenis bulk beton aspal padat ini dapat diukur dengan menggunakan hukum Archimedes, yaitu:

$$G_{mb} = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \quad (3.4)$$

keterangan :

G_{mb} = berat jenis bulk dari beton aspal padat,

Bk = berat kering beton aspal padat (gram),

Bssd = berat kering permukaan dari beton aspal dipadatkan (gram),

Ba = berat beton aspal padat di dalam air (gram), dan

Bssd – Ba = volume bulk dari beton aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan sama dengan 1.

1.2 Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan (Gmm)

Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan adalah berat jenis campuran beton aspal yang tanpa pori atau udara menurut AASHTO T209-90. Nilai G_{mm} dapat diperoleh dari Persamaan 3.5.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{Ps}{Gse} - \frac{Pb}{Gb}} \quad (3.5)$$

keterangan :

G_{mm} = berat jenis maksimum campuran beton aspal belum dipadatkan,

Pa = kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%),

Ps = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%),

Ga = berat jenis aspal, dan

Gse = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat.

2. *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

VMA merupakan kadar persentase ruang rongga antar agregat terhadap volume total campuran pada benda uji. Semakin besar nilai *VMA* maka semakin besar rongga antar butir agregat suatu campuran. Nilai *VMA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.6.

$$VMA = 100 - \frac{\text{Gmb } x \text{ Ps}}{\text{Gsb}} \quad (3.6)$$

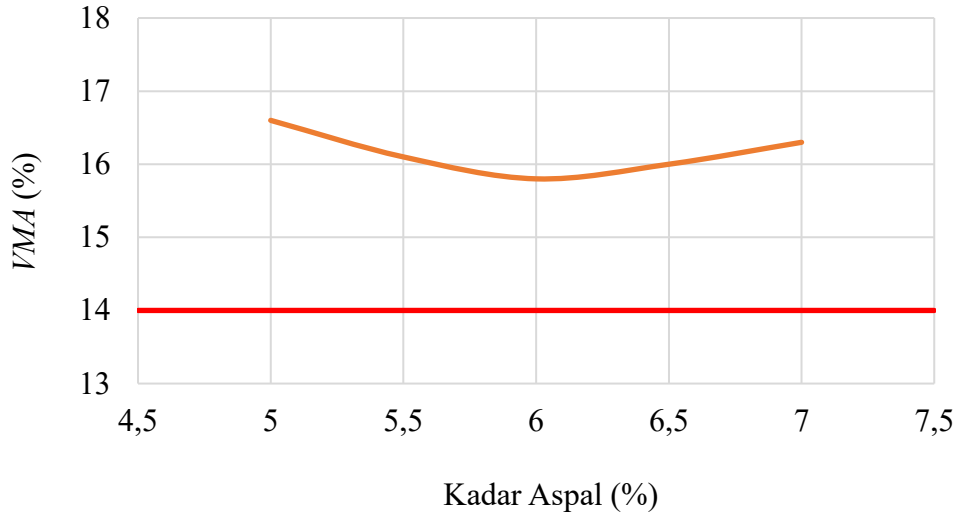
keterangan :

VMA = volume pori antara agregat di dalam beton aspal padat (%),

G_{mb} = berat jenis *bulk* dari aspal beton padat,

P_s = Persentase berat agregat terhadap berat campuran, dan

G_{sb} = berat jenis bulk agregat total.



Gambar 3. 5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA*

3. *Void In Total Mix (VITM)*

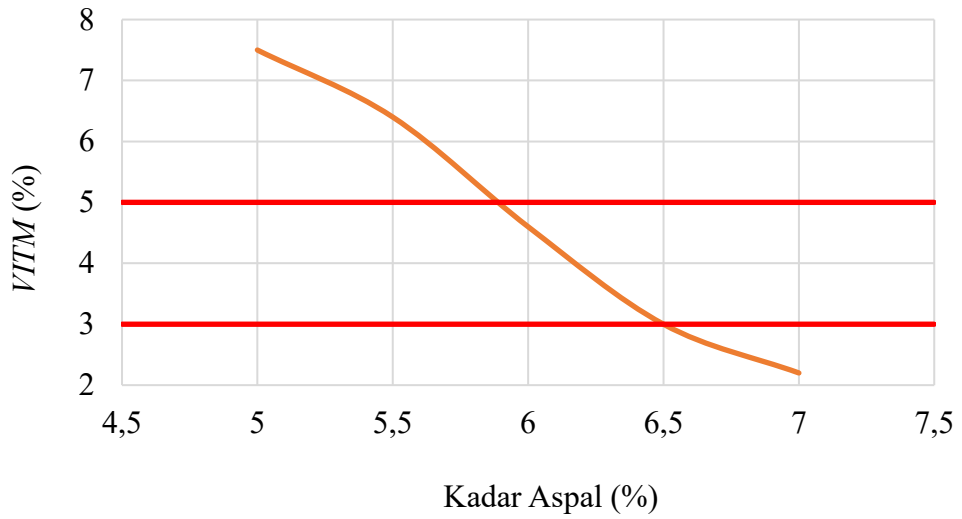
VITM adalah persentase volume rongga yang terdapat didalam volume total campuran padat. Biasanya persen rongga yang disyaratkan untuk LASTON adalah 3-5 %. Nilai *VITM* berpengaruh terhadap air dan udara yang masuk kedalam rongga yang dapat berakibat lemahnya ikatan antar asoal terhadap agregat. Nilai *VITM* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.7.

$$VITM = (100\ X\ \frac{Gmm-Gmb}{Gmm}) \quad (3.7)$$

keterangan :

G_{mb} = berat jenis bulk campuran = berat total campuran (sampel) : volume bulk campuran termasuk pori/voids.

G_{mm} = berat jenis bulk dari beton aspal padat.



Gambar 3. 6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM*

4. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Void Filled With Asphalt (*VFWA*) atau juga disebut rongga terisi aspal merupakan kondisi dimana rongga didalam agregat terisi aspal efektifnya. Nilai *VFWA* ini adalah nilai yang menunjukkan suatu perkerasan yang dipengaruhi oleh kadar aspal didalamnya jika kadar aspalnya relatif banyak maka rongga udara antar agregat yang terisi akan semakin kecil yang mengakibatkan campuran dapat memberikan kekedapan terhadap udara dan air menjadi tinggi. Nilai *VFWA* akan meningkat berdasarkan kadar aspal yang dipakai sampai batas waktu tertentu atau KAO. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.8 hingga Persamaan 3.12.

1. Perhitungan persentase aspal terhadap campuran

$$h = \frac{a}{100+1} \text{ x } 100 \qquad (3.8)$$

keterangan :

a = persentase aspal terhadap batuan (%), dan

b = persentase aspal terhadap campuran (%).

2. Perhitungan persentase aspal terhadap agregat

$$m = 100 \text{ x } \frac{i}{j} \qquad (3.9)$$

$$i = \frac{b \; x \; g}{Bj \; Aspal} \tag{3.10}$$

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

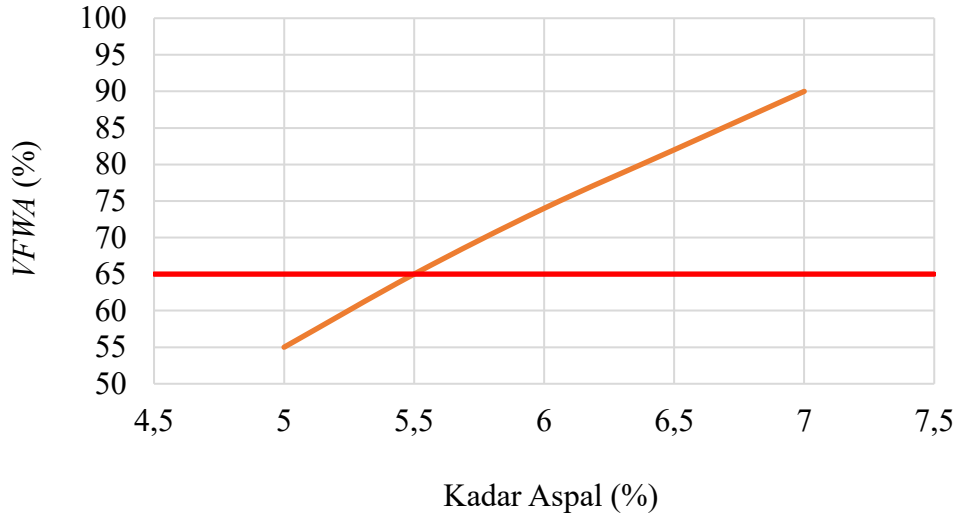
$$j = \left(\frac{(100-b)xg}{Bj \; Agregat}\right) \tag{3.12}$$

keterangan :

m = nilai *VFWA* (%),

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

b = persentase aspal terhadap campuran.

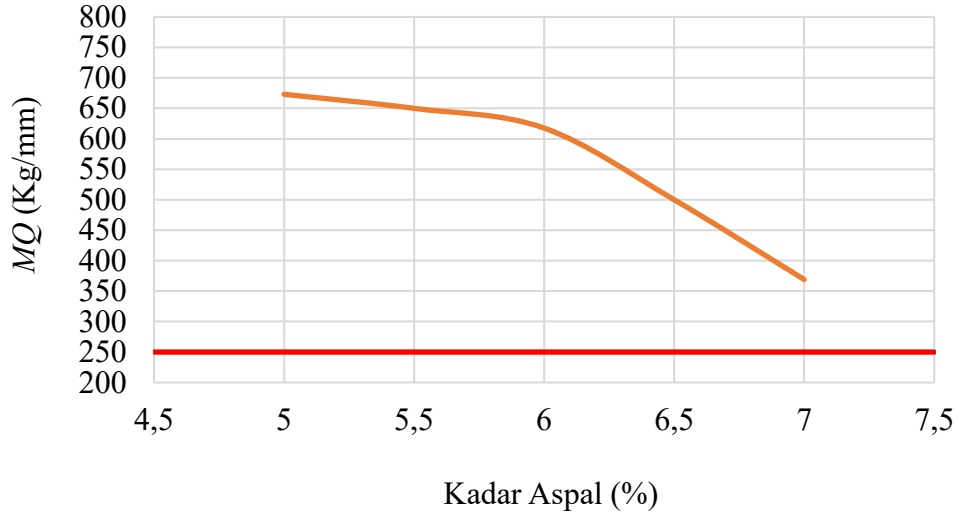


Gambar 3. 7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA*

3. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *Marshall Quetitent (MQ)* merupakan nilai perbandingan yang didapat dari nilai stabilitas dan nilai *flow*. Nilai *Marshall Quetitent* ini merupakan nilai yang dipakai untuk mengetahui kelenturan atau fleksibilitas dari suatu campuran. Dimana semakin kecil nilai *MQ* maka semakin lentur atau fleksibel campuran tersebut dan sebaliknya semakin besar nilai *MQ* maka semakin kaku campuran tersebut yang dapat berakibat campuran getas dan retak. Nilai *MQ* ini biasanya dinyatakan dalam satuan Kg/mm atau kN/mm. Nilai *MQ* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.13.

$$MQ = \frac{nilai\ stabilitas}{nilai\ flow} \quad (3.13)$$



Gambar 3. 8 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *MQ*

3.8 Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*

Index of Retained Strength (*IRS*) atau juga disebut Indeks Tahanan Kerusakan merupakan perbandingan nilai stabilitas ketika melakukan perendaman dalam air yang bersuhu 60°C dan dilakukkan selama 30 menit dan 24 jam. Pengujian ini biasa disebut pengujian rendaman atau *immersion test* yang digunakan untuk mengetahui kekuatan suatu campuran yang dipengaruhi oleh suhu, air, dan udara yang dapat merusak suatu campuran. Nilai *IRS* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.14.

$$Index\ of\ Retained\ Strength\ (IRSi = \frac{S2}{S1} \text{ x } 100 \quad (3.14)$$

keterangan :

S1 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit (kg),

S2 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam (kg).

3.9 Pengujian *Indirec Tensile Strenght (ITS)*

Indirec Tensile Strenght (ITS) merupakan suatu metode pengujian yang digunakan untuk mengetahui nilai gaya tarik dari suatu campuran aspal. Pengujian ini bersifat mengetahui apakah pada campuran mengalami retakan dari adanya kegagalan daya tarik yang terjadi karena campuran yang baik adalah campuran

yang tahan untuk menopang beban maksimum yang dilayaninya sehingga tidak terjadi adanya retakan pada lapisan perkerasan jalan tersebut.

Dalam pengujian *ITS* ini dimana pengujiannya menggunakan benda uji yang berbentuk silindris dan kemudian dibebani dengan sebuah beban *(dial)* yang diletakkan diatasnya dimana *dial* tersebut bekerja secara sejajar yang relatif merata sepanjang diameter bidang vertikal benda ujinya kemudian benda uji yang berbentuk silinder menyebabkan silinder akan mengalami terjadinya kerusakan seperti terjadi retakan sepanjang diameter vertikal. Tujuan utama dalam pengujian ini adalah untuk mengetahui indikasi terjadinya deformasi pada lapisan perkerasan. Nilai ITS dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.15.

$$ITS = \frac{2\ x\ p}{\pi\ x\ d\ x\ h} \tag{3.15}$$

keterangan :

ITS = kuat tarik tidak langsung (N/mm^2),
P = Nilai Stabilitas (N),
h = Tinggi benda uji (mm)
d = Diameter benda uji (mm)

3.10 Pengujian *Tensile Strenght Ratio (TSR)*

Tensile Strenght Ratio (TSR) merupakan nilai perbandingan daya tahan tarik pada campuran yang direndam selama 24 jam didalam alat yangbernama *Waterbath* bersuhu 60°C dengan nilai daya tahan tarik tanpa rendaman yang kemudian nilai perbandingan tersebut dikalikan dengan 100. Nilai *TSR* ini menggambarkan perkiraan kerentanan pada campuran aspal terhadap air dan suhu yang mempengaruhinya. Sehingga dapaat diperoleh nilai *TSR* dengan menggunakan rumus dari Persamaan 3.16.

$$TSR = (T2/T1) \times 100 \tag{3.16}$$

keterangan :

T1 = rata-rata nilai *ITS* tanpa rendaman (kg), dan

T2 = rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg).

3.11 Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama adalah jumlah kelandaian yang beurut berdasarkan kurva durabilitas tersebut. Indeks Durabilitas Pertama dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.17.

$$\text{IDP (r)} = \sum_{1=0}^{n-1} \frac{Si-(Si+1)}{(t1+1)-1} \text{ x } 100 \quad (3.17)$$

keterangan :

r = indeks penurunan stabilitas (%),
Si = persentase kekuatan sisa pada waktu ti (%),
Si+1 = persentase kekuatan sisa pada waktu ti+1, dan
Ti, ti+1= periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Nilai ‘r’ yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan. Sedangkan nilai ‘r’ bernilai negatife mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

3.12 Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Duraabilitas Kedua (IDK) merupakan luas kehilangan kekuatan rata-rata antara durabilitas dengan garis Sa = 100%. Nilai Indeks Duraabilitas Kedua (IDK) dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.18.

$$\text{IDK (a)} = \frac{1}{2tn} \sum_{1=0}^{n-1} (Si - (Si+1)[2tn + \big(ti + (ti+1)\big)] \quad (3.18)$$

keterangan :

a = kehilangan kekuatan rerata satu hari (%),
tn = total waktu perendaman (jam),
Si = persentase kekuatan sisa pada waktu ti (%),
Si+1 = persentase kekuatan sisa pada waktu ti+1 (%), dan
Ti, ti+1= periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Indeks durabilitas ini menunjukkan kekuatan satu hari, nilai ‘a’ yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan. Sedangkan nilai ‘a’ yang bernilai negatif mengindikasikan adanya pertambahan kekuatan. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka nilai a < 100. Hal itu memungkinkan untuk dapat

menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (Sa). Nilai Sa dapat dihitung dengan Persamaan 3.19.

$$Sa = (100\text{-}a) \tag{3.19}$$

keterangan :

Sa = persen kuat sisa rata – rata satu hari (%), dan
a = nilai IDK (%).

3.13 Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *Cantabro Loss* ini mempunyai tujuan yaitu untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Berdasarkan hal tersebut bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap pengaruh beban lalu lintas yang dilayaninya secara berulang yang dapat menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan pada kekuatannya. Pada pengujian ini, benda uji didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang dan minimal 6 jam. Benda uji ditimbang terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam drum mesin *Los Angeles* untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi *(Mo).* Selanjutnya benda uji tersebut dimasukkan ke drum mesin *los angeles* tanpa bola baja. Kemudian mesin dinyalakan dengan kecepatan 30 sampai 33 rpm sebanyak 300 putaran. Setelah selesai, benda uji dikeluarkan dan ditimbang dengan berat setelah abrasi *(Mi).* kehilangan berat dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.22.

$$L = \frac{Mo-Mi}{Mo} \text{ x } 100\% \tag{3.22}$$

keterangan :

a = kehilangan kekuatan rerata satu hari (%),
tn = total waktu perendaman (jam),
L = persentase kehilangan berat (%),
Mo = berat sebelum diabrasi *(gr),* dan
Mi = berat setelah diabrasi *(gr)*.

3.14 Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)* bertujuan untuk menentukan jumlah aspal maksimum yang tercampur secara merata dengan agregat tanpa terjadinya suatu pemisahan aspal. Nilai *AFD* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.23.

$$AFD = \left(\frac{m3-m1}{m2-m1}\right) x\ 100 \tag{3.23}$$

keterangan :

AFD = nilai *AFD* (%),
m1 = berat wadah cetakan (gr),
m2 = berat wadah dan campuran aspal sebelum dioven (gr), dan
m3 = berat wadah dan campuran aspal sesudah dioven (gr).

3.15 Pengujian *Index of Cantabro Loss (ICL)*

Pengujian *ICL* merupakan indeks yang menunjukkan perbandingan antara hasil uji *cantabro loss* normal/*dry* dengan *cantabro loss* rendaman/*wet.* Menurut Quesada, dkk (2021) pengujian *ICL* ini digunakan untuk mengevaluasi daya lekat antara *filler* dengan aspal dalam kondisi kering dan basah serta menguji perfoma tahan kelembaban melalui uji keausan *Cantabro Loss* dan dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.24.

$$ICL = \left(1 - \frac{(100-\mathrm{CLd})-(100-\mathrm{CLw})}{(100-\mathrm{CLd})}\right) \text{x } 100\% \tag{3.24}$$

keterangan :

ICL = *index of cantabro loss* (%),
CL_d = nilai *cantabro loss* dalam kondisi normal/*dry* (%),
CL_w = nilai *cantabro loss* dalam kondisi rendaman/*wet* (%).

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian merupakan gambaran dari langkah-langkah yang digunakan untuk menjawab rumusan masalah yang sudah ditentukan dan akan diuraikan untuk mendapatkan data-data yang setelah itu diolah kembali hingga mendapatkan hasil analisis dari hasil suatu penelitian. Pada penelitian yang saya lakukan ini menggunakan metode *eksperimental.* Dimana metode *eksperimental* merupakan metode yang digunakan untuk melakukan kegiatan percobaan di laboratorium untuk mendapatkan hasil berupa data-data yang kemudian akan diolah untuk melakukan riset penelitian terbaru. Pada penelitian ini penulis menggunakan acuan dari persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Bina Marga 2018 Revisi 2 Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal.

4.2 Metode Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel pada penelitian tugas akhir ini adalah *nonprobability sampling* dimana metode yang jenis sampel tidak dipilih secara acak. Sampel yang digunakan yaitu *purposive sampling* dimana sampel yang diambil adalah yang berdasarkan tujuan penelitian. Pada penelitian ini menggunakan 2 metode pencampuran, yang pertama metode pencampuran konvensional dan yang kedua metode pencampuran 2 tahap. Pada penelitian ini menggunakan serbuk bata merah dari Desa Kembangarum Kecamatan Mranggen Kabupaten Demak sebagai bahan pengisi *(filler)* dan aspal yang digunakan yaitu aspal Pertamina Pen 60/70. Menurut Arikunto (2010), bahwa *purposive sampling* dilakukan apabila peneliti memiliki pertimbangan atau kriteria tertentu untuk memilih individu yang akan dijadikan sampel dimana sampel yang akan dipilih memiliki karakteristik yang spesifik berkaitan dengan tujuan penelitian yang dilakukan.

4.3 Metode Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini dilakukan selama kegiatan pengujian yang dilakukan. Dilakukan pengelompokan benda uji dan cara pengujian untuk mendapatkan data-data berupa nilai Stabilitas, Kepadatan *(Densitiy)*, *Flow, MQ, VMA, VITM*, *VFWA*, *IRS*, *ITS, TSR,* IDP, IDK, *CL, AFD, ICL.*

4.4 Tahapan Penelitian

Penelitian yang dilakukan ini di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Pada penelitian ini mempunyai tahapan-tahapan penelitian seperti tahapan persiapan, tahap gradasi dan pengujian agregat, tahap pembuatan sampel uji, tahap pengujian sampel, analisis data hasil pengujian, dan kesimpulan hasil pengujian. Penelitian ini dibagi dalam beberapa tahap yaitu.

4.4.1 Persiapan Material

Pada tahap ini dilakukan persiapan dan pemeriksaan material untuk pembuatan benda uji yang bertujuan untuk mengetahui kalayakan material yang dipakai sesuai dengan spesifikasinya.

1. Pengujian Agregat
    a. Pengujian agregat kasar dengan cara pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat kasar. Standar acuan pengujian menggunakan SNI 1969:2016.
    b. Pengujian agregat halus dengan cara pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat halus. Standar acuan pengujian menggunakan SNI 1970:2016.
    c. Pengujian keausan agregat dengan mesin abrasi *Los Angeles.* Standar acuan pengujian menggunakan SNI 2417:2008.
    d. Pengujian kelekatan aspal dengan agregat. Standar acuan pengujian menggunakan SNI 2439:2011.
    e. Pengujian kadar lumpur atau debu pada agregat halus atau *Sand Equivalent.* Standar acuan menggunakan SNI 03-4428-1997.

f. Pengujian untuk analisis saringan agregat halus dan agregat kasar menggunakan standar acuan SNI ASTM C136-2012 yang bertujuan untuk menentukan gradasi antara agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler).*

2. Pengujian Aspal

a. Pengujian berat jenis aspal menggunakan standar acuan SNI 2441:2011.

b. Pengujian daktalitas aspal yang bertujuan untuk mengetahui nilai kohesi dan kelenturan aspal yang akan digunakan. Standar acuan pengujian menggunakan SNI 2432:2011.

c. Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal mengacu pada SNI 2344:2011. Pengujian titik nyala yaitu suhu pada saat terlihat nyala singkat kurang dari 5 detik pada suatu titik diatas permukaan aspal. Kemudian untuk pengujian titik bakar yaitu suhu pada saat sekurang-kurangnya 5 detik saat terlihat nyala pada suatu titik di permukaan aspal. Metode pengujian titik nyala dan titik bakar aspal dengan Cleveland open cup menggunakan standar acuan dari ASTM D 92-02b *Standart Test Method for Flash and Fire Points by Cleveland Open Cup Taster.*

d. Pengujian penetrasi aspal menggunakan acuan SNI 2456:2011. Pengujian ini bertujuan untuk aspal dapat menyerap kedalam agregat dan dapat membentuk ikatan yang kuat serta dapat memberikan daya tahan terhadap beban lalu lintas dan kondisi cuaca dan temperature. Metode pengujian ini dengan cara penghujaman jarum dimana jarum penetrometer berukuran 0,1 mm tertekan kebawah dengan beban yang tetap dalam waktu yang telah ditentukan sampai jarum menembus permukaan aspal yang berada di cawan uji.

e. Pengujian kelarutan aspal menggunakan campuran *Trichlor Ethylen (TCE).* Pada pengujian ini menggunakan standar acuan SNI 2438:2015 dan ASTM D2042. Pengujian ini mempunyai tujuan untuk mengetahui

kemurnian aspal terhadap kandungan mineral lain sebelum digunakan untuk campuran perkerasan.

f. Pengujian titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola *(ring and ball)* menggunakan acuan SNI 2434:2011. Tujuan pada pengujian ini yaitu untuk menentukan angka titik lembek aspal yang berkisal dari 30°C - 157°C. Biasanya pada uji titik lembek ini menggunakan aspal pen 60 yang mempunyai temperatur titik lembek dari 48°C - 58°C. Pada pengujian titik lembek ini penting untuk mengidentifikasikan apakah aspal cenderung meluna pada kenaikan temperatur pada perkerasan jalan.

3. Pengujian Bahan Pengisi *(Filler)*

   Bahan pengisi *(Filler)* harus memenuhi persyaratan SNI 03-6723-2022.

4. Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum

   Campuran aspal yang digunakan dalam pengujian ini sesuai dengan variasi kadar aspal yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% dari setiap kadar aspalnya dibuat masing-masing 3 sampel untuk metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap.

5. Pembuatan sampel berdasarkan nilai KAO

6. Pengujian Stabilitas, Kepadatan *(Densitiy)*, *Flow, MQ, VMA, VITM*, *VFWA*, *IRS*, *ITS, TSR,* IDP, IDK, *CL AFD, ICL.*

4.4.2 Persiapan Peralatan Penelitian

Peralatan penelitian yang digunakan yaitu peralatan yang tersedia di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Peralatan yang digunakan sebagai berikut.

1. Peralatan pengujian fisik agregat, seperti :
   a. alat untuk saringan agregat,
   b. mesin *Los Angeles,*
   c. tabung *Sand Equivalent,* dan
   d. *vibrator.*
2. Peralatan pengujian aspal yaitu :

a. alat ukur penetrasi aspal,
b. kelarutan aspal,
c. daktalitas aspal,
d. titik lembek aspal,
e. titik nyala, dan
f. titik bakar aspal.

3. Peralatan pengujian *Marshall* yaitu seperangkat alat uji karakteristik campuran metode *Marshall.* Terdiri dari :
   a. Kepala tekan berbentuk lengkung (*breaking head*).
   b. Cincin penguji berkapsitas 2500 kg (5000 lbs) dengan ketelitian 12,5 kg (25 lbs) dan dilengkapi dengan arloji tekan ketelitian 0,0025 cm (0,0001”).
   c. Arloji penunjuk kelelehan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01”).
   d. Cetakan benda uji berbentuk sillinder atau *mold* berdiameter 10 cm dan tinggi 7,5 cm.
   e. Alat penumbuk benda uji yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder (*compactor*) seberat 4,536 kg dan tinggi jatuh beban 45,7 cm.
   f. Ejector untuk melepas benda uji setelah dipadatkan.
   g. Oven yang dilengkapi dengan pengatur sushu untuk memanasi sampai (200±3) °C.
   h. Bak perendam (*waterbath)* untuk merendam benda uji dan dilengkapi dengan pengatur suhu minimum 20°C, dan
   i. Kompor.

4. Alat uji *ITS* dan *TSR* yang terdiri dari :
   a. Alat ukur tekan (strip loading) selebar 0,5“,
   b. Arloji pengukur stabilitas dan kelelehan *(flow)* dengan ketelitian 0,25 mm dan dilengkapi dengan,
   c. Alat penunjang seperti penumbuk *(compactor)* dengan berat 10 pound (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm),
   d. Alat pemanas (kompor), oven, cetakan benda uji berbentuk silinder *(mold)* yang berdiameter 10 cm (4”) dan tinggi 7,5 cm (3”),

e. Lengkap dengan pelat atas dan leher sambung,
f. Bak perendam *(waterbath).*

5. Seperangkat mesin *Los Angeles* untuk pengujian *Cantabro Loss* terdiri dari:
   a. Silinder baja tertutup pada kedua sisinya diameter 71 cm dan panjang dalam 50 cm,
   b. Bagian dalam silinder terdapat bilah baha melintang penuh dengan tinggi 8,9 cm, dan
   c. Silinder berlubang berbentuk persegi untuk memasukkan benda uji dan dilengkapi penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan silinder tidak akan terganggu.
6. Alat uji *Asphalt Flow Down (AFD)*
   a. nampan sebagai cetakan benda uji berukuran 20 x 40 cm dilapisi dengan *alumunium foil,*
   b. timbangan
   c. oven

4.4.3 Perencanaan dan Persiapan Campuran

Pembuatan campuran benda uji bergradasi *AC – BC* didasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 (Revisi 2) sebagai berikut.

1. Menentukan komposisi agregat.
2. Menentukan variasi kadar aspal pada campuran menggunakan perhitungan Pb.
3. Melakukan pembuatan benda uji dengan 2 x 75 tumbukan menggunakan alat pemadat *marshall.*
4. Menentukan nilai KAO berdasarkan parameter berikut.
   a. *VITM* dengan syarat minimum 3% dan maksimum 5%,
   b. *VMA* dengan syarat minimum 14%,
   c. *VFWA* dengan syarat minimum 65%,
   d. Stabilitas *marshall* campuran dengan syarat minimum 800 kg,
   e. *Flow* campuran dengan syarat minimum 2 mm dan maksimum 4 mm, dan
   f. *IRS* dengan syarat minimum 90%.

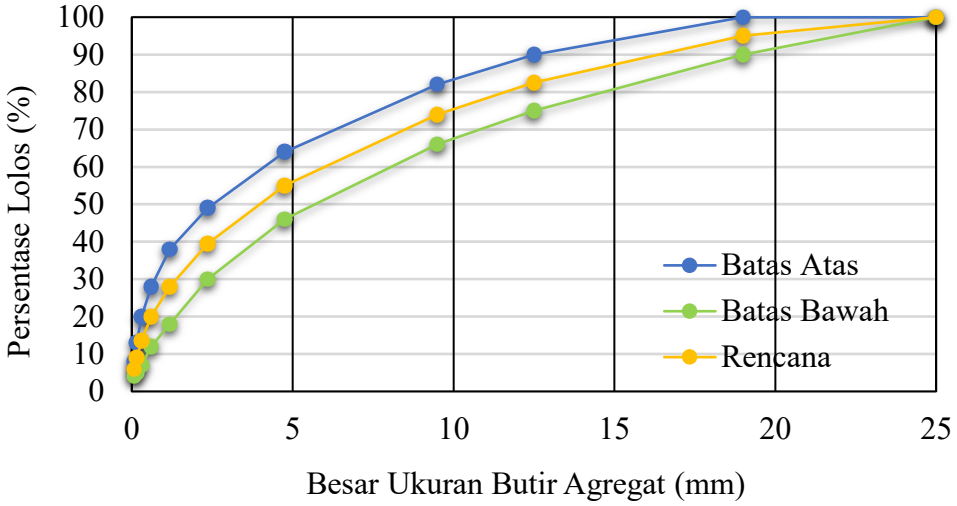
Penggunaan gradasi agregat campuran disini dari campuran *AC – BC* merupakan gradasi rapat/menerus yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Batasan Gradasi Agregat Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)*

Ukuran Ayakan		Spesifikasi (%)		Jumlah Persen (%)	
Inchi	(mm)	Min	Maks	Lolos	Tertahan
1”	25	100	100	100	0
3/4"	19	90	100	95	5
1/2"	12,5	75	90	82,5	17,5
3/8"	9,5	66	82	74	26
No.4	4,75	46	64	55	45
No.8	2,36	30	49	39,5	60,5
No.16	1,18	18	38	28	72
No.30	0,6	12	28	20	80
No.50	0,3	7	20	13,5	86,5
No.100	0,15	5	13	9	91
No.200	0,075	4	8	6	94
Pan		0	0	0	100

Sumber : Bina Marga 2018 (Revisi 2)

Berdasarkan Tabel 4.1 maka grafik gradasi campuran *AC – BC* dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Grafik Batasan Gradasi Agregat Campuran *AC – BC*

Tahap selanjutnya yaitu menghitung KAO rencana. Perhitungan kadar aspal optimum rencana dapat dilihat dari persamaan 4.1.

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

dengan:

Pb = kadar aspal perkiraan,

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 4,

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

Filler = agregat halus lolos saringan No.200, dan

K = konstanta (0,5 % - 1,0%)

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

= 5,86% = 6%

Berdasarkan rumus Pb, nilai Pb pada pengujian untuk mendapat KAO yaitu sebesar 6% sehingga memakai variasi kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5%; 7% terhadap berat total campuran. Berat total campuran untuk setiap benda uji adalah 1200 gram.

Kebutuhan agregat pada tiap kadar aspal dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Tabel 4.2, Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, dan Tabel 4.6.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	Mm	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1"	25	100	100	100	0	0	0
¾"	19	90	100	95	5	57	57
½"	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
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
No.30	0,6	12	28	20	8	91,2	912
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	74,1	986,1
No.100	0,15	5	13	9	4,5	51,3	1037,4
No.200	0,075	4	8	6	3	34,2	1071,6
Pen		0	0	0	6	68,4	**1140**
Berat Total						**1140**	

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

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	Mm	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1"	25	100	100	100	0	0	0
¾"	19	90	100	95	5	56,7	56,7
½"	12,5	75	90	82,5	12,5	141,75	198,45
3/8"	9,5	66	82	74	8,5	96,39	294,84

Lanjutan Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	Mm	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
No.4	4,75	46	64	55	19	215,46	510,3
No.8	2,36	30	49	39,5	15,5	175,77	686,07
No.16	1,18	18	38	28	11,5	130,41	816,48
No.30	0,6	12	28	20	8	90,72	907,2
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	73,71	980,91
No.100	0,15	5	13	9	4,5	51,03	1031,94
No.200	0,075	4	8	6	3	34,02	1065,96
Pen		0	0	0	6	68,04	**1134**
Berat Total						**1134**	

Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	Mm	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1"	25	100	100	100	0	0	0
¾"	19	90	100	95	5	56,4	56,4
½"	12,5	75	90	82,5	12,5	141	197,4
3/8"	9,5	66	82	74	8,5	95,88	293,28
No.4	4,75	46	64	55	19	214,32	507,6
No.8	2,36	30	49	39,5	15,5	174,84	682,44
No.16	1,18	18	38	28	11,5	129,72	812,16
No.30	0,6	12	28	20	8	90,24	902,4
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	73,32	975,72
No.100	0,15	5	13	9	4,5	50,76	1026,48

Lanjutan Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	Mm	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
No.200	0,075	4	8	6	3	33,84	1060,32
Pen		0	0	0	6	67,68	**1128**
Berat Total						**1128**	

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

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	Mm	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1¨	25	100	100	100	0	0	0
¾¨	19	90	100	95	5	56,1	56,1
½¨	12,5	75	90	82,5	12,5	140,25	196,35
3/8”	9,5	66	82	74	8,5	95,37	291,72
No.4	4,75	46	64	55	19	213,18	504,9
No.8	2,36	30	49	39,5	15,5	173,91	678,81
No.16	1,18	18	38	28	11,5	129,03	807,84
No.30	0,6	12	28	20	8	89,76	897,6
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	72,93	970,53
No.100	0,15	5	13	9	4,5	50,49	1021,02
No.200	0,075	4	8	6	3	33,66	1054,68
Pen		0	0	0	6	67,32	**1122**
Berat Total						**1122**	

Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	Mm	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1¨	25	100	100	100	0	0	0
¾¨	19	90	100	95	5	55,8	55,8
½¨	12,5	75	90	82,5	12,5	139,5	195,3
3/8”	9,5	66	82	74	8,5	94,86	290,16
No.4	4,75	46	64	55	19	212,04	502,2
No.8	2,36	30	49	39,5	15,5	172,98	675,18
No.16	1,18	18	38	28	11,5	128,34	803,52
No.30	0,6	12	28	20	8	89,28	892,8
No.50	0,3	7	20	13,5	6,5	72,54	965,34
No.100	0,15	5	13	9	4,5	50,22	1015,56
No.200	0,075	4	8	6	3	33,48	1049,04
Pen		0	0	0	6	66,96	**1116**
Berat Total						**1116**	

Jumlah benda uji yang digunakan untuk memperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4. 7 Kebutuhan Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO

Pengujian	Kadar Aspal (%)					Total Benda Uji
	5	5,5	6	6,5	7	
Marshall Test	3	3	3	3	3	15 buah
IRS	3	3	3	3	3	15 buah
Total Benda Uji						30 buah

Jumlah benda uji yang dibutuhkan dalam mencari nilai KAO adalah sebanyak 30 buah. Kemudian setelah mendapat nilai KAO dilanjutkan dengan melakukan pengujian untuk masing – masing nilai yang akan didapatkan. Jumlah

benda uji untuk setiap pengujian dari KAO dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan Tabel 4.9.

Tabel 4. 8 Jumlah Benda Uji untuk Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada KAO dengan Metode Pencampuran Konvensional

Kadar Serbuk Bata Merah (%)	Metode Pencampuran Konvensional					
	Marshall	*IRS*	*ITS*	*TSR*	*Cantabro*	*AFD*
0	3	3	3	3	3	3
10	3	3	3	3	3	3
20	3	3	3	3	3	3
30	3	3	3	3	3	3
40	3	3	3	3	3	3
50	3	3	3	3	3	3
Jumlah	18	18	18	18	18	18
Total Jumlah	108					

Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji untuk Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada KAO dengan Metode Pencampuran Bertahap

Kadar Serbuk Bata Merah (%)	Metode Pencampuran Bertahap					
	Marshall	*IRS*	*ITS*	*TSR*	*Cantabro*	*AFD*
0	3	3	3	3	3	3
10	3	3	3	3	3	3
20	3	3	3	3	3	3
30	3	3	3	3	3	3
40	3	3	3	3	3	3
50	3	3	3	3	3	3
Jumlah	18	18	18	18	18	18
Total Jumlah	108					

Berdasarkan Tabel 4.8 dan Tabel 4.9 untuk pengujian metode pencampuran konvensional membutuhkan 3 sampel dan metode pencampuran bertahap masing-masing membutuhkan 3 sampel uji. Masing – masing pengujian dilakukan menggunakan kadar *filler* sesuai hasil uji awal dari kadar persentase *filler* ujung ke ujung atau dari 10% ke 50% terdahulu untuk menentukan persentase batas atas kadar *filler* serbuk bata merah yang akan dipakai kemudian dilakukan untuk pengujian dengan kadar perentase *filler* yang lainnya yaitu 20%, 30%, hingga 40% sesuai hasil uji. Dari Tabel 4.7, Tabel 4.8, dan Tabel 4.9 maka total benda uji yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah 246 buah sampel benda uji.

4.4.4 Pembuatan Campuran Benda Uji

Pembuatan campuran benda uji setelah mendapatkan nilai berat tertahan pada masing-masing kadar aspal kemudian dilakukan penyaringan agregat yang bertujuan memisahkan ukuran antar butir agregat sesuai nomor saringan agregat atau disebut juga gradasi agregat pada campuran. Mesin untuk menyaring antar butir agregat disebut juga *sieve shaker machine.* Setelah mendapatkan gradasi agregat ini kemudian agregat ditimbang sesuai dengan persyaratan masing-masing kadar aspal. Agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang sudah mengalami penyaringan dan penimbangan kemudian dimasukkan kedalam plastik masing-masing agar mencegah pencampuran dengan campuran agregat lainnya. Langkah – langkah pembuatan campuran benda uji sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Memanaskan aspal dimana aspal Pen 60/70 dipanaskan pada suhu mencapai 160 ˚C.
3. Pada saat pencampuran aspal panas dengan agregat panas terdapat perbedaan antara sebelum mendapatkan nilai KAO dan setelah mendapatkan nilai KAO. Didalam perbedaan kedua pencampuran tersebut dapat dilihat sebagai berikut.
   a. Penentuan nilai KAO

      Pada proses pembuatan benda uji yang akan digunakan sebelum mendapat nilai KAO merupakan benda uji yang dibuat dengan menggunakan metode

pencampuran konvensional yaitu dengan mencampurkan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang sudah dipanaskan pada suhu yang mencapai 170 ˚C. kemudian dicampurkan dengan aspal panas sesuai dengan nilai KAO yang diperoleh kemudian diaduk hingga tercampur secara merata.

b. Campuran pada KAO

Kemudian setelah nilai KAO diperoleh benda uji dibuat dengan dua metode pencampuran, yaitu:

1.) Membuat campuran utama dengan metode pencampuran konvensional seperti saat proses pembuatan sampel penentuan nilai KAO.

2.) Pada campuran kedua dibuat dengan menggunakan metode pencampuran bertahap dimana pencampuran pertama merupakan tahap pelapisan awal agregat kasar dengan jumlah aspal yang sesuai dengan kadar aspal optimum sebelum pencampuran *filler* kemudian agregat halus. Berikut tahapan yang digunakan metode pencampuran bertahap:

a.) Panaskan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang sebelumnya sudah disaring menggunakan mesin penyaring dengan wajan yang berbeda kemudian panaskan mencapai suhu 170 ˚C.

b.) Pencampuran tahap pertama, mencampurkan agregat kasar dengan aspal sesuai dengan nilai KAO kemudian aduk secara merata hingga aspal melapisi seluruh permukaan agregat kasar.

c.) Pencampuran tahap kedua, agregat kasar yang sudah terlapisi aspal dicampurkan dengan *filler* yang sudah dipanaskan dengan wajan atau panci yang berbeda.

d.) Pencampuran tahap ketiga, campurkan agregat kasar yang sudah terlapisi aspal dan sudah dicampurkan dengan *filler* kemudian campurkan dengan agrgat halus sebagai tahap

terakhir pada campuran. Kemudian aduk campuran sampai merata. Aspal yang digunakan yaitu aspal Pen 60/70.

4. Memberihkan cetakan atau *mold* dan mengolesi bagian dalam cetakan dengan pelumas, pelumas ini biasanya menggunakan oli agar saat sampel mudah dilepas dari cetakan.
5. Meletakkan selembar kertas penghisap sesuai dengan ukuran cetakan dan masukkan benda uji 1/3 dari volume cetakan kemudian pukul dengan spatula sebanyak 25x (15x pukulan dipinggir dan 10x pukulan ditengah). Setelah itu masukkan benda uji hingga 2/3 dari volume cetakan dan pukul menggunakan spatula sebanyak 25x ulangi cara tersebut untuk memasukkan Kembali benda uji hingga penuh kedalam cetakan dan pukul dengan spatula sebanyak 25x dan letakkan kertas penghisap pada permukaan cetakan.
6. Meletakkan cetakan atay *mold* diatas dudukannya (landasan) pemadatan. Kemudian memadatkan dengan cara memberi tumbukan pada benda uji sebanyak 75x disisi pertama dan menumbuk 75x pukulan disisi kedua.
7. Diamkan benda uji setelah pemadatan hingga mencapai suhu ruang kemudian mengeluarkan benda uji menggunakan *ejector hydrolic pump* dan diamkan sampel hingga mencapai suhu ruang. Ambil kertas penghisap di kedua sisi setelah benda uji sudah mencapai suhu ruang dan diberi kodefikasi terhadap tiap sampel.

4.4.5 Pengujian *Marshall*

Marshall Test yaitu pengujian yang bertujuan untuk mendapatkan nilai Stabilitas, *Flow, Density, VITM, VMA, VFWA,* dan *MQ* dari campuran perkerasan. Tahapan pengujian ini sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan benda uji dan bersihkan dari kotoran atau debu yang menempel dari proses pembuatan sampel.
2. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi menggunakan alat kaliper kemudian timbang benda uji dalam keadan kering udara.
3. Merendam benda uji didalam air pada suhu ruang selama 16 jam untuk mendapatkan kejenuhan benda uji, kemudian menimbang benda uji didalam air dan catat hasilnya.

4. Mengeringkan benda uji dengan cara dilap menggunakan kain sampai kondisi SSD, kemudian menimbang benda uji sehingga memperoleh berat benda uji dalam keadaan SSD.
5. Memasukkan benda uji kedalam *waterbath* dengan suhu 60˚C selama 30 menit.
6. Menyiapkan mesin *Marshall Test* beserta *dial* pelengkapnya dan menyiapkan kepala tekan atau *breaking head* yang telah dioles dengan oli.
7. Ambil benda uji dari *waterbath* dan letakkan kedalam *breaking head* kemudian pasang dial *flow.* Naikkan kepala tekan atau *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
8. Mengatur jarum angka pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
9. Menghidupkan mesin *Marshall Test* dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mendapai angka maksimum.
10. Catat hasil pembacaan dial stabilitas dan dia *flow.*

4.4.6 Pengujian *ITS*

Pada pengujian *ITS* ini dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut ini.

1. Menyiapkan alat dan bahan untuk pengujian *ITS* yang akan digunakan.
2. Membuat benda uji sesuai KAO yang diperoleh dari hasil pengujian *Marshall.*
3. Meletakkan benda uji kedalam mesin *ITS.*
4. Menyalakan mesin uji *ITS* kemudian mengamati pembacaan *dial* dan mencatat hasil pembacaan *dial*.

4.4.7 Pengujian *IRS*

Pada pengujian *IRS* ini mempunyai beberapa langkah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan benda uji yang akan digunakan selama pengujian *IRS* berlangsung.
2. Membersihkan dan memastikan bahwa benda uji sudah bersih dan terbebas dari kotoran saat pembuatan sampel.
3. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi menggunakan kaliper kemudian timbang benda uji dalam keadaan kering udara atau SSD.

4. Merendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama 16 jam hingga mendapat kejenuhan, kemudian timbang benda uji dalam air dan catat hasilnya.
5. Mengelap benda uji yang sudah direndam dalam air menggunakan kain lap sampai kondisi SSD kemudian menimbang benda uji dan diperoleh berat dalam keadaan SSD.
6. Memasukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60˚C selama 24 jam.
7. Menyiapkan mesin *Marshall Test* beserta dial pelengkapnya beserta *breaking head* yang sudah diolesi dengan oli.
8. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkan ke dalam *breaking head.* Setelah itu memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
9. Memastikan mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
10. Menghidupkan mesin dan mulai mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
11. Mencatat hasil pembacaan dial stabilitas dan dial *flow.*

4.4.8 Pengujian *TSR*

Langkah – langkah pengujian *TSR* dapat dilakukan dengan cara berikut.

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

4.4.9 Pengujian *CL*

Langkah – langkah pengujian *Cantabro Loss* dilakukan dengan cara berikut.

1. Menimbang berat awal benda uji sebelum proses abrasi dilakukan untuk memperoleh nilai (*Mo*).
2. Memasukkan benda uji kedalam tabung mesin *Los Angeles.*
3. Benda uji diputar dalam drum mesin *Los Angeles* dengan kecepatan 30 - 33 rpm sebanyak 300 putaran tanpa menggunakan bola baja.
4. Benda uji diambil dari drum mesin *Los Angeles*, lalu ditimbang, kemudian dianalisis untuk diketahui berat benda uji setelah dilakukan pengujian abrasi untuk memperoleh nilai (*Mi*).

4.4.10 Pengujian *AFD*

Pengujian *Asphalt Flow Down* dapat dilakukan dengan cara berikut ini.

1. Nampan sebagai cetakan benda uji berukuran 20 x 40 cm dilapisi dengan *alumunium foil*, kemudian timbang berat cetakan tersebut lalu catat sebagai (ml).
2. Membuat benda uji yang terdiri dari campuran aspal, setelah campuran merata tuangkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi alumunium foil. Ratakan permukaan lalu timbang berat (m^2).
3. Benda uji dengan cetakannya dimasukkan ke dalam oven pada suhu sekitar 160°C selama 60 menit.
4. Benda uji dan cetakannya dikeluarkan dari oven dan cepat dituangkan. Kemudian berat cetakan bersama sampel uji yang menempel pada *alumunium foil* ditimbang dan catat beratnya (m^3).
5. Ulangi seluruh langkah-langkah sesuai kebutuhan banyaknya benda uji yang akan dibuat.

4.5 Analisis Data

Setelah melakukan pengujian-pengujian kemudian dilakukan analisis data untuk mendapatkan parameter hasil pengujian secara keseluruhan.

4.5.1 Analisis Karakteristik *Marshall Test*

Parameter hasil pengujian Marshall diperoleh data sebagai berikut.

1. Berat benda uji kering udara (gram),
2. Berat benda uji dalam air (gram),

3. Berat benda uji SSD (gram),
4. Tebal benda uji (mm),
5. Pembacaan dial stabilitas (kg), dan
6. Pembacaan dial flow (mm).

Karakteristik *Marshall Test* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.2.

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

dengan :

A = berat piknometer dengan penutup (gr),
B = berat piknometer berisi air (gr),
C = berat piknometer berisi aspal, dan
D = berat piknometer berisi air dan aspal.

2. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.3.

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

dengan :

A = persentase agregat kasar (%),
B = persentase agregat halus (%),
F1 = berat jenis agregat kasar, dan
F2 = berat jenis agregat halus.

3. Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1
4. Nilai *flow* dapat diperole dengan pembacaan dial *flow*
5. Nilai *Density* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan. 3.2 dan 3.3

6. Nilai *VMA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.6
7. Nilai *VITM* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.7
8. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.9
9. Nilai *MQ* tabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan. 3.13

4.5.2 Analisis Pengujian *IRS*

Nilai pengujian *IRS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.14

4.5.3 Analisis Nilai *ITS*

Nilai nilai *ITS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.15

4.5.4 Analisis Nilai *TSR*

Nilai pengujian *TSR* diperoleh dengan mengggunaan Persamaan 3.16

4.5.5 Analisis Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Nilai pengujian IDP diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.17

4.5.6 Analisis Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Nilai pengujian IDK diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.18

4.5.7 Analisis Nilai *Cantabro Loss (CL)*

Nilai pengujian *CL* diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.22

4.5.8 Analisis Nilai *Asphalt Flow Down (AFD)*

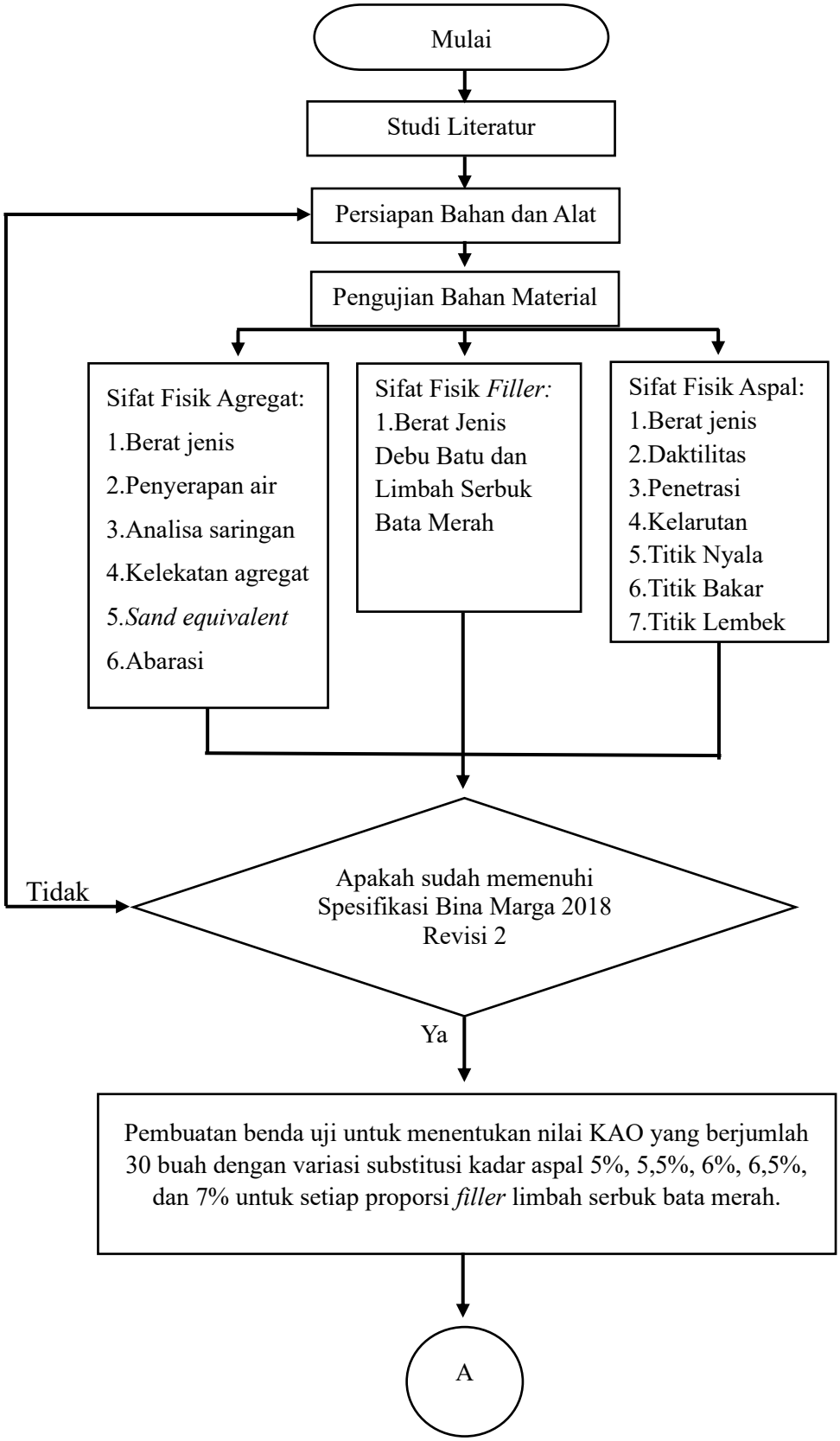
Nilai pengujian *AFD* diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.23

4.5.9 Analisis *Nilai Index of Cantabro Loss (ICL)*

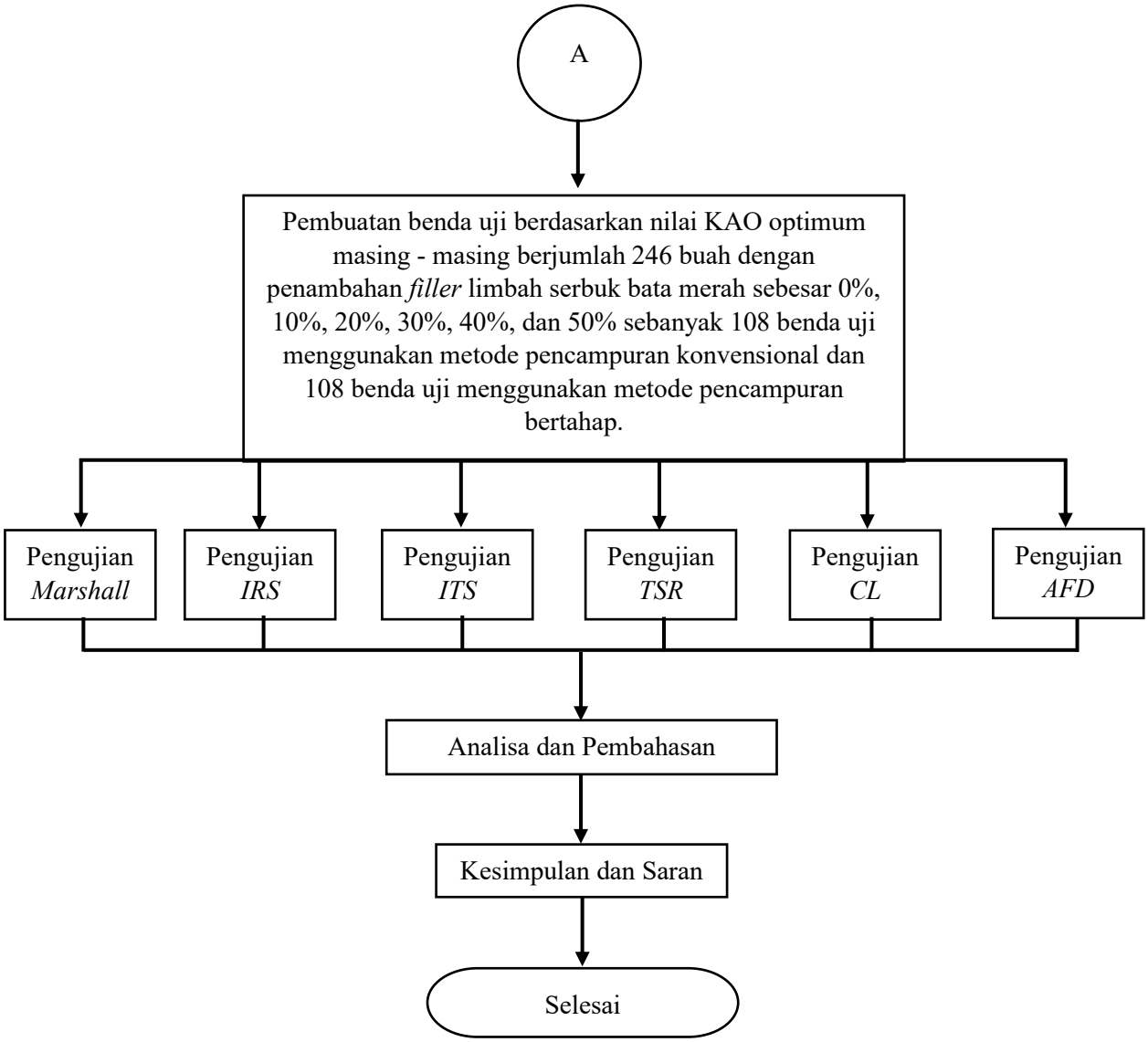
Nilai pengujian ICL diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.24

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian ini menunjukkan alir atau tahap-tahap dari adanya suatu penelitian yang sedang dilakukan secara lebih singkat dan jelas. Bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan mendapatkan hasil berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Dalam penelitian ini, jenis aspal yang telah digunakan adalah aspal penetrasi 60/70. Pengujian terhadap karakteristik aspal yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil pada pengujian ini menunjukkan bahwa data yang diperoleh telah memenuhi ketentuan spesifikasi yang berlaku, dengan menggunaakan acuan pengujian berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Rekapitulasi hasil yang telah didapatkan dilihat pada Tabel 5.1.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,040	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60 - 70	65,70	Memenuhi
3	Titik Nyala (°C)	≥ 232	308	Memenuhi
4	Titik Bakar (°C)	≥ 232	313	Memenuhi
5	Titik Lembek (°C)	≥ 48	48	Memenuhi
6	Daktalitias (cm)	≥ 100	134,5	Memenuhi
7	Kelarutan Pada *TCE* (%)	≥ 99	99,45	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian terhadap karakteristik agregat ini meliputi jenis pengujian agregat kaar, agregat halus, dan *filler.* Seluruh pengujian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data yang diperoleh dari pengujian – pengujian ini

menunjukkan bahwa hasilnya telah memenuhi standar spesifikasi yang telah ditentukan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2. Rekapitulasi hasil yang telah didapatkan dilihat pada Tabel 5.2 sampai Tabel 5.4.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,656	Memenuhi
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	≤ 2	1,119	Memenuhi
3	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi
4	Keausan agregat dengan mesin *Los Angeles* (%)	≤ 40	10,40	Memenuhi

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,553	Memenuhi
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	≤ 2	0,391	Memenuhi
3	*Sand Equivalent* (%)	≥ 50	93,83	Memenuhi

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis Debu Batu (gr/cc)	≥ 2,5	2,543	Memenuhi
2	Berat Jenis Serbuk Bata Merah (gr/cc)	≥ 2,5	2,517	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian Untuk Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

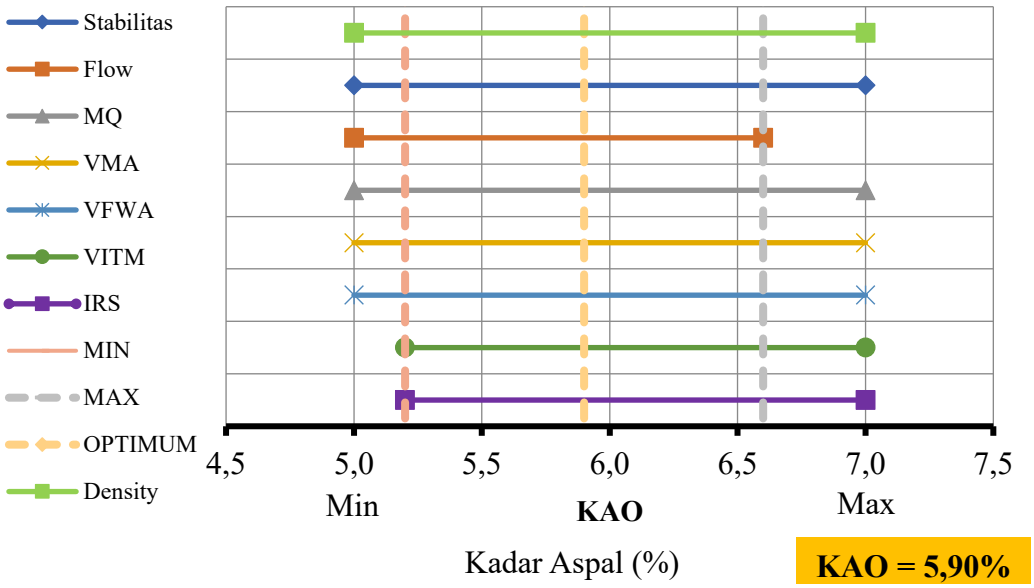
Penentuan pada KAO yang menggunakan campuran *AC – BC* ditentukan berdasarkan pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2 pada ketentuan sifat – sifat campuran laston yang terletak pada lapis antara**.** Campuran *AC – BC* memiliki karakteristik gradasi rapat atau menerus sehingga gradasi pada campuran memiliki distribusi ukuran partikel atau butir dari yang terbesar hingga terkecil secara merata dan mengakibatkan campuran menjadi lebih padat. Parameter yang digunakan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2 yaitu nilai stabilitas *(Stability)* dengan nilai minimum 800 kg, nilai *flow* dengan rentang 2 – 4 mm, nilai *VITM* dengan rentang 3% – 5%, *VMA* dengan minimum 14%, *VFWA* dengan nilai minimum 65%, dan nilai *MQ* dengan nilai minimum 250 kg/mm, dan nilai *IRS* minimum 90%. Hasil pengujian menggunakan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 dalam memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	*VITM* (%)	*VMA* (%)	*VFWA* (%)	*MQ* (Kg/mm)	*IRS* (%)	*Density* (gr/cc)
5	1152,56	3,06	5,26	16,27	67,68	377,78	88,10	2,290
5,5	1249,06	3,33	4,72	16,81	71,97	374,86	92,78	2,287
6	1432,65	3,63	4,37	17,52	75,07	394,41	94,40	2,280
6,5	1315,35	3,94	3,91	18,13	78,46	334,21	91,76	2,275
7	1130,04	4,26	3,65	18,90	80,73	265,05	90,24	2,266
Spesifikasi	>800 Kg	2 - 4	3 - 5	>14	>65	>250 Kg	>90	>2

Berdasarkan Tabel 5.5 sampai Tabel 5.6, hasil pada pengujian untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *AC – BC* yang telah

dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dapat dilihat pada Gambar 5.1.



Gambar 5. 1 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan pada Gambar 5.1, KAO yang akan digunakan untuk variasi substitusi ditetapkan sebesar 5,90%. Nilai ini akan digunakan sebagai dasar nilai untuk variasi substitusi *filler.* Penelitian ini menggunakan variasi substitusi *filler* serbuk bata merah dimulai dari 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50%. Sebelum melakukan variasi substitusi *filler* debu batu menggunakan serbuk bata merah, yang dimana kedua bahan tersebut mempunyai berat jenis yang berbeda yaitu debu batu mempunyai berat jenis 2,543 gr/cc dan serbuk bata merah mempunyai berat jenis 2,517 gr/cc sehingga dilakukan perhitungan untuk mendapatkan perbandingan berat volume antara debu batu dan serbuk bata merah. Hasil perhitungan penyetaraan volume dapat dilihat pada Tabel 5.6.

Tabel 5. 6 Berat Debu Batu dan Limbah Serbuk Bata Merah

Kadar Variasi Substitusi *Filler* (%)	Berat Debu Batu Clereng (gr)	Berat yang Digunakan (gr)	Berat Limbah Serbuk Bata Merah (gr)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	67,752	0	0	5,90
10	60,977	6,775	6,706	
20	54,202	13,550	13,412	
30	47,426	20,326	20,118	
40	40,651	27,101	26,824	
50	33,876	33,876	33,530	

Berdasarkan Tabel 5.6 diatas, berat debu batu dan serbuk bata merah sesuai variasi kadar Substitusinya akan digunakan untuk pencampuran dengan metode konvensional dan metode bertahap pada *AC – BC.*

5.1.4 Hasil Pengujian Pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setelah menentukan pengujian untuk menentukan KAO. Pada penelitian ini, pengujian untuk variasi kadar substitusi *filler* pada campuran *AC – BC* menggunakan Pebrandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap. Penelitian ini menggunakan beberapa pengujian diantaranya yaitu pengujian Parameter *Marshall Test (*stabilitas, *flow, VITM, VMA, VFWA,* dan *MQ), IRS, ITS, TSR, CL, ICL dan AFD.* Hasil rekapitulasi pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.7 hingga Tabel 5.14.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Marshall Test* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional

Variasi Substitusi *Filler* (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	*VITM* (%)	*VMA* (%)	*VFWA* (%)	*MQ* (Kg/mm)	*Density* (gr/cc)
0	1317,72	3,64	4,71	17,62	73,28	362,33	2,275
10	1545,69	3,45	4,56	17,49	73,95	448,75	2,278
20	1719,27	2,87	4,17	17,15	75,69	599,27	2,288
30	1906,01	2,48	3,96	16,97	76,67	768,88	2,292
40	2073,71	2,23	3,72	16,77	77,80	931,15	2,298
50	1830,36	2,46	3,93	16,94	76,83	746,02	2,293
Spesifikasi	>800 Kg	2 - 4	3 - 5	>14	> 65	>250 Kg	>2

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian *Marshall Test* Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	*VITM* (%)	*VMA* (%)	*VFWA* (%)	*MQ* (Kg/mm)	*Density* (gr/cc)
0	1505,24	3,28	4,23	17,21	75,49	459,54	2,286
10	1724,25	3,10	4,02	17,03	76,65	556,74	2,291
20	1933,87	2,56	3,52	16,59	78,82	754,94	2,303
30	2106,89	2,20	3,31	16,41	79,85	960,42	2,308

Lanjutan Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Marshall Test* Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	*VITM* (%)	*VMA* (%)	*VFWA* (%)	*MQ* (Kg/mm)	*Density* (gr/cc)
40	2410,29	2,06	3,04	16,18	81,42	1172,20	2,314
50	2071,53	2,17	3,22	16,33	80,35	958,53	2,310
Spesifikasi	>800 Kg	2 - 4	3 - 5	> 14	> 65	>250 Kg	>2

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian *IRS*, IDP dan IDK Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional

Variasi Substitusi *Filler* (%)	Stabilitas Normal 0,5 Jam (kg)	Stabilitas Rendaman 24 Jam (kg)	*IRS* (%)	IDP (%)	IDK (%)
0	1317,72	1193,43	90,57	0,410	4,716
10	1545,69	1414,15	91,49	0,370	4,255
20	1719,27	1591,45	92,57	0,323	3,717
30	1906,01	1785,83	93,69	0,274	3,153
40	2073,71	1969,33	94,97	0,219	2,517
50	1830,36	1705,36	93,17	0,297	3,414
Spesifikasi	>800 Kg	>800 Kg	> 90	-	-

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *IRS*, IDP dan IDK Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	Stabilitas Normal 0,5 Jam (kg)	Stabilitas Rendaman 24 Jam (kg)	*IRS* (%)	IDP (%)	IDK (%)
0	1505,24	1391,46	92,44	0,329	3,780

Lanjutan Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *IRS*, IDP dan IDK Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	Stabilitas Normal 0,5 Jam (kg)	Stabilitas Rendaman 24 Jam (kg)	*IRS* (%)	IDP (%)	IDK (%)
10	1724,25	1610,17	93,38	0,288	3,308
20	1933,87	1830,51	94,66	0,232	2,672
30	2106,89	2013,92	95,59	0,192	2,206
40	2410,29	2331,19	96,72	0,143	1,641
50	2071,53	1970,33	95,11	0,212	2,443
Spesifikasi	>800 Kg	>800 Kg	> 90	-	-

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian *ITS* dan *TSR* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional

Variasi Substitusi *Filler* (%)	ITS Normal (Kpa)	ITS Rendaman (Kpa)	TSR (%)
0	993,08	795,08	80,06
10	1005,28	815,45	81,12
20	1043,96	873,36	83,66
30	1091,30	935,02	85,68
40	1107,16	996,65	90,02
50	1068,52	914,30	85,57
Spesifikasi	-	-	>80

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian *ITS* dan *TSR* Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	ITS Normal (Kpa)	ITS Rendaman (Kpa)	TSR (%)

Lanjutan Tabel 5.12 Hasil Pengujian *ITS* dan *TSR* Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	*ITS* Normal (Kpa)	*ITS* Rendaman (Kpa)	*TSR* (%)
0	1052,75	873,75	83,00
10	1088,65	929,89	85,42
20	1101,69	973,58	88,37
30	1126,95	1025,26	90,98
40	1180,91	1113,86	94,32
50	1080,31	973,42	90,11
Spesifikasi	-	-	>80

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian *CL* Normal Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	*CL* Konvensional (%)	*CL* Bertahap (%)
0	6,88	4,14
10	5,46	2,89
20	5,04	2,58
30	4,70	2,49
40	3,83	2,29
50	4,98	2,81
Spesifikasi (%)	< 20	< 20

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian *CL* Rendaman Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	*CL* Konvensional (%)	*CL* Bertahap (%)
0	9,27	6,26
10	8,17	6,06
20	7,09	5,37
30	6,32	4,63
40	5,28	3,85
50	6,04	4,40
Spesifikasi (%)	< 20	< 20

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian *AFD* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	*AFD* Konvensional (%)	*AFD* Bertahap (%)
0	0,076	0,054
10	0,057	0,031
20	0,036	0,022
30	0,027	0,015
40	0,018	0,006
50	0,022	0,009
Spesifikasi (%)	< 0,3	< 0,3

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian *ICL* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

Variasi Substitusi *Filler* (%)	*ICL* Konvensional (%)	*ICL* Bertahap (%)
0	97,43	97,79
10	97,13	96,74
20	97,85	97,14
30	98,30	97,80
40	98,49	98,41
50	98,31	98,17
Spesifikasi (%)	> 90	> 90

5.2 Pembahasan

Berikut ini merupakan hasil pembahasan pengujian yang sudah dilakukan di Laboratorium Laboratorium Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pada penelitian ini menggunakan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 dimana pengujian karakteristik aspal ditujukan untuk memenuhi persyaratan mutu aspal pada campuran sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2 dimana berat jenis aspal itu sendiri yaitu >1,00. Pada SNI 2441:2011 ada beberapa parameter pengujian karakteristik aspal sebagai berikut.

1. Berat Jenis Aspal

   Pada SNI 2441:2011 pengujian berat jenis aspal dapat digunakan untuk menghitung *void* atau rongga dan volume campuran total pada beton aspal. *Void* atau rongga didalam campuran ini sangat penting untuk memastikan bahwa campuran tersebut tidak terlalu padat atau terlalu berpori yang membuat campuran tersebut beresiko retak dan masuknya air didalam

campuran. Pada pengujian berat jenis aspal ini didapatkan nilai sebesar 1,040, dimana nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2 yakni >1,00.

2. Penetrasi Aspal

   Pada pengujian penetrasi aspal ini mengukur kekerasan aspal tersebut dengan cara melihat seberapa dalam jarum dapat menembus sampel aspal pada suhu 25°C. Pada pengujian penetrasi aspal kali ini mendapatkan nilai sebesar 65,70 mm, nilai tersebut sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2 yaitu 60 – 70 mm.

3. Titik Nyala Aspal

   Pengujian titik nyala aspal ini mempunyai tujuan yaitu untuk mengetahui suhu minimum pada saat aspal dipanaskan untuk indikator keamanan saat pemanasan aspal tersebut. Pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2, titik nyala aspal adalah > 232°C, hasil dari penelitian menunjukkan bahwa titik nyala aspal memperoleh nilai 308°C sehingga hasil tersebut memenuhi spesifikasi.

4. Titik Bakar Aspal

   Pada saat pengujian, titik aspal tersebut mengalami perubahan suhu ditandai adanya percikan api dalam waktu singkat ± 5 detik pada permukaan aspal. Pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2, titik nyala aspal adalah > 232°C. Hasil penelitian menunjukkan bahwa titik bakar aspal memperoleh nilai 313°C dimana nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2.

5. Titik Lembek Aspal

   Titik lembek aspal yaitu suhu saat dimana aspal mulai melunak akibat perubahan temperature yang terjadi. Hal ini bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal yang bersifat *thermoplastic* terhadap temperatur dimana aspal akan mengalami kelembekan pada suhu yang berubah -ubah dan temperatur yang tinggi. Berdasarkan hasil pengujian, titik lembek aspal tercatat 48°C, yang masih memenuhi ketentuan dari Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu lebih dari 48°C.

6. Daktalitas Aspal

   Daktalitas pada aspal merupakan sifat atau nilai kemampuan pada aspal untuk mengalami tegangan tarik tanpa putus dalam kondisi tertentu dan suhu tertentu. Hal itu menggambarkan elastisitas atau kelenturan dari aspal tersebut sehingga aspal dapat mengikuti deformasi yang terjadi karena beban lalu lintas atau terjadi perubahan suhu dan mengurangi terjadinya perubahan bentuk akibat terjadinya keretakan pada beton aspal. Dalam pengujian ini, nilai daktalitas aspal adalah 134,5 cm sesuai Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu >100 cm.

7. Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)*

   Kelarutan aspal dalam *Trichloroethylene (TCE* merupakan indikator dari kadar bahan murni aspal itu sendiri. Semakin tinggi nilai persentase kelarutan aspal yang terjadi, semakin murni aspal tersebut sehingga aspal minim akan terkontaminasi dari bahan asing seperti material anorganik misalnya tanah, abu, dan yang lainny sehingga aspal mampu menujukkan kemampuannya dalam mengikat agregat karena aspal itu sendiri berfungsi sebagai bahan ikat didalam campuran aspal. Hasil pengujian pada kealrutan aspal dalam *hloroethylene (TCE)* adalah 99,45%, nilai tersebut memenuhi spesifikasi dari Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yakni > 99%.

5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Berikut adalah pembahasan hasil dari pengujian agregat kasar yang berasal dari Clereng, Kulon progo, Yogyakarta. Pengujian karakteristik agregat kasar sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

   Berat jenis pada agregat kasar ditujukan untuk memperoleh parameter penyerapan air didalam agregat kasar yang disebabkan oleh rongga yang berada didalam agregat kasar tersebut atau rasio antara massa per satuan volume agregat kasar dengan massa air pada volume dan suhu yang sama. Hasil dari perhitungan berat jenis agregat kasar ini dapat mengidentifikasi porositas atau persentase volume pori-pori atau rongga dalam agregat kasar terhadap volume totalnya. Apabila nilai berat jenisnya tinggi maka agregat

kasar tersebut memiliki porositas yang rendah sehingga menyebabkan bertambahkan kekuatan campuran aspal. Hasil dari pengujian agregat kasar sebesar 2,656, hasil pengujian tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu ≥ 2,5.

2. Penyerapan Air pada Agregat Kasar

   Penyerapan air pada agregat kasar yaitu mengidentifikasi kemampuan agregat kasar dalam menyerap air melalui rongga atau pori yang terdapat pada agregat kasar tersebut. Pengujian penyerapan air oleh agregat kasar ini menghasilkan nilai 1,119 %, nilai tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu < 2%.

3. Kelekatan Agregat Kasar

   Pengujian kelekatan agregat aspal mempunyai tujuan untuk mengetahui persentase besarnya kemampuan yang dimiliki oleh luas permukaan agregat kasar untuk dilapisi oleh aspal. Pada pengujian ini didapatkan nilai persentase sebesar 98 % yang memenuhi persyaratan dari Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu > 95%.

4. Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*

   Nilai persentase dari keausan agregat kasar menggunakan Mesin *Los Angeles* yaitu nilai untuk menentukan ketahanan agregat kasar itu sendiri pada saat terjadinya abrasi. Agregat kasar pada campuran berfungsi untuk mendukung kekuatan campuran aspal dimana agregat kasar harus mempunyai ketahanan terhadap gesekan dan tumnukan yang terjadi pada proses pencampuran, saat pengangkutan, pemadatan, dan akibat beban lalu lintas. Hal itu untuk menjamin bahwa agregat tidak mudah hancur saat proses dan saat dilintasi beban kendaraan secara berulang. Semakin kecil nilai persentase dari keausan agregat makan semakin besar ketahanan agregat terhadap gesekan dan benturan yang terjadi. Pada pengujian ini mendapatkan nilai keausan agregat sebesar 10,4% yang memenuhi persyaratan dari Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu ≤ 30 %.

5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Berikut adalah pembahasan hasil dari pengujian agregat kasar yang berasal dari Clereng, Kulon progo, Yogyakarta. Pengujian karakteristik agregat kasar sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

   Berat jenis pada agregat halus ditujukan untuk memperoleh parameter penyerapan air didalam agregat halus yang disebabkan oleh rongga yang berada didalam agregat halus tersebut atau Berat jenis debu batu yaitu rasio antara massa per satuan volume agregat halus dengan massa air pada volume dan suhu yang sama. Pengujian berat jenis agregat halus ini bertujuan untuk mengetahui porositas atau persentase volume pori-pori atau rongga dalam agregat halus terhadap volume totalnya. Hasil dari pengujian agregat halus sebesar 2,553. Hasil pengujian tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu ≥ 2,5.

2. Penyerapan Air oleh Agregat Halus

   Penyerapan air oleh agregat halus bertujuan untuk mengetahui persentase berat air yang diserap oleh agregat halus diakibatkan adanya pori-pori yang terdapat didalam agregat halus. Hasil pengujian pada penyerapan agregat halus mendapatkan nilai sebesar 0,391%, nilai persentase tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu > 2%.

3. *Sand Equivalent*

   Pengujian *Sand Equivalent* bertujuan untuk mengetahui nilai persentase kadar lumpur maupun debu yang berada didalam agregat halus. Hasil pengujian pada penyerapan agregat halus mendapatkan nilai sebesar 93,83 %, nilai persentase tersebut memenuhi Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu ≥ 45 %.

5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Pengisi (*Filler*)

Pada penelitian ini menggunakan bahan pengisi (*filler*) debu batu yang berasal dari Clereng, Kulon Progo dan serbuk bata merah yang berasal dari Desa Kembangarum Kecamatan Mranggen Kabupaten Demak. Pengujian karakteristik bahan pengisi (*filler*) sebagai berikut.

1. Berat Jenis Debu Batu

Berat jenis debu batu yaitu rasio antara massa per satuan volume suatu material dengan massa air pada volume dan suhu yang sama. . Hasil dari pengujian bahan pengisi (*filler*) debu batu sebesar 2,543.

2. Berat Jenis Limbah Serbuk Bata Merah (SBM)

Berat jenis limbah serbuk bata merah yaitu rasio antara massa per satuan volume suatu material dengan massa air pada volume dan suhu yang sama. Hasil dari pengujian bahan pengisi (*filler*) serbuk bata merah sebesar 2,517.

Setelah dilakukan pengujian berat jenis pada masing-masing bahan pengisi (*filler*) dilanjutkan penyetaraan volume sesuai kadar subtitusi *filler* sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% pada kedua bahan pengisi (*filler*) tersebut dengan berat jenis yang berbeda. Hal ini untuk mengetahui perbandingan volume antar bahan pengisi (*filler)* sehingga dapat menghasilkan volume yang sama dikarenakan perbedaan berat jenis antara debu batu dan limbah serbuk bata merah. Hasil dari perhitungan penyetaraan volume *filler* debu batu dan serbuk bata merah dapat diliihat pada Tabel 5.6.

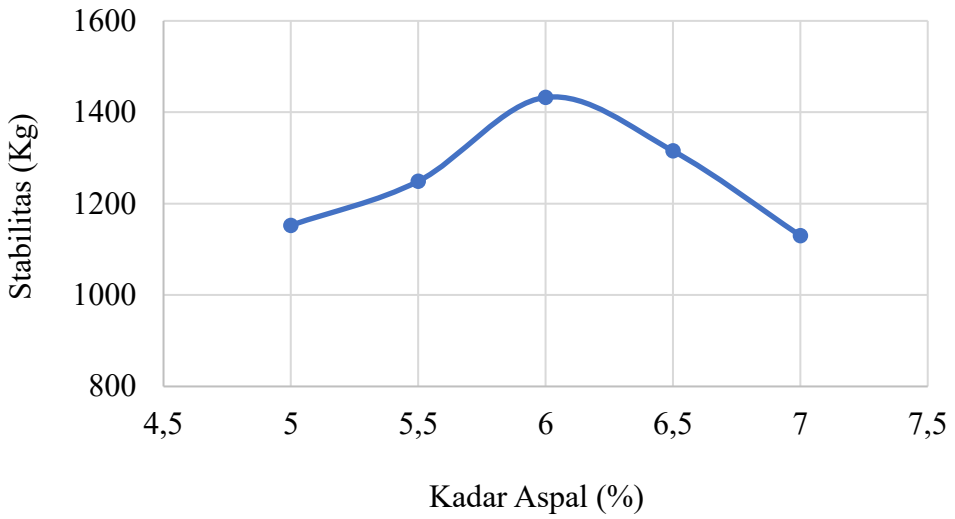
5.2.4 Pembahasan Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

1. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas dalam Menentukan KAO

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan lentur menahan deformasi yang diakibatkan beban lalu lintas yang melintas diatas perkerasan jalan tersebut tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang (*shoving*), alur (*rutting*) hingga *bleeding*. Nilai stabilitas ditunjukkan pada Gambar 5.2.

Grafik pada Gambar 5.2 dibawah, dapat dilihat nilai stabilitas pada campuran mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar aspal akan mencapai nilai stabilitas maksimum kemudian akan mengalami penurunan nilai stabilitas dengan penambahan kadar aspal. Pernyataan ini sesuai dengan pandapat Sukirman (2003) dimana nilai stabilitas akan meningkat hingga mencapai titik optimum, lalu akan mengalami penurunan. Terjadinya penurunan diakibatkan semakin tinggi kadar aspal yang ditambahkan dalam campuran karena aspal yang awalnya berperan sebgai bahan pengikat antar

agregat berubah fungsi menjadi pengisi rongga serelah mencapai nilai optimum atau nilai puncak sehingga menyebabkan ikatan agregat melemah dan campuran menjadi lunak karena tebalnya penyelimutan oleh aspal ke agregat dari campuran tersebut. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan yang di tentukan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2 yaitu > 800 Kg.

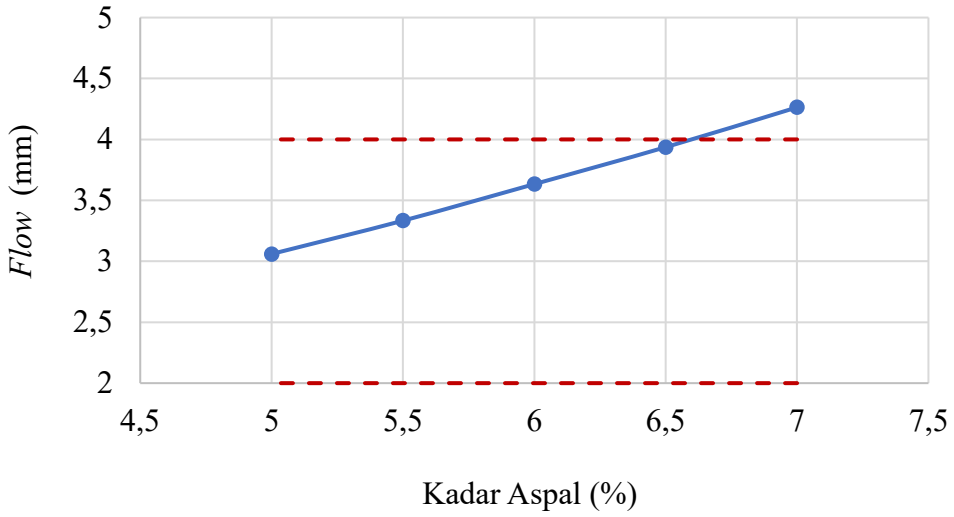


Gambar 5. 2 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas

2. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow* dalam Menentukan KAO

Flow atau kelelehan plastis yaitu kondisi besarnya penurunan deformasi pada perkerasan akibat suatu beban sampai batas runtuh. Biasanya terjadi perubahan bentuk plastis pada benda uji yang terjadi akibat suatu beban sampai batas maksimal. Nilai *flow* ditunjukkan pada Gambar 5.3.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.3 dibawah, sesuai pernyatan Sukirman (2003) nilai *flow* mengalami kenaikan setiap penambahan kadar aspal. Nilai *flow* yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis karena penambahan tebal selimut aspal pada agregat didalam campuran sehingga mudah mengalami perubahan bentuk akibat beban lalu lintas. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan yang di tentukan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2, yaitu 2 - 4 %.



Gambar 5. 3 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *Flow*

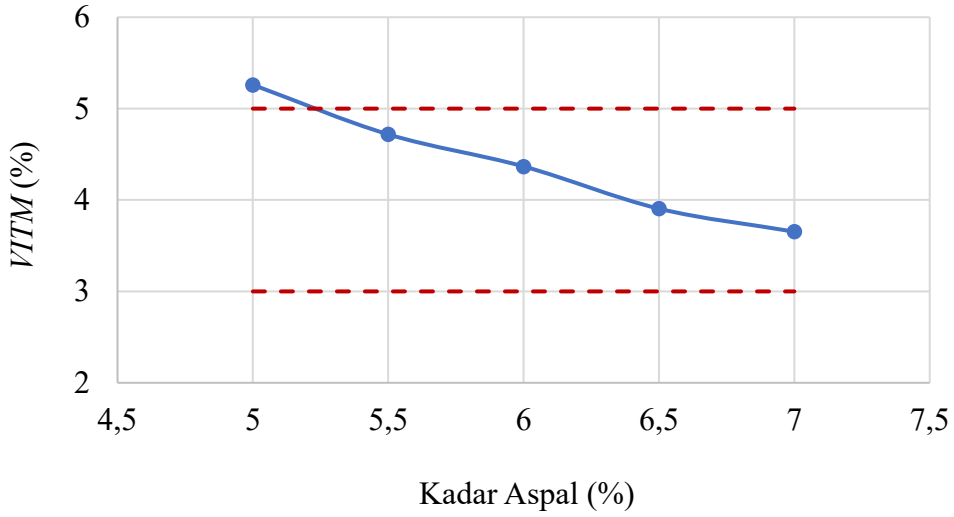
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.3 sesuai pernyatan Sukirman (2003) nilai *flow* mengalami kenaikan setiap penambahan kadar aspal. Nilai *flow* yang tinggi menunjukkan campuran bersifat plastis karena penambahan tebal selimut aspal pada agregat didalam campuran sehingga mudah mengalami perubahan bentuk akibat beban lalu lintas. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan yang di tentukan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2, yaitu 2 - 4 %.

3. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VITM* dalam Menentukan KAO

VITM atau rongga udara yang terdapat di dalam campuran aspal secara keseluruhan. *VITM* merupakan persentase antar rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.4.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4 dibawah, sesuai pernyatan Sukirman (2003) nilai *VITM* mengalami penurunan seiring penambahan kadar aspal dikarenakan penurunan nilai *VITM* menyebabkan terjadinya kelebihan aspal terutama saat terjadi peningkatan suhu (*bleeding)*. Penurunan nilai *VITM* tersebut membuat campuran menjadi lebih kedap air karena rongga udara dalam campuran menjadi semakin sedikit. Sebaliknya, apabila nilai *VITM* terlalu tinggi dari batas maksimum, campuran menjadi kurang kedap air akibat rongga dalam campuran semakin banyak dan mengakibatkan udara maupun air masuk ke campuran sehingga menyebabkan terjadinya

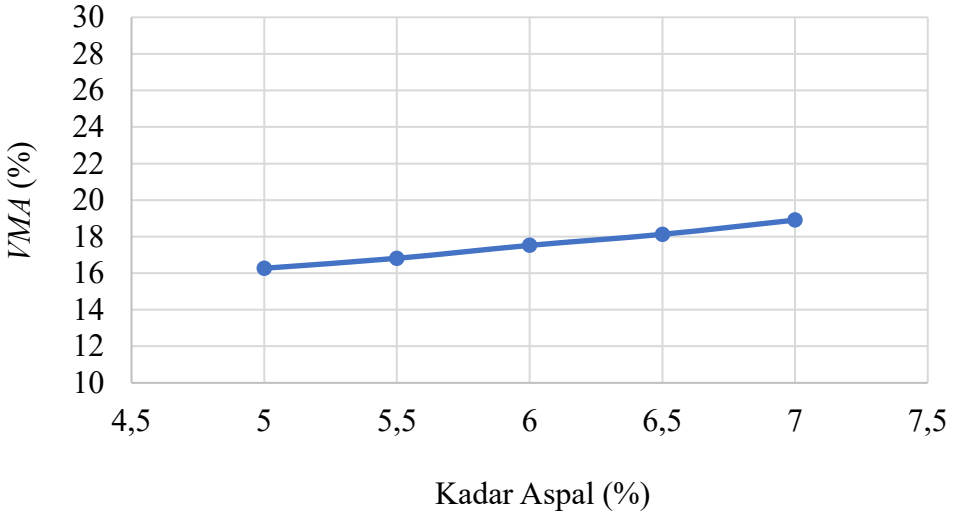
proses oksidasi pada campuran. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan yang di tentukan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2, yaitu 3 - 5 %.



Gambar 5. 4 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *VITM*

4. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA* dalam Menentukan KAO

Nilai *VMA* rongga pada agregat didalam campuran setelah pemadatan dan dinyatakan dalam persentase. Nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.5.



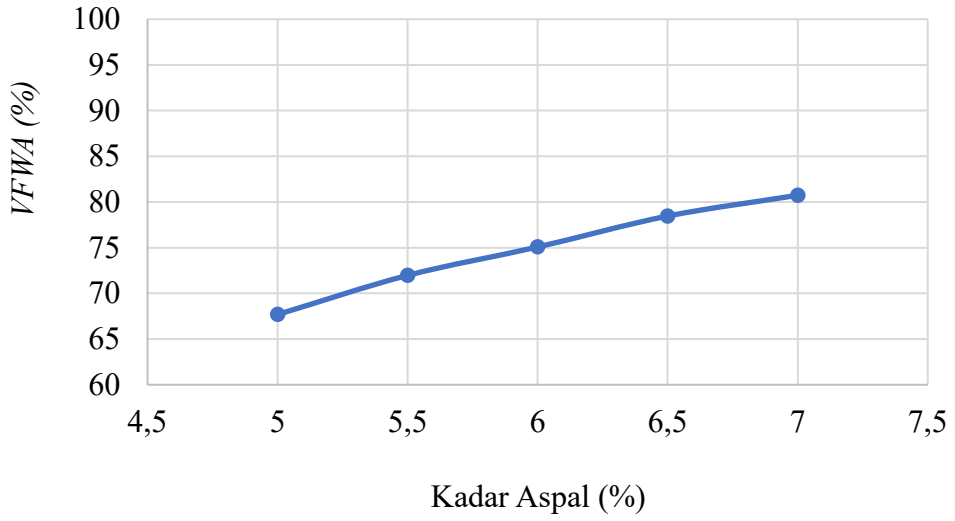
Gambar 5. 5 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *VMA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5 dapat disimpulkan bahwa nilai *VMA* meningkat sejalan dengan penambahan kadar aspal. Hal tersebut sesuai

dengan pernyataan Sukirman (2003) bahwa peningkatan kadar aspal dapat meningkatkan nilai *VMA* karena penambahan kadar aspal yang lebih banyak mengakibatkan rongga-rongga agregat didalam campuran akan terisi oleh aspal dan menyelimuti butiran agregat. Kondisi ini menyebabkan jarak antar agregat didalam campuran menjadi lebih renggang sehingga rongga antar agregat juga bertambah. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan yang di tentukan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 14 %.

5. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VFWA* dalam Menentukan KAO

Nilai *VFWA* merupakan persentase volume rongga yang terisi oleh aspal efektif dalam campuran. Parameter nilai ini untuk mengetahui banyak aspal yang mengisi rongga di antara agregat. Nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.6.

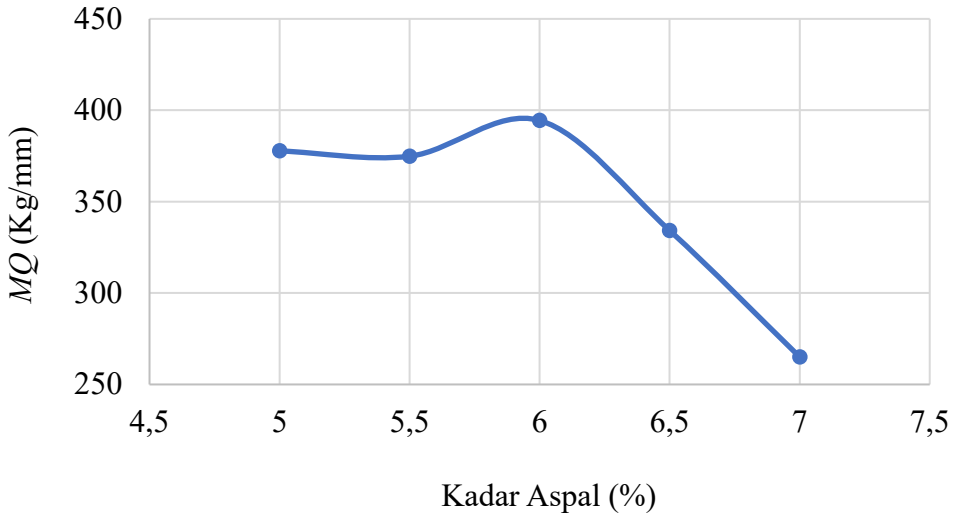


Gambar 5. 6 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 dapat disimpulkan bahwa nilai *VFWA* meningkat sejalan dengan penambahan kadar aspal. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Sukirman (2003) bahwa peningkatan kadar aspal dapat meningkatkan nilai *VFWA* karena semakin tinggi kadar aspal pada campuran mengakibatkan aspal mengisi rongga – rongga antar agregat yang ada didalam campuran sehingga rongga antar agregat semakin kecil. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan yang di tentukan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 65 %.

6. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Marshall Quotient (MQ)* dalam Menentukan KAO

Marshall Quotient (MQ) merupakan rasio perbandingan antara stabilitas dan *flow* yang bertujuan untuk mengukur kekakuan, kekuatan, dan fleksibilitas pada suatu campuran aspal. Nilai *Marshall Quotient (MQ)* dapat dilihat pada Gambar 5.7.

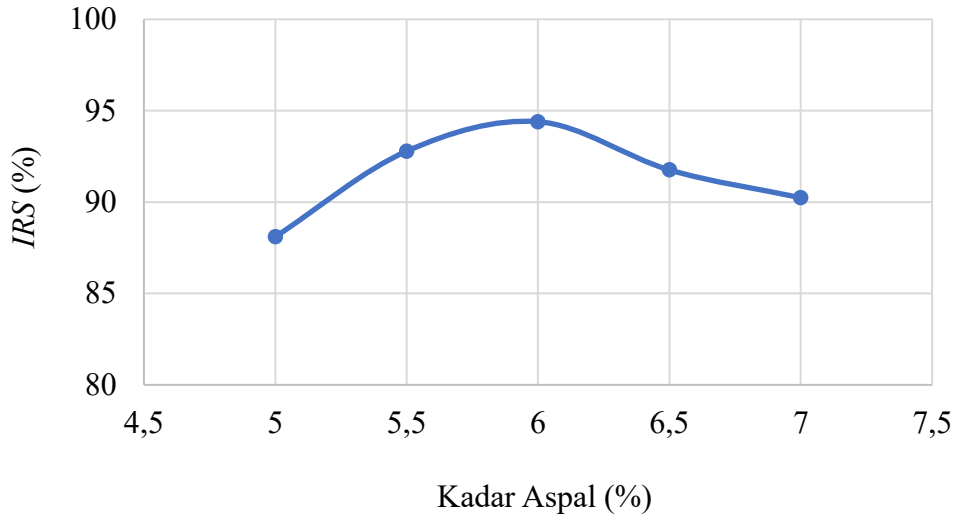


Gambar 5. 7 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *MQ*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 dapat disimpulkan bahwa nilai *MQ* menurun setelah mencapai kadar optimumnya. Hal ini disebabkan karena adanya hasil perbandingan nilai stabilitas dan *flow* setiap kadar aspal. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan yang di tentukan oleh Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2, yaitu ≥ 250 kg.

7. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *IRS* dalam Menentukan KAO

Nilai *IRS* digunakan untuk menilai sejauh mana engaruh air terhadap campuran aspal yang telah direndam selama 24 jam didalam *waterbath* dengan suhu 60°C yang bertujuan untuk mengukur ketahanan (durabilitas) campuran terhadap beban lalu lintas. Nilai *IRS* dapat dilihat pada Gambar 5.8.



Gambar 5. 8 Hubungan Antara Kadar Aspal dengan Nilai *IRS*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 dapat disimpulkan bahwa nilai IRS mengikuti nilai stabilitas 0,5 jam dengan 24 jam dapat dilihat bahwa setelah penambahan aspal sampai titik optimumnya mengalami kenaikan stabilitas maka sebab itu campuran lebih rapat dan campuran menunjukkan kemampuan mempertahankan kekuatan setelah mengalami perendaman selama 24 jam.

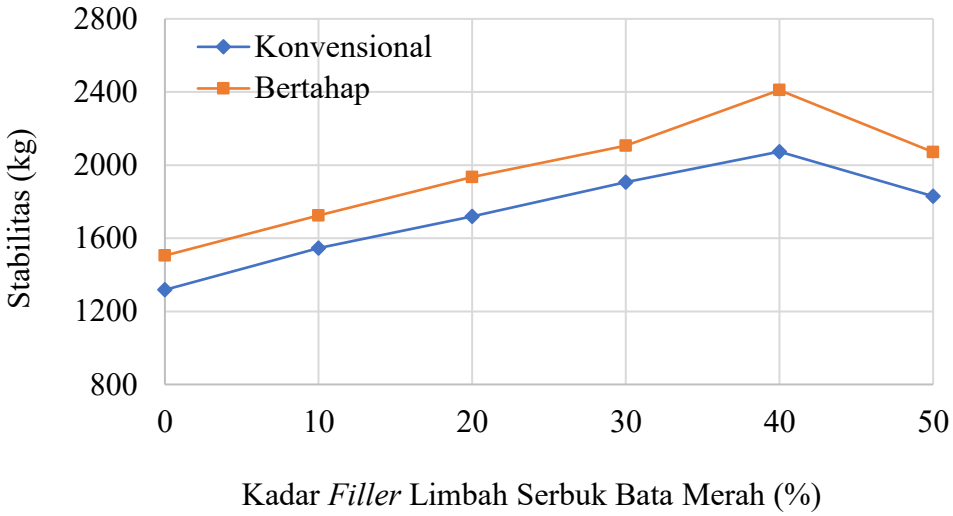
5.2.5 Pembahasan Variasi Kadar Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada KAO Campuran Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

Beradasarkan pengujian yang sudah dilakukan dan dari hasil grafik diatas pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC – BC)* mendapatkan nilai KAO campuran sebesar 5,90%. Berikut hasil pengujian pengaruh substitusi *filler* serbuk bata merah dengan menggunakan 2 metode pencampuran yaitu metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap.

1. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai Kekuatan Campuran Aspal dengan Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

1.1. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap terhadap nilai Stabilitas.

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* limbah serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 9 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Stabilitas

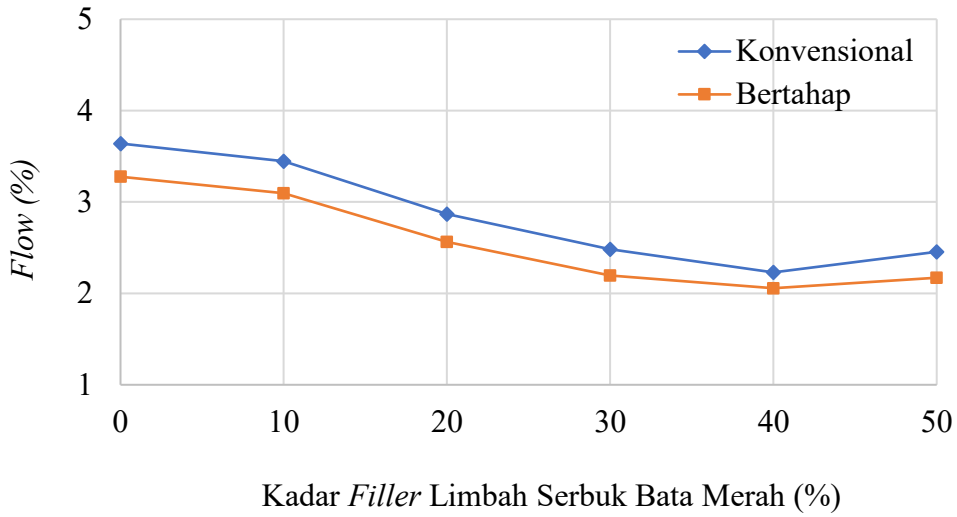
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas dari campuran *AC-BC* dengan penambahan kadar *filler* limbah serbuk bata merah mengalami peningkatan hingga mencapai titik optimum kadar *filler* limbah serbuk bata merah mencapai 40%. Namun, penambahan *filler* limbah serbuk bata merah diatas kadar substitusi 40% tersebut justru menyebabkan adanya penurunan nilai stabilitas di substitusi kadar *filler* 50% pada semua metode pencampuran. Sebanding dengan Perwitasari (2018) menyatakan bahwa *filler* pengganti pada kadar 0%, 25% hingga 50% mengalami peningkatan stabilitas dan mengalami penurunan pada kadar 75% pada nilai stabilitasnya. Penambahan *filler* limbah serbuk bata merah mempunyai tujuan untuk meningkatkan stabilitas campuran karena dari segi tekstur yang tajam dan kasar mampu menciptakan bidang kontak yang baik serta meningkatkan

efek saling mengunci (*interlocking)* antar partikel didalam campuran. Menurut Rahayu (2018), jika kadar *filler* serbuk bata merah ditambahkan secara berlebihan akan menurunkan nilai stabilitas karena permukaan *filler* serbuk bata merah berpori, sehingga menurunkan *workability* campuran dan membuat volume rongga dalam campuran meningkat atau bertambah besar. Senyawa yang terkandung pada serbuk bata merah seperti silika dan aluminat yang bersifat *pozzolan* yitu sifat yang memiliki reaktivitas kimia yang dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida untuk membentuk senyawa yang mempunyai sifat pengikat yang menyebabkan campuran menjadi kaku dan keras sehingga dapat meningkatkan nilai stabilitas pada campuran.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9, perbandingan antara metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap pada campuran *AC-BC* dengan menggunakan *filler* limbah serbuk bata merah mampu menghasilkan nilai stabilitas yang lebih baik pada titik kadar optimumnya yaitu pada kadar subtitusi *filler* 40% menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan pada kadar subtitusi *filler* 40% dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hasil ini menunjukkan bahwa metode pencampuran bertahap dapat meningkatkan nilai stabilitas lebih baik dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional karena menggunakan metode pencampuran bertahap menunjukkan adanya *interlocking* antar agregat sehingga pelapisan awal terjadi secara maksimal dan menyebabkan campuran lebih kuat sehingga mampu menahan beban lalu lintas yang lebih besar. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Kok dan Kologlu (2011), Hesami, dkk (2015), Iqbal dan Fauziah (2023), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025). Hasil dari penelitian dengan menggunakan kedua metode ini memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* yaitu > 800 kg.

1.2. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap terhadap nilai *Flow.*

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.10.



Gambar 5. 10 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Flow*

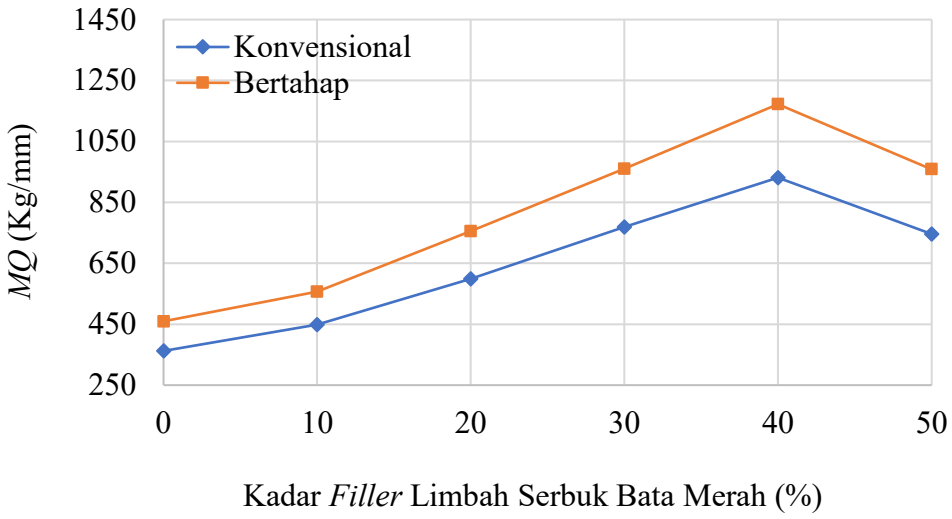
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.10, dapat dilihat bahwa nilai *flow* pada campuran *AC-BC* menunjukkan adanya penurunan sejalan dengan penambahan kadar substitusi *filler* limbah serbuk bata merah pada semua metode pencampuran yang digunakan. Namun pada saat mencapai kadar *filler* 50% nilai *flow* mengalami kenaikan dikarenakan semakin banyak penambahan *filler* limbah serbuk bata merah dari kadar optimumnya menyebabkan aspal lebih banyak terserap oleh *filler* karena limbah serbuk bata merah mempunyai permukaan yang berpori yang mengakibatkan berkurangnya sifat adhesi agregat dengan bahan ikatnya yaitu aspal. Peningkatan nilai *flow* pada kadar 50% menyebabkan campuran aspal menjadi berkurang daya lekatnya sehingga aspal menjadi kehilangan sifat viskositasnya dan menyebabkan kurangnya campuran menahan deformasi dan memiliki potensi untuk mengalami keretakan. Sebanding dengan Perwitasari (2018) yang menyatakan bahwa penambahan *filler* serbuk batu bata pada kadar 75% dalam campuran mengakibatkan peningkatan pada nilai *flow.*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.10, pada semua subtitusi kadar *filler* limbah serbuk bata merah dengan menggunakan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *flow* yang lebih rendah dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Hal ini sejalan dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Kok dan Kologlu (2011), Iqbal dan Fauziah (2023), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025), yang menunjukkan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap membuat campuran menjadi lebih kaku dan lebih tahan terhadap deformasi permanen. Pada penelitian ini menunjukkan nilai *flow* memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 pada campuran *AC - BC* yaitu 2 mm – 4 mm.

1.3. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap terhadap nilai *Marshall Quotient (MQ).*

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.11.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.11 dibawah, dapat dilihat bahwa nilai *MQ* dari campuran *AC-BC* menunjukkan bahwa penambahan substitusi kadar *filler* limbah serbuk bata merah pada kadar 40% mengalami peningkatan nilai dan mengalami penurunan pada subtitusi kadar *filler* 50% pada semua metode. Terjadinya peningkatan nilai *MQ* disebabkan karena peningkatan nilai stabilitas dan penurunan nilai *flow* nya sehingga menyebabkan campuran menjadi lebih kaku dan memiliki ketahanan untuk menahan deformasi plastis akibat beban lalu lintas sehingga campuran memiliki fleksibilitas yang rendah sehingga mengakibatkan campuran tidak mudah untuk berdeformasi karena *filler* limbah serbuk bata merah dapat mengisi rongga pada agregat sehingga campuran menjadi lebih kaku. Sebaliknya, penelitian yang dilakukan oleh Octavian (2024) bahwa nilai *MQ* pada substitusi *filler* serbuk besi mengalami penurunan pada kadar *filler* 75%.

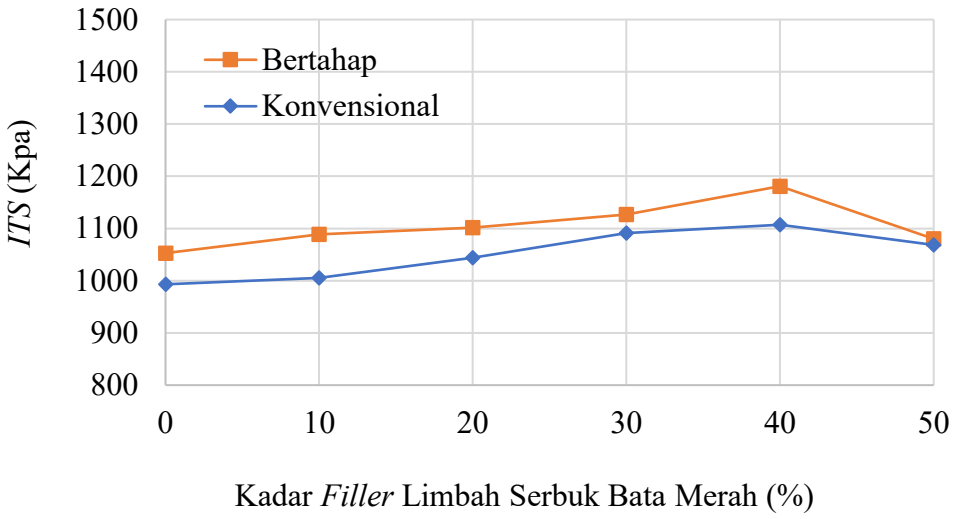


Gambar 5. 11 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *MQ*

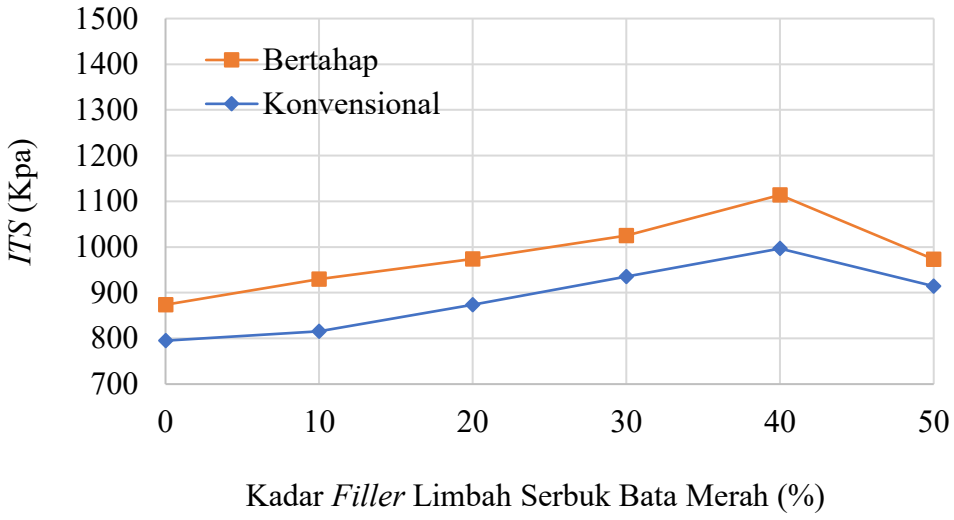
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.11, dengan menggunakan metode pencampuran bertahap pada campuran *AC-BC* mengalami kenaikan nilai *MQ* dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini menjadikan dengan menggunakan metode pencampuran bertahap lebih baik dari segi kekuatan pada campuran. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kok dan Kologlu (2011), Iqbal dan Fauziah (2023), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025), pencampuran metode bertahap lebih mampu menahan deformasi plastis akibat adanya pembebanan yang terjadi.

1.4. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap terhadap nilai *Indirec Tensile Strength (ITS)*

Pengujian *ITS* dilakukan untuk mengetahui sejauh mana kemampuan campuran dalam menahan beban tarik yang terjadi dihitung dari puncak bebannya. Pengujian ini dibagi menjadi dua jenis, yaitu *ITS conditioned* dan *ITS unconditione*d dimana pada pengujian *ITS conditioned* benda uji direndam di *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam untuk mengetahui kondisi kerusakan campuran pada saat terkena hujan, genangan air karena drainase yang buruk.

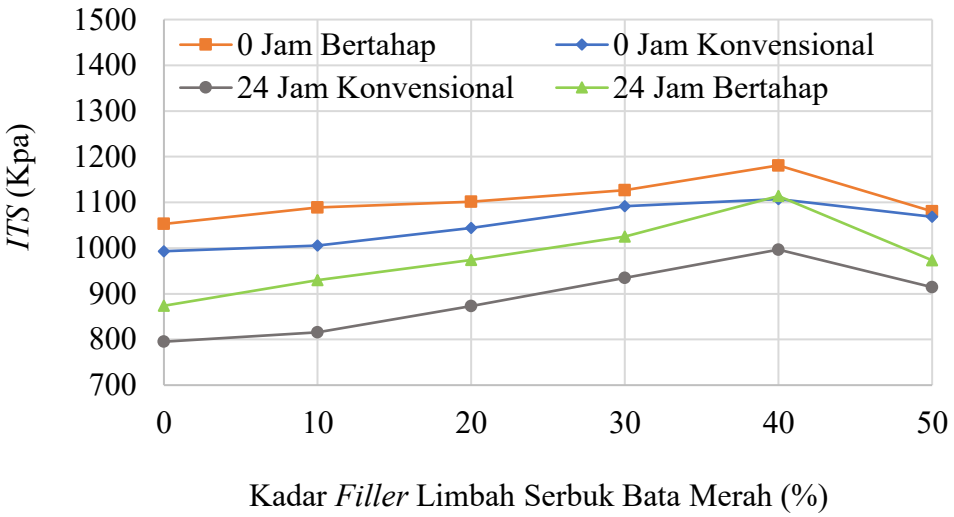


Gambar 5. 12 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *ITS Unconditioned*



Gambar 5. 13 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *ITS Conditioned*

Sementara pengujian *ITS unconditioned* dilakukan setelah benda uji dipadatkan dimana untuk mengetahui kondisi campuran saat kering. Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* limbah serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap pada pengujian *ITS* dapat dilihat pada Gambar 5.12 hingga 5.14.



Gambar 5. 14 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *ITS*

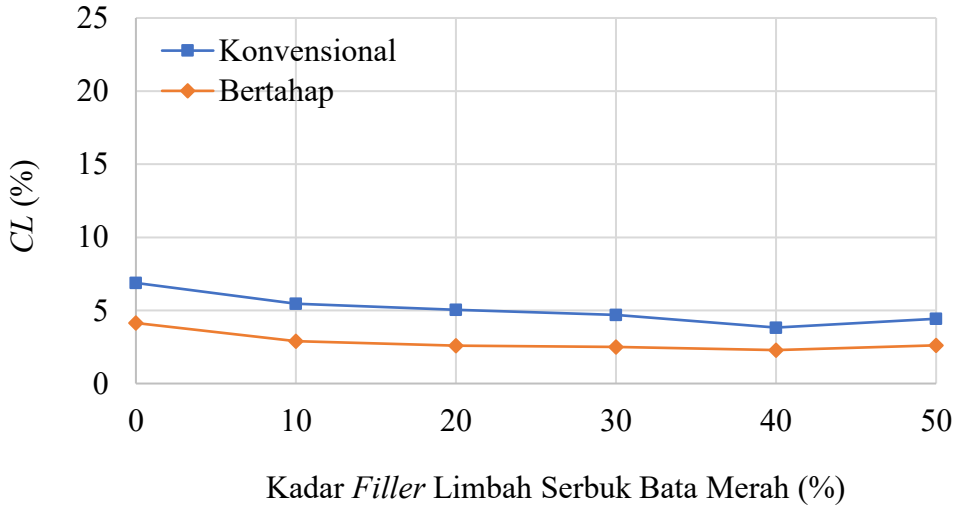
Berdasarkan hasil grafik pengujian pada Gambar 5.12 sampai Gambar 5.14, dapat dilihat bahwa nilai *ITS* mengalami peningkatan hingga kadar substitusi *filler* 40 % dan mengalami penurunan pada kadar substitusi *filler* 50 % pada semua metode. Hal ini dikarenakan pengaruh durasi perendaman yang menyebabkan campuran mengalami penurunan nilai *ITS* karena kemampuan daya ikat antar partikel agregat dengan aspal lebih rendah sehingga kekuatan campuran terhadap gaya tarik menurun. Nilai *ITS* pada penambahan *filler* 50% mengalami penurunan karena limbah serbuk bata merah mempunyai permukaan berpori sehingga *filler* menyerap lebih banyak aspal didalam campuran dan menyerap air saat perendaman di *waterbath* sehingga meningkatkan penyerapan air yang mengakibatkan campuran menjadi lebih lunak dan rawan terjadi keretakan.

Dengan menggunakan metode pencampuran bertahap pada nilai *ITS* mengalami peningkatan dibanding menggunakan metode pencampuran konvensional. Penggunaan metode pencampuran bertahap dapat meningkatkan nilai *ITS,* sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023), Ichwan (2023), Mentari (2023), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025), yang menunjukkan bahwa penggunaan metode pencampuran

bertahap mengurangi potensi keretakan campuran akibat beban tarik yang diterima dilihat dari grafik pada Gambar 5.14 diatas.

1.5. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap terhadap nilai *CL*

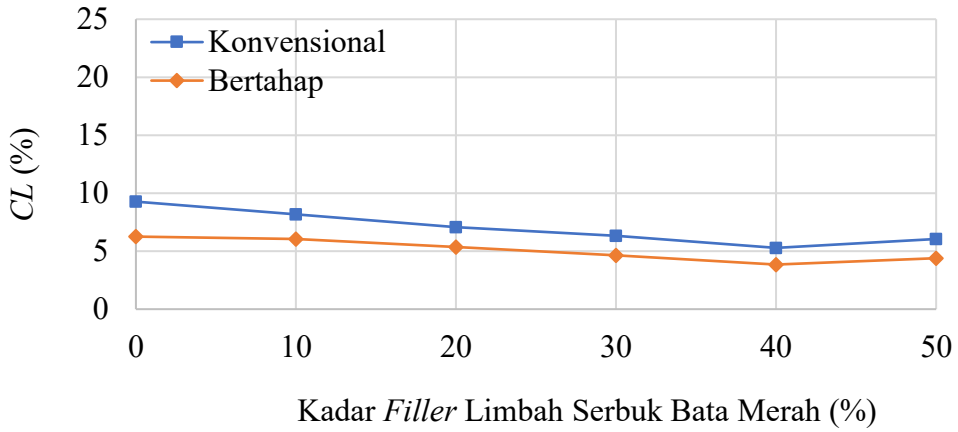
Nilai *CL* di persentasekan untuk mengetahui kekuatan hancur akibat tumbukan atau pembebanan beban roda lalu lintas pada benda uji selama pengujian. Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* limbah serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.15 hingga Gambar 5.16.



Gambar 5. 15 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *CL* Normal

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.15 hingga Gambar 5.16, nilai *CL* menunjukkan penurunan seiring penambahan kadar *filler* limbah serbuk bata merah hingga kadar 40% kemudian terjadi peningkatan pada kadar *filler* 50% pada semua penggunaan metode pencampuran. Hal ini terjadi karena sifat *pozzolan* pada serbuk bata merah yang menyebabkan viskositas aspal meningkat dan menyebabkan ikatan antara aspal dengan agregat semakin bagus. Pada penambahan kadar *filler* 50%, ini menyebabkan peningkatan nilai *CL* karena penambahan *filler* yang semakin banyak menyebabkan ikatan

adhesi antara agregat dengan aspal menjadi berkurang dan membuat rongga semakin besar sehingga menyebabkan campuran menjadi getas dan mudah mengalami keausan.



Gambar 5. 16 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *CL* Rendaman

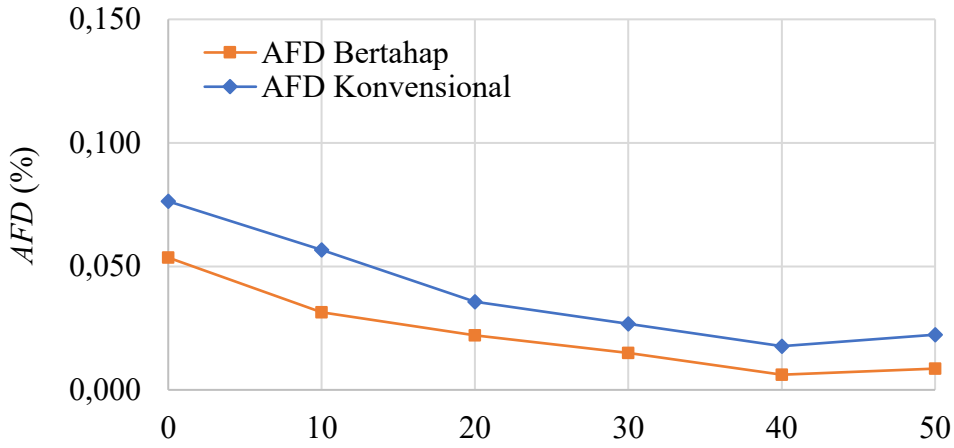
Keusan ini terjadi karena rongga yang besar memudahkan air dan udara masuk ke campuran dan menyebabkan proses pengelupasan aspal dari permukaan agregat didalam campuran sehingga campuran menjadi kurang durabel dan tidak tahan terhadap abrasi pada saat tumbukan dengan roda kendaraan yang berulang. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Perwitasari (2018) yang dimana mengalami peningkatan yang signifikan pada nilai *CL* dengan kadar penambahan *filler* serbuk bata merah sebesar 75% dan 100%.

Penggunaan metode pencampuran bertahap terhadap nilai *CL* pada campuran *AC-BC* dengan substitusi *filler* limbah serbuk bata merah memiliki nilai *CL* yang lebih rendah dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Hal tersebut dipengaruhi oleh pelapisan awal aspal dengan agregat menciptakan daya lekat yang lebih baik sehingga mencegah terjadinya disintegrasi antar partikel agregat pada campuran dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Hasil ini sejalan

dengan Hidayat (2021), Ichwan (2023), Iqbal dan Fauziah (2023), Iqbal (2023), Mentari (2023), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025).

1.6 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap Terhadap Nilai *AFD*

Nilai *AFD* digunakan sebagai salah satu parameter untuk mengetahui seberapa efektif aspal melapisi permukaan agregat atau berperan sebagai lapisan film agregat dalam campuran aspal beton terutama campuran *AC-BC*. Pengujian *AFD* merupakan parameter untuk dapat mengevaluasi sejauh mana aspal secara efektif melapisi agregat didalam campuran. Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5. 17 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *AFD*

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.17, dapat diketahui bahwa penambahan limbah serbuk bata merah sebagai *filler* dengan campuran *AC-BC* menyebabkan penurunan nilai *AFD* pada semua metode pencampuran. Penurunan ini terjadi karena limbah serbuk bata merah mampu meningkatkan kohesi pada aspal sehingga ikatan antar aspal tetap terjaga meskipun lapisan aspal pada agregat menjadi cukup tebal. Sejalan dengan

Octavian (2024) bahwa penambahan kadar substitusi *filler* serbuk besi pada campuran *SMA* mengalami penurunan nilai *draindown*. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Wahyudi (2021) bahwa nilai *AFD* semakin mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar aspal porus.

Pada Gambar 5.17, menunjukkan bahwa penerapan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *AFD* yang lebih rendah dibandingkan dengan semua kadar substitusi *filler* dengan metode pencampuran konvensional. Kondisi ini menunjukkan bahwa metode pencampuran bertahap dapat menghasilkan campuran yang lebih merata dan homogen yang berpengaruh saat pencampuran sehingga mengurangi adanya segregasi atau pemisahan aspal pada agregat didalam campuran *AC-BC* semakin kecil. Pernyataan ini sejalan dengan Iqbal dan Fauziah (2023), Mentari (2023), Ichwan (2023), dan Kholid (2025) bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *AFD* yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional,

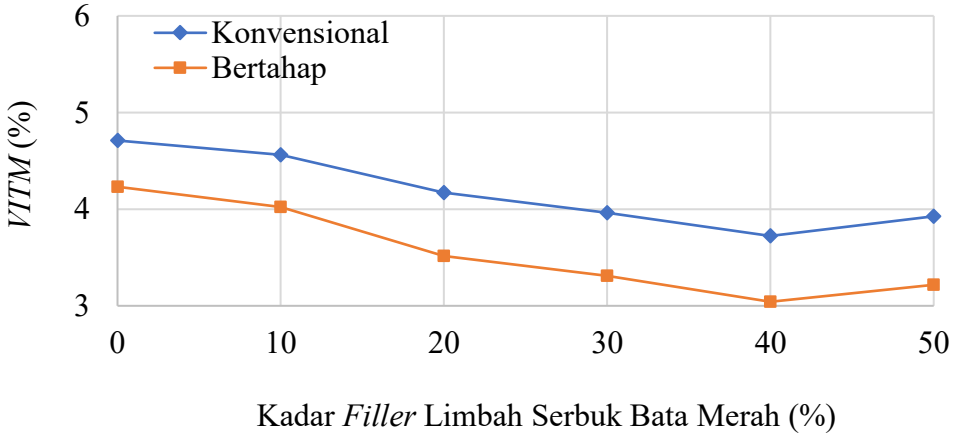
2. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai Volumetrik Campuran Aspal dengan Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

2.1. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap terhadap nilai *VITM (Void In Total Mix)*

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap. Pengaruh variasi substitusi *filler* dapat dilihat pada Gambar 5.18.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.18, dapat dilihat bahwa nilai *VITM* pada campuran *AC - BC* terjadi penurunan nilai *VITM* pada semua metode pencampuran yang digunakan. Hal ini dikarenakan *filler* limbah serbuk bata merah yang halus mampu mengisi rongga secara optimal pada campuran sehingga rongga didalam campuran menjadi lebih rapat. Sebanding dengan Rahayu (2018), bahwa nilai *VITM* mengalami penurunan pada kadar *filler*

pengganti sebesar 75% dan 100% dikarenakan terjadi dengan menandakan rongga pada campuran yang semakin rapat sehingga campuran semakin kedap dan sulit untuk meloloskan air akan tetapi pada saat temperatur meningkat akan menyebabkan *bleeding* pada aspal. Penggunaan limbah serbuk bata merah sebagai *filler* mendukung adanya pelapisan pori-pori pada agregat kasar sehingga berkurangnya rongga pada campuran.

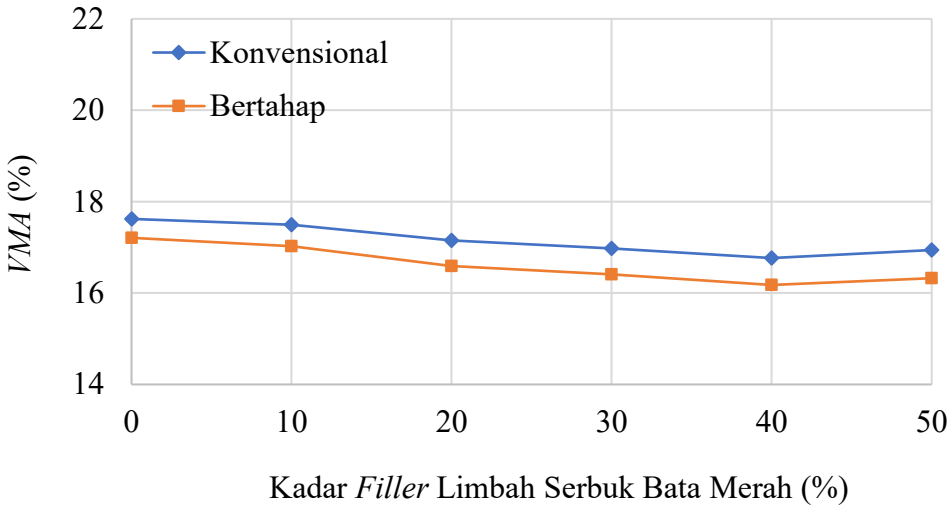


Gambar 5. 18 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VITM*

Pada penelitian Kog dan Kologlu (2011) menunjukkan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap dapat menembus rongga terkecil pada agregat saat pelapisan awal agregat kasar sehingga membuat rongga pada campuran lebih kecil dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional dilihat terjadi penurunan nilai *VITM.* Hal ini sejalan grafik pada Gambar 5.18, bahwa penambahan *filler* dengan menggunakan metode pencampuran bertahap mengalami penurunan nilai *VITM* dibanding dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023), Ichwan (2023), dan Atthaullah (2024) yang menunjukkan penurunan pada nilai *VITM* dengan menggunakan metode pencampuran bertahap. Hasil penelitian ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* yaitu 3% - 5%.

2.2. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap terhadap nilai *VMA (Void In Mineral Agregat)*

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.19.



Gambar 5. 19 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VMA*

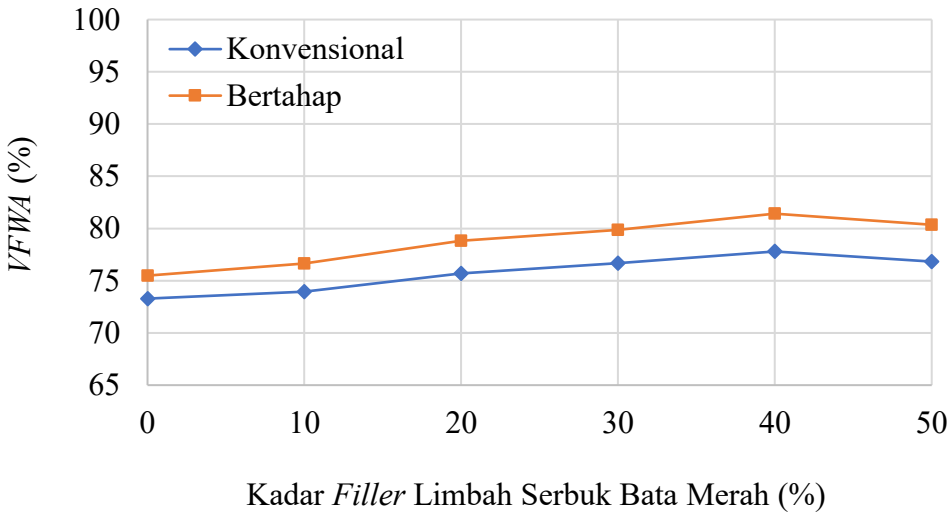
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.19, dapat dilihat bahwa nilai *VMA* pada campuran *AC - BC* bahwa nilai *VMA* mengalami penurunan seiring dengan bertambahkan kadar substitusi *filler* hingga 40 %. Hal ini disebabkan sifat *pozzolan* yang ada pada limbah serbuk bata merah sehingga menyebabkan campuran memiliki jarak antar butir agregat menjadi lebih rapat. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah dan Anggraini (2017) bahwa nilai *VMA* yang lebih rendah mengakibatkan lapisan kurang dapat mengikat aspal dan menyebabkan mudah retak. Sebaliknya, jika nilai *VMA* yang tinggi mengakibatkan aspal pada campuran akan naik dan mengalami *bleeding*. Nilai *VMA* juga dipengaruhi oleh adanya gradasi agregat, jumlah tumbukan sesuai campuran, dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai pada *VMA* mengakibatkan campuran lebih kedap terhadap air dan udara karena semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.19, metode pencampuran bertahap dapat menghasilkan nilai *VMA* yang lebih rendah karena pelapisan awal menghasilkan ikatan adhesi pada aspal mengalami peningkatan dan membuat campuran dapat mengikat agregat dengan baik. Dengan begitu jarak antar butir agregat pada campuran menjadi lebih rapat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021), Ichwan (2023), Mentari (2023), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025). Hasil penelitian ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* yaitu > 14 %.

2.3. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap terhadap nilai *VFWA (Void Filled With Asphalt)*

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* limbah serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap. Pengaruh variasi substitusi *filler* dapat dilihat pada Gambar 5.20.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.20 dibawah, dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* pada campuran *AC - BC* menggunakan substitusi *filler* limbah serbuk bata merah mengalami peningkatan nilai *VFWA* hingga kadar *filler* optimum 40%. Menurut Perwitasari (2018), hal ini dikarenakan semakin banyaknya *filler* pengganti serbuk bata merah menyebabkan rongga tidak terisi aspal semakin banyak karena permukaan yang dimiliki oleh serbuk bata merah lebih berpori daripada permukaan debu batu sehingga penyerapan pada aspal berkurang dan mengkibatkan selimut aspal menjadi tipis. Penelitian yang dilakukan oleh Kholid (2025) membuktikan bahwa penambahan *filler* abu bauksit menjadikan penurunan nilai *VFWA* pada campuran *Stone Matrix Asphalt.*

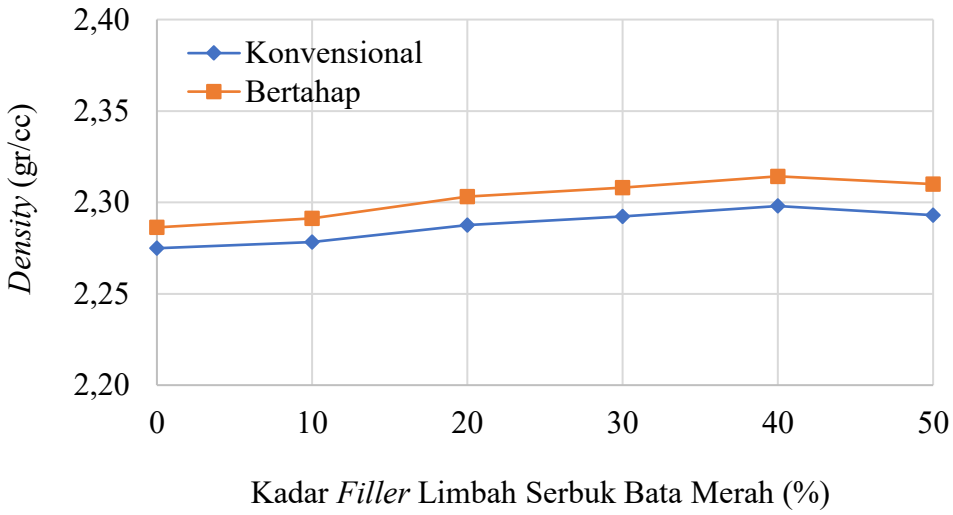


Gambar 5. 20 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VFWA*

Penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *VFWA* semakin meningkat karena pelapisan awal antara agregat kasar dengan aspal membuat rongga dalam campuran semakin padat dan terisi aspal. Hal ini sejalan dengan penelitian oleh Kok dan Kologlu (2011), Iqbal dan Fauziah (2023), Mentari (2023), dan Atthaullah (2024) dimana terjadi kenaikan nilai *VFWA* seiring dengan bertambahkan kadar optimum substitusi *filler.* Hasil penelitian ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 pada campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC - BC)* yaitu > 65 %.

2.4. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap terhadap nilai Kepadatan (*Density)*

Nilai *density* yaitu nilai yang menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran yang diperolah dari perbandingan berat campuran dan volume dan dinyatakan dalam satuan gr/cc. Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* limbah serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.21.



Gambar 5. 21 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* dengan Metode Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Density*

Gambar 5.21 menunjukkan grafik nilai *density* mengalami kenaikan pada penambahan *filler* limbah serbuk bata merah hingga kadar optimum 40% dan mengalami penurunan pada kadar *filler* 50%. Hal ini disebabkan karena rongga antar agregat semakin mengecil sehingga meningkatkan kepadatan pada campuran. Pengaruh penambahan *filler* limbah serbuk bata merah mampu meningkatkan kepadatan pada campuran karena bersifat *pozzolan* yang mengakibatkan adhesi antar agregat dengan aspal semakin baik. Namun penggunaan *filler* limbah serbuk bata merah menyebabkan penyerapan aspal dikarenakan limbah serbuk bata merah yang memiliki permukaan lebih berpori mengakibatkan penurunan nilai *density* tersebut terutama pada kadar substitusi *filler* 50%. Hal ini tidak sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Kholid (2025) dimana penambahan kadar *filler* abu bauksit menyebabkan peningkatan rongga dalam campuran *VITM* sehingga kepadatan campuran menjadi turun,

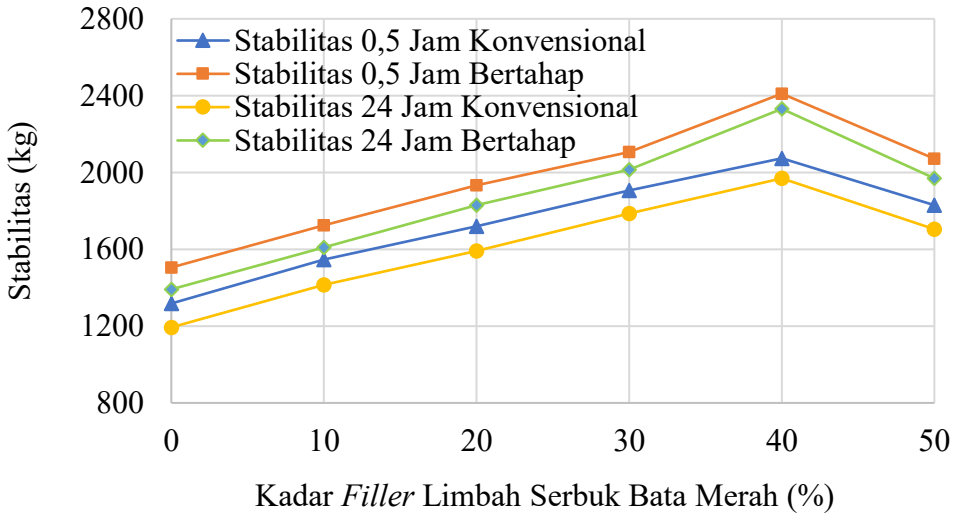
Dengan menggunakan metode pencampuran bertahap, kepadatan atau *density* pada campuran menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibanding menggunakan metode pencampuran konvensional seiring penambahan substitusi kadar *filler* limbah serbuk bata merah karena saat dengan menggunakan metode pencampuran bertahap, rongga pada campuran

menjadi lebih kecil sehingga kepadatannya meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023), Hidayat (2021), Ichwan (2023), dan Mentari (2023). Hasil penelitian ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 pada campuran *AC - BC* yaitu > 2.

3. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai Durabilitas Campuran Aspal dengan Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

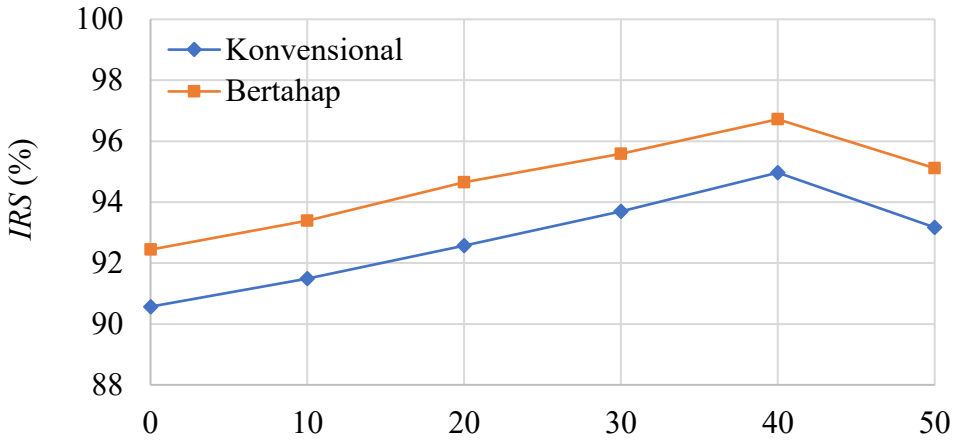
3.1. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap terhadap nilai *IRS* dapat dilihat pada Gambar 5.22.

Nilai *IRS* yaitu nilai yang didapat dari perbandingan nilai stabilitas campuran yang direndam selama 0,5 jam di *waterbath* dan yang telah direndam selama 24 jam di *waterbath* dengan suhu 60°C. Berdasarkan grafik pada Gambar 5.22, nilai stabilitas pada rendaman 24 jam pada campuran *AC-BC* menghasilkan nilai yang lebih rendah dibanding dengan perendaman 0,5 jam pada setiap penambahan kadar *filler* limbah serbuk bata merah.



Gambar 5. 22 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Rendaman 0,5 Jam dan 24 Jam Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023) bahwa langkah awal dari penggunaan metode pencampuran bertahap yaitu adanya pelapisan agregat kasar di awal yang menyebabkan aspal mengisi pori-pori pada agregat sehingga agregat terselimuti aspal dengan baik dan mampu meningkatkan daya tahan atau daya serap terhadap adanya air, suhu, dan kondisi cuaca yang terjadi sehingga campuran memiliki kekuatan struktur lapisan dan memiliki daya tahan saat terjadinya deformasi permanen akibat beban roda kendaraan.



Gambar 5. 23 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *IRS*

Sesuai grafik pada Gambar 5.23, nilai *IRS* pada campuran *AC-BC* dengan menggunakan metode pencampuran bertahap lebih kuat dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Pada grafik Gambar 5.23 diatas, nilai *IRS* mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar *filler* limbah serbuk bata merah hingga kadar optimum *filler* 40% kemudian mengalami penurunan pada penambahan kadar *filler* 50%. Hal ini disebabkan oleh penambahan kadar *filler* limbah serbuk bata merah dikarenakan limbah serbuk bata merah mempunyai permukaan yang lebih berpori sehingga meningkatkan penyerapan aspal terhadap agregat dan dapat menurunkan nilai stabilitas. Sebanding dengan penelitian yang

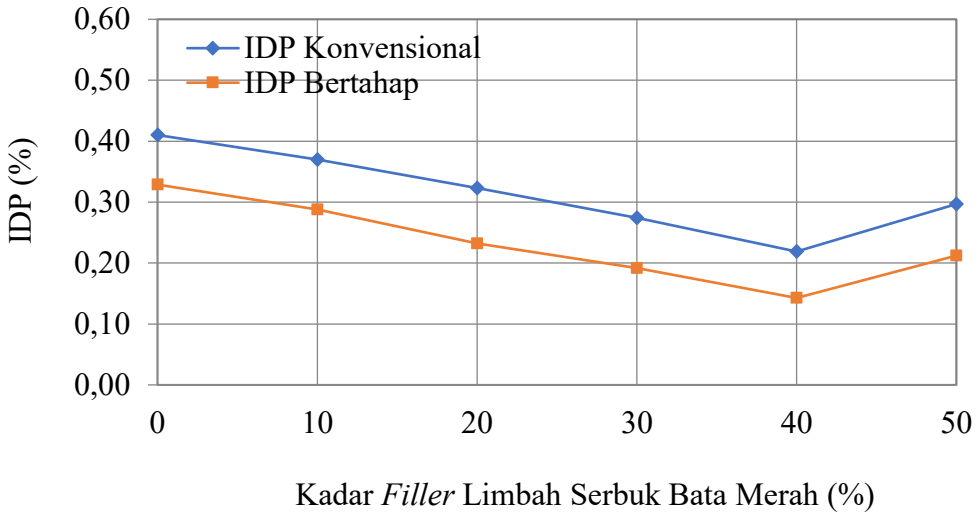
dilakukan oleh Perwitasari (2018), menunjukkan nilai *IRS* terbesar terjadi pada kadar *filler* pengganti sebesar 50%. Sehingga penelitian tersebut menunjukkan bahwa benda uji yang menggunakan *filler* serbuk batu bata lebih baik nilai *IRS* nya dibandingkan tanpa menggunakan *filler* serbuk batu bata. Pada penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021), Ichwan (2023), Iqbal (2023), Mentari (2023), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025) menunjukkan bahwa menggunakan metode pencampuran bertahap meningkatkan nilai *IRS* dibanding dengan menggunakan metode pencampuran konvensional karena pelapisan awal antara agregat dengan aspal secara optimal menghasilkan campuran lebih kuat akibat terjadinya rendaman.

1.7 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap Terhadap Nilai IDP

IDP yaitu persentase nilai yang menunjukkan hilangnya kekuatan pada campuran selama durasi perendaman yang dilihat dari kelandaian berurutan kurva durabilitasnya. Persentase nilai IDP yang rendah menunjukkan ketahanan campuran yang jauh lebih baik, sedangkan sebaliknya jika nilai IDP semakin besar maka ketahanan campuran terhaap perendaman air semakin lemah. Grafik pengaruh perendaman pada campuran menggunakan *filler* serbuk bata merah menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.24.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.24, nilai IDP mengalami penurunan sejalan dengan penambahan kadar *filler* serbuk bata merah dan mengalami peningkatan pada kadar *filler* 50% pada semua metode pencampuran. Peningkatan nilai *IRS* pada kadar 0% hingga 40% menyebabkan nilai IDP yang lebih rendah sehingga kekuatan campuran semakin baik. Pada kadar penambahan *filler* serbuk bata sebesar 50% mengalami peningkatan nilai IDP dikarenakan terjadinya penurunan nilai *IRS* akibat menurunnya nilai stabilitas akibat semakin bertambahnya *filler* limbah serbuk bata merah. Hal ini disebabkan karena *filler* limbah serbuk bata merah memiliki permukaan yang

lebih berpori sehingga menyebabkan rongga dalam campuran meningkat akibat terjadi penyerapan aspal yang lebih banyak sehingga menurunkan nilai stabilitas pada campuran dan menyerap air lebih banyak saat perendaman. Berbanding terbalik dengan penelitian yang dilakukan oleh Atthaullah (2024), pada substitusi *filler* abu bauksit pada kadar 25% dan 50% pada campuran mengalami penurunan nilai durabilitas yang mengakibatkan peningkatan nilai IDP sehingga campuran rentan terhadap kerusakan pada campuran.

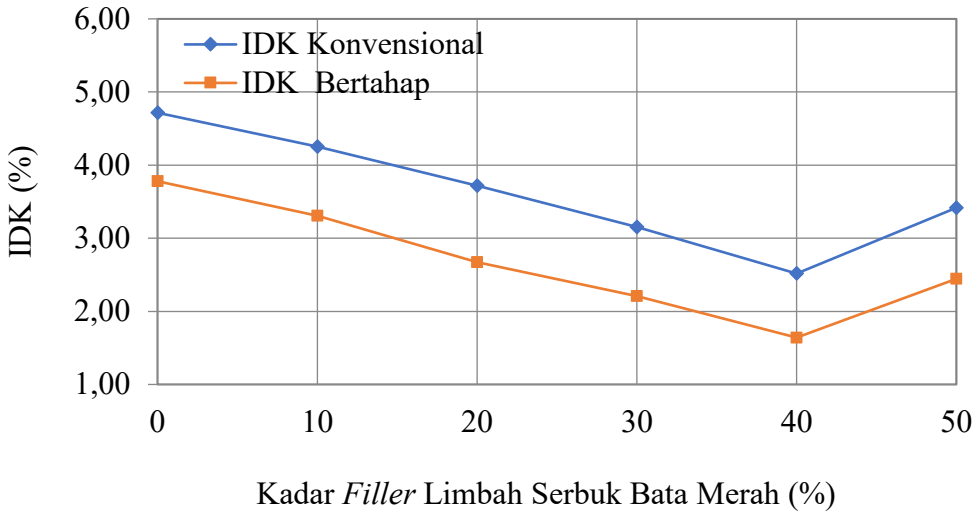


Gambar 5. 24 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai IDP

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kholid (2025) menyebutkan bahwa menggunakan metode pencampuran bertahap menunjukkan nilai IDP yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian ini bahwa metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai IDP yang lebih rendah dibanding dengan menggunakan metode pencampuran konvensional.

1.8 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap Terhadap Nilai IDK

Indeks Durabilitas Pertama atau IDP merupakan parameter untuk mencari durabilitas campuran. Nilai IDK menandakan campuran mengalami kehilangan kekuatan campuran sehingga durablitas pada campuran berkurang. Grafik pengaruh perendaman pada campuran menggunakan *filler* serbuk bata merah menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.26.



Gambar 5. 25 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai IDK

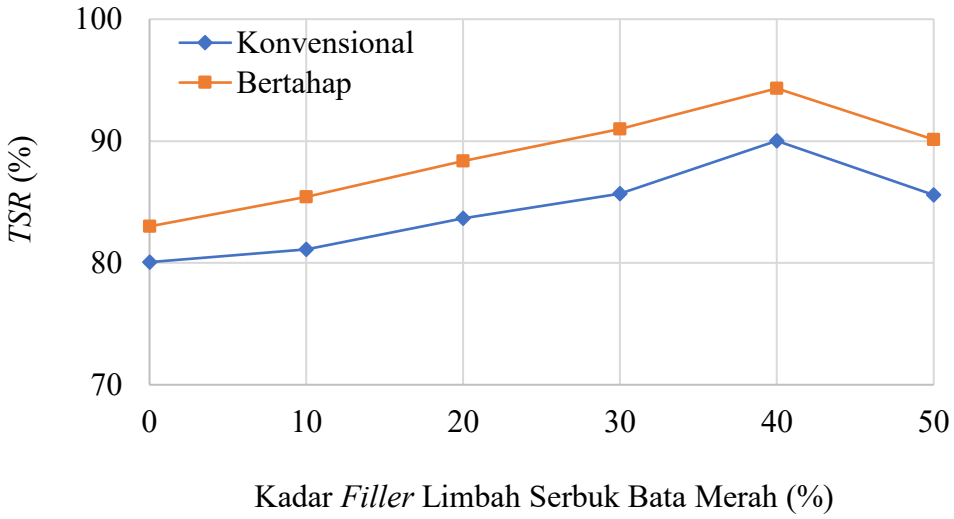
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.25, nilai IDK mengalami penurunan sejalan dengan penambahan kadar *filler* limbah serbuk bata merah dan mengalami peningkatan pada kadar *filler* 50% pada semua metode pencampuran. Penyebabnya adalah karena *filler* dari limbah serbuk bata merah memiliki permukaan yang lebih berpori, sehingga meningkatkan jumlah rongga dalam campuran. Kondisi ini membuat aspal lebih banyak terserap yang pada akhirnya terjadi penurunan nilai stabilitas campuran akibat lama perendaman.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Atthaullah (2024) dan Kholid (2025) menyebutkan bahwa menggunakan metode pencampuran bertahap menunjukkan nilai IDK yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Hal ini disebabkan oleh selimut aspal yang tebal membuat pori-pori didalam aspal terisi sedikit air

akibat rendaman sehingga menghasilkan campuran yang lebih kuat. Pada metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai IDK yang lebih rendah pada semua substitusi kadar *filler* dibandingkan dengan menggunakan metode pencampuran konvensional.

3.4 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap Terhadap Nilai *TSR*

Nilai TSR dihitung dari perbandingan antara hasil *ITS conditioned* (24 Jam) dan *ITS unconditioned* (0 Jam). Pengujian *TSR* ini dilakukan untuk mengetahui nilai tingkat ketahanan atau durabilitas campuran terhadap pengaruh perendaman air pada suhu 60°C, yang didasarkan pada kekuatan tarik tersebut.



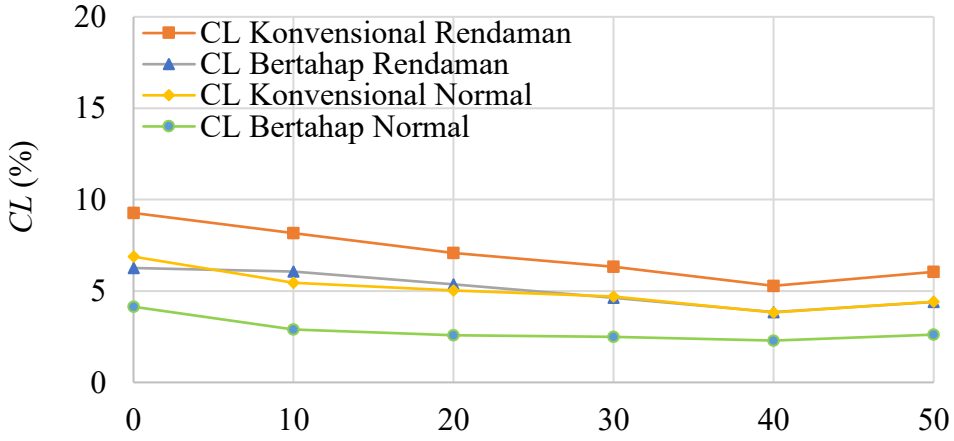
Gambar 5. 26 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *TSR*

Berdasarkan hasil grafik pengujian pada Gambar 5.26, bahwa metode pencampuran konvensional maupun metode pencampuran bertahap, nilai *TSR* mengalami kenaikan hingga kadar optimum substitusi *filler* 40 % dan mengalami penurunan pada kadar substitusi *filler* 50 %. Hal ini dikarenakan pengaruh durasi perendaman yang menyebabkan campuran mengalami penurunan nilai *TSR* karena kemampuan daya ikat antar partikel agregat dan aspal lebih rendah sehingga kekuatan campuran menurun. Nilai *TSR* pada

penambahan *filler* 50% mengalami penurunan karena serbuk bata merah mempunyai permukaan berpori sehingga *filler* menyerap lebih banyak aspal didalam campuran dan menyerap air saat perendaman di *waterbath* sehingga meningkatkan penyerapan air mengakibatkan campuran menjadi lebih lunak yang disebabkan oleh gaya tarik akibat suhu, cuaca, dan iklim yang menyebabkan terjadinya rawan keretakan.

Penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *TSR* yang lebih konstan dibanding dengan menggunakan metode pencampuran konvensional yang dimana hasil nilai *TSR* tersebut terjadi peningkatan secara tidak konstan. Hal ini sejalan dengan Iqbal dan Fauziah (2023), Ichwan (2023), Atthaullah (2024), dan Kholid (2025) karena penggunaan metode pencampuran bertahap mengurangi potensi keretakan campuran.

1.9 Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap Terhadap Nilai *ICL*

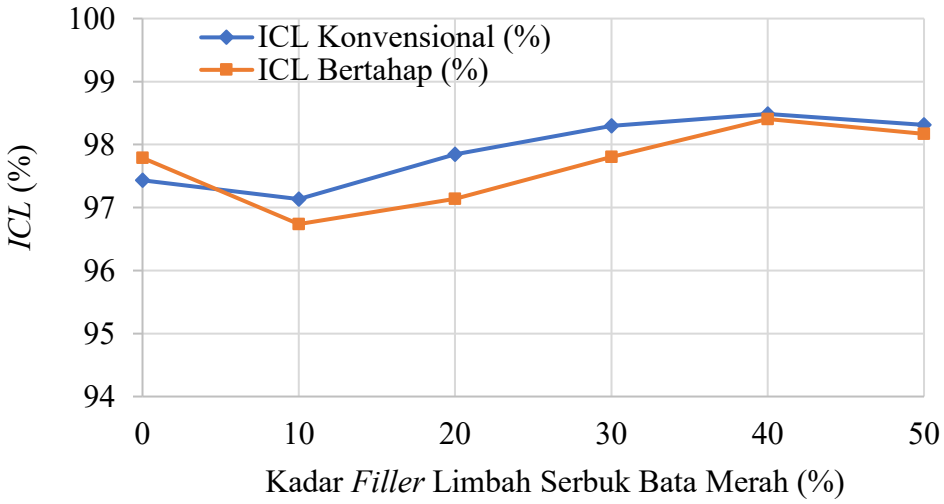


Gambar 5. 27 Grafik *CL* Normal dan *CL* Rendaman Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

Nilai *ICL* merupakan indeks yang menunjukkan hasil dari perbandingan nilai *CL* normal dengan *CL* rendaman 24 jam yang dinyatan dalam persen. Tujuan dalam perhitungan nilai *ICL* untuk mengetahui

disintegrasi akibat kausan campuran dan mengukur durabilitas campuran akibat rendaman. Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk bata merah dengan menggunakan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.28.

Berdasarkan hasil nilai *CL* pada Grafik Gambar 5.27 terlihat bahwa nilai *CL* mengalami penurunan pada setiap penambahan kadar substitusi *filler* limbah serbuk bata merah hingga kadar optimum 40% dan mengalami kenaikan pada kadar substitusi *filler* limbah serbuk bata merah sebesar 50% baik semua metode pencampuran. Penurunan ini disebabkan oleh sifat *pozzolan* yang disebabkan oleh senyawa yang terkandung didalam serbuk bata merah dimana *filler* ini meningkatkan viskositas aspal sehingga memperkuat sifat adhesi antara aspal dan agregat.



Gambar 5. 28 Grafik Pengaruh Kadar Substitusi *Filler* Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *ICL*

Dilihat grafik pada Gambar 5.28, menggunakan metode pencampuran bertahap menghasilkan peningkatan nilai *ICL* pada kadar *filler* 10% dan mengalami penurunan nilai *ICL* pada kadar *filler* 20% hingga 40%. Namun mengalami peningkatan nilai *ICL* yang signifikan pada kadar 20% hingga 40%. Pada nilai *ICL*, metode pencampuran konvensional menghasilkan

persentase nilai yang lebih tinggi sebesar 1,46% dibanding metode pencampuran bertahap.

Peningkatan nilai *ICL* diakibatkan dari meningkatnya nilai *VITM* dan penurunan nilai stabilitasnya sehingga nilai *CL* akibat rendaman tercatat lebih tinggi dibandingkan dengan *CL* pada kondisi normal. Hal ini disebabkan oleh penyerapan aspal berlebih karena *filler* limbah serbuk bata merah yang lebih berpori. Hal ini menyebabkan penyerapan air ke agregat lebih besar sehingga menurunkan sifat kohesi pada aspal. Liu, dkk (2019), Quesada, dkk (2021), dan Arrieta dan Maquilon (2014), dan Kholid (2025) menunjukkan bahwa benda uji akibat perendaman atau *wet* menghasilkan nilai persentase kehilangan berat yang lebih tinggi dibandingkan dengan benda uji dalam keadaan normal atau *dry.*

5.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah Dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional Dan Metode Pencampuran Bertahap

Rekapitulasi hasil pengujian substitusi *filler* serbuk bata merah dengan menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Tabel 5.16.

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Kekuatan Campuran	Stabilitas Konvensional (Kg)	1317,72	1545,69	1719,27	1906,01	2073,71	1830,36	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah dalam jumlah yang semakin besar menghasilkan nilai stabilitas campuran meningkat sehingga membuat campuran menjadi lebih padat dan tahan terhadap deformasi akibat beban lalu lintas secara berulang.
	Stabilitas Bertahap (Kg)	1505,24	1724,25	1933,87	2106,89	2410,29	2071,53	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah dalam jumlah yang semakin besar menghasilkan nilai stabilitas campuran meningkat setiap penambahan kadar *filler* sehingga membuat campuran menjadi lebih padat dan tahan terhadap deformasi akibat beban lalu lintas secara berulang. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Kekuatan Campuran	*Flow* Konvensional (mm)	3,64	3,45	2,87	2,48	2,23	2,46	Penambahan *filler* serbuk bata merah dalam jumlah yang semakin besar menyebabkan nilai *flow* menurun sehingga membuat campuran menjadi keras dan kaku.
	Flow Bertahap (mm)	3,28	3,10	2,56	2,20	2,06	2,17	Penambahan *filler* serbuk bata merah dalam jumlah yang semakin besar menyebabkan nilai *flow* menurun sehingga membuat campuran menjadi keras dan kaku. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *flow* yang lebih rendah daripada metode pencampuran konvensional.
	MQ Konvensional (kg/mm)	362,33	448,75	599,27	768,88	931,15	746,02	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah menyebabkan nilai *MQ* pada campuran meningkat. Hal ini dapat membuat campuran dapat mempertahankan bentuk aslinya sehingga campuran menjadi lebih kuat dan tahan terhadap deformasi plastis.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Kekuatan Campuran	*MQ* Bertahap (kg/mm)	459,54	556,74	754,94	960,42	1172,20	958,53	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah menyebabkan nilai *MQ* pada campuran meningkat. Hal ini dapat membuat campuran dapat mempertahankan bentuk aslinya sehingga campuran menjadi lebih kuat dan tahan terhadap deformasi plastis. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *MQ* yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional.
	ITS Konvensional (kPa)	993,08	1005,28	1043,96	1091,30	1107,16	1068,52	Penambahan *filler* serbuk bata merah dalam jumlah yang semakin besar menyebabkan nilai *ITS* mengalami peningkatan sehingga campuran memiliki ketahanan terhadap gaya tarik yang menyebabkan keretakan pada campuran.
	ITS Bertahap (kPa)	1052,75	1088,65	1101,69	1126,95	1180,91	1080,31	Penambahan *filler* serbuk bata merah dalam jumlah yang semakin besar menyebabkan nilai *ITS*

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Kekuatan Campuran								mengalami peningkatan sehingga campuran memiliki ketahanan terhadap gaya tarik yang menyebabkan keretakan pada campuran. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *ITS* yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional.
	CL Konvensional (%)	6,88	5,46	5,04	4,70	3,83	4,42	Penambahan serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai *CL* pada campuran *AC-BC* sehingga mengindikasikan bahwa campuran memiliki sifat adhesi yang baik dan memiliki ketahanan disintegrasi antara agregat dan aspal didalam campuran sehingga campuran menjadi lebih awet.
	CL Bertahap (%)	4,14	2,89	2,58	2,49	2,29	2,62	Penambahan serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai *CL* pada campuran *AC-BC* sehingga mengindikasikan bahwa campuran memiliki sifat adhesi

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Kekuatan Campuran								yang baik dan memiliki ketahanan disintegrasi antara agregat dan aspal didalam campuran. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *CL* yang lebih rendah daripada metode pencampuran konvensional.
	AFD Konvensional (%)	0,076	0,057	0,036	0,027	0,018	0,022	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai *AFD* pada campuran *AC-BC* sehingga campuran tersebut memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik yang menyebabkan campuran menjadi lebih homogen sehingga mencegah mengalirnya aspal dari agregat dan mengurangi pemisahan aspal.
	AFD Bertahap (%)	0,054	0,031	0,022	0,015	0,006	0,009	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai *AFD* pada campuran *AC-BC* sehingga

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Kekuatan Campuran								campuran tersebut memiliki sifat adhesi dan kohesi yang baik yang menyebabkan campuran menjadi lebih homogen sehingga mencegah mengalirnya aspal dari agregat dan mengurangi pemisahan aspal. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *AFD* yang lebih rendah daripada metode pencampuran konvensional.
Volumetrik Campuran	*VITM* Konvensional (%)	4,71	4,56	4,17	3,96	3,72	3,93	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah semakin banyak mengakibatkan rongga dalam campuran mengecil dan mengakibatkan campuran lebih padat dan lebih kedap air dilihat dari penurunan nilai pada *VITM.*
	VITM Bertahap (%)	4,23	4,02	3,52	3,31	3,04	3,22	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan rongga dalam campuran mengecil dan mengakibatkan campuran lebih padat dan lebih kedap air dilihat

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Volumetrik Campuran								dari penurunan nilai pada *VITM*. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *VITM* yang lebih rendah daripada metode pencampuran konvensional.
	VMA Konvensional (%)	17,62	17,49	17,15	16,97	16,77	16,94	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan jarak antara agregat dalam campuran semakin kecil mengakibatkan campuran menjadi lebih padat. Dilihat dari menurunnya nilai *VMA* pada campuran *AC-BC*.
	VMA Bertahap (%)	17,21	17,03	16,59	16,41	16,18	16,33	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan jarak antara agregat dalam campuran semakin kecil mengakibatkan campuran menjadi lebih padat. Dilihat dari menurunnya nilai *VMA* pada campuran *AC-BC*. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *VMA* yang

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
								lebih rendah daripada metode pencampuran konvensional.
Volumetrik Campuran	*VFWA* Konvensional (%)	73,28	73,95	75,69	76,67	77,80	76,83	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan rongga didalam agregat terisi oleh aspal secara maksimal ditandai terjadinya peningkatan nilai *VFWA*. Sehingga campuran menjadi rentan terhadap air, suhu, dan cuaca karena rongga didalam agregat terisi oleh aspal secara maksimal.
	VFWA Bertahap (%)	75,49	76,65	78,82	79,85	81,42	80,35	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan rongga didalam agregat terisi oleh aspal secara maksimal ditandai terjadinya peningkatan nilai *VFWA*. Sehingga campuran menjadi rentan terhadap air, suhu, dan cuaca. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *VFWA* yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Volumetrik Campuran	*Density* Konvensional (gr/cc)	2,275	2,278	2,288	2,292	2,298	2,293	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan campuran lebih padat dan dapat meningkatkan nilai stabilitas pada campuran tersebut dan campuran dapat menahan gaya deformasi.
	Density Bertahap (gr/cc)	2,286	2,291	2,303	2,308	2,314	2,310	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan campuran lebih padat dan dapat meningkatkan nilai stabilitas pada campuran tersebut dan campuran dapat menahan gaya deformasi. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *density* yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional.
Durabilitas Campuran	*IRS* Konvensional (%)	90,57	91,49	92,57	93,69	94,97	93,17	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi peningkatan nilai *IRS* pada campuran karena canpuran dapat mempertahankan kekuatannya akibat durasi pada rendaman

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Durabilitas Campuran								sehingga campuran awet karena lebih rentan terhadap air, cuaca, dan perubahan suhu dan campuran memiliki daya ikat antara aspal dan agregat setelah rendaman dengan baik.
	IRS Bertahap (%)	92,44	93,38	94,66	95,59	96,72	95,11	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi peningkatan nilai *IRS* pada campuran *AC-BC* karena canpuran dapat mempertahankan kekuatannya akibat durasi pada rendaman sehingga campuran awet karena lebih rentan terhadap air, cuaca, dan perubahan suhu dan campuran memiliki daya ikat antara aspal dan agregat setelah rendaman dengan baik.
	IDP Konvensional (%)	0,410	0,370	0,323	0,274	0,219	0,297	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai IDP pada campuran sehingga campuran mampu

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
								mempertahankan terjadinya ikatan antara aspal dengan agregat. Hal ini menjadikan campuran memiliki ketahanan kekuatan akibat rendaman yang baik.
Durabilitas Campuran	IDP Bertahap (%)	0,410	0,370	0,323	0,274	0,219	0,297	Penambahan serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai IDP pada campuran *AC-BC* sehingga campuran mampu mempertahankan terjadinya ikatan antara aspal dengan agregat. Hal ini menjadikan campuran memiliki ketahanan kekuatan akibat rendaman yang baik. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai IDP yang lebih rendah daripada metode pencampuran konvensional.
	IDK Konvensional (%)	4,716	4,255	3,717	3,153	2,517	3,414	Penambahan *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai IDK sehingga campuran mampu mempertahankan

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Durabilitas Campuran								terjadinya ikatan antara aspal dengan agregat. Hal ini menjadikan campuran memiliki ketahanan kekuatan akibat rendaman satu hari yang baik.
	IDK Bertahap (%)	3,780	3,308	2,672	2,206	1,641	2,443	Penambahan *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai IDK sehingga campuran mampu mempertahankan terjadinya ikatan antara aspal dengan agregat. Hal ini menjadikan campuran memiliki ketahanan kekuatan akibat rendaman satu hari yang baik. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai IDK yang lebih rendah daripada metode pencampuran konvensional.
	TSR Konvensional (%)	80,06	81,12	83,66	85,68	90,02	85,57	Penambahan serbuk bata merah mengakibatkan terjadi peningkatan nilai *TSR* pada campuran *AC-BC* mengakibatkan campuran tahan

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Durabilitas Campuran								terhadap gaya tarik dan menjadikan campuran lebih homogen.
Durabilitas Campuran	*TSR* Bertahap (%)	83,00	85,42	88,37	90,98	94,32	90,11	Penambahan serbuk bata merah mengakibatkan terjadi peningkatan nilai *TSR* pada campuran *AC-BC* mengakibatkan campuran tahan terhadap gaya tarik dan menjadikan campuran lebih homogen sehingga campuran menjadi lebih awet. Metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *TSR* yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional.
	ICL Konvensional (%)	97,43	97,13	97,85	98,30	98,49	98,31	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai *ICL* pada kadar *filler* 10% dan kemudian mengalami kenaikan hingga kadar optimumnya yaitu pada kadar 40% sehingga campuran tersebut mampu mempertahankan disintegrasi dan

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Durabilitas Campuran	*ICL* Konvensional (%)	97,43	97,13	97,85	98,30	98,49	98,31	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai *ICL* pada kadar *filler* 10% dan kemudian mengalami kenaikan hingga kadar optimumnya yaitu pada kadar 40% sehingga campuran tersebut mampu mempertahankan disintegrasi dan memiliki daya lekat yang baik sehingga campuran tahan terhadap keausan.
	ICL Bertahap (%)	97,79	96,74	97,14	97,80	98,41	98,17	Penambahan kadar *filler* serbuk bata merah mengakibatkan terjadi penurunan nilai *ICL* pada kadar *filler* 10% dan kemudian mengalami kenaikan hingga kadar optimumnya yaitu pada kadar 40% sehingga campuran tersebut mampu mempertahankan disintegrasi dan memiliki daya lekat yang baik sehingga campuran tahan terhadap keausan Metode pencampuran

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Limbah Serbuk Bata Merah pada Campuran *AC-BC* dengan Menggunakan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

`Tinjauan	Parameter	Substitusi *Filler* Serbuk Bata Merah (%)						Keterangan
		0	10	20	30	40	50	
Durabilitas Campuran								bertahap hingga pada 0% menghasilkan nilai *ICL* yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional namun pada kadar substitusi *filler* 10% hingga 50%, menggunakan metode bertahap menghasilkan nilai *ICL* yang lebih rendah namun selisih persentase nilainya sangat kecil.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dari penelitian dan analasis perhitungan yang telah dilakukan terhadap karakteristik campuran *AC-BC* menggunakan substitusi kadar *filler* menggunakan limbah serbuk bata merah dengan perbandingan metode pencamupuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dengan variasi substitusi *filler* serbuk bata merah sebesar 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% didapat sebagai berikut.

1. Penggunaan kadar limbah SBM yang semakin meningkat berpengaruh pada kekuatan campuran *AC-BC* semakin baik, dilihat dari nilai stabilitas, nilai *ITS* atau kuat tarik, dan *MQ* yang naik kemudian nilai *cantabro loss,* dan *AFD* yang turun hingga kekuatan optimum pada kadar substitusi *filler* SBM 40%. Hasil pada nilai setiap parameter kekuatan menunjukkan bahwa menggunakan metode pencampuran bertahap menghasilkan campuran *AC-BC* semakin kuat dibandingkan metode pencampuran konvensional.
2. Penambahan kadar substitusi *filler* limbah SBM yang semakin meningkat menghasilkan karakteristik volumetrik pada campuran *AC-BC* yang lebih baik, dilihat dari turunnya nilai *VITM* dan *VMA* kemudian naiknya nilai *VFWA* hingga kadar optimum substitusi *filler* SBM 40%. Berdasarkan hasil nilai pada parameter karakteristik volumetrik, penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan karakteristik volumetrik lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.
3. Semakin banyak penambahan kadar substitusi *filler* limbah SBM berpengaruh terhadap campuran *AC-BC* menjadi lebih awet, ditandai dengan naiknya nilai *IRS*, *TSR*, dan *ICL* kemudian turunnya IDP dan IDK hingga kadar optimum substitusi *filler* SBM 40%. Penggunaan metode pencampuran

bertahap menghasilkan campuran *AC-BC* menjadi lebih awet dibandingkan metode pencampuran konvensional,

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian pengaruh substitusi *filler* serbuk bata merah pada campuran *AC-BC* dengan perbandingan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap, maka peneliti memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya sebagai berikut.

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut tentang penggunaan limbah serbuk bata merah sebagai substitusi *filler* dengan menggunakan campuran lain.
2. Perlu lebih penelitian manfaat senyawa kimia yang berada pada limbah serbuk bata merah terhadap campuran lain.
3. Perlu penelitian terhadap karakteristik campuran *AC-BC* menggunakan gradasi atas atau gradasi bawah untuk pembanding penggunaan agregat.

DAFTAR PUSTAKA

Atthaullah, M. N. 2024. Pengaruh Substitusi *Filler* Abu Bauksit Terhadap Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* Dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Bakarbessy, D., dan Pattireuw, Y. Y. 2019. Pemanfaatan Abu Bata Merah Sebagai Pengganti *Filler* Pada Campuran Aspal Beton (Laston). *Jurnal PORTAL SIPIL*, Vol.8, No 1:72-85.

Bancin E. D. L., Lubis K., Mahda N. 2021. Pengaruh Tanah Merah Sebagai *Filler* Pada Campuran Aspal *AC-BC* Terhadap Nilai *Marshall*. *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation (JCEBT).* Vol.5, No 1:17-25.

Brown, E. R., Kandhal, P. S., dan Zhang, J. 2001. Performance Testing For Hot Mix Asphalt. *NCAT report*, *1*(05).

Darmawan, I. 2003. Pengaruh Penggunaan Serbuk Genteng Sebagai *Filler* terhadap Kinerja Campuran *HRS-WC*. Vol.12, No.1:17-24. Magister Teknik Sipil. Universitas Diponegoro. Semarang.

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

Fauziah, M dan F Henri, 2013. Pemanfaatan Limbah Cangkang Kelapa Sawit Sebagai Bahan Tambah untuk Meningkatkan Kekuatan dan Keawetan Campuran *Asphalt Concrete Binde Course (AC-BC)*. *Prosiding Seminar National Prodi Teknik Sipil*. Universitas Islam Indonesia.

Fauziah, M, dkk. 2020. Metode Pencampuran Bertahap Untuk Mendukung Perkerasan Yang Hijau dan Lestari. *Civil Engineering, Environment and Disaster Risk Management Symposium 2020*, Universitas Islam Indonesia.

Fauziah, M., Hadi, M. A., & Sukamto. 2023. Pengaruh Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik *AC-BC*, *Split Mastic Asphalt*, dan *Hot Rolled Asphalt*. *Laporan Penelitian Jurusan Teknik Sipil*. Universitas Islam Indonesia.

Fauziah, M dan Anggraini, N. 2017. Kajian Perbandingan Karakteristik Campuran *AC-BC* Menggunakan Agregat Batu Pecah Sikadana, Lampung dan Clereng, DIY. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil. (Konteks).* Universitas Tarumanegara), 45.

Firdaus, M. 2023. Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap terhadap Kinerja *Hot Rolled Asphalt (HRA)*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hidayat, M. I. 2021. Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal Crumb Rubber. *Tugas Akhir.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hesami E, Birgisson B, dan Kringos N. 2015. Effect of Mixing Sequence on the Workability and Performance of Asphalt Mixtures. *Asphalt Paving Technology: Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions,* Vol.84, 413–438.

Ichwan, M. 2023. Perbandingan Kinerja Campuran *AC–BC* dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap. *Tugas Akhir.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Iqbal, & Fauziah, M. 2023. Studi Eksperimental Penggunaan Bahan Tambah Limbah Ban Karet dengan Metode Pencampuran Bertahap terhadap Kinerja Campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course*. *Jurnal Teknik*, Vol.44, No 2: 167–175.

Kiselev, A., Zhang, H., & Liu, Z. 2021. The Effect of Two-phase Mixing on The Functional and Mechanical Properties of TPS/SBS-modified Porous Asphalt Concrete. *Construction and Building Materials*, Vol.270 No 1.

Kok, B.K dan Kologlu, N. 2011. Effects of Two-Phase Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphal. Firat University, Civil Engineering Department Elazig, Turkey. Vol.12, No 4: 721-738.

Kholid, I. 2025. Pengaruh Substitusi *Filler* Abu Bauksit Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)* dengan Metode Pencampuran Bertahap. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Mahza, A. F. A. 2023. Perbandingan Kinerja *Stone Matrix Asphalt (SMA)* Dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Dua Tahap. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Mentari. 2023. Pengaruh Bahan *Additive* Karet Alam Terhadap Durabilitas Aspal Porus Dengan Metode Pencampuran Bertahap Dibandingkan Dengan Pencampuran Konvensional. *Tesis*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Octavian, R. 2024. Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Prayuda, H., Setyawan, E. A., dan Saleh, F. 2018. Analisis Sifat Fisik dan Mekanik Batu Bata Merah di Yogyakarta. *Jurnal Riset Rekayasa Sipil*, Vol.1, No 2:94-104.

Permatasari, S. 2019. Pengaruh Bahan Tambah Batu Bata Merah Terhadap Kuat Tekan Beton Fc'21 Menggunakan Agregat Kasar Pt. Amr Dan Agregat Halus Desa Sunggup Kota Baru. *TAPAK (Teknologi Aplikasi Konstruksi):* Jurnal Program Studi Teknik Sipil, Vol.8, No 2:155-161.

Perwitasari, A. 2018. Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* 0/11 Dengan *Filler* Serbuk Batu Bata Akibat Lama Rendaman Air Sungai. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Quesada, D. M, dkk. 2021. *Study of the Optimal Dosage of Celullose Ash ass a Contribution Filler in Asphalt Mixtures Based on Its Adhesive under Moisture Conditions.* Vol.13*,* No 854.

Rahaditya, D. R. 2012. Studi Penggunaan Serbuk Bata Merah Sebagai *Filler* Pada Perkerasan *Hot Rolled Sheet–Wearing Course (HRS-WC). Tugas Akhir.* Universitas Jember.

Rahayu, H.M. 2018. Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt* Dengan *Filler* Serbuk Batu Bata Akibat Lama Rendaman Air Laut. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Rahmawati, M., Hartatik, N., Rizkiardi, A., dan Prasetyo, Y. D. 2023. Pemanfaatan Limbah Batu Kapur Bukit Sekapuk Gresik Sebagai *Filler* Campuran *AC-BC*. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, Vol.3, No 1:1-8.

Saputra, A., Purwanto, E., dan Fauziah, M. 2023. Alternatif Desain Perkerasan Jalan dan Perkuatan Lereng Longsor. *Jurnal Rekayasa Sipil*, Vol.17, No 2:192–198.

Sakur, Y. D., dan Farida, I. 2019. Analisis Penggunaan Serbuk Bata Merah Sebagai *Filler* Pada Campuran Laston Lapis Aus *(ACWC)*. *Jurnal Konstruksi*, Vol.17, No 1:18-27.

Silalahi, P. 2021. Analisis Pengaruh Penggunaan Limbah Bata Merah Sebagai *Filler* Pada Perkerasan Aspal Beton (*AC-BC*). *Tugas Akhir*. Universitas HKBP Nommensen Medan.

Sonata, Herix. 2018. Pengaruh Campuran Kapur dengan Tanah Liat Sebagai Bahan Untuk Pembuatan Batu Bata Tanpa Dibakar. Jurnal Momentum e-ISSN : 2581-091X.

Standar Nasional Indonesia. 1997. Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2002. Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Beraspal. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2008. Cara Uji Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2008. Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2011. Cara Uji Daktalitas Aspal. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2011. Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Dengan Alat Cleveland Open Cup. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2011. Cara Uji Titik Lembek Aspal Dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball). Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2011. Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2011. Cara Uji Penetrasi Aspal. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta

Standar Nasional Indonesia. 2011. Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2011. Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2012. Metode Pengujian Untuk Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2016. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

Standar Nasional Indonesia. 2016. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. Penerbit *Badan Standardisasi Nasional*. Jakarta.

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

Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Penerbit *Yayasan Obor Indonesia.* Jakarta.

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

Wahyudi, A. T. 2020. Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave* dan Aspal Porus. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Wibowo, A., Widhiastuti, Y., dan Tjandra, A. A. 2022. Pemanfaatan Serbuk Bata Merah Untuk Campuran Aspal Beton *Ac-Wc* Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol.7, No 1:15-33.

Yaro, N. S. A., Bin Napiah, M., Sutanto, M. H., Usman, A., & Saeed, S. M. 2021. Performance Evaluation of Waste Palm Oil Fiber Reinforced Stone Matrix Asphalt Mixtures Using Traditional and Sequential Mixing Processes. *Case Studies in Construction Materials Journal*, Vol.15, No 1.

Yacob, M. dan Wesli, W., 2017. Pengaruh Kadar *Filler* Abu Batu Kapur Dan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton Ac-Bc. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, Vol.7, No. 1:213-222.

Zain, D. R. 2019. Perbandingan Biaya Pelaksanaan Konstruksi Pada Pekerjaan Jalan Perkerasan Lentur Dengan Perkerasan Kaku. Studi kasus : Jalan Jalur Lintas Selatan Desa Arjosari Kabupaten Pacitan. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Zakaria, H, dan Fauziah, M. 2012. Pengaruh Penggunaan Pasir Sungai Bengawan Solo Sebagai Agregat Halus Pengganti Teerhadap Karakteristik *Marshall* Campuran *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC). Prosiding The 15th FSTPT International Symposium,* 1 (STTD Bekasi).

LAMPIRAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

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

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,89	23,45
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	46,32	46,56
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,43	23,11
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,85	25,4
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,96	1,95
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,42	46,61
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	20,57	21,21
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,86	1,9
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,05	1,026
10	Rata-rata BJ Aspal	1,040	

Disahkan Oleh
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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

Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

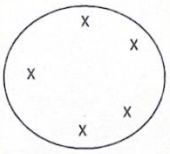
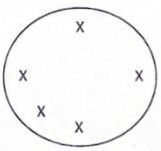
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

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

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

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 ^{o}C	11.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 ^{o}C	11.30 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 ^{o}C	11.30 WIB	
	Selesai	27 ^{o}C	12.00 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	25 ^{o}C	12.00 WIB	
	Selesai	25 ^{o}C	12.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	65	63			
2	60	67			
3	61	67			
4	70	70			
5	65	69			
Rata2	64,2	67,2			
Rata2	65,70				

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Ka. Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 : 2025

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 ^{o}C	13.40 WIB	
	Selesai pemanasan	140 ^{o}C	13.45 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 ^{o}C	13.45 WIB	
	Selesai	27 ^{o}C	13.50 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	27 ^{o}C	13.50 WIB	
	Selesai	310 ^{o}C	14.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	308 ^{o}C	313 ^{o}C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	308 ^{o}C	313 ^{o}C	

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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

Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

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

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 ^{o}C	14.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 ^{o}C	14.35 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 ^{o}C	14.35 WIB	
	Selesai	27 ^{o}C	15.40 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	5 ^{o}C	15.40 WIB	
	Selesai	48 ^{o}C	15.55 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	130 detik	134 detik		
3	15 ^{o}C	221 detik	269 detik		
4	20 ^{o}C	306 detik	352 detik		
5	25 ^{o}C	394 detik	436 detik		
6	30 ^{o}C	487 detik	526 detik		
7	35 ^{o}C	610 detik	611 detik		
8	40 ^{o}C	734 detik	698 detik		
9	45 ^{o}C	863 detik	787 detik		
10	50 ^{o}C	924 detik	852 detik	48^{o}C	48^{o}C
11	55 ^{o}C				
12	60 ^{o}C				

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Sri Amini Yuni, ST., MT., Eng., IPM., ASEAN.Eng.
01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

1 Contoh dari : Pertamina
2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diperiksa tg : 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	132 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	137 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	134,5 cm	

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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

Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam *TCE*

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

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

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

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Wakktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai	11:20 WIB	28 ^{o}C
		Selesai	11:30 WIB	28 ^{o}C
2	Penimbangan	Mulai	11:30 WIB	28 ^{o}C
3	Pelarutan	Mulai	11:40 WIB	28 ^{o}C
4	Penyaringan	Mulai	11:45 WIB	28 ^{o}C
		Selesai	12:15 WIB	28 ^{o}C
5	Di Oven	Mulai	12:15 WIB	130 ^{o}C
6	Peminbangan	Mulai	12:30 WIB	28 ^{o}C

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji		Keterangan
		1	2	
1	Berat erlen meyer kosong	68,600	57,980	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	70,360	59,870	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,760 gr	1,890 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,590	0,590	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,600	0,600	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010 gr	0,010 gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,568 %	0,529 %	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,432 %	99,471 %	
9	Kalacrata Aspal yang larut (%)	99,451 %		

Yogyakarta, Juli 2025

Diperiksa oleh
Manager Laboratorium Fakultas Teknik Sipil

Ir. Bachtiar Ibrahim, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 91 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 : 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1606,46	1609,79	1608,13
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000,06	1000,43	1000,25
3	Berat benda uji dikering oven (BK) gr	1588,51	1592,14	1590,33
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA}$	2,620	2,613	2,616
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA}$	2,649	2,642	2,645
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,699	2,691	2,695
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,130	1,109	1,119
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,660	2,652	2,656

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 : 2025

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda Uji**			
	Mulai	25^{o}C	10.00 WIB	
	Selesai	150^{o}C	10.15 WIB	
2	**Didiamkan Pada Suhu Ruang**			
	Mulai	150^{o}C	10.15 WIB	
	Selesai	25^{o}C	10.45 WIB	
3	**Perendaman benda uji**			
	Mulai	25^{o}C	10.45 WIB	
	Selesai	25^{o}C	11.15 WIB	

Hasil pemeriksaan

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

Disahkan Oleh
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 : 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		
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00		
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	4788,50	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4788,50	3995,50	
13	KEAUSAN 100x = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		4,230	16,561	
17	Rata-rata Keausan (%)		10,40		

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Asisten Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bambang Sunarto, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 : 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,00	500,00	500,00
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	695,98	692,47	694,23
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	998,64	997,67	998,16
4	Berat benda uji kering oven (BK)	498,13	497,98	498,06
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,524	2,556	2,540
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,534	2,567	2,550
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,548	2,583	2,566
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK}\times 100\%$	0,375	0,406	0,391
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,536	2,570	2,553

Yogyakarta, Juli 2025

Diperiksa Oleh,
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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

Lampiran 11 Pemeriksaan Sand Equivalent

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

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

No.	Keterangan		Benda uji 1	Benda uji 2	Rata-rata
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (± 10.1 menit).	Mulai	10.40	10.40	
		Selesai	10.50	10.50	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	10.55	10.55	
		Selesai	11.15	11.15	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		4,42	4,32	4,37
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		4,10	4,10	4,10
6	$Sand\ Eqiuvalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ \%$		92,76	94,91	93,83
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		7,24	5,09	6,17

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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

Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* DEBU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

1 Jenis Material : *Filler* Abu Batu
2 Sumber Material : Clereng
3 Diuji Pada : 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,35	23,80	
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,63	47,23	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	23,28	23,43	
4	Berat Vicnometer + *Filler* gr	34,40	34,40	
5	Berat *Filler* (4-1) gr	11,05	10,60	10,83
6	Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr	54,02	52,70	53,36
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,62	18,30	18,96
8	Volume *Filler* (3-7) gr	3,66	5,13	4,39
9	Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8)	3,02	2,07	2,543

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Bottom Ash*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* SERBUK BATA MERAH

RUJUKAN : SNI 2441-2011

1 Jenis Material : *Filler* Serbuk Bata Merah
2 Sumber Material : Clereng
3 Diuji Pada : 2025

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	24,22	23,80	24,01
2	Berat Vicnometer + Air gr	47,79	46,44	47,12
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	23,57	22,64	23,11
4	Berat Vicnometer + *Filler* gr	32,47	32,62	32,55
5	Berat *Filler* (4-1) gr	8,250	8,820	8,54
6	Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr	52,95	51,53	52,24
7	Berat Aquadest (6-4) gr	20,48	18,91	19,70
8	Volume *Filler* (3-7) gr	3,09	3,73	3,41
9	Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8)	2,67	2,36	2,517

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushardi, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 514 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 14 Hasil Pengujian Marshall

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN BATAS ATAS ATAU MAKSIMUM SUBTITUSI

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

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	M VFWA (%)	n VITM (%)	o	p Kalibrasi Proving Ring	q	Koreksi Tebal	r Stab. (kg)	s Flow (mm)	t MQ
0%	63,54	6,27	5,90	1193,69	1201,10	674,33	526,77	2,266	2,387	12,862	82,058	5,081	17,94	71,683	5,08	91	14,31779	1302,92	0,9989	1301,51	3,75	347,07
0%	64,66	6,27	5,90	1193,79	1198,75	674,88	523,87	2,279	2,387	12,934	82,519	4,547	17,48	73,987	4,55	95	14,31779	1360,19	0,9711	1320,86	3,51	376,31
0%	65,72	6,27	5,90	1194,34	1202,21	678,34	523,87	2,280	2,387	12,940	82,557	4,503	17,44	74,183	4,50	98	14,31779	1403,14	0,9484	1330,79	3,66	363,60
								2,275					**17,62**	**73,28**	**4,71**					**1317,72**	**3,64**	**362,33**
10%	65,94	6,27	5,90	1195,83	1206,51	679,74	526,77	2,270	2,387	12,885	82,210	4,906	17,79	72,425	4,91	115	14,31779	1646,55	0,9443	1554,75	3,51	442,95
10%	66,24	6,27	5,90	1194,44	1201,34	679,79	521,55	2,290	2,387	12,999	82,936	4,066	17,06	76,175	4,07	112	14,31779	1603,59	0,9386	1505,17	3,48	432,52
10%	66,51	6,27	5,90	1190,71	1194,79	671,32	523,47	2,275	2,387	12,910	82,374	4,716	17,63	73,245	4,72	118	14,31779	1689,50	0,9335	1577,15	3,35	470,79
								2,278					**17,49**	**73,95**	**4,56**					**1545,69**	**3,45**	**448,75**
20%	66,01	6,27	5,90	1194,20	1199,22	677,75	521,47	2,290	2,387	12,998	82,937	4,065	17,06	76,176	4,07	131	14,31779	1875,63	0,9429	1768,60	2,94	601,57
20%	66,73	6,27	5,90	1192,10	1203,73	682,27	521,46	2,286	2,387	12,975	82,793	4,232	17,21	75,406	4,23	129	14,31779	1847,00	0,9293	1716,47	2,78	617,44
20%	66,45	6,27	5,90	1192,34	1198,91	677,45	521,46	2,287	2,387	12,978	82,809	4,213	17,19	75,494	4,21	125	14,31779	1789,72	0,9346	1672,72	2,89	578,80
								2,288					**17,15**	**75,69**	**4,17**					**1719,27**	**2,87**	**599,27**
30%	67,68	6,27	5,90	1193,62	1201,06	682,26	518,80	2,301	2,387	13,059	83,328	3,613	16,67	78,327	3,61	140	14,31779	2004,49	0,905	1814,90	2,59	700,73
30%	64,11	6,27	5,90	1196,04	1204,82	681,35	523,47	2,285	2,387	12,968	82,752	4,280	17,25	75,188	4,28	143	14,31779	2047,44	0,985	2016,39	2,45	823,02
30%	66,78	6,27	5,90	1197,45	1203,34	680,79	522,55	2,292	2,387	13,006	82,996	3,998	17,00	76,489	4,00	142	14,31779	2033,13	0,928	1886,74	2,41	782,88
								2,292					**16,97**	**76,67**	**3,96**					**1906,01**	**2,48**	**768,88**
40%	64,97	6,27	5,90	1198,88	1201,25	679,21	522,04	2,297	2,387	13,035	83,181	3,784	16,82	77,499	3,78	152	14,31779	2176,30	0,963	2096,51	2,14	979,68
40%	64,81	6,27	5,90	1188,69	1196,76	678,80	517,96	2,295	2,387	13,026	83,124	3,851	16,88	77,182	3,85	151	14,31779	2161,99	0,967	2091,18	2,34	893,67
40%	65,80	6,27	5,90	1186,99	1190,84	675,32	515,52	2,303	2,387	13,069	83,398	3,534	16,60	78,715	3,53	150	14,31779	2147,67	0,947	2033,44	2,21	920,11
								2,298					**16,77**	**77,80**	**3,72**					**2073,71**	**2,23**	**931,15**
50%	65,86	6,27	5,90	1190,52	1201,92	681,94	519,98	2,290	2,387	12,995	82,933	4,072	17,07	76,142	4,07	137	14,31779	1961,54	0,946	1855,25	2,43	763,48
50%	66,72	6,27	5,90	1197,35	1203,13	680,75	522,38	2,292	2,387	13,010	83,026	3,965	16,97	76,642	3,96	135	14,31779	1932,90	0,930	1796,79	2,56	701,87
50%	66,66	6,27	5,90	1195,76	1201,44	680,98	520,46	2,298	2,387	13,040	83,221	3,739	16,78	77,719	3,74	138	14,31779	1975,86	0,931	1839,03	2,38	772,70
								2,293					**16,94**	**76,83**	**3,93**					**1830,36**	**2,46**	**746,02**

Disahkan Oleh
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Faisol Arif Nugroho, M.Phil., IPU., ASEAN Eng.
NIK : 21 511 6101

Mengetahui
Kalab Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN BATAS ATAS ATAU MAKSIMUM SUBTITUSI

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

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	M VFWA (%)	n VITM (%)	o	p Kalibrasi	q	Koreksi Tebal	r Stab. (kg)	s *Flow* (mm)	t MQ
0%	68,33	6,27	5,90	1172,50	1175,72	667,27	508,45	2,306	2,387	13,089	83,505	3,406	16,49	79,349	3,41	112	14,31779	1603,59	0,8900	1427,20	3,31	431,18
0%	67,72	6,27	5,90	1185,55	1190,02	669,28	520,74	2,277	2,387	12,922	82,442	4,636	17,56	73,594	4,64	115	14,31779	1646,55	0,9044	1489,16	3,14	474,26
0%	66,65	6,27	5,90	1196,45	1197,03	671,41	525,62	2,276	2,387	12,920	82,427	4,653	17,57	73,521	4,65	120	14,31779	1718,14	0,9309	1599,37	3,38	473,19
								2,286					**17,21**	**75,49**	**4,23**					**1505,24**	**3,28**	**459,54**
10%	68,39	6,27	5,90	1184,75	1194,26	668,75	525,51	2,254	2,387	12,796	81,643	5,561	18,36	69,707	5,56	130	14,31779	1861,31	0,8900	1656,57	3,06	541,36
10%	67,28	6,27	5,90	1182,86	1193,03	680,93	512,10	2,310	2,387	13,110	83,647	3,242	16,35	80,171	3,24	129	14,31779	1847,00	0,9156	1691,08	3,12	542,01
10%	66,68	6,27	5,90	1189,35	1197,31	682,31	515,00	2,309	2,387	13,108	83,633	3,259	16,37	80,086	3,26	137	14,31779	1961,54	0,9304	1825,09	3,11	586,85
								2,291					**17,03**	**76,65**	**4,02**					**1724,25**	**3,10**	**556,74**
20%	66,58	6,27	5,90	1186,11	1191,58	677,49	514,09	2,307	2,387	13,095	83,558	3,347	16,44	79,643	3,35	138	14,31779	1975,86	0,9322	1841,87	2,61	705,70
20%	65,35	6,27	5,90	1193,26	1205,46	688,43	517,03	2,308	2,387	13,099	83,583	3,318	16,42	79,792	3,32	141	14,31779	2018,81	0,9554	1928,72	2,55	756,36
20%	65,86	6,27	5,90	1198,56	1201,32	678,94	522,38	2,294	2,387	13,023	83,095	3,883	16,91	77,033	3,88	150	14,31779	2147,67	0,9457	2031,02	2,53	802,78
								2,303					**16,59**	**78,82**	**3,52**					**1933,87**	**2,56**	**754,94**
30%	67,54	6,27	5,90	1185,96	1192,30	678,47	513,83	2,308	2,387	13,100	83,594	3,306	16,41	79,851	3,31	158	14,31779	2262,21	0,909	2056,54	2,23	922,21
30%	66,53	6,27	5,90	1189,13	1193,61	680,24	513,37	2,316	2,387	13,147	83,893	2,960	16,11	81,622	2,96	155	14,31779	2219,26	0,933	2071,12	2,24	924,61
30%	66,49	6,27	5,90	1189,39	1194,21	676,98	517,23	2,300	2,387	13,052	83,285	3,663	16,72	78,084	3,66	164	14,31779	2348,12	0,934	2193,00	2,12	1034,43
								2,308					**16,41**	**79,85**	**3,31**					**2106,89**	**2,20**	**960,42**
40%	67,46	6,27	5,90	1197,22	1203,80	683,16	520,64	2,300	2,387	13,052	83,289	3,659	16,71	78,102	3,66	180	14,31779	2577,20	0,911	2347,62	2,05	1145,18
40%	65,41	6,27	5,90	1180,93	1182,96	679,11	503,85	2,344	2,387	13,303	84,894	1,803	15,11	88,062	1,80	184	14,31779	2634,47	0,954	2513,95	2,04	1232,33
40%	66,71	6,27	5,90	1196,58	1197,70	677,32	520,38	2,299	2,387	13,051	83,286	3,663	16,71	78,086	3,66	178	14,31779	2548,57	0,930	2369,32	2,08	1139,10
								2,314					**16,18**	**81,42**	**3,04**					**2410,29**	**2,06**	**1172,20**
50%	67,73	6,27	5,90	1192,67	1198,52	685,31	513,21	2,324	2,387	13,190	84,179	2,631	15,82	83,371	2,63	160	14,31779	2290,85	0,904	2071,50	2,27	912,55
50%	66,91	6,27	5,90	1203,17	1210,61	688,66	521,95	2,305	2,387	13,084	83,498	3,419	16,50	79,284	3,42	153	14,31779	2190,62	0,925	2025,78	2,24	904,37
50%	66,70	6,27	5,90	1197,59	1201,04	680,54	520,50	2,301	2,387	13,059	83,342	3,599	16,66	78,397	3,60	159	14,31779	2276,53	0,930	2117,31	2,00	1058,66
								2,310					**16,33**	**80,35**	**3,22**					**2071,53**	**2,17**	**958,53**

Diperiksa Oleh
Ketua Program Studi Jurusan Teknik Sipil

[illegible], S.T., M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 04 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 IRS Konvensional

IRS KONVENSIONAL MENGGUNAKAN PEN 60-70 (PERENDAMAN) 24 JAM

Persen Aspal (%)		Tebal Sampel (mm)			RATA-RATA DIAMETER 3 SISI	Koreksi	Berat (gr)			Arloji Stability			Stability 24 Jam (kg)			Angka Koreksi				IRS
																Tebal Sampel		Koreksi		
							Udara	Dalam Air	SSD	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	(%)
0%	1	63,82	62,73	64,58	63,71	0,99	1189,05	683,34	1195,96	85	14,31779	1217,01	1210,62	1193,43	800	63,5	65,1	1	0,96	
	2	65,45	64,2	64,62	64,76	0,97	1183,43	684,76	1190,03	88	14,31779	1259,97	1220,38			63,5	65,1	1	0,96	90,57
	3	66,49	66,78	66,29	66,52	0,93				86	14,31779	1231,33	1149,29			65,1	66,7	0,96	0,93	
10%	1	64,40	65,27	64,99	64,89	0,97	1195,60	689,34	1203,73	107	14,31779	1532,00	1478,89	1414,15	800	63,5	65,1	1	0,96	
	2	64,57	64,76	65,16	64,83	0,97	1196,92	689,99	1203,22	100	14,31779	1431,78	1384,17			63,5	65,1	1	0,96	91,49
	3	65,13	65,73	65,42	65,43	0,95				101	14,31779	1446,10	1379,40			65,1	66,7	0,96	0,93	
20%	1	65,38	64,10	65,05	64,84	0,97	1193,34	687,51	1198,77	117	14,31779	1675,18	1618,92	1591,45	800	63,5	65,1	1	0,96	
	2	65,90	65,41	66,84	66,05	0,94	1191,86	687,13	1198,10	115	14,31779	1646,55	1551,36			65,1	66,7	0,96	0,93	92,57
	3	65,66	65,86	65,47	65,66	0,95				118	14,31779	1689,50	1604,07			65,1	66,7	0,96	0,93	
30%	1	65,97	64,51	65,45	65,31	0,96	1189,86	685,90	1196,15	129	14,31779	1847,00	1765,84	1785,83	800	65,1	66,7	0,96	0,93	
	2	65,55	65,45	66,10	65,70	0,95	1189,48	676,33	1194,91	134	14,31779	1918,58	1820,26			65,1	66,7	0,96	0,93	93,69
	3	65,32	65,47	65,84	65,54	0,95				130	14,31779	1861,31	1771,39			65,1	66,7	0,96	0,93	
40%	1	64,53	64,00	63,58	64,04	0,99	1192,86	677,07	1198,57	142	14,31779	2033,13	2005,85	1969,33	800	63,5	65,1	1	0,96	
	2	67,06	68,06	67,52	67,55	0,91	1187,34	657,36	1197,47	145	14,31779	2076,08	1886,81			66,7	68,3	0,93	0,89	94,97
	3	66,03	66,52	66,21	66,25	0,94				150	14,31779	2147,67	2015,32			65,1	66,7	0,96	0,93	
50%	1	66,10	65,74	63,86	65,23	0,96	1191,74	671,21	1199,60	127	14,31779	1818,36	1741,08	1705,36	800	65,1	66,7	0,96	0,93	
	2	65,08	64,84	65,30	65,07	0,96	1185,43	676,02	1191,80	125	14,31779	1789,72	1719,33			63,5	65,1	1	0,96	93,17
	3	66,84	66,37	66,48	66,56	0,93				124	14,31779	1775,41	1655,68			65,1	66,7	0,96	0,93	

Diketahui Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. [illegible] MSc(Eng), PhD, ASEAN Eng
NIK. 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM. 20 511 275

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 IRS Bertahap

IRS BERTAHAP MENGGUNAKAN PEN 60-70 (PERENDAMAN) 24 JAM

Persen Aspal (%)		Tebal Sampel (mm)			RATA-RATA DIAMETER 3 SISI	Koreksi	Berat (gr)			Arloji Stability			Stability 24 Jam (kg)			Angka Koreksi				IRS
																Tebal Sampel		Koreksi		
							Udara	Dalam Air	SSD	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	(%)
0%	1	67,94	67,51	66,31	67,25	0,92	1185,39	668,44	1193,41	105	14,31779	1503,37	1377,34	1391,46		66,7	68,3	0,93	0,89	
	2	66,78	66,24	67,01	66,68	0,93	1184,23	666,83	1192,31	108	14,31779	1546,32	1438,76		800	65,1	66,7	0,96	0,93	92,44
	3	66,71	66,54	66,84	66,70	0,93				102	14,31779	1460,41	1358,28			65,1	66,7	0,96	0,93	
10%	1	65,18	65,39	65,01	65,19	0,96	1180,32	672,82	1187,67	120	14,31779	1718,14	1646,40	1610,17		65,1	66,7	0,96	0,93	
	2	66,90	66,47	66,02	66,46	0,93	1190,23	682,21	1197,48	117	14,31779	1675,18	1565,35		800	65,1	66,7	0,96	0,93	93,38
	3	65,67	65,79	65,43	65,63	0,95				119	14,31779	1703,82	1618,76			65,1	66,7	0,96	0,93	
20%	1	67,78	67,30	68,34	67,81	0,90	1195,73	678,01	1205,46	140	14,31779	2004,49	1808,72	1830,51		66,7	68,3	0,93	0,89	
	2	65,98	65,64	65,78	65,80	0,95				135	14,31779	1932,90	1830,22		800	65,1	66,7	0,96	0,93	94,66
	3	66,44	66,72	66,80	66,65	0,93				139	14,31779	1990,17	1852,60			65,1	66,7	0,96	0,93	
30%	1	66,28	67,29	66,74	66,77	0,93	1198,88	685,07	1205,64	148	14,31779	2119,03	1966,99	2013,92		66,7	68,3	0,93	0,89	
	2	66,21	66,92	66,35	66,49	0,93				150	14,31779	2147,67	2005,65		800	65,1	66,7	0,96	0,93	95,59
	3	65,42	65,47	65,89	65,59	0,95				152	14,31779	2176,30	2069,12			65,1	66,7	0,96	0,93	
40%	1	67,12	67,20	66,98	67,10	0,92				179	14,31779	2562,88	2357,85	2331,19		66,7	68,3	0,93	0,89	
	2	66,23	66,78	66,73	66,58	0,93				171	14,31779	2448,34	2282,47		800	65,1	66,7	0,96	0,93	96,72
	3	66,12	66,19	66,32	66,21	0,94				175	14,31779	2505,61	2353,24			65,1	66,7	0,96	0,93	
50%	1	66,56	67,21	67,22	67,00	0,92	1189,37	674,91	1198,98	150	14,31779	2147,67	1981,40	1970,33		66,7	68,3	0,93	0,89	
	2	67,21	67,46	67,02	67,23	0,92				151	14,31779	2161,99	1982,00		800	66,7	68,3	0,93	0,89	95,11
	3	66,83	66,46	66,54	66,61	0,93				146	14,31779	2090,40	1947,60			65,1	66,7	0,96	0,93	

Diperiksa Oleh
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hj. Kesi Widjajanti, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

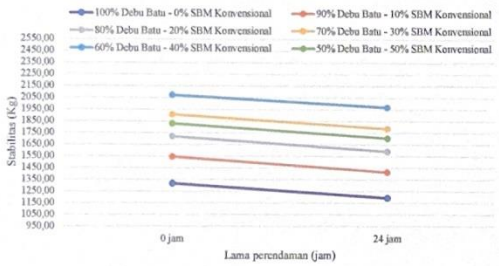
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

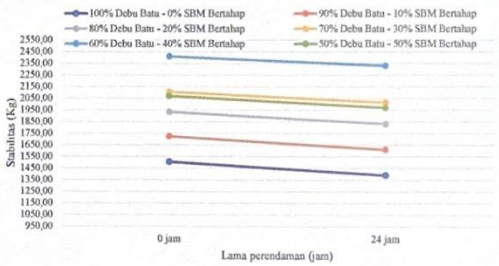
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

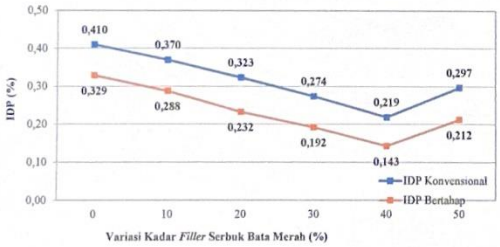
Lampiran 18 Rekapitulasi Hasil Pengujian

REKAPITULASI

	Kadar Substitusi	stabilitas 0,5 Jam	stabilitas 24 Jam	Konvensi	Si	Si+1	ti+1	IDP Konvensional	tn	IDK Konvensional	Sa Konvensional
	(%)	(kg)	(kg)	%	%	%	Jam	%	Jam	%	%
Konvensional	0	1317,72	1193,43	90,57	100,00	90,57	24,00	0,410	48,000	4,716	95,284
	10	1545,69	1414,15	91,49	100,00	91,49	24,00	0,370	48,000	4,255	95,745
	20	1719,27	1591,45	92,57	100,00	92,57	24,00	0,323	48,000	3,717	96,283
	30	1906,01	1785,83	93,69	100,00	93,69	24,00	0,274	48,000	3,153	96,847
	40	2073,71	1969,33	94,97	100,00	94,97	24,00	0,219	48,000	2,517	97,483
	50	1830,36	1705,36	93,17	100,00	93,17	24,00	0,297	48,000	3,414	96,586
	Kadar Substitusi	Stabilitas 0,5 Jam	Stabilitas 24 Jam	RS Bertaha	Si	Si+1	ti+1	IDP Bertahap	tn	IDK Bertahap	Sa Bertahap
	(%)	(kg)	(kg)	%	%	%	Jam	%	Jam	%	%
Bertahap	0	1505,24	1391,46	92,44	100,00	92,44	24,00	0,329	48,000	3,780	96,220
	10	1724,25	1610,17	93,38	100,00	93,38	24,00	0,288	48,000	3,308	96,692
	20	1933,87	1830,51	94,66	100,00	94,66	24,00	0,232	48,000	2,672	97,328
	30	2106,89	2013,92	95,59	100,00	95,59	24,00	0,192	48,000	2,206	97,794
	40	2410,29	2331,19	96,72	100,00	96,72	24,00	0,143	48,000	1,641	98,359
	50	2071,53	1970,33	95,11	100,00	95,11	24,00	0,212	48,000	2,443	97,557

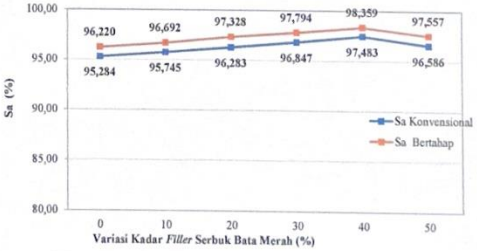












Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

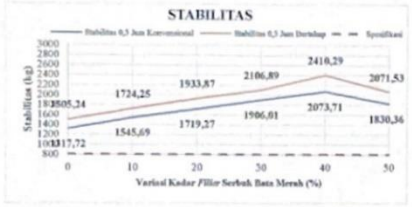
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

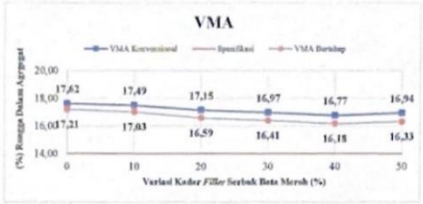
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

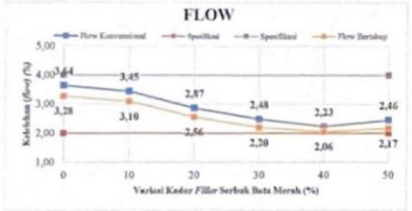
Lampiran 19 Grafik Marhsall

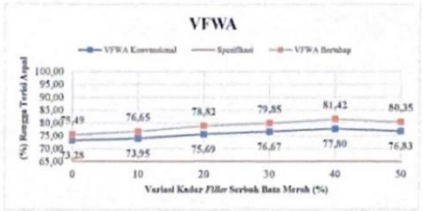
REKAPITULASI GRAFIK MARSHALL

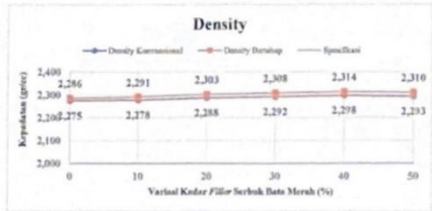




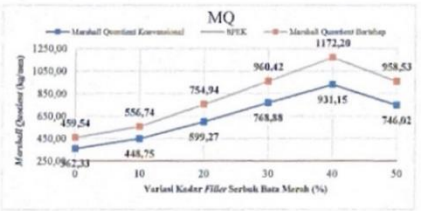


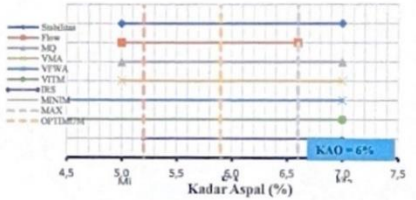












Yogyakarta, Juli 2025

Disetujui Oleh
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Faisol M. Ali, M.Eng., IPU., ASEAN Eng.
SIP. 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 ITS Konvensional

ITS KONVENSIONAL

Kadar Aspal	Substitusi		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (inchi)				A0	Arloji Stability				Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 Jam Konvensional Kpa		
																				Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi				
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	MIN
5,90%	0%	1	64,92	65,08	64,23	**64,74**	0,97	4,05	4,05	4,05	**4,05**	0,15	70	14,31779	1002,25	440,49	426,52	800	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	1027,64	993,08	800
		2	65,72	65,34	65,87	**65,64**	0,95	3,99	3,99	3,98	**3,99**	0,16	69	14,31779	987,93	425,63			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	995,69		
		3	66,24	66,43	66,44	**66,37**	0,94	3,98	3,99	3,99	**3,99**	0,16	68	14,31779	973,61	413,45			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	955,92		
	10%	1	65,84	64,98	65,28	**65,37**	0,96	4,00	4,00	4,00	**4,00**	0,16	69	14,31779	987,93	427,96	430,35	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1001,83	1005,28	800
		2	64,78	64,80	64,75	**64,78**	0,97	3,98	4,00	3,99	**3,99**	0,16	69	14,31779	987,93	433,82			63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	1026,28		
		3	66,54	66,73	66,68	**66,65**	0,93	3,98	3,99	4,00	**3,99**	0,16	71	14,31779	1016,56	429,27			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	987,73		
	20%	1	66,23	66,67	66,75	**66,55**	0,93	4,01	3,99	4,01	**4,01**	0,16	72	14,31779	1030,88	436,19	452,62	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1001,29	1043,96	800
		2	66,77	66,36	66,23	**66,45**	0,93	4,01	3,99	4,00	**4,00**	0,16	75	14,31779	1073,83	455,25			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1048,04		
		3	66,19	66,42	66,22	**66,28**	0,94	4,00	4,00	4,00	**4,00**	0,16	77	14,31779	1102,47	469,04			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1082,57		
	30%	1	65,41	65,47	66,15	**65,68**	0,95	4,05	4,04	4,04	**4,04**	0,15	79	14,31779	1131,11	487,00	471,72	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1121,72	1091,30	800
		2	65,59	65,80	65,43	**65,61**	0,95	3,99	3,99	3,99	**3,99**	0,16	77	14,31779	1102,47	475,33			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	1110,25		
		3	66,76	66,54	66,84	**66,71**	0,93	3,98	3,99	3,99	**3,99**	0,16	75	14,31779	1073,83	452,83			66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	1041,94		
	40%	1	64,90	65,68	64,95	**65,18**	0,96	4,06	4,05	4,04	**4,05**	0,15	80	14,31779	1145,42	498,03	478,89	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1153,65	1107,16	800
		2	66,01	65,86	65,94	**65,94**	0,94	4,01	4,01	4,01	**4,01**	0,16	78	14,31779	1116,79	478,37			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1107,23		
		3	66,53	66,68	66,49	**66,57**	0,93	3,98	4,00	3,99	**3,99**	0,16	76	14,31779	1088,15	460,27			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	1060,60		
	50%	1	63,71	64,21	63,39	**63,77**	0,99	4,02	4,02	4,05	**4,03**	0,15	70	14,31779	1002,25	451,55	433,09	800	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	1074,74	1068,52	800
		2	65,34	65,13	65,73	**65,40**	0,95	4,02	4,01	4,01	**4,01**	0,18	66	14,31779	944,97	409,08			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,2	0,156	0,49	1106,15		
		3	65,45	65,76	65,49	**65,57**	0,95	3,99	4,00	3,99	**4,00**	0,16	71	14,31779	1016,56	438,63			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	1024,68		

Disahkan Oleh
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Ir. Ibnu Rusjdan, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 010

Mengetahui
Kaprb. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Penelitı

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 TSR Konvensional

TSR Konvensional

Kadar Aspal	Substitusi		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				TSR 24 JAM Kpa		
																			Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi				
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	MIN
5,90%	0%	1	66,07	66,88	67,29	**66,75**	0,93	3,97	3,99	3,97	**3,977**	0,16	57	14,32	816,11	343,84	340,85	800	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	792,79	795,08	800
		2	62,88	62,98	64,14	**63,33**	1,00	4,04	4,00	4,05	**4,032**	0,15	53	14,32	758,84	345,65			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	828,12		
		3	66,49	66,84	66,38	**66,57**	0,93	4,01	4,00	4,01	**4,006**	0,16	55	14,32	787,48	333,07			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	764,34		
	10%	1	67,65	66,57	66,01	**66,74**	0,93	3,98	3,96	3,98	**3,972**	0,16	56	14,32	801,80	337,84	352,73	800	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	780,03	815,45	800
		2	66,64	66,15	66,29	**66,36**	0,94	3,95	3,95	3,96	**3,954**	0,16	61	14,32	873,39	370,96			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	865,24		
		3	66,78	66,85	66,77	**66,80**	0,93	3,99	3,99	4,01	**3,995**	0,16	58	14,32	830,43	349,37			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	801,07		
	20%	1	66,61	65,79	65,68	**66,03**	0,94	4,02	4,03	4,02	**4,025**	0,16	63	14,32	902,02	385,68	380,36	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	888,00	873,36	800
		2	69,50	69,08	68,48	**69,02**	0,89	4,01	3,99	3,98	**3,993**	0,16	68	14,32	973,61	393,05			68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	872,81		
		3	66,50	66,93	66,45	**66,63**	0,93	4,01	4,00	4,01	**4,008**	0,16	62	14,32	887,70	375,03			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	859,26		
	30%	1	67,46	65,88	65,96	**66,43**	0,94	4,01	3,99	3,96	**3,986**	0,16	69	14,32	987,93	419,00	404,89	800	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	968,38	935,02	800
		2	65,26	66,32	66,80	**66,13**	0,94	3,98	3,95	3,98	**3,972**	0,16	65	14,32	930,66	397,13			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	925,38		
		3	66,89	66,76	66,48	**66,71**	0,93	4,01	4,01	4,01	**4,011**	0,16	66	14,32	944,97	398,53			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	911,29		
	40%	1	65,72	65,80	64,65	**65,39**	0,95	4,06	4,07	4,06	**4,064**	0,15	70	14,32	1002,25	433,96	432,76	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	998,61	996,65	800
		2	65,56	65,79	63,77	**65,04**	0,96	4,03	4,04	4,03	**4,032**	0,15	69	14,32	987,93	430,87			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	1005,12		
		3	66,78	66,80	66,89	**66,82**	0,93	4,02	4,03	4,02	**4,024**	0,16	72	14,32	1030,88	433,43			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	986,21		
	50%	1	64,81	64,74	63,84	**64,46**	0,98	4,02	4,05	4,06	**4,041**	0,15	63	14,32	902,02	399,30	392,39	800	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	937,74	914,30	800
		2	65,33	64,42	64,67	**64,81**	0,97	4,05	4,01	4,02	**4,026**	0,15	61	14,32	873,39	383,23			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	898,68		
		3	66,47	66,48	66,37	**66,44**	0,93	4,01	4,01	4,01	**4,010**	0,16	65	14,32	930,66	394,65			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	906,49		

Diperiksa Oleh
Ketua Prodi Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Penelitu

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 ITS Bertahap

ITS Bertahap

Kadar Aspal	Substitusi		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 Jam Bertahap Kpa		
																			Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi				
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	MIN
5,90%	0%	1	66,67	65,67	64,95	**65,76**	0,95	3,99	4,00	4,01	**4,00**	0,16	72	14,32	1030,88	443,09	447,66	800	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	1030,92	1052,75	800
		2	62,10	63,36	62,14	**62,53**	1,02	4,01	4,00	4,05	**4,02**	0,16	65	14,32	930,66	432,35			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	1052,41		
		3	66,19	66,73	66,39	**66,44**	0,93	3,99	4,01	4,01	**4,01**	0,16	77	14,32	1102,47	467,54			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1074,91		
	10%	1	66,89	63,29	64,74	**64,97**	0,96	3,99	4,02	3,99	**4,00**	0,16	74	14,32	1059,52	462,89	466,19	800	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	1089,62	1088,65	800
		2	64,82	65,08	65,45	**65,12**	0,96	4,05	4,06	4,04	**4,05**	0,15	71	14,32	1016,56	442,52			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1026,57		
		3	65,68	65,77	65,58	**65,68**	0,95	3,99	4,01	3,99	**4,00**	0,16	80	14,32	1145,42	493,16			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	1149,75		
	20%	1	66,73	65,79	66,76	**66,43**	0,94	4,00	3,99	3,99	**3,99**	0,16	75	14,32	1073,83	455,49	467,33	800	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	1050,85	1101,69	800
		2	62,83	63,19	62,38	**62,80**	1,02	4,05	4,05	4,07	**4,06**	0,15	73	14,32	1045,20	482,40			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	1157,91		
		3	66,29	66,43	66,75	**66,49**	0,93	4,02	4,02	4,03	**4,02**	0,16	79	14,32	1131,11	479,17			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1096,32		
	30%	1	67,71	66,29	65,62	**66,54**	0,93	3,99	4,01	4,01	**4,00**	0,16	83	14,32	1188,38	502,93	490,62	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1155,29	1126,95	800
		2	67,04	66,79	64,91	**66,25**	0,94	4,01	4,00	4,00	**4,00**	0,16	78	14,32	1116,79	475,42			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1096,63		
		3	66,93	66,86	66,71	**66,83**	0,93	4,01	4,00	4,00	**4,00**	0,16	82	14,32	1174,06	493,50			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	1128,91		
	40%	1	67,25	68,76	65,79	**67,27**	0,92	4,00	3,98	3,99	**3,99**	0,16	80	14,32	1145,42	475,83	512,38	800	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	1085,28	1180,91	800
		2	66,04	65,18	65,13	**65,45**	0,95	4,00	4,01	4,01	**4,01**	0,16	90	14,32	1288,60	557,29			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1300,13		
		3	66,32	66,35	66,63	**66,43**	0,94	4,01	4,01	4,01	**4,01**	0,16	83	14,32	1188,38	504,01			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1157,32		
	50%	1	66,02	66,03	64,84	**65,63**	0,95	4,01	4,00	4,00	**4,00**	0,16	75	14,32	1073,83	462,77	469,56	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1077,51	1080,31	800
		2	68,25	66,99	65,57	**66,94**	0,92	4,01	4,01	4,01	**4,01**	0,16	80	14,32	1145,42	480,12			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	1094,51		
		3	66,55	66,49	66,83	**66,62**	0,93	3,99	4,00	4,01	**4,00**	0,16	77	14,32	1102,47	465,79			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1068,89		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T., ASEAN Eng.
NIK. 885211 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM. 20 511 275

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 TSR Bertahap

TSR Bertahap

Kadar Aspal	Substitusi		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				TSR 24 JAM Kpa		
																			Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi				
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	MIN
5,90%	0%	1	65,42	65,24	65,90	**65,52**	0,95	3,98	3,97	4,00	**3,983**	0,16	62	14,46621	896,91	387,36	376,50	800	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	908,41	873,75	800
		2	66,12	66,42	66,03	**66,19**	0,94	3,98	3,99	3,99	**3,989**	0,16	60	14,46621	867,97	369,92			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	857,37		
		3	66,73	66,54	66,84	**66,70**	0,93	3,99	3,99	4,00	**3,992**	0,16	61	14,46621	882,44	372,22			66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	855,47		
	10%	1	65,63	65,71	66,02	**65,79**	0,95	4,02	4,04	4,05	**4,036**	0,15	66	14,46621	954,77	410,18	401,66	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	944,94	929,89	800
		2	65,90	65,87	66,01	**65,93**	0,94	4,01	4,01	4,00	**4,007**	0,16	63	14,46621	911,37	390,45			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	904,35		
		3	65,59	65,77	65,86	**65,74**	0,95	4,00	4,01	4,00	**4,002**	0,16	65	14,46621	940,30	404,34			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	940,38		
	20%	1	67,40	68,13	67,03	**67,52**	0,91	3,95	3,99	3,98	**3,976**	0,16	69	14,46621	998,17	411,79	418,47	800	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	938,86	973,58	800
		2	66,80	66,49	66,79	**66,69**	0,93	3,99	4,00	4,00	**3,995**	0,16	72	14,46621	1041,57	439,44			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1009,20		
		3	66,98	66,86	66,79	**66,88**	0,93	3,99	4,00	4,00	**3,999**	0,16	70	14,46621	1012,63	425,15			66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	972,68		
	30%	1	66,31	66,30	66,14	**66,25**	0,94	4,00	4,01	4,01	**4,005**	0,16	70	14,46621	1012,63	431,05	444,22	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	994,04	1025,26	800
		2	65,39	65,74	65,87	**65,67**	0,95	4,01	4,00	4,01	**4,009**	0,16	74	14,46621	1070,50	461,00			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1071,45		
		3	66,49	66,65	66,54	**66,56**	0,93	4,01	4,01	4,01	**4,009**	0,16	72	14,46621	1041,57	440,62			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1010,29		
	40%	1	66,78	66,84	66,40	**66,67**	0,93	4,02	4,03	4,03	**4,026**	0,15	80	14,46621	1157,30	488,47	487,43	800	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	1113,33	1113,86	800
		2	66,91	66,87	66,59	**66,79**	0,93	4,01	4,00	3,99	**4,001**	0,16	81	14,46621	1171,76	493,11			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	1129,14		
		3	66,88	66,85	66,69	**66,81**	0,93	4,01	4,00	4,01	**4,006**	0,16	79	14,46621	1142,83	480,72			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	1099,12		
	50%	1	67,67	66,73	67,21	**67,20**	0,92	3,94	3,98	3,98	**3,966**	0,16	71	14,46621	1027,10	427,42	424,40	800	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	981,43	973,42	800
		2	66,78	66,47	66,95	**66,73**	0,93	3,98	4,00	4,00	**3,992**	0,16	69	14,46621	998,17	420,70			66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	966,35		
		3	66,87	66,85	66,93	**66,88**	0,93	3,99	4,01	4,00	**3,999**	0,16	70	14,46621	1012,63	425,07			66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	972,47		

Disahkan Oleh
Ketua Program Prodi Teknik Sipil

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
YOGYAKARTA

Ir. Muhammad Ilman Hakim, IPM, ASEAN Eng.
NIK. 21 511 1101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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

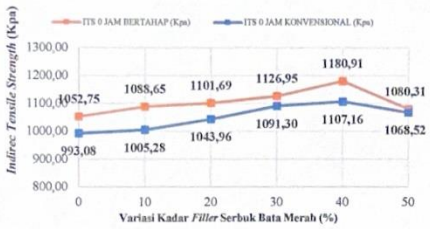
Lampiran 24 Rekapitulasi ITS dan TSR

TSR Bertahap

ITS 0 JAM KONVENSIONAL (Kpa)		ITS 24 JAM KONVENSIONAL (Kpa)		TSR KONVENSIONAL (%)
993,08	0	795,08	0	80,06
1005,28	10	815,45	10	81,12
1043,96	20	873,36	20	83,66
1091,30	30	935,02	30	85,68
1107,16	40	996,65	40	90,02
1068,52	50	914,30	50	85,57

ITS 0 JAM BERTAHAP (Kpa)		ITS 24 JAM BERTAHAP (Kpa)		TSR BERTAHAP (%)
1052,75	0	873,75	0	83,00
1088,65	10	929,89	10	85,42
1101,69	20	973,58	20	88,37
1126,95	30	1025,26	30	90,98
1180,91	40	1113,86	40	94,32
1080,31	50	973,42	50	90,11

ITS 0 JAM



ITS 24 JAM



TENSILE STRENGTH RATIO (TSR)



Diperiksa Oleh
Manager Laboratorium Bahan dan Struktur Teknik Sipil

Ir. [illegible], M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
[illegible] 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 CL Konvensional

CL Konvensional

Substitusi	No.	Keterangan	Sampel		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1195,01	1197,32	1200,02
	2	Berat Sesudah Abrasi	1111,59	1114,73	1118,91
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,98	6,90	6,76
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,88		
10%	1	Berat Sebelum Abrasi	1193,87	1198,89	1190,93
	2	Berat Sesudah Abrasi	1129,39	1132,78	1132,95
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,40	5,51	4,87
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,46		
20%	1	Berat Sebelum Abrasi	1197,54	1198,23	1198,39
	2	Berat Sesudah Abrasi	1129,33	1139,57	1144,12
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,70	4,90	4,53
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,04		
30%	1	Berat Sebelum Abrasi	1194,90	1199,24	1189,27
	2	Berat Sesudah Abrasi	1130,99	1147,32	1136,72
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,35	4,33	4,42
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,70		
40%	1	Berat Sebelum Abrasi	1200,27	1199,83	1192,58
	2	Berat Sesudah Abrasi	1157,62	1148,21	1149,34
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,55	4,30	3,63
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	3,83		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1199,95	1193,41	1193,45
	2	Berat Sesudah Abrasi	1142,95	1139,21	1145,92
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,75	4,54	3,98
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,42		

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

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

Yogyakarta, Juli 2025
Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 CL Bertahap

CL Bertahap

Substitusi	No.	Keterangan			
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1176,05	1189,23	1199,49
	2	Berat Sesudah Abrasi	1126,74	1132,80	1157,73
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,19	4,75	3,48
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		4,14	
10%	1	Berat Sebelum Abrasi	1202,33	1197,22	1198,83
	2	Berat Sesudah Abrasi	1154,36	1162,41	1164,34
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,99	2,91	2,88
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		2,89	
20%	1	Berat Sebelum Abrasi	1193,55	1189,46	1199,73
	2	Berat Sesudah Abrasi	1151,06	1157,90	1169,57
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,56	2,65	2,51
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		2,58	
30%	1	Berat Sebelum Abrasi	1194,08	1187,64	1197,88
	2	Berat Sesudah Abrasi	1154,75	1159,83	1166,22
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,29	2,34	2,64
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		2,49	
40%	1	Berat Sebelum Abrasi	1188,90	1198,52	1197,45
	2	Berat Sesudah Abrasi	1161,42	1168,09	1173,32
	3	Persentase Kehilangan Berat	2,31	2,54	2,02
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		2,29	
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1202,75	1197,39	1201,22
	2	Berat Sesudah Abrasi	1171,08	1166,58	1169,43
	3	Persentase Kehilangan Berat	2,63	2,57	2,65
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		2,62	

Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Ketua Program Studi Jurusan Teknik Sipil

Ir. Faisol Arifin, M.Eng, PhD., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

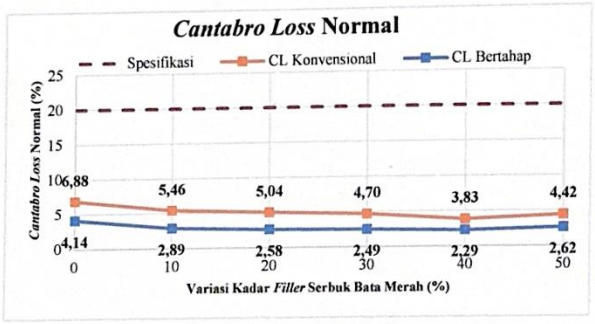
FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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 CL Konvensional dan Bertahap

CL Konvensional dan Bertahap

Substitusi *Filler*	CL Konvensional	CL Bertahap	Spesifikasi
0	6,88	4,14	20
10	5,46	2,89	20
20	5,04	2,58	20
30	4,70	2,49	20
40	3,83	2,29	20
50	4,42	2,62	20



Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Penanggung Jawab Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 CL Konvensional Rendaman

CL Konvensional Rendaman

Substitusi	No.	Keterangan			
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1199,74	1198,43	1201,41
	2	Berat Sesudah Abrasi	1084,26	1087,42	1094,21
	3	Persentase Kehilangan Berat	9,63	9,26	8,92
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		9,27	
10%	1	Berat Sebelum Abrasi	1202,44	1197,49	1198,73
	2	Berat Sesudah Abrasi	1101,21	1098,28	1105,26
	3	Persentase Kehilangan Berat	8,42	8,28	7,80
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		8,17	
20%	1	Berat Sebelum Abrasi	1186,65	1194,47	1195,47
	2	Berat Sesudah Abrasi	1101,46	1106,21	1115,52
	3	Persentase Kehilangan Berat	7,18	7,39	6,69
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		7,09	
30%	1	Berat Sebelum Abrasi	1199,24	1198,59	1195,39
	2	Berat Sesudah Abrasi	1119,51	1124,26	1122,25
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,65	6,20	6,12
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		6,32	
40%	1	Berat Sebelum Abrasi	1197,11	1202,18	1199,23
	2	Berat Sesudah Abrasi	1134,37	1134,73	1139,28
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,24	5,61	5,00
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		5,28	
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1201,41	1199,38	1192,27
	2	Berat Sesudah Abrasi	1131,19	1128,19	1116,72
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,84	5,94	6,34
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		6,04	

Yogyakarta, Juli 2025

Diperiksan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hardiman A Pekari, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 CL Bertahap Rendaman

CL Bertahap Rendaman

Substitusi	No.	Keterangan			
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1196,54	1187,71	1201,11
	2	Berat Sesudah Abrasi	1114,48	1122,29	1124,12
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,86	5,51	6,41
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,26		
10%	1	Berat Sebelum Abrasi	1199,92	1193,35	1199,32
	2	Berat Sesudah Abrasi	1121,15	1119,29	1134,42
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,56	6,21	5,41
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,06		
20%	1	Berat Sebelum Abrasi	1192,74	1187,34	1202,18
	2	Berat Sesudah Abrasi	1123,57	1128,95	1137,29
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,80	4,92	5,40
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,37		
30%	1	Berat Sebelum Abrasi	1197,48	1199,31	1185,48
	2	Berat Sesudah Abrasi	1136,71	1145,24	1134,31
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,07	4,51	4,32
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,63		
40%	1	Berat Sebelum Abrasi	1197,31	1191,38	1201,73
	2	Berat Sesudah Abrasi	1158,71	1134,83	1158,83
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,22	4,75	3,57
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	3,85		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1200,21	1196,36	1201,34
	2	Berat Sesudah Abrasi	1148,18	1144,31	1147,19
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,34	4,35	4,51
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,40		

Yogyakarta, Juli 2025

Diperiksa Oleh
Manager Laboratorium Bahan dan Jalan Teknik Sipil

Ir. Bernie Kusnan, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 185 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

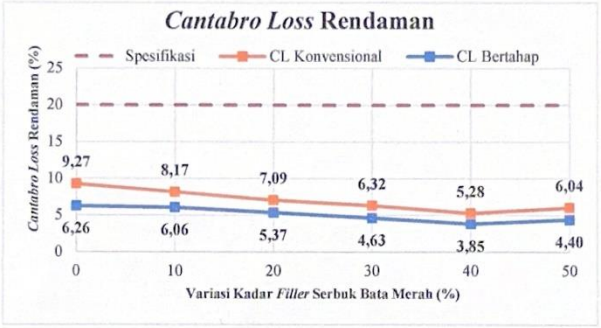
FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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 CL Konvensional dan Bertahap

CL Konvensional dan Bertahap Rendaman

Substitusi *Filler*	CL Konvensional	CL Bertahap	Spesifikasi
0	9,27	6,26	20
10	8,17	6,06	20
20	7,09	5,37	20
30	6,32	4,63	20
40	5,28	3,85	20
50	6,04	4,40	20



Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

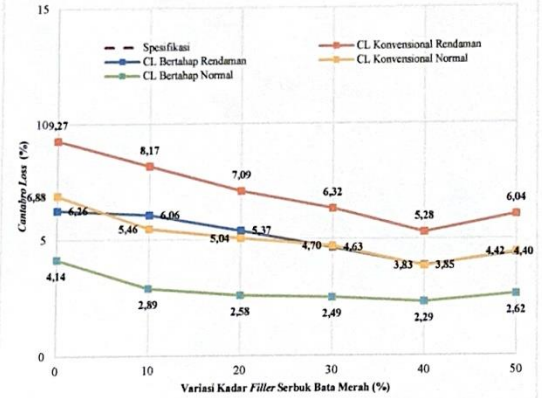
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

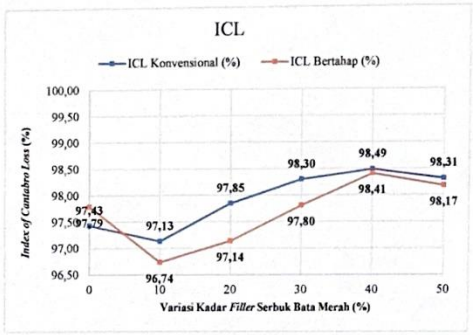
Lampiran 31 ICL

Perhitungan ICL

Substitusi *Filler*	Konvensional			Bertahap		
	CL Normal	CL Rendaman	*ICL (%)*	CL Normal	CL Rendaman	*ICL (%)*
0	6,88	9,27	97,43	4,14	6,26	97,79
10	5,46	8,17	97,13	2,89	6,06	96,74
20	5,04	7,09	97,85	2,58	5,37	97,14
30	4,70	6,32	98,30	2,49	4,63	97,80
40	3,83	5,28	98,49	2,29	3,85	98,41
50	4,42	6,04	98,31	2,62	4,40	98,17

***Cantabro Loss* Konvensional dan Bertahap**





Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 AFD Konvensional

Perhitungan AFD Konvensional

Kadar Aspal (%)	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
0,0%	1	Berat Cetakan (gr),	276,68	275,98	276,34
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1475,19	1460,06	1470,13
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	277,61	276,87	277,25
	4	*Asphalt Flow Down*	0,078%	0,075%	0,076%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*	0,076		
10,0%	1	Berat Cetakan (gr),	275,31	275,43	275,56
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1477,41	1473,93	1475,55
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	276,03	276,12	276,19
	4	*Asphalt Flow Down*	0,060%	0,058%	0,053%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*	0,057		
20,0%	1	Berat Cetakan (gr),	346,83	346,91	346,63
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1539,88	1545,87	1539,21
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	347,19	347,35	347,11
	4	*Asphalt Flow Down*	0,030%	0,037%	0,040%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*	0,036		
30,0%	1	Berat Cetakan (gr),	192,63	192,56	193,02
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1391,79	1387,99	1389,34
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	192,96	192,88	193,33
	4	*Asphalt Flow Down*	0,028%	0,027%	0,026%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*	0,027		
40,0%	1	Berat Cetakan (gr),	275,51	275,34	275,88
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1474,13	1477,98	1488,89
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	275,71	275,54	276,12
	4	*Asphalt Flow Down*	0,017%	0,017%	0,020%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*	0,018		
50,0%	1	Berat Cetakan (gr),	275,73	275,77	275,44
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1466,87	1487,92	1490,32
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	275,99	276,07	275,69
	4	*Asphalt Flow Down*	0,022%	0,025%	0,021%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*	0,022		

Yogyakarta, Juli 2025

Diperiksa Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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 AFD Bertahap

Perhitungan AFD Konvensional

Kadar Aspal (%)	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
0,0%	1	Berat Cetakan (gr),	347,10	347,54	275,78
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1541,77	1543,89	1469,89
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	347,76	348,16	276,42
	4	*Asphalt Flow Down*	0,055%	0,052%	0,054%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*		0,054	
10,0%	1	Berat Cetakan (gr),	275,36	275,40	275,44
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1473,51	1470,44	1477,76
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	275,71	275,79	275,83
	4	*Asphalt Flow Down*	0,029%	0,033%	0,032%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*		0,031	
20,0%	1	Berat Cetakan (gr),	192,16	192,33	192,14
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1383,71	1385,23	1380,94
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	192,42	192,60	192,40
	4	*Asphalt Flow Down*	0,022%	0,023%	0,022%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*		0,022	
30,0%	1	Berat Cetakan (gr),	347,14	347,51	347,44
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1544,67	1545,34	1547,41
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	347,31	347,68	347,64
	4	*Asphalt Flow Down*	0,014%	0,014%	0,017%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*		0,015	
40,0%	1	Berat Cetakan (gr),	275,41	275,67	275,34
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1465,89	1469,82	1470,95
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	275,49	275,74	275,41
	4	*Asphalt Flow Down*	0,007%	0,006%	0,006%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*		0,006	
50,0%	1	Berat Cetakan (gr),	275,88	192,41	192,40
	2	Berat Cetakan + Campuran Aspal (gr),	1472,21	1391,83	1393,21
	3	Berat Cetakan Akhir (gr),	275,97	192,54	192,49
	4	*Asphalt Flow Down*	0,008%	0,011%	0,007%
	5	Rata -Rata *Asphalt Flow Down*		0,009	

Yogyakarta, Juli 2025

Diketahui Oleh
Manager Laboratorium Perusahan Teknik Sipil

Ir. Bachan Rachman, M.Eng, IPM, ASEAN Eng.
NIK : 19511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Sarah Nurul Adellia
NIM : 20 511 275

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

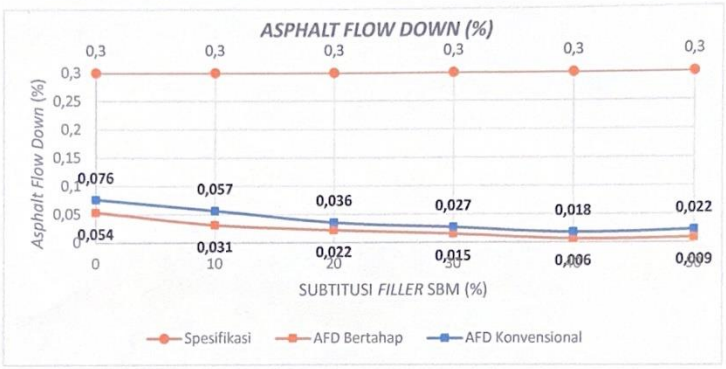
Lampiran 34 AFD Bertahap

Perhitungan AFD Konvensional dan Bertahap

AFD Konvensional	
0	0,07633
10	0,05666
20	0,03571
30	0,02673
40	0,01770
50	0,02239

Spesifikasi	
0	0,3
10	0,3
20	0,3
30	0,3
40	0,3
50	0,3

AFD Bertahap	
0	0,05356
10	0,03143
20	0,02211
30	0,01502
40	0,00615
50	0,00862



Yogyakarta, Juli 2025

Disahkan Oleh Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil	Mengetahui Kalab. Jalan Raya	Peneliti
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.	Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.	Sarah Nurul Adellia
NIK : 01 511 0101	NIK : 21 511 1307	NIM : 20 511 275