TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBTITUSI *FILLER* SERBUK BESI TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED ASPHALT* (*HRA*) DENGAN METODE PENCAMPURAN KONVENSIONAL DAN METODE PENCAMPURAN BERTAHAP (*THE EFFECT OF IRON POWDER FILLER SUBSTITUTION ON THE CHARACTERISTICS OF HOT ROLLED ASPHALT (HRA) MIXTURES USING CONVENTIONAL MIXING METHODS AND STAGED MIXING METHOD*)

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

HABIB AMIR KHOIRUDDIN
20511179

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2025

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBTITUSI *FILLER* SERBUK BESI TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED ASPHALT* (*HRA*) DENGAN METODE PENCAMPURAN KONVENSIONAL DAN METODE PENCAMPURAN BERTAHAP (*THE EFFECT OF IRON POWDER FILLER SUBSTITUTION ON THE CHARACTERISTICS OF HOT ROLLED ASPHALT (HRA) MIXTURES USING CONVENTIONAL MIXING METHODS AND STAGED MIXING METHOD*)

Disusun oleh

HABIB AMIR KHOIRUDDIN
20511179

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

Diuji pada tanggal 29 April 2025

Oleh Dewan Penguji:

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

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 29 April 2025

Yang membuat pernyataan

Habib Amir Khoiruddin

(20511179)

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat, hidayah, dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul pengaruh subtitusi *filler* serbuk besi terhadap karakteristik campuran *hot rolled asphalt* (*HRA*) dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap (*the effect of iron powder filler substitution on the characteristics of hot rolled asphalt* (*HRA*) *mixtures using conventional mixing methods and staged mixing method*)**,** dengan baik. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan program studi di Teknik Sipil, Fakultas Tenik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan dukungan selama proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Prayogo Afang Prayitno, ST., M.Sc. dan bapak Muhammad Abdul Hadi, ST., M.T. selaku dosen penguji tugas akhir atas saran, ilmu yang baru dan masukan yang sangat berharga.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.
4. Superhero dan partner nyupir ketika mudik, bapak Supoyo, terimakasih telah berjuang selama ini bagi kehidupan penulis, beliau adalah orang yang hebat dan tidak pantang menyerah dalam kehidupannya sehingga sang penulis mendapatkan pembelajaran yang sangat berarti dalam kehidupan ini, serta motivasi agar dapat menyelesaikan studinya sampai menjadi sarjana. Terimakasih superhero.
5. Pintu surgaku dan partner ngegosip, ibu Dwi Puji Astuti, yang tidak henti-hentinya memberikan semangat serta kasih sayang dengan penuh cinta dan

selalu memberikan motivasi serta doa-doa yang tidak ada hentinya sehingga penulis dapat menyelesaikan studinya sampai menjadi sarjana.

6. Teman-teman terutama Nabil, Alief, Hanif, Roby, Fadel, Bintang, Fadil, Ibil, Deni, Yasmin, Ishom, Rifat, Fahmi dan teman-teman seperjuangan angkatan 2020 yang selalu menguatkan untuk tidak menyerah dan selalu ada dalam segala kondisi apa pun untuk memberikan semangat dan dukungan, sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
7. Kepada seseorang yang tidak bisa saya tuliskan namanya, seseorang yang pernah menemani dan hidup bersama penulis yang telah menjadi bagian dari perjalanan cinta penulis. terimakasih untuk semuanya dan untuk patah hati dari seluruh kebahagian yang telah diberikan pada saat penulis melakukan proses penyusunan skripsi ini. ternyata perginya anda dari kehidupan penulis memberikan motivasi agar sang penulis tetep menyelesaikan skripsi ini dan bisa menjadi pribadi yang lebih baik lagi, dewasa, serta dapat menjadi pribadi yang bisa memahami bahwa setiap orang ada masanya dan setiap masa ada orangnya.

Yogyakarta, 29 April 2025

Penulis,

Habib Amir Khoiruddin

(20511179)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
KATA PENGANTAR iv
DAFTAR ISI vi
DAFTAR TABEL x
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 2
1.3 Tujuan Penelitian 3
1.4 Manfaat Penelitian 3
1.5 Batasan Penelitian 4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 5
2.1 Penggunaan Serbuk Besi dalam Dunia Perkerasan Jalan 5
2.2 Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal 6
2.3 Penggunaan Campuran *Hot Rolled Asphalt* dalam Perkerasan Jalan 7
2.4 Penggunaan Metode Pencampuran Bertahap dalam Perkerasan Jalan 8
2.5 Penelitian Terkait Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal 10
BAB III LANDASAN TEORI 28
3.1 Umum 28
3.2 Serbuk Besi 28
3.3 *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) 29

3.4 Karakteristik Material Penyusun *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) 30
3.4.1 Agregat 30
3.4.2 Bahan Pengisi (*Filler*) 31
3.4.3 Gradasi Agregat *Hot Rolled Asphalt* 31
3.4.4 Aspal 33
3.5 Metode Bertahap 33
3.6 Karakteristik Campuran Lapisan Perkerasan Jalan 34
3.6.1 Stabilitas (*Stability*) 34
3.6.2 Daya tahan (*durability*) 34
3.6.3 Kelenturan (*Felxibility*) 35
3.6.4 Ketahanan terhadap kelelehan (*fatigue resistance*) 35
3.6.5 Ketahanan Terhadap Gaya Geser (*Skid Resistance*) 35
3.7 Parameter Pengujian *Marshall* 36
3.7.1 Pengujian Stabilitas 36
3.7.2 Kepadatan (*Density*) 37
3.7.3 Kelelehan (*Flow*) 38
3.7.4 Pengujian Jenis Volume Pori 38
3.8 Pengujian *Index of Retained Strength* (*IRS*) 42
3.9 Pengujian *Tensile Strength Ratio* (*TSR*) 43
3.10 Indeks Durabilitas Pertama 43
3.11 Indeks Durabilitas Kedua 44
3.12 *Cantabro Loss* 44
BAB IV METODE PENELITIAN 46
4.1 Metode Penelitian 46
4.2 Metode Pengambilan Benda Uji 46
4.3 Metode Pengambilan Data 46
4.4 Tahap Penelitian 46
4.4.1 Persiapan Material 47
4.4.2 Persiapan Alat 49
4.4.3 Persiapan Percampuran 50
4.4.4 Pembuatan Benda Uji 57

4.4.5 Pengujian *Marshall* 59
4.4.6 Pengujian *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) 60
4.4.7 Pengujian *Indeks of Retained Strength* (*IRS*) 60
4.4.8 Pengujian *Cantabro Loss* 61
4.5 Analisis Data 61
4.5.1 Analisis Karakteristik *Marshall Test* 61
4.5.2 Analisis Pengujian *IRS* 62
4.5.3 Analisis Nilai IDP 62
4.5.4 Analisis Nilai IDK 62
4.5.5 Analisis Nilai *ITS* 62
4.5.6 Analisis Nilai *TSR* 63
4.5.7 Analisis Nilai *Cantabro Loss* 63
4.6 Bagan Alir Penelitian 63
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN 66
5.1 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran 66
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 66
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat 66
5.1.3 Hasil Pengujian untuk Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO) 67
5.1.4 Hasil Pengujian pada Kadar Aspal Optimum 69
5.2 Pembahasan 73
5.2.1 Karakteristik Fisik Bahan Susun pada Perkerasan Jalan 73
5.2.2 Pengaruh Kadar Aspal untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum 77
5.3 Pembahasan Subtitusi *Filler* Serbuk Besi pada KAO Pencampuran dengan Menggunakan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap. 82
5.3.1 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai Volumetrik Pencampuran Aspal dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Bertahap. 82

5.3.2 Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* Terhadap Nilai Kekuatan Pencampuran Aspal dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap. 85
5.3.3 Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* Terhadap Nilai Durabilitas Pencampuran Aspal dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap. 91
5.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi Dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional 99
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 116
6.1 Kesimpulan 116
6.2 Saran 116
DAFTAR PUSTAKA 118
LAMPIRAN 123

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal 11
Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal 15
Tabel 2.3 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal 19
Tabel 2.4 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal 22
Tabel 2.5 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal 25
Tabel 3.1 Kandungan Kimia pada Serbuk Besi 29
Tabel 3.2 Persyaratan Agregat Kasar 30
Tabel 3.3 Persyaratan Agregat Halus 31
Tabel 3.4 Batasan Gradasi Agregat Campuran *HRA* Tipe C *Designation* 30/14 Tebal 40 mm 32
Tabel 3.5 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lataston 32
Tabel 3.6 Persyaratan Asphal Keras *AC* 60/70 33
Tabel 4.1 Batasan Gradasi Agregat Campuran *HRA* Tipe C *Designation* 30/14 tebal 40 mm 50
Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6% 51
Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6.5% 52
Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7% 52
Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7.5% 52
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 8% 53
Tabel 4.7 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 0% 54
Tabel 4.8 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 25% 54
Tabel 4.9 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 50% 55
Tabel 4.10 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 75% 55
Tabel 4.11 Jumlah Benda Uji untuk Memperoleh KAO 56
Tabel 4.12 Jumlah Benda untuk Subtitusi *Filler* Serbuk Besi pada KAO 56
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 60/70 66
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar 67
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus Celereng 67

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler* 67
Tabel 5.5 Hasil Pengujian untuk Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) 68
Tabel 5.6 Hasil Pengujian *Marshall Test* pada Metode Pencampuran Konvensional 69
Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Marshall Test* pada Metode Pencampuran Bertahap 69
Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Index of Retained Strength* (*IRS*), Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua Konvensional 70
Tabel 5.9 Hasil pengujian *Index of Retained Strength* (*IRS*), Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua Bertahap 70
Tabel 5.10 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) dan *Tensile Strength Ratio* (*TSR*) pada Metode Pencampuran Konvensional 71
Tabel 5.11 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) dan *Tensile Strength Ratio* (*TSR*) pada Metode Pencampuran pada Metode Pencampuran Bertahap 71
Tabel 5.12 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Konvensional Normal 71
Tabel 5.13 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Bertahap Normal 72
Tabel 5.14 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Konvensional Rendaman 72
Tabel 5.15 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Bertahap Rendaman 72
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional 100
Tabel 5.17 Rekapitulasi Kadar Optimal Penggunan Serbuk Besi pada Metode Pencampuran Bertahap dan Konvensional 113

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Ilustrasi Proses Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap 34
Gambar 3.2 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas 37
Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow* 38
Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA* 40
Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM* 41
Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA* 42
Gambar 3.7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *MQ* 42
Gambar 4.1 Batasan Gradasi Agregat Campuran *HRA* Tipe C *Designation* 30/14 tebal 40 mm 50
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian 64
Gambar 5.1 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO) 68
Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas 77
Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow* 78
Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VITM* 78
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA* 79
Gambar 5.6 Garafik Kadar Aspal Terhadap Nilai *VFWA* 80
Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *MQ* 81
Gambar 5.8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *IRS* 81
Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Void in Total Mix* (*VITM*) 82
Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Void In Mineral Aggregate* (*VMA*) 84
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Void Filled With Asphalt* (*VFWA*) 85
Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Stabilitas 86

Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Flow* 87
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Marshall Quentient* (*MQ*) 88
Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Nilai *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) 0,5 Jam dengan 24 Jam Rendaman Metode Pencampuran Konvensional. 89
Gambar 5.16 Grafik Nilai *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) 0,5 Jam dengan 24 Jam Rendaman Metode Pencampuran Bertahap 90
Gambar 5.17 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength* (*ITS*). 90
Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas 0,5 Jam dengan Nilai Stabilitas 24 Jam Rendaman Metode Pencampuran Konvensional 91
Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas 0,5 Jam dengan Nilai Stabilitas 24 Jam Rendaman Metode Pencampuran Bertahap 92
Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Index of Retained Strength* (*IRS*) 92
Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Indeks Durabilitas* Pertama 94
Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua 95
Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Tensile Strength Ratio* (*TSR*). 97
Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantabro Loss* Normal 98
Gambar 5.25 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantabro Loss* Rendaman 98
Gambar 5.26 Grafik Rekapitulasi Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantabro Loss* 98

Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Tahanan *Cantabro Loss* 99

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal 124
Lampiran 2 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal 125
Lampiran 3 Hasil Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal 126
Lampiran 4 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal 127
Lampiran 5 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal 128
Lampiran 6 Hasil Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam *CCL4*/*TCE* 129
Lampiran 7 Hasil Pemeriksaan Berat JenisAgregat kasar 130
Lampiran 8 Hasil Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal 131
Lampiran 9 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar 132
Lampiran 10 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus 133
Lampiran 11 Hasil Pemeriksaan *Sand Equivalent* 134
Lampiran 12 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* abu batu 135
Lampiran 13 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Serbuk Besi 136
Lampiran 14 Hasil Pengujian *Marshall* Konvensional 137
Lampiran 15 Hasil Pengujian *Marshall* Bertahap 138
Lampiran 16 Rekapitulasi Hasil *Marshall* Konvensional dan Bertahap 139
Lampiran 17 Hasil Pengujian *IRS* Konvensional 140
Lampiran 18 Hasil Pengujian *IRS* Bertahap 141
Lampiran 19 Rekapitulasi Pengujian *IRS* 142
Lampiran 20 Hasil Pengujian *ITS* Konvensional 143
Lampiran 21 Hasil Pengujian *ITS* Bertahap 144
Lampiran 22 Hasil Pengujian *TSR* Konvensional 145
Lampiran 23 Hasil Pengujian *TSR* Bertahap 146
Lampiran 24 Rekapitualsi Hasil pengujian *ITS* dan *TSR* 147
Lampiran 25 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Normal Konvensional 148
Lampiran 26 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Normal Bertahap 149
Lampiran 27 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Rendaman Konvensional 150
Lampiran 28 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Rendaman Bertahap 151

Lampiran 29 Rekaputasi Hasil Pengujian *Cantabro Loss* 152

DAFTAR NOTASI

A = Persen kadar Subtitusi (%)

A = Berat Jenis Serbuk Besi (gr/cm^3)

a = Total kehilangan kekuatan rerata satu hari (%)

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),

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

d = diameter benda uji (mm)

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume / isi (cm^3).

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

Gmb = berat jenis *bulk* dari beton aspal padat,

Gmm = berat jenis maksimum campuran beton aspal belum dipadatkan,

Ga = berat jenis aspal,

h = Tinggi benda uji (mm)

L = persentasi kehilangan berat (%)

mo = Berat sebelum abrasi (gr)

mi = 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 (%)

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

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

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), dan

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*
BS = *British Standard*
HRA = *Hot Rolled Asphalt*
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
TSR = *Tensile Strength Ratio*
VITM = *Void in the Total Mix*
VFWA = *Void Filled With Asphalt*
VMA = *Void in Mineral Agregate*

ABSTRAK

Perkerasan jalan di Indonesia semakin berkembang dengan adanya perubahan metode yang ada sebelumya. Dengan adanya metode baru salah satunya metode bertahap. Selain itu adanya bahan pengganti *filler* sebagai alternatif campuran perkerasan jalan. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui serbuk besi berfungsi sebagai pengganti *filler* yang mempengaruhi karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* menggunakan metode konvensional dan bertahap.

Penelitian dimulai dengan serangkaian pengujian agregat dan aspal. Selanjutnya menentukan KAO pada campuran *HRA* dengan menggunakan kadar aspal 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, 8%. Pengujian selanjutnya berdasarkan volumetrik, kekuatan dan durabilitas, terdapat pengujian Stabilitas, *flow, VITM, VMA, VFWA, MQ, IRS, ITS,TSR,* IDP, IDK , *Cantabro Loss* diganti *filler*nya menggunakan serbuk besi dengan kadar 0%, 25%, 50%, dan 75% menggunakan metode konvensional dan bertahap.

Hasil penelitian menunjukkan pencampuran *HRA* dengan metode konvensional dan bertahap menggunakan substitusi *filler* serbuk besi, berdasarkan parameter volumetrik metode pencampuran bertahap menunjukkan kinerja yang lebih optimal dibanding metode pencampuran konvensional, nilai volumetrik metode pencampuran bertahap lebih optimal dalam mengisi rongga pada campuran, sehingga ukuran rongga campuran lebih kecil. Dari segi kekuatan, metode bertahap menunjukkan performa lebih baik dengan nilai stabilitas*, MQ*, dan *ITS* lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, menjadi lebih kuat, lentur dan mampu menahan dengan baik. Dalam aspek durabilitas, campuran lebih tahan terhadap perubahan suhu, cuaca, dan keausan.

Kata Kunci : *HRA*, Serbuk Besi, Pencampuran Bertahap, Bahan Pengisi (*Filler*)

ABSTRACT

Road pavement in Indonesia is increasingly developing with changes in previous methods. With the existence of new methods, one of which is the gradual method. In addition, there are filler replacement materials as an alternative to road pavement mixtures. The purpose of this study was to determine the function of iron powder as a filler substitute that affects the characteristics of Hot Rolled Asphalt mixtures using conventional and staged methods.

The research started with a series of aggregate and asphalt tests. Furthermore, KAO was determined on the HRA mixture using 6%, 6.5%, 7%, 7.5%, 8% asphalt content. Further testing based on volumetric, strength and durability, there are tests of Stability, flow, VITM, VMA, VFWA, MQ, IRS, ITS, TSR, IDP, IDK, Cantabro Loss replaced the filler using iron powder with levels of 0%, 25%, 50%, and 75% using conventional and gradual methods.

The results showed that mixing HRA with conventional methods and stepwise methods using iron powder filler substitution, based on volumetric parameters, the stepwise mixing method showed more optimal performance than the conventional mixing method, the volumetric value of the stepwise mixing method was more optimal in filling the voids in the mixture, so that the size of the mixture cavity was smaller. In terms of strength, the staged method showed better performance with higher stability, MQ, and ITS values than the conventional method, being stronger, more flexible and able to hold well. In terms of durability, the mix is more resistant to temperature changes, weather, and wear.

Keywords: HRA, Iron Powder, Stepwise Mixing, Filler.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkerasan jalan raya merupakan salah satu elemen utama dalam infrastruktur transportasi yang berperan penting dalam memfasilitasi perpindahan orang dari satu tempat ke tempat lain. Selain itu, jalan raya menjadi bagian integral dari prasarana yang dibutuhkan untuk mendukung pembangunan saat ini. Sebagai bagian dari sistem transportasi nasional, jalan memiliki peran signifikan dalam mendukung kegiatan ekonomi, lingkungan, budaya, dan sosial, yang dapat dimanfaatkan untuk mendorong pembangunan wilayah guna mencapai pemerataan pembangunan antar daerah. Kondisi perkerasan jalan juga dapat dijadikan indikator kesejahteraan masyarakat, khususnya di wilayah-wilayah tertentu.

Perkerasan jalan terdiri dari campuran bahan yang meliputi bahan ikat (*filler*) dan agregat, yang terbagi menjadi agregat halus dan agregat kasar. Komponen-komponen ini berfungsi sebagai elemen penopang dalam menahan beban lalu lintas. Perkerasan jalan dapat dikategorikan menjadi perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Pada penelitian ini, fokusnya adalah pada perkerasan lentur sebagai objek kajian. Campuran yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Hot Rolled Asphalt*.

Hot Rolled Asphalt (*HRA*) merupakan jenis perkerasan lentur yang menggunakan gradasi senjang dengan proporsi agregat kasar berkisar antara 40% hingga 70% serta kandungan aspal sebesar 7,0% hingga 10% *British Standard* (1992). Keunggulan utama campuran *HRA* adalah memiliki tingkat elastisitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis campuran aspal lainnya. Berbeda dengan campuran aspal beton (*asphalt concrete*), di mana kekuatan dan stabilitasnya bergantung pada mekanisme saling mengunci antar agregat (*interlocking*), stabilitas campuran *HRA* lebih ditentukan oleh kekuatan mortar, yaitu campuran antara agregat sedang atau halus, *filler*, dan aspal (Hurriyanto, 2008).

Serbuk besi adalah limbah yang dihasilkan dari proses pemotongan atau pembubutan logam dalam industri manufaktur. Limbah serbuk besi jarang dimanfaatkan sebagai material yang bernilai efektif, sehingga sering kali hanya menjadi sumber polusi lingkungan. Selain itu, limbah ini relatif mudah diperoleh dan ekonomis. Limbah serbuk besi tergolong sebagai limbah yang berpotensi menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan manusia apabila tidak dikelola secara tepat. Material ini masih jarang dimanfaatkan sebagai bahan yang memiliki nilai guna tinggi, sehingga cenderung menjadi sumber pencemaran lingkungan. Di sisi lain, limbah serbuk besi relatif mudah diperoleh dan memiliki nilai ekonomis yang rendah. Berdasarkan kondisi tersebut, dilakukan suatu inovasi dengan memanfaatkan limbah serbuk besi sebagai salah satu komponen dalam konstruksi perkerasan jalan, khususnya sebagai bahan pengisi (*filler*). Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Utomo dkk (2020) menunjukkan bahwa penggunaan limbah serbuk besi sebagai filler mampu menghasilkan nilai parameter *Marshall*, seperti *VMA, VFA, VIM,* stabilitas, *flow,* dan *Marshall Quotient,* yang sesuai dengan ketentuan dalam Spesifikasi Bina Marga. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa serbuk besi layak dipertimbangkan sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*).

Penelitian ini menggunakan serbuk besi sebagai substitusi *filler* dalam campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*). Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode bertahap. Serbuk besi yang digunakan dalam penelitian ini mudah diperoleh di beberapa wilayah di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis kelayakan penggunaan metode bertahap dalam campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan substitusi *filler* berupa serbuk besi, serta menentukan apakah bahan tersebut dapat diaplikasikan secara efektif pada perkerasan jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Pada tugas akhir ini, permasalahan yang akan dibahas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh subtitusi *filler* serbuk besi terhadap parameter volumetrik (*VITM,VFWA,VMA*) menggunakan variasi 0%, 25%, 50% dan 75% pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menerapkan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap?

2. Bagaimana pengaruh substitusi *filler* serbuk besi terhadap kekuatan menggunakan variasi 0%, 25%, 50% dan 75% pada campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) dengan menggunakann metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap?
3. Bagaimana pengaruh substitusi *filler* serbuk besi terhadap parameter keawetan (*durability*) menggunakan variasi 0%, 25%, 50% dan 75% pada campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) dengan menerapkan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap?

1.3 Tujuan Penelitian

Mengetahui dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh substitusi *filler* serbuk besi terhadap nilai *Void In Total Mix* (*VITM*), *Void Filled With Asphalt* (*VFWA*), dan *Void in Mineral Aggregate* (*VMA*) dengan menggunakan metode konvensional dan bertahap dalam campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) .
2. Menganalisis pengaruh subtitusi *filler* serbuk besi terhadap kekuatan campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode pencampuran bertahap dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.
3. Menganalisis pengaruh substitusi *filler* serbuk besi terhadap nilai keawetan (*durability*) dengan menggunakan metode konvensional dan bertahap pada campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini sebagai berikut.

1. Memanfaatkan material limbah serbuk besi sebagai pengganti *filler* pada campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*)
2. Memberikan pengetahuan mengenai serbuk besi sebagai alternatif pengganti bahan pengisi *filler*
3. Memberikan pengetahuan mengenai pengaruh substitusi bahan pengisi *filler* dengan serbuk besi terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*).

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian sebagai tinjauan agar penelitian terarah dan mudah dipahami, untuk itu diperlukan adanya batasan penelitian sebagai berikut.

1. Peraturan yang digunakan adalah *British Standards* (*BS*), dan spesifikasi umum Bina Marga 2018 Revisi 2 tahun 2020.
2. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal pertamina Pen 60/70.
3. Agregat kasar diperoleh dari yang ada di Laboratorium jalan raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Agregat halus diperoleh dari yang ada di Laboratorium jalan raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Pengganti *filler* serbuk besi diperoleh dari limbah yang dihasilkan oleh industri atau pabrik.
6. Variasi substitusi *filler* yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, dan 75%.
7. Bahan pengisi (*filler*) yang di gunakan adalah debu dari serbuk besi.
8. Tinjauan pengujian terhadap kekuatan struktur berdasarkan stabilitas,*flow, Marshall Quotient,ITS*
9. Tinjauan pengujian terhadap parameter volumetrik berdasarkan nilai yang didapat pada *Void In Total Mix (VITM), Void Filled With Asphalt (VFWA), dan Void in Mineral Aggregate (VMA).*
10. Tinjauan pengujian terhadap ketahanan (*durability*) campuran aspal berdasarkan parameter *IRS, TSR,* dan *Cantabro Loss.*
11. Pengujian ini dilakukan di laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia
12. Penelitian ini tidak menguji kandungan unsur mineral yang terkandung dalam serbuk besi.
13. Penelitian ini menerapkan dua metode pencampuran, yaitu dengan motode konvensional dan metode bertahap

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penggunaan Serbuk Besi dalam Dunia Perkerasan Jalan

Upaya perbaikan konstruksi jalan raya dilakukan secara berkelanjutan dengan berbagai inovasi dan temuan baru yang terus dikembangkan dan diterapkan untuk meningkatkan serta mengoptimalkan infrastruktur jalan. Penelitian yang bertujuan untuk mengeksplorasi dan memanfaatkan potensi sumber daya yang tersedia dilakukan secara terus-menerus. Dalam konteks ini, penelitian ini memanfaatkan limbah serbuk besi sebagai bagian dari usaha tersebut.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Nurman (2022), pasir besi digunakan sebagai bahan tambahan pada aspal beton dengan karakteristik tahan beban (*WC*). Sebelum menambahkan pasir besi, benda uji disiapkan berdasarkan gradasi batas tengah. Nilai Kadar Aspal Optimum (*KAO*) yang diperoleh dari kelompok benda uji adalah 8,25%. Meskipun demikian, semua persentase pasir besi dalam penelitian ini, seperti nilai *VMA, VIM, VFA,* stabilitas, kelelehan (*flow*), dan *Marshall quotient* (*MQ*), telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, meskipun terdapat fluktuasi dalam nilai-nilai tersebut.

Penelitian yang dilakukan oleh Aditya (2021) mengenai pengaruh pemanfaatan tras sebagai bahan pengisi pengganti terhadap karakteristik campuran *Split Mastic Asphalt* (*SMA*) menunjukkan bahwa penggunaan batu tras Rembang sebagai *filler* substitusi pada berbagai variasi tetap memenuhi standar yang ditetapkan serta dapat dijadikan alternatif pengganti *filler* Clereng. Hasil uji karakteristik *Marshall* mengindikasikan bahwa campuran ini memiliki ketahanan terhadap beban lalu lintas serta tingkat fleksibilitas yang baik. Selain itu, hasil uji *Indirect Tensile Strength* menunjukkan bahwa campuran tersebut mampu menahan gaya tarik tidak langsung. Uji Cantabro juga mengonfirmasi bahwa campuran memiliki ketahanan terhadap disintegrasi akibat benturan. Sementara itu, nilai durabilitas berdasarkan uji *IRS* memenuhi seluruh persyaratan yang ditetapkan dalam standar Bina Marga tahun 2018, yaitu ≥ 90%.

Studi penelitian pemanfaatan *filler* pengganti juga diteliti sebelumnya yakni oleh Tolab dan Fauziah (2024) pemanfaatan limbah geothermal pada campuran *Stone Matrix Asphalt* dan Octavian (2024) pemanfaatan serbuk besi pada campuran *Stone Matrix Asphalt*

2.2 Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

Filler atau bahan pengisi untuk campuran aspal adalah bahan mineral non plastis, kering, dan bebas dari gumpalan – gumpalan serta bila diuji dengan pengayakan basah harus mengandung bahan yang lolos saringan No.#200 dan berfungsi untuk mengisi rongga-rongga antar butiran agregat (hamzah,2016).

Penelitian yang dilakukan oleh Oktaviani, (2023) Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen, yang dilakukan melalui pelaksanaan eksperimen untuk mengumpulkan data. Jenis aspal yang digunakan adalah aspal dengan spesifikasi penetrasi 60/70. Agregat kasar yang dipilih adalah batu palu. Penelitian ini difokuskan pada penggantian agregat halus dengan pasir pantai yang berasal dari Pantai Tanjung Harapan, Tanah Merah, Samboja, serta penggunaan *filler* berupa abu sekam padi yang dibakar hingga menjadi abu dan disaring dengan ayakan No. 200. *Filler* ini dibagi menjadi lima kelompok benda uji: tiga benda uji dengan kadar *filler* 0%, tiga benda uji dengan kadar *filler* 6%, tiga benda uji dengan kadar *filler* 7%, tiga benda uji dengan kadar *filler* 8%, dan tiga benda uji dengan kadar *filler* 9%, sehingga total terdapat 15 benda uji yang akan dianalisis. Seluruh benda uji tersebut kemudian diuji menggunakan metode pengujian *Marshall*. Hasil dari *Marshall Test* menunjukkan bahwa persentase benda uji yang paling optimal adalah pada kadar *filler* abu sekam padi 7%, yang paling banyak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, dengan nilai stabilitas sebesar 1807,49 kg, *flow* 4,717 mm, *VMA* 14,987%, *VFWA* 73,542%, *VITM* 4,084%, dan *MQ* 421,101 kg/mm.

Selain itu ada juga penelitian yang dilakukan anang (2003) yaitu menganalisis pengaruh karakteristik pasir besi sebagai agregat halus dalam campuran aspal panas *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) terhadap berbagai parameter sifat *Marshall,* seperti stabilitas, *flow*, *VITM* (*Void in the Mix*), *VFB* (*Void Filled with Bitumen*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *Marshall Quotient*, serta durabilitas campuran. Selain

itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menentukan batas pengaruh maksimum dari penambahan pasir besi dalam campuran aspal. Pengujian terhadap pasir besi telah dilakukan guna mengevaluasi sifat-sifat yang berhubungan dengan kinerjanya sebagai agregat halus dalam campuran aspal panas *HRA*. Pada penelitian ini, campuran aspal dirancang menggunakan metode Marshall dengan berbagai variasi agregat halus yang dicampurkan dengan pasir besi pada kadar aspal optimum. Selanjutnya, campuran tersebut dievaluasi ketahanannya terhadap pengaruh lama perendaman pada suhu sekitar ±60 °C. Hasil penelitian ini, dengan mempertimbangkan batasan parameter *Marshall* berdasarkan standar SNI, menunjukkan bahwa pasir besi sebagai agregat halus memiliki potensi untuk digunakan sebagai alternatif dalam campuran aspal, khususnya pada jenis campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) untuk lapisan *wearing course.*

2.3 Penggunaan Campuran *Hot Rolled Asphalt* dalam Perkerasan Jalan

Hot Rolled Asphalt (*HRA*) merupakan campuran yang memiliki gradasi senjang (*gap graded*). Komposisi *HRA* terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal, dengan proporsi agregat kasar berkisar antara 30% hingga 40%. Penggunaan bahan ikat dalam *HRA* dapat mencapai 5% lebih banyak dibandingkan dengan campuran aspal konvensional, yang memberikan ketahanan lebih tinggi terhadap keausan, tingkat kelenturan yang lebih baik, serta *fleksibilitas* yang tinggi, meskipun kurang kaku dan lebih rentan terhadap deformasi.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Pratama dan Fauziah (2017) mengenai perbandingan kinerja campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) dengan bahan pengikat aspal Pen 60/70 dan aspal *Retona Blend* 55 terhadap variasi durasi perendaman dalam air laut, diperoleh hasil bahwa pada seluruh variasi durasi perendaman, nilai *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) campuran *HRA* dengan bahan pengikat aspal Retona cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70. Kedua jenis campuran tersebut mengalami penurunan nilai *ITS* seiring dengan meningkatnya durasi perendaman dalam air laut. Meskipun campuran dengan aspal Retona memiliki nilai *ITS* yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal Pen 60/70, tingkat penurunan *ITS* pada campuran dengan Retona

lebih besar, yaitu 10,83%, sedangkan campuran dengan aspal Pen 60/70 mengalami penurunan sebesar 6,45% setelah perendaman selama 192 jam.

Selain itu ada juga penelitian Siswosoebroto, B.I.1995-dalam Mulyono, A.T, 1996, campuran agregat aspal bergradasi senjang memiliki sifat tahan terhadap keausan, lebih lentur tanpa mengalami retak lelah (*fatigue cracking*), serta tahan terhadap cuaca dan lebih mudah dalam proses pengerjaannya. Namun, kelemahan dari campuran ini adalah kurangnya kekakuan dan ketahanan terhadap deformasi, sehingga memerlukan tambahan bitumen sekitar 2% lebih banyak dibandingkan dengan campuran agregat aspal bergradasi tertutup seperti *Asphalt Concrete* (*AC*). Di Indonesia, spesifikasi *HRA* terbagi menjadi dua kategori, yaitu *Hot Rolled Sand Sheet* dan *Hot Rolled Sheet,* yang masing-masing dibagi menjadi dua kelas: Kelas A yang dirancang sebagai Lataston (BM 12/PT/1983) dan Kelas B sebagai *Laston* (BM 13/PT/1983). Dalam divisi 6 spek BM 2010 revisi 3, dijelaskan bahwa *Lataston* (Lapis Tipis Aspal Beton) terdiri dari dua jenis campuran, yaitu *HRS* pondasi (*HRS-Base*) dan *HRS* lapis aus (*HRS Wearing Course*, *HRS-WC*), dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran mencapai 19 mm. Untuk mencapai gradasi senjang, dilakukan pencampuran antara pasir halus dan agregat pecah mesin. Secara umum, sifat-sifat *HRA* meliputi tingkat keawetan yang tinggi, ketahanan terhadap oksidasi, ketahanan lelah yang baik, *fleksibilitas* (kelenturan), serta ketahanan terhadap suhu tinggi.

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Riyanto dan Pramesti (2022) membahas pemanfaatan limbah plastik melalui teknologi daur ulang dalam campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) dengan meninjau karakteristik *Marshall*, tingkat ketidakrataan, serta durabilitas perkerasan. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penambahan limbah plastik dalam campuran *HRA* dapat meningkatkan kekuatan perkerasan, mengurangi tingkat ketidakrataan pada lapisan perkerasan jalan, serta berkontribusi dalam mengurangi jumlah limbah plastik di Indonesia.

2.4 Penggunaan Metode Pencampuran Bertahap dalam Perkerasan Jalan

Metode dengan pencampuran bertahap adalah metode pencampuran bertahap yang dimana pada tahapan yang pertama didasarkan pada pencampuran antara

agregat kasar dan aspal optimum, tahapan kedua mencampurkan agregat halus dan *filler* pada campuran tersebut dengan jenis campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) Type C menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Hidayat, (2021) yaitu pengaruh metode pencampuran bertahap terhadap karakteristik campuran *stone matrix asphalt* (*SMA*) dengan bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal *crumb rubber*. Pada penelitian ini didapatkan penggunaan metode pencampuran bertahap dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 menghasilkan nilai *stabilitas* tinggi dan nilai kelelehan rendah sehingga campuran *SMA* 12,5 mm tersebut menjadi lebih kaku, *fleksibilitas* rendah dan berpotensi terjadinya *cracking*. Perlunya pengujian permeabilitas campuran *SMA* 12,5 mm dengan metode pencampuran bertahap untuk mengetahui seberapa kedap campuran beton aspal atau tingkat kerapatan suatu perkerasan untuk dapat ditembus oleh air. Perlu penelitian lebih lanjut terhadap nilai *IRS* dan *ITS* dengan durasi perendaman pada campuran *Stone Matrix Ashalt* (*SMA*) 12,5 mm menggunakan metode pencampuran bertahap. Perlu penelitian lebih lanjut terhadap karakteristik campuran beraspal dengan campuran gradasi lain sebagai pembanding tambahan pada penggunaan metode pencampuran bertahap. Perlu penelitian lebih lanjut dengan jenis aspal lain sebagai pembanding tambahan pada penggunaan metode pencampuran bertahap. Penggunaan aspal *crumb rubber* direkomendasikan pada campuran aspal lain terutama campuran dengan gradasi terbuka (*open graded*) karena aspal *crumb rubber* memiliki karakteristik teknis yang dapat meningkatkan kinerja campuran aspal antara lain: meningkatkan kelekatan, mengurangi terjadinya *deformasi,* dan meningkatkan ketahanan terhadap retak pada campuran aspal. Pelaksanaan perkerasan jalan dengan menggunakan aspal *crumb rubber*, direkomendasikan untuk digunakan pada kondisi lalu lintas berat dan suhu yang ekstrem karena memiliki karakteristik stabilitas dan durabilitas yang tinggi.

Kajian mengenai kinerja metode pencampuran bertahap telah dilakukan dalam berbagai penelitian sebelumnya. Kok dan Kologlu (2011) meneliti penerapan metode bertahap pada campuran *Hot Mix Asphalt*, sementara Hesami (2015) mengevaluasi efektivitas metode ini terhadap kemudahan proses pencampuran serta kinerja campuran perkerasan. Studi lain dilakukan oleh Wahyudi (2019), yang

meneliti penggunaan metode bertahap pada campuran *Superpave* dan aspal porus. Fauziah, M. (2020) mengkaji metode pencampuran bertahap sebagai strategi untuk mendukung pengembangan perkerasan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan. Selanjutnya, penelitian oleh Iqbal dan Fauziah (2023) mengeksplorasi pemanfaatan limbah ban karet dalam campuran *Hot Rolled Sheet* sedangkan Mentari (2023) meneliti penggunaan bahan aditif berbasis karet alam pada campuran aspal porus. Studi oleh Fauziah dkk. (2023) membahas penerapan metode bertahap pada berbagai jenis campuran, termasuk *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC), Split Mastic Asphalt*, dan *Hot Rolled Asphalt*. Ichwan (2023) juga mengkaji metode bertahap pada campuran *AC-WC*, sementara Firdaus (2023) meneliti penerapannya pada campuran *Hot Rolled Asphalt*.

2.5 Penelitian Terkait Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

Perbandingan penelitian dan penulis dengan penelitian sebelumnya yang sejenis akan disajikan dalam Tabel 2.1 di halaman selanjutnya.

Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

NO	Aspek	Penelitian			
		Bancin (2021)	Handayani dan Putri (2023)	Nurman dan Lisman (2022)	Penulis (2025)
1.	Judul	Pengaruh Penggunaan Tanah Merah Sebagai *Filler* pada Campuran Aspal *AC-BC* Terhadap Nilai *Marshall*	Modifikasi Lapisan *(AC-WC)* dengan *Filler* Laterit dan Pasir Pantai sebagai Agregat Halus terhadap Karakteristik *Marshall*	Pengaruh Penggunaan Pasir Besi sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas *HRA (Hot Rollet Asphalt)*	Pengaruh subtitusi *filler* serbuk besi terhadap karakteristik campuran *hot rolled asphalt* (*HRA*) dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap (*the effect of iron powder filler substitution on the characteristics of hot rolled asphalt (HRA) mixtures using conventional mixing methods and staged mixing method*)
2.	Jenis Campuran	*AC-BC*	*AC-WC*	*Hot Roller Asphalt (HRA)*	*Hot Roller Asphalt (HRA)*

Sumber : Bancin (2021),Handayani dan Putri (2023), Nurman dan Lisman (2022)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

NO	Aspek	Penelitian			
		Bancin (2021)	Handayani dan Putri (2023)	Nurman dan Lisman (2022)	Penulis (2025)
3.	Bahan Campuran Yang Digunakan	Tanah Merah	Laterit dan Pasir Pantai	Pasir Besi	Serbuk Besi
4.	Pengujian	Karakteristik Parameter *Marshall*	Penelitian kali ini menggunakan bahan pengisi (*filler*) batu laterit yang sudah di haluskan menggunakan alat *los angeles* dan lolos saringan 200.	Penelitian ini ialah untuk mengetahui karakteristik *marshall*	*Marshall Standard, IRS, ITS, TSR,* dan *Cantabro loss*

Sumber : Bancin (2021), Handayani dan Putri (2023), Nurman dan Lisman (2022)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

NO	Aspek	Penelitian			
		Bancin (2021)	Handayani dan Putri (2023)	Nurman dan Lisman (2022)	Penulis (2025)
5.	Hasil	setelah dilakukan pengujian *Marshall* didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa penggunaan tanah merah pada campuran aspal dapat dijadikan sebagai sebagai bahan pengisi rongga *(filler)* campuran lapisan aspal *AC- BC.*	Penelitian ini menggunakan metode yang bertujuan untuk mengetahui berapa nilai karakteristik *Marshall* pada penggunaan *filler* laterit dan pasir pantai sebagai agregat halus serta penggunaan *filler* laterit dan pasir pantai apakah dapat menaikan nilai	Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik *marshall* terbaik adalah pada tambahan Pasir Besi 50% yaitu dengan nilai stabilitas 1773,207 kg. Akan tetapi semua presentase Pasir Besi dalam penelitian ini seperti nilai *VMA, VIM, VFA, Stabilitas*, Kelelehan (*flow*), *Marshall quotient (MQ)* telah memenuhi spesifikasi bina marga	Hasil penelitian menunjukan bahwa metode bertahap dengan menggunakan subtitusi *filler* serbuk besi lebih baik dibandingan meotode konvensional terhadap kekuatan pada campuran aspal, berdasarkan nilai yang didapatkan pada parameter kekuatan dalam penggunaan metode bertahap berpengaruh lebih baik dibanding metode konvensional,hal ini dapat dilihat pada nilai Stabilitas,

			karakteristik *marshall*.	2018 meskipun nilai tidak stabil atau naik turun.	*MQ, ITS,* dan *Cantrabro Loss* lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, Hal ini mampu membuat campuran lebih lentur dan mampu menahan beban dengan baik.

Sumber : Bancin (2021), Handayani dan Putri (2023), Nurman dan Lisman (2022)

Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penulis			
		Utomo (2017)	Arifiardi (2016)	Syammaun (2020)	Penulis (2025)
1.	Judul	Pengaruh Penggunaan Pasir Besi Sebagai *Subtitusi* Agregat Halus dan Aspal *Modifikasi Starbit* E-55 Pada Campuran *Laston AC-WC*	Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Carita Sebagai Campuran Agregat Halus Pada Lapisan Permukaan Aspal Beton Terhadap Persyaratan Parameter *Marshall*	Pengaruh Substitusi *Styrofoam* Pada Campuran Aspal Porus dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai *Filler*	Pengaruh subtitusi *filler* serbuk besi terhadap karakteristik campuran *hot rolled asphalt* (hra) dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap (*the effect of iron powder filler substitution on the characteristics of hot rolled asphalt (hra) mixtures using conventional mixing methods and staged mixing method*)

Sumber : Utomo (2017), Arifiardi (2016), Syammaun (2020)

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penulis			
		Utomo (2017)	Arifiardi (2016)	Syammaun (2020)	Penulis (2025)
2.	Jenis Campuran	*AC-WC*	*AC-WC*	Aspal Porus	*Hot Roller Asphalt (HRA)*
3.	Bahan Campuran Yang Digunakan	Pasir Besi	Pasir Pantai	Serbuk Arang Tempurung Kelapa	Serbuk Besi
4.	Pengujian	Pengujian *Marshall* dengan dibandingkan dengan campuran perkerasan jalan yang menggunakan pasir progo dengan menggunakan aspal Pertamina Penetrasi 60/70	Karakteristik *Marshall*	*cantabro loss, asphalt flow down, void in mix*	*Marshall Standard, IRS, ITS, TSR,* dan *Cantabro loss*

Sumber : Utomo (2017), Arifiardi (2016), Syammaun (2020)

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penulis			
		Utomo (2017)	Arifiardi (2016)	Syammaun (2020)	Penulis (2025)
5.	Hasil	Hasil ini menunjukaan bahwa nilai kelelehan (*flow*) untuk pasir besi lebih rendah dari pada menggunakan pasir progo. Setelah melakukan serangkaian percobaan di laboraturium perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan pasir besi sebagai campuran agregat halus pada perkerasan jalan,	hasil pengujian penggunaan campuran pasir pantai 100% memenuhi persyaratan aliran (3,10 mm), *VMA* (17,01%), *VFB* (65,56%), dan *VIM* (5,49%). Tapi itu tidak memenuhi syarat persyaratan stabilitas (678,65 kg) dan *MQ* (218,92 kg / mm).	Hasil pengujian menunjukkan nilai *VIM* semakin menurun, semakin besar substitusi *styrofoam* dan serbuk arang tempurung kelapa maka semakin kecil nilai pori-pori udara dalam campuran karena telah diisi oleh aspal dan mineral halus lainnya.	Hasil penelitian menunjukan bahwa metode bertahap dengan menggunakan subtitusi *filler* serbuk besi lebih baik dibandingan meotode konvensional terhadap kekuatan pada campuran aspal, berdasarkan nilai yang didapatkan pada parameter kekuatan dalam penggunaan metode bertahap

					berpengaruh lebih baik dibanding metode konvensional,hal ini dapat dilihat pada nilai Stabilitas, *MQ, ITS,* dan *Cantrabro Loss* lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, Hal ini mampu membuat campuran lebih lentur dan mampu menahan beban dengan baik.

Sumber : Utomo (2017), Arifiardi (2016), Syammaun (2020)

Tabel 2.3 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penulis			
		Rosyad dan Ardian (2019)	Adibroto (2014)	Lalamentik (2016)	Penulis (2025)
1.	Judul	Analisis Pengaruh Pengganti *Filler* Dengan Abu Serbuk Kayu Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal *AC-WC*	Studi Pemanfaatan Abu Tanah Liat Bakar Asal Gunung Sarik Padang Sebagai *Filler* Pada Campuran *Hot Rolled Sheet (HRS) – WC*	Penggunaan *Mikro* Asbuton Sebagai Bahan Pengisi *(Filler)* Terhadap *Durabilitas* Campuran *Hot Roller Asphalt (HRA)*	Pengaruh subtitusi *filler* serbuk besi terhadap karakteristik campuran *hot rolled asphalt* (*HRA*) dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap (*the effect of iron powder filler substitution on the characteristics of hot rolled asphalt (HRA) mixtures using conventional mixing methods and staged mixing method*)

Sumber : Rosyad dan Ardian (2019), Adibroto (2014), Lalamentik (2016)

Lanjutan Tabel 2.3 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi Filler pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penulis			
		Rosyad dan Ardian (2019)	Adibroto (2014)	Lalamentik (2016)	Penulis (2025)
2.	Jenis Campuran	*AC-WC*	*HRS-WC*	*HRA*	*Hot Roller Asphalt (HRA)*
3.	Bahan Campuran Yang Digunakan	Abu Serbuk Kayu	Abu Tanah Liat	Mikro Asbuton	Serbuk Besi
4.	Pengujian	Parameter *Marshall*	Menganalisis Sifat *Marshall*	*Durabilitas*	*Marshall Standard, IRS, ITS, TSR,* dan *Cantabro loss*
5.	Hasil	*presentase* abu serbuk kayu dengan *presentase* 0%, 2%, 4%, 6%, dan 8% nilai tertinggi stabilitas sebesar 1185 kg.	substitusi bahan pengisi standar dengan mineral lempung Gunung sifat *Marshall* lainnya seperti *Densitas*, *VIM*, *VMA*, dan Aliran.	hasil pengujian yang didapat tidak terlalu jauh bila dibandingkan dengan hasil yang dicapai campuran dengan *filler* semen.	Hasil penelitian menunjukan bahwa metode bertahap dengan menggunakan subtitusi *filler* serbuk besi lebih baik dibandingan meotode konvensional terhadap kekuatan pada campuran

					aspal, berdasarkan nilai yang didapatkan pada parameter kekuatan dalam penggunaan metode bertahap berpengaruh lebih baik dibanding metode konvensional,hal ini dapat dilihat pada nilai Stabilitas, *MQ, ITS,* dan *Cantrabro Loss* lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, Hal ini mampu membuat campuran lebih lentur dan mampu menahan beban dengan baik.

Sumber : Rosyad dan Ardian (2019), Adibroto (2014), Lalamentik (2016)

Tabel 2.4 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penulis			
		Kusdiyanto dan Laksono (2000)	Susanto (2020)	Perkasa (2012)	Penulis (2025)
1.	Judul	Penelitian Pengaruh Lama Pemeraman *Asbuton* Menggunakan *Flux* Butas Buatan sebagai Bahan Peremaja terhadap *HRA* dengan Campuran Secara Dingin	Perbandingan Karakteristik Pengujian *Marshall* Campuran Aspal Beton dengan *Filler* Pasir Besi dan Abu Batu	Pengaruh suhu pemadatan terhadap *indeks workabilitas* campuran *HRA* (*hot rolled asphalt*) menggunakan *filler* abu *vulkanik* gunung merapi	Pengaruh subtitusi *filler* serbuk besi terhadap karakteristik campuran *hot rolled asphalt* (*HRA*) dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap (*the effect of iron powder filler substitution on the characteristics of hot rolled asphalt (HRA) mixtures using conventional mixing methods and staged mixing method*)

Sumber : Kusdiyanto dan Kusdiyanto dan Laksono (2000), Susanto (2020), Perkasa (2012).

Lanjutan Tabel 2.4 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penulis			
		Kusdiyanto dan Laksono (2000)	Susanto (2020)	Perkasa (2012)	Penulis (2025)
2.	Jenis Campuran	*HRA*	*AC-WC*	*HRA*	*Hot Roller Asphalt (HRA)*
3.	Bahan Campuran yang Dipakai	*Flux*	Pasir Besi	Abu *Vulkanik*	Serbuk Besi
4.	Pengujian	*Marshall*	Karakteristik *Marshall*	Indeks *Workabilitas*	*Marshall Standard, IRS, ITS, TSR,* dan *Cantabro loss*
5.	Hasil	Hasil analisis secara keseluruhan terhadap sifat *Marshall* campuran *HRA* dapat disimpulkan bahwa nilai optimum diperoleh pada lama pemeraman hari ke- 12.	Dari hasil penelitian diketahui bahwa berat jenis campuran *filler* pasir besi lebih tinggi dibandingkan dengan abu batu.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran *hot rolled asphalt* menggunakan *filler* abu *vulkanik* Gunung Merapi bersifat *workable*	Hasil penelitian menunjukan bahwa metode bertahap dengan menggunakan subtitusi *filler* serbuk besi lebih baik dibandingan meotode konvensional terhadap

				karena memiliki nilai Indeks *Workabilitas* di atas 6.	kekuatan pada campuran aspal, berdasarkan nilai yang didapatkan pada parameter kekuatan dalam penggunaan metode bertahap berpengaruh lebih baik dibanding metode konvensional,hal ini dapat dilihat pada nilai Stabilitas, *MQ, ITS,* dan *Cantrabro Loss* lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, Hal ini mampu membuat campuran lebih lentur dan mampu menahan beban dengan baik.

Sumber : Kusdiyanto dan Laksono (2000), Susanto (2020), Perkasa (2012).

Tabel 2.5 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penulis			
		Sugiyanto (2008)	Susanto (2020)	Wijaya (2023)	Penulis (2025)
1.	Judul	Kajian Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt* Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas	Pengaruh Penggunaan *Filler* Pasir Besi dan Semen Dalam Campuran *AC-WC*	Penggunaan Abu Batu Karang Sebagai *Filler* dan Pasir Besi Sebagai Agregat Halus Terhadap Parameter *Marshall* pada Campuran *AC-BC*	Pengaruh subtitusi *filler* serbuk besi terhadap karakteristik campuran *hot rolled asphalt* (*HRA*) dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap (*the effect of iron powder filler substitution on the characteristics of hot rolled asphalt (HRA) mixtures using conventional mixing methods and staged mixing method*)
2.	Jenis Campuran	*HRA*	*AC-WC*	*AC-BC*	*Hot Roller Asphalt (HRA)*

Sumber : Sugianto (2008), Susanto (2020), Wijaya (2023)

Lanjutan Tabel 2.5 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penulis			
		Gito Sugiyanto (2008)	Susanto (2020)	Putra Wijaya (2023)	Penulis (2025)
3.	Bahan Campuran yang Dipakai	Serbuk Ban Bekas	Pasir Besi dan Semen	Pasir Besi dan Abu Batu Karang	Serbuk Besi
4.	Pengujian	menganalisis karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*	*Marshall*	Parameter *Marshall*	*Marshall Standard, IRS, ITS, TSR,* dan *Cantabro loss*
5.	Hasil	Hasil pengujian *Marshall Immersion* menunjukkan indeks perendaman campuran *hot rolled asphalt* dengan 50% serbuk ban	Hasil pengujian menunjukan bahwa pasir besi dapat digunakan sebagai *filler* dalam campuran *AC-WC.*	variasi II sebesar 67,36 %. Nilai *VIM* maksimum pada variasi II sebesar 6,28 % sedangkan nilai minimum pada variasi IV sebesar -	Hasil penelitian menunjukan bahwa metode bertahap dengan menggunakan subtitusi *filler* serbuk besi lebih baik dibandingan meotode konvensional

		bekas sebagai pengganti sebagian agregat.		1,01%. Nilai minimum pada variasi IV sebesar -1,01%.	terhadap kekuatan pada campuran aspal, berdasarkan nilai yang didapatkan pada parameter kekuatan dalam penggunaan metode bertahap berpengaruh lebih baik dibanding metode konvensional,hal ini dapat dilihat pada nilai Stabilitas, *MQ, ITS,* dan *Cantrabro Loss* lebih tinggi dibandingkan metode konvensional, Hal ini mampu membuat campuran lebih lentur dan mampu menahan beban dengan baik.

Sumber : Sugianto (2008), Susanto (2020), Wijaya (2023)

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Struktur pekerasan jalan merupakan lapisan pekerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang dimana berfungsi sebagai pemberi akses layanan masyarakat berupa trasportasi. Fungsi dari Pekerasan jalan menurut sukirman (2010) adalah sebagai penerima beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan. Oleh karena itu struktur perkerasan perlu memiliki *stabilitas* yang tinggi, kokoh selama masa pelayanan jalan dan tahan terhadap pengaruh lingkungan dan atau cuaca. Kelelahan (*fatigue resistance*), kerusakan perkerasan akibat berkurangnya kekokohan jalan seperti retak (*craking*), lendutan sepanjang lintasan kendaraan (*rutting*), bergelombang, dan atau berlubang, tidak dikehendaki terjadi pada perkerasan jalan.Secara umum beton dibedakan ke dalam 2 kelompok menurut Mulyono (2006) sebagai berikut.

Pada pekerasan jalan, dibagi menjadi 2 jenis pekerasan jalan yaitu pekerasan kaku (*Rigid Pavement*) dan pekerasan lentur (*flexible pavement*). Pada penelitian ini menggunakan pekerasan lentur (*flexible pavement*) yang menggunkan bahan ikat berupa aspal panas. Sedangkan campuran nya sendiri menggunakan campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) dimana pada campuran ini dikenal juga dengan campuran aspal gradasi senjang dengan mengacu pada *British Standard* (*BS*) yang berasal dari Inggris. Sedangkan metode pada penelitian ini menggunakan metode pencampuran bertahap dimana pada metode ini , tahapan pertama didasarkan pada Pencampuran antara agregat kasar dan aspal optimum, tahapan kedua mencampurkan agregat halus dan *Filler* pada campuran tersebut dengan jenis campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) *Type* C menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70.

3.2 Serbuk Besi

Serbuk besi menurut Daryus dalam Bahri & Irawan (2010) serbuk besi adalah hasil dari sisa potongan atau sisa pembubutan dari besi tuang/besi cor yang

merupakan hasil dari pemakaian di industri. Besi cor merupakan perpaduan antara unsur besi yang mengandung *carbon* (C), silikon (S), mangan (Mg), *posfor* (P) dan *sulfur* (S). Pada besi cor biasanya memiliki kandungan karbon sebesar 2 – 6,67% sedangkan pada baja memiliki kandungan karbon hanya sampai 2%. Semakin tinggi kadar karbon yang ada pada besi cor akan mengakibatkan besi cor menjadi rapuh dan getas. Terdapat 3 jenis besi tuang yang banyak digunakan yaitu besi tuang kelabu (*grey cast iron*), besi tuang ulet atau besi tuang nodular (*nodular cast iron*) dan besi tuang putih (*white cast iron*). Komposisi kimia yang dimiliki ketiga jenis besi tuang tersebut hampir sama.

Secara umum serbuk besi mengandung unsur kimia (Bahri S & Irawan D.A.S, 2010) seperti tertera pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Kandungan Kimia pada Serbuk Besi

Kandungan Kimia	Presentase %
Silikon (Si)	1-3
Carbon (C)	2 – 4
Mangan (Mn)	0,8
Fospor (P)	0,1
Sulfur (S)	0,05
Besi (Fe)	Sisa

Sumber : Bahri dan Irawan (2010)

3.3 *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*)

Hot Rolled Asphalt (*HRA*), adalah campuran yang mempunyai gradasi yang senjang (*gap graded*). Bahan penyusun campuran *HRA* terdiri dari agregat kasar, agregat haIus, *Filler* dan aspal dengan pemakaian agregat kasar antara 30% s.d 40%, dan memerlukan bahan ikat sampai dengan >5% lebih banyak dibandingkan aspal campuran. Hal ini yang menyebabkan ketahanan terhadap keausan lebih tinggi, lebih lentur, mempunyai *fleksibililas* yang tinggi dan kurang kaku atau kurang tahan terhadap deformasi.(imtihan,2004).

3.4 Karakteristik Material Penyusun *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*)

Penyusun utama suatu campuran aspal panas ada dua macam, yaitu agregat dan aspal. Namun dalam pemakaiannya aspal dan agregat bisa menjadi bermacam-macam tergantung metode dan kepentingan yang dituju.

3.4.1 Agregat

Agregat menurut sukirman (2003) didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat.Agregat sendiri merupakan bahan pada stuktur pekerasan jalan yang berfungsi sebagai penompang beban lalu lintas. Agregat sendiri terdiri dari 2 jenis agregat yaitu:

1. Agregat Kasar

Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butir lebih besar dari saringan No.4 (= 4,75 mm) dan lebih kecil dari ayakan 1½ inci (Bina marga,2020). Biasanya agregat kasar terdiri dari batu pecah atau berupa kerikil – kerikil. Penggunaan agregat kasar pada pekerasan jalan adalah untuk menstabilkan campuran dan memberi perlawanan gesekan pada lapisan permukaan jalan. Berikut ini merupakan persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Persyaratan Agregat Kasar

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

Sumber : Bina Marga (2020)

2. Agregat Halus

Agregat halus, adalah agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan No.4 (= 4,75 mm) dan maksimum yang lolos ayakan No.200 (=0,075 mm) adalah 10% (sukirman,2003). Fungsi dari agregat halus sendiri adalah mengunci agregat – agreagat kasar pada saat proses pencampuran. Selain itu bisa juga untuk menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci (*interlocking*) dan gesekan antar butiran. Berikut ini merupakan persyaratan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.3.Beton Berdasarkan Jenisnya

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 – 1997	Min 45
Gumpalan lempung dan butir – butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03 – 4141 – 1997	Maks 1
Agregat lolos ayakan no.200	SNI ASTM C177 : 2002	Maks 10

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4.2 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*Filler*), adalah bagian dari agregat halus yang lolos saringan No. 200 (= 0,075 mm) minimum 75% (sukirman,2003). Pada bina marga (2020) Berdasarkan SNI ASTM C136 : 2012 bahan pengisi (*Filler*) harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Fungsi dari *Filler* adalah Sebagai pengisi antara agregat yang lebih kasar, sehingga rongga udara menjadi lebih kecil dan menghasilkan tahanan gesek serta penguncian antar butir yang tinggi, dengan demikian akan meningkatkan stabilitas campuran.(Ator,2015)

3.4.3 Gradasi Agregat *Hot Rolled Asphalt*

Gradasi agregat adalah Susunan butiran agregat yang lolos saringan sesuai dengan nomor saringan tertentu. Dimana peninjauan ukuran butiran di dapatkan pada Pemeriksaan analisis saringan. Gradasi berdasarkan agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan.

Berikut ini merupakan persyaratan gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Batasan Gradasi Agregat Campuran *HRA* Tipe C *Designation* 30/14 Tebal 40 mm

Sieve (mm)	*Percent passing*			*% Retained Middle Gradation*
	Upper limit	*Lower Limit*	*Middle Limit*	
20 mm	100	100	100	0
14 mm	100	85	92,5	7,5
10 mm	90	60	75	17,5
6.30 mm	-	-	-	-
2 mm	72	60	66	9
0.5 mm	45	25	35	31
0.25 mm	40	15	27,5	7,5
0.063 mm	11	7	9	18,5
PAN				9

Sumber : *British Standar* (2005)

Tabel 3.5 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Lataston

Sifat -Sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Fondasi
Kadar aspal Efektif (%)	Min	5,9	5,5
Jumlah Tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%)(4)	Min.	3,0	
	Max.	5,0	
Rongga dalam agregat (*VMA*) (%)	Min.	17	17
Rongga terisi aspal (%)	Min.	68	
Stabilitas *Marshall*	Min.	600	

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4.4 Aspal

Aspal merupakan zat perekat material (*viscous cementitious material*), berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi. Selain itu Aspal juga merupakan material *termoplastis*, sehingga diperlukan informasi tentang konsistensi aspal yang menunjukkan tingkat kecairan semen aspal pada berbagai *temperature* (Sukirman,2003).

Aspal yang digunakan pada penelitian adalah aspal dengan pen 60/70. Berikut ini merupakan persyaratan aspal keras AC 60/70 dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.6 Persyaratan Asphal Keras *AC* 60/70

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

Sumber : Bina Marga (2020)

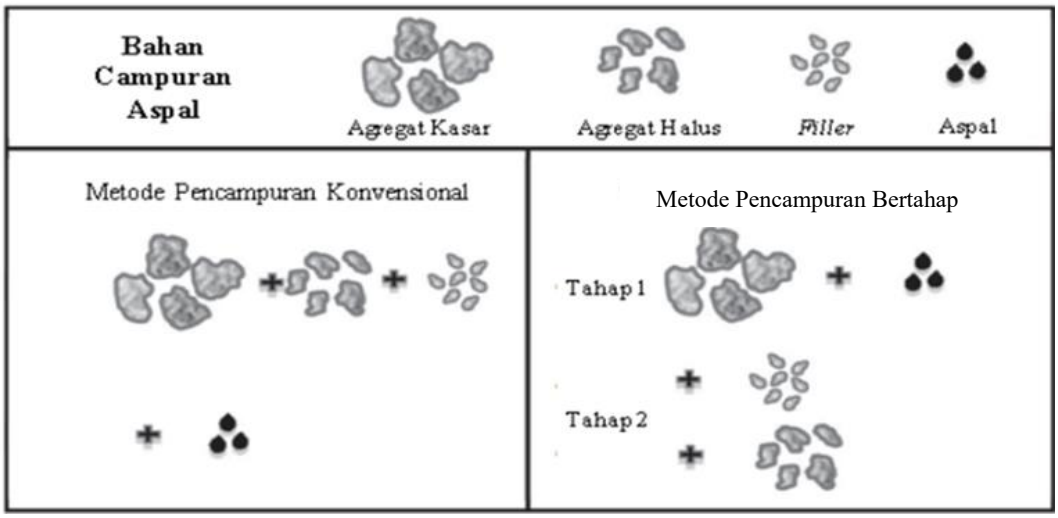
3.5 Metode Bertahap

Metode pencampuran bertahap merupakan upaya untuk meningkatkan kinerja campuran beton aspal dengan mengubah tahapan pencampuran aspal dengan agregat. Metode baru ini didasarkan pada *pre-coating* agregat kasar dengan bahan ikat aspal sesuai kadar aspal optimum kemudian dicampur dengan agregat halus dan *Filler* dengan tujuan memperkuat sifat *adhesi* aspal dengan agregat dan menurunkan kecendrungan pengelupasan agregat yang disebabkan oleh kelembaban dan dapat meminimalkan adanya debu atau kotoran yang dapat menurunkan kineja campuran beraspal (Kok dan Kologlu, 2011).

Campuran aspal yang dihasilkan dengan metode pencampuran bertahap menunjukkan distribusi rongga yang merata. Ini menandakan bahwa metode

pencampuran bertahap dapat lebih mudah dipadatkan. Campuran aspal yang dihasilkan dengan metode pencampuran bertahap memiliki ketahanan yang lebih terhadap deformasi permanen dan memiliki kekuatan tarik tidak langsung yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.

Ilustrasi proses metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Ilustrasi Proses Metode Pencampuran Konvensional dan Pencampuran Metode Bertahap
(Sumber : Hesami.dkk 2015)

3.6 Karakteristik Campuran Lapisan Perkerasan Jalan

Karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* adalah sebagai berikut.

3.6.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang dan alur yang dinyatakan dalam satuan kg. Nilai stabilitas yang tinggi menunjukkan bahwa perkerasan tersebut mampu menahan beban lalu lintas yang besar. Nilai stabilitas ini ditentukan oleh beberapa hal diantaranya adalah bentuk agregat, kekasaran permukaan agregat, dan jenis gradasi agregat, yang kemudian menjadi nama jenis campuran perkerasan tertentu dan oleh sifat bahan ikat aspalnya.

3.6.2 Daya tahan (*durability*)

Daya tahan atau *durability* adalah kemampuan aspal menerima beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dengan

permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim (udara, air, dan perubahan *temperature*). Nilai *Void Filled With Asphalt* (*VFWA*) yang besar menunjukkan banyak rongga yang terisi oleh aspal, sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi tinggi (baik). Sebaliknya, nilai *Void Filled With Asphalt* (*VFWA*) yang terlalu kecil, berarti *Void In the Total Mix* (*VITM*) terlalu besar, tidak saja mengakibatkan stablitas rendah namun dapat pula menurunkan kekedapan terhadap air dan meningkatkan oksidasi yang selanjutnaya aspal akan mudah mengeras (*hardening*) dan tidak awet (durabilitas menurun).

3.6.3 Kelenturan (*Felxibility*)

Kelenturan atau *Flexibility* adalah kemampuan lapisan pekerasan dalam menyesuaikan perubahan yang terjadi akibat beban kendaraan yang melintas secara berulang – ulang. Faktor-faktor yang mempengaruhi kelenturan atau *Flexibilitty* adalah gradasi campuran, kadar aspal, bentuk agregat dan temperatur pemadatan. Kelenturan atau *Flexibility* menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis konstruksi perkerasan pada beban runtuh.

3.6.4 Ketahanan terhadap kelelehan (*fatigue resistance*)

Ketahan terhadap Kelelahan atau *Fatigue Resistance* adalah kemampuan pekerasan dalam menahan beban kendaraan yang melintas secara berulang – ulang tanpa mengalami kerusakan berupa retak (*Cracking*) dan lain sebagain nya pada lapisan permukaan. Nilai *Fatigue Resistance* dapat ditingkatkan dengan cara sebagai berikut:

1. memperkecil nilai *VITM* dengan cara memperbesar kadar aspal yang terdapat pada campuran sehingga kelelahan atau *Fatigue Resistance* lebih kecil.
2. Sebalik nya kalau nilai *VITM* lebih besar sehingga nilai *VFWA* lebih kecil maka berpotensi menyebabkan kerusakan/ kelelahan lebih cepat

3.6.5 Ketahanan Terhadap Gaya Geser (*Skid Resistance*)

Kekesatan atau ketahan terhadap gaya geser (*Skid Resistance*) adalah kemampuan untuk dapat memberikan tahanan gesek yang cukup sehingga roda kendaraan tidak tergelincir akibat pengereman tertentu dan di daerah tikungan

terutama pada saat kondisi permukaan jalan dalam kondisi basah. Faktor – factor yang mempengaruhi kekesatan adalah sebagai berikut :

1. Lapisan permukaan yang cenderung kasar
2. Ukuran butiran agregat yang digunakan pada saat pencampuran
3. Kepadatan pada campuran

3.7 Parameter Pengujian *Marshall*

Pengujian dengan menggunakan metode *Marshall* adalah pengujian dengan menggunakan alat *marshall* pengujian ini untuk mengetahui nilai stabilitas (*Stability*), kelelehan (*Flow*), kepadatan (*Density*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), dan *MQ* (*Marshall Quotient*).

3.7.1 Pengujian Stabilitas

Pengujian stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, dan *flowmeter* mengukur besarnya kelelehan yang terjadi akibat beban. Untuk mendapatkan suhu benda uji sesuai dengan suhu terpanas dilapangan, maka sebelum dilakukan pengujian, benda uji dipanaskan terlebih dahulu selama 30 atau 40 menit dengan temperatur 60 oC di dalam *water bath* (Sukirman,2003). Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan Persamaan 3.1 nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.Agregat halus adalah agregat yang terbuat dari penghancuran agregat kasar atau murni dari alam. Agregat halus mempunyai peran penting sebagai pembentuk beton dalam pengendalian *workability*, kekuatan (*strength*), dan keawetan (*durability*). Pasir sebagai agregat halus harus memenuhi gradasi dan persyaratan yang telah ditentukan.

$$q = p \; x \; r \qquad (3.1)$$

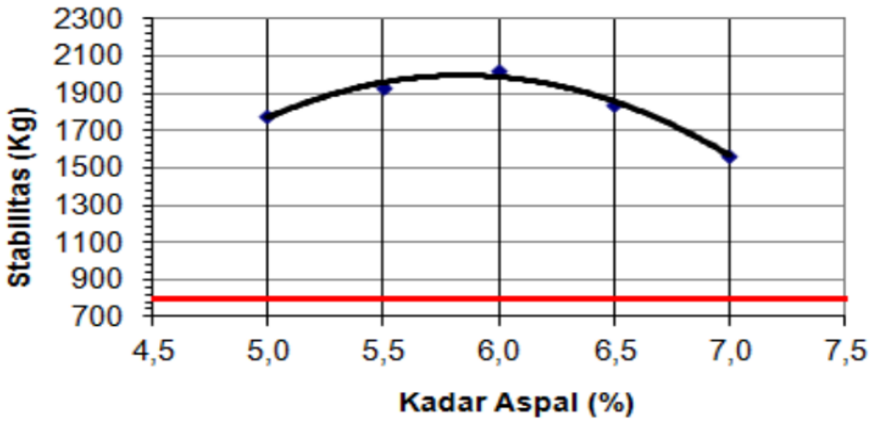
Keterangan :

$q =$ angka stabilitas,

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

$r =$ angka koreksi tebal benda uji.

Garafik Hubungan Antara kadar asphalt dan nilai stabilitasnya dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 3.2 Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas
(Sumber : Sukirman, 2003)

3.7.2 Kepadatan (*Density*)

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan tertentu antara agregat dan aspal yang dinyatakan dalam satuan g/cc. Nilai kepadatan ini juga menunjukkan kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai density suatu campuan maka campuran semakin rapat/padat. Nilai *density* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai density dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.

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

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

Keterangan :

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

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

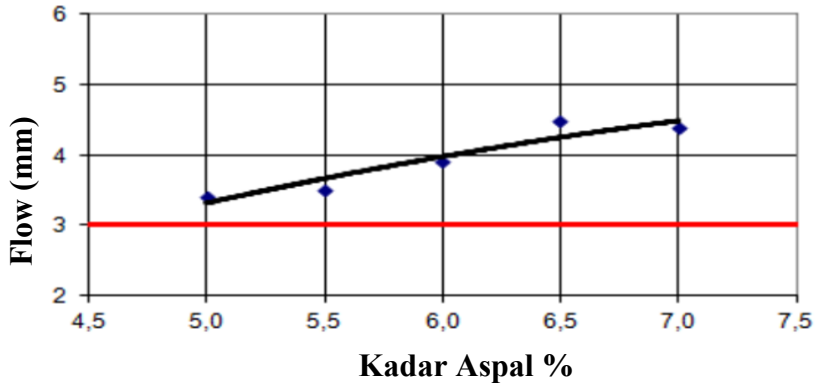
d = berat benda uji dalam keadaan jenuh / *SSD* (gr),

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume / isi (cm^3).

3.7.3 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan plastis (*flow*) adalah keadaan perubahan bentuk secara diametral suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan Panjang (mm). Semakin besar kadar bitumen pada suatu jenis campuran akan semakin besar nilai *flow*-nya. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *flow* adalah gradasi campuran, kadar aspal, bentuk agregat dan temperatur pemadatan. Nilai kelelehan banyak dipengaruhi oleh kadar dan *viskositas* aspal, gradasi agregat, dan pemadatan. Nilai kelelehan meningkat seiring dengan peningkatan aspal, sehingga mengurangi gesekan antar agregat yang disebabkan selimut aspal yang lebih tebal. Adapun grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai kelelehan dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow*
(Sumber : Sukirman, 2003)

3.7.4 Pengujian Jenis Volume Pori

Menurut Sukirman (2003), sifat *volumetrik* aspal padat dapat diketahui dari parameter – parameter yang di gunakan. Diantara parameter yang gunakan adalah V_{mb}, *VMA, VITM, VFWA.*

1. Volume *Bulk* (V_{mb})

a. Berat jenis *bulk* beton aspal padat (Gmb)

Berat jenis *bulk* beton aspal padat dapat diukur dengan mempergunakan hukum *Archimedes*, yaitu:

$$\text{Gmb} = \frac{Bk}{Bssd - Ba} \qquad (3.4)$$

Keterangan :

Gmb = 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),

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

b. Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan (Gmm)

Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa pori/ udara, yang didapatkan dari penelitian di laboratorium menggunakan prosedur AASHTO T209-90. Nilai Gmm dapat diperoleh dari Persamaan 3.5

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

Keterangan :

Gmm = 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,

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

2. *Void Mineral Agregate* (*VMA*)

VMA adalah rongga udara di antara agregat dalam campuran agregat dan aspal yang sudah dipadatkan termasuk rongga yang terisi aspal, dinyatakan dalam persentase rongga terhadap volume total campuran agregat dan aspal. *VMA* memperlihatkan jarak antara agregat pada kondisi tertentu. Makin besar *VMA* maka menunjukkan kerenggangan antar butir agregat. Nilai *VMA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.6

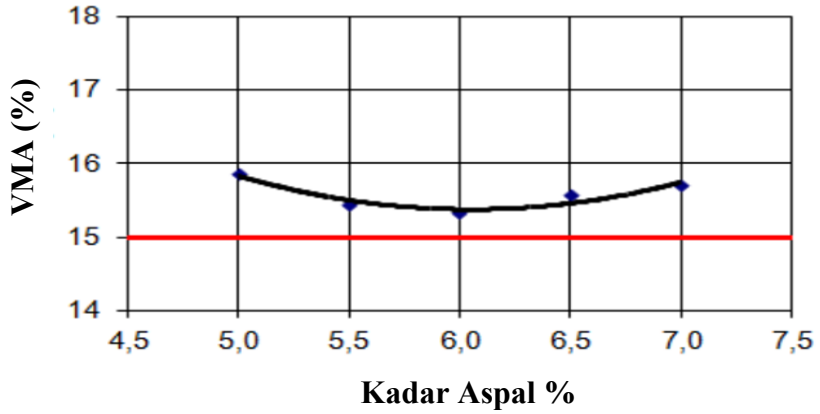
$$VMA = 100 - \frac{\text{Gmb } x \text{ Ps}}{\text{Gsb}} \quad (3.6)$$

Keterangan :

Gmb = berat jenis bulk campuran = berat total campuran (sampel) : volume bulk campuran termasuk pori/voids.

Ps = Persentase berat agregat terhadap berat campuran

Gsb = berat jenis bulk agregat.



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA*
(Sumber: Sukirman 2002)

3. *Void In Total Mix* (*VITM*)

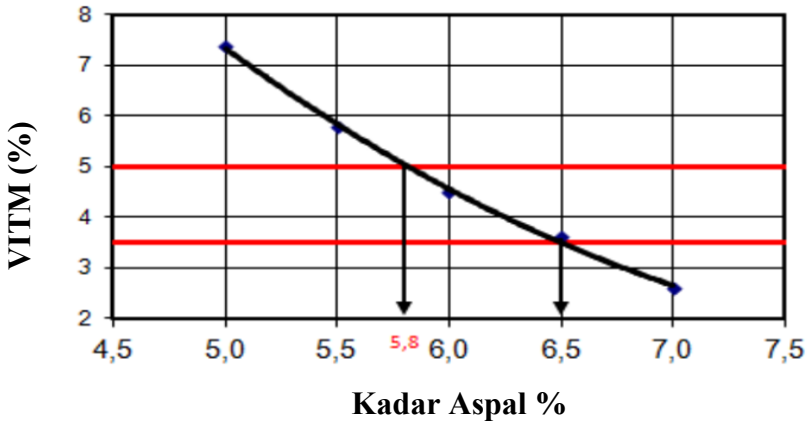
VITM adalah persentase rongga yang ada pada suatu campuran diukur terhadap volume total campuran. Besarnya dipengaruhi oleh bentuk agregat, gradasi agregat, temperatur pemadatan, energi pemadatan dan jenis aspal. Nilai *VITM* juga berpengaruh terhadap kekedapan campuran terhadap air. Nilai *VITM* dapat diperoleh dari persamaan 3.7.

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

Keterangan :

Gmb = berat jenis bulk campuran = berat total campuran (sampel) : volume *bulk* campuran termasuk pori/*voids*.

Gmm = berat jenis bulk dari beton aspal padat.



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM*
(Sumber: Sukirman, 2003)

4. *Void Filled With Asphalt* (*VFWA*)

Nilai *VFWA* menunjukkan banyaknya persen rongga yang terisi oleh aspal. Nilai *VFWA* yang besar menunjukkan banyak rongga yang terisi oleh aspal, sehingga kekedapan campuran terhadap udara dan air menjadi tinggi (baik). Sebaliknya, nilai *VFWA* yang terlalu kecil, berarti *VITM* terlalu besar, tidak saja mengakibatkan stablitas rendah namun dapat pula menurunkan kekedapan terhadap air dan meningkatkan oksidasi yang selanjutnya aspal akan mudah mengeras (hardening) dan tidak awet (durabilitas menurun). Nilai *VFWA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.8.

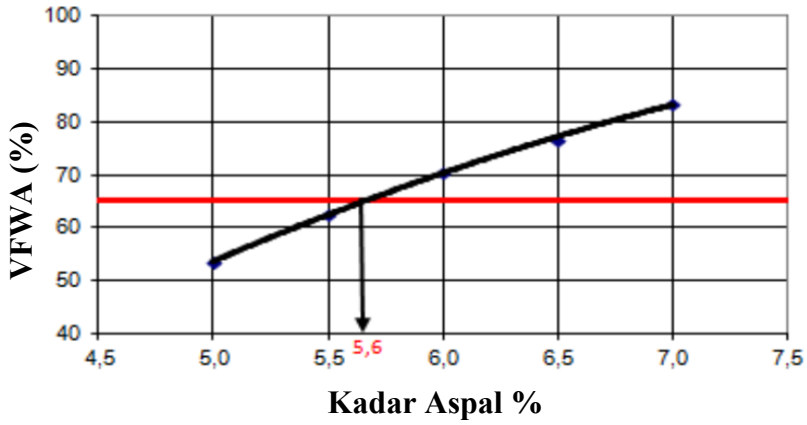
$$VFWA = \frac{100\ (VMA - VITM)}{VMA} \qquad (3.8)$$

Keterangan :

VFWA = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal, % dari *VMA*,

VMA = volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat,

VITM = volume pori dalam beton aspal padat, % dari volume *bulk* beton aspal padat.



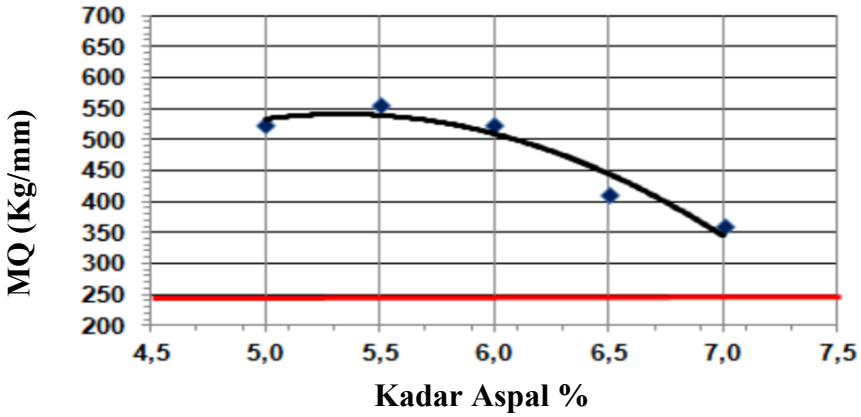
Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA*

(Sumber: Sukirman, 2003)

5. *Marshalla Quotient* (*MQ*)

Nilai *MQ* merupakan hasil bagi antara stabilitas dan *flow* biasa dipakai sebagai pendekatan untuk mengukur tingkat fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Semakin rendah nilai *MQ* campuran semakin tinggi nilai fleksibilitasnya. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.9.

$$MQ = \frac{nilai\ stabilitas}{nilai\ flow} \qquad (3.9)$$



Gambar 3.7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *MQ*

(Sumber: Sukirman, 2003)

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

Immersion Test atau *Index of Retained Strength* (*IRS*) merupakan metode pengujian yang bertujuan untuk mengevaluasi perubahan karakteristik campuran akibat paparan air, suhu, dan kondisi cuaca. Dalam *Immersion Test*, perendaman

benda uji dilakukan dalam dua kondisi berbeda, yaitu perendaman dalam *water bath* pada suhu 60°C selama 30 menit untuk mengukur stabilitas standar, serta perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam untuk mengukur stabilitas setelah perendaman.

Pengujian *Index of Retained Strength* (*IRS*) berfungsi untuk menentukan nilai stabilitas *Marshall* sisa, yang digunakan sebagai indikator ketahanan campuran terhadap degradasi akibat pengaruh air. Nilai *IRS* ini dihitung berdasarkan formula yang tercantum dalam Persamaan 3.10 berikut.

$$IRS = \frac{S2}{S1} X\ 100 \quad (3.10)$$

Keterangan :

S1 = rerata nilai dari stabilitas *Marshall* setelah perendalam 30 menit,

S2 = rerata nilai dari stabilitas *Marshall* setelah perendaamn 24 jam.

3.9 Pengujian *Tensile Strength Ratio* (*TSR*)

Nilai *TSR* diperoleh dari perbandingan antara nilai daya tahan Tarik campuran setelah direndam selama 24 jam pada waterbath dengan suhu 60°C dengan nilai daya tahan tarik tanpa rendaman yang kemudian dikalikan dengan 100. Sehingga didapatkan Persamaan 3.10 sebagai berikut.

$$TSR = \frac{T2}{T1} X\ 100 \quad (3.10)$$

Keterangan :

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

T2 = rata-rata nilai ITS setelah perendaman.

3.10 Indeks Durabilitas Pertama

Indeks durabilitas pertama merupakan nilai jumlah kelandaian yang berurut dari kurva durabilitas. Indeks durabilitas pertama dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.11 berikut.

$$\text{IDP (r)} = \sum_{1-0}^{n-1} \frac{si-(si+1)}{(t1+1)-1}\ x\ 100 \quad (3.11)$$

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 (dari awal pengujian).

Nilai ‘r’ yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai ‘r’ yang bernilai negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

3.11 Indeks Durabilitas Kedua

Indeks durabilitas kedua merupakan nilai luas kehilangan kekuatan rata- rata antara durabilitas dengan garis S0 = 100%.Nilai indeks durabilitas Kedua dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.12 berikut.

$$\text{IDK (a)} = \frac{1}{2tn} \sum_{1-0}^{n-1} (si - (si + 1)[2tn + (ti + (ti + 1))] \quad (3.12)$$

Keterangan :

a = Total kehilangan kekuatan rerata satu hari (%)

tn = Total waktu rendaman (jam)

si = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti (%)

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

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

3.12 *Cantabro Loss*

Pengujian *Cantabro Loss* bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran dalam mempertahankan bentuk dan berat campuran dari keausan akibat dari repetisi beban yang diuji menggunakan mesin *Loss Angeles.* Pengujian ini juga merupakan salah satu parameter dalam menentukan KAO aspal porus seperti yang disyaratkan oleh *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) yaitu kurang dari 35%. Tujuannya agar dapat mengetahui apakah campuran ini dapat menahan beban yang dilintasi secara berulang-ulang. Dalam pengujian ini didiamkan terlebih dahulu selama 48 jam dengan suhu ruang minimal 6 jam sebelum dilakukan pengujian. Benda uji terlebih dahulu dilakukan penimbangan sebelum dimasukan kedalam mesin *Los Angeles* untuk mendapatkan berat sebelum dilakukan pengujian. Lalu benda uji dimasukan kedalam mesin *Los Angeles* tanpa adanya bola baja. Kemudian nyalakan mesin dan putar sebanyak 300 kali putaran. Setelah selesai ambil benda

uji lalu timbang berat setelah abrasi (Mi). Untuk nilai *Cantabro Loss* dapat dilihat pada Persamaan (3.13).

$$L = \frac{mo-mi}{mo} x100\% \quad (3.15)$$

Keterangan :

L = persentase kehilangan berat (%)

mo = berat sebelum abrasi (gr), dan

mi = berat sesudah asbrasi (gr).

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah prosedur atau langkah-langkah dalam mendapatkan data – data yang kemudian di olah kembali sehingga mendapatkan pengetahuan ilmiah atau ilmu terbaru. Pada penelitian ini Metode penelitian yang digunakan adalah metode *eksperimental*, yaitu metode yang dilakukan dengan mengadakan kegiatan percobaan di laboratorium yang betujuan untuk mendapatkan data. Data tersebut kemudian diolah untuk mendapatkan suatu hasil perbandingan dengan syarat-syarat atau standar spesifikasi yang ada. Persyaratan dan prosedur yang digunakan mengacu kepada peraturan *British Standard* (*BS*), Standar Nasional Indonesia (SNI), dan bina marga.

4.2 Metode Pengambilan Benda Uji

Metode pengambilan sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah *Non Probability* sampling, yaitu jenis benda uji tidak dipilih secara acak. sampling yang digunakan adalah *purposive* sampling, yaitu benda uji yang diambil berdasarkan tujuan yang ditentukan dari awal penelitian. Pada penelitian ini menggunakan *filler* serbuk besi yang didapatkan dari sebuah limbah dari suatu industri, aspal yang digunakan untuk pembuatan benda uji ini adalah Pertamina Pen 60/70.

4.3 Metode Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan selama pengujian. Untuk mempermudah pengambilan data, maka dilakukan pengelompokan benda uji sehingga didapatkan data berupa nilai *stabilitas, flow*, *MQ, VMA, VMA, VFWA,* nilai *ITS,* nilai *TSR,* nilai *IRS*, nilai *IDP,* nilai *IDK,* dan nilai *Cantabro Loss.*

4.4 Tahap Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tahapan penelitian ini meliputi persiapan material, pemeriksaan material, persiapan alat,

pembuatan benda uji, *Marshall Test, Indirect Tensile Strength Test* (*ITS*), *Tensile Strenght Ratio* (*TSR*), *Indeks of Retained Strenght* (*IRS*), dan *Cantabro Loss*. Tahapan untuk penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

4.4.1 Persiapan Material

Pemeriksaan material penelitian dilakukan untuk mengetahui layak atau tidaknya dari suatu material yang didasarkan pada spesifikasi yang digunakan. Spesifikasi nilai yang digunakan mengacu pada *British Standard* (*BS*) dan Standar Nasional Indonesia (SNI), dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2020. Material yang dilakukan pemeriksaan untuk campuran *Hot Rolled Asphalt* adalah agregat, aspal, dan *filler*. Pengujian untuk agregat dan aspal adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Agregat
    a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969:2016 Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis semu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), dan angka penyerapan air.
    b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 1970:2016 Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis semu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (*SSD*), dan angka penyerapan air.
    c. Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal mengacu pada SNI 2439:2011 Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelekatan agregat terhadap aspal.
    d. Pengujian *Sand Equivalent* mengacu pada SNI 03-4428-1997 Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur atau debu maupun bahan lempung pada agregat halus.
    e. Pengujian abrasi pada mesin *Los Angeles* mengacu pada SNI 2417:2008 Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat kasar akibat keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*.
    f. Pengujian analisis saringan mengacu pada SNI ASTM C136-2012 Pengujian ini menggunakan satu set saringan yang bertujuan untuk menentukan gradasi agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

2. Pengujian Asphal

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

a. Pengujian berat jenis aspal mengacu pada SNI 2441:2011 Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis aspal yang akan digunakan.
b. Pengujian daktilitas mengacu pada SNI 2432:2011 Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kohesi dan kelenturan aspal. Pada pengujian ini dilakukan pada suhu 25°C dengan meletakkan aspal pada dua cetakan berbeda kemudian aspal ditarik dengan kecepatan 50 mm/menit, lalu diukur jarak terpanjang aspal sebelum aspal putus maka kita dapat melakukan pengukuran nilai daktilitasnya.
c. Pengujian penetrasi mengacu pada SNI 2456:2011 Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan bitumen dengan menggunakan jarum berukuran 0,1 mm, beban, dan waktu tertentu pada suhu tertentu.
d. Pengujian kelarutan pada *Trichlor Ethylen* (*TCE*) mengacu pada ASTM D2042 Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelarutan aspal dengan menggunakan larutan *TCE* sehingga dapat diketahui nilai kemurnian aspal tersebut.
e. Pengujian titik nyala dan bakar mengacu pada SNI 2433:2011 Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui suhu dari aspal ketika terjadi nyala singkat diatas permukaan aspal (titik nyala) dan aspal terbakar sekitar 5 detik pada suatu titik (titik bakar).
f. Pengujian titik lembek mengacu pada SNI 2434:2011 Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui titik lembek aspal yang nilainya berkisar di antara 30°C sampai 200°C.

3. Pengujian *Filler*

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

4.4.2 Persiapan Alat

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

1. Seperangkat alat pengujian agregat, seperti satu set analisa saringan, mesin *Los Angeles,* tabung *sand equivalent*, dan *vibrator*.
2. Seperangkat alat pengujian aspal seperti alat uji daktilitas, penetrasi, kelarutan aspal, titik nyala, titik bakar, dan titik lembek.
3. Cetakan benda uji (*mold*) dengan diameter 10 cm dengan tinggi 7,5 cm.
4. Alat pengujian *Marshall,* sebagai berikut.
   a) Cincin penguji berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg.
   b) Kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*).
   c) Arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm.
   d) Arloji penunjuk *flow* dengan ketelitian 0,25 mm beserta perlengkapannya.
5. Alat penumbuk benda uji dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuhan beban 45,7 cm bernama *compactor*.
6. Alat untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan bernama *ejector*.
7. Timbangan berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gr dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr yang dilengkapi penggantung.
8. Bak perendam (*waterbath*) yang digunakan untuk merendam benda uji sebelum dilakukan pengujian dilengkapi pengatur suhu minimum 20°C.
9. Oven digunakan untuk memanaskan benda uji dengan pengatur suhu sampai (200±3) °C.
10. Alat uji *ITS* dan *TSR* yang meliputi sebagai berikut.
    a) Alat ukur tekan dengan lebar 0,5 inchi.
    b) Arloji stabilitas dan *flow* dengan ketelitian 0,25 mm.
    c) Peralatan penunjang lain selama proses penelitian seperti kompor, *Thermometer*, spatula, wajan, gelas ukur, nampan, bak plastik, kain lap, jangka sorong, dan lainnya.

4.4.3 Persiapan Percampuran

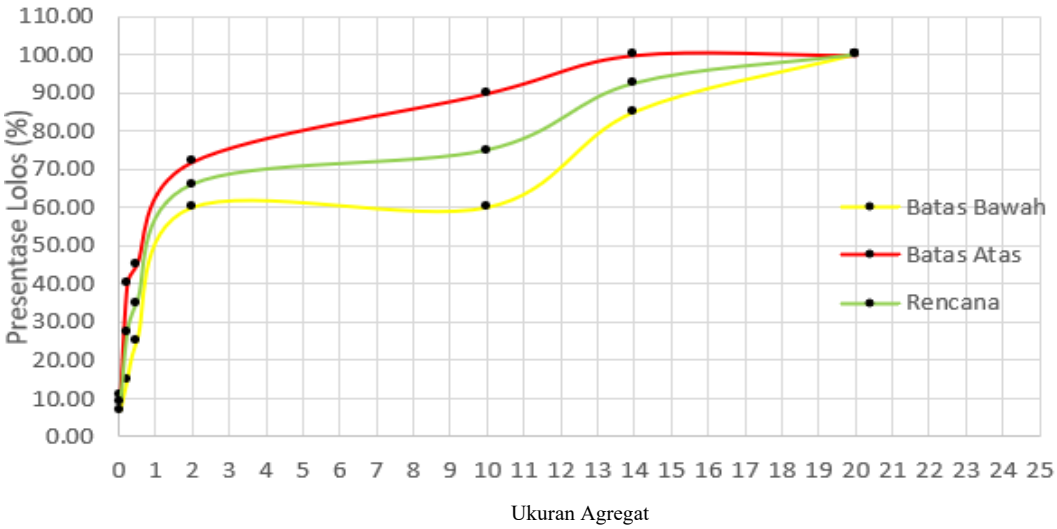
Material yang dipergunakan dalam penelitian tugas akhir ini, yaitu agregat dan aspal, diuji terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai campuran *Hot Rolled Asphalt.*

Gradasi agregat penyusun campuran *Hot Rolled Asphalt* adalah gradasi tipe C. Gradasi agregat campuran *Hot Rolled Asphalt* dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan gambar 4.1.

Tabel 4.1 Batasan Gradasi Agregat Campuran *HRA* Tipe C *Designation* 30/14 tebal 40 mm

ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah persen %	
		Min	*Max*	Lolos	Tertahan
3/4”	20 mm	100	100	100.00	0,00
1/2"	14 mm	85	100	92,50	7,50
3/8”	10 mm	60	90	75,00	25
No.10	2 mm	60	72	66,00	34
No.35	0,5 mm	25	45	35,00	65
No.60	0,25 mm	15	40	27,50	72,50
No.230	0,063 mm	7	11	9,00	91
PAN		0	0	0	100

Sumber : *British Standar* (2005)



Gambar 4.1 Batasan Gradasi Agregat Campuran *HRA* Tipe C *Designation* 30/14 tebal 40 mm

Perkiraan kadar aspal optimum (KAO) rencana dapat dicari setelah menentukan gradasi agregat campuran menggunakan Persamaan 4.1.

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

Keterangan :

Pb = kadar aspal perkiraan,

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 8,

FA = agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200,

Filler = agregat halus lolos saringan No. 200,

K = Konstanta (1,0% - 2,0%).

Pb = 0,035 (34%) + 0,045 (57%) + 0,18 (9%) + 1,5%

= 6,875% ≈ 7%

Maka, berdasar pada nilai Pb yang didapat, pada pengujian untuk mencari kadar aspal optimum adalah 7% dipakai variasi kadar aspal 6 %; 6,5 %; 7%; 7,5% dan 8% terhadap berat total campuran. Rincian jumlah benda uji yang digunakan dalam mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 4.2 hingga Tabel 4.6 berikut ini.

Berikut ini tabel untuk jumlah keseluruhan benda uji untuk KAO.

Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat %		Berat Tertahan (Gr)	
inch	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4	20	100	100	100,00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	92,50	7,50	84,60	84,60
3/8	10	60	90	75,00	17,50	197,40	282,00
# 10	2	60	72	66,00	9,00	101,52	383,52
# 35	0.5	25	45	35,00	31,00	349,68	733,20
# 60	0.25	15	40	27,50	7,50	84,60	817,80
# 230	0.063	7	11	9,00	18,50	208,68	1026,48
PAN		0	0	0	9,00	101,52	1128,00
Jumlah						1128,00	

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6.5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat %		Berat Tertahan (Gr)	
inch	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4	20	100	100	100,00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	92,50	7.50	84,15	84,15
3/8	10	60	90	75,00	17,50	196,35	280,50
# 10	2	60	72	66,00	9,00	100,98	381,48
# 35	0.5	25	45	35,00	31,00	347,82	729,30
# 60	0.25	15	40	27,50	7,50	84,15	813,45
# 230	0.063	7	11	9,00	18,50	207,57	1021,02
PAN		0	0	0	9,00	100,98	1122,00
Jumlah						1122,00	

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat %		Berat Tertahan (Gr)	
inch	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4	20	100	100	100,0	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	92,50	7,50	83,70	83,70
3/8	10	60	90	75,00	17,50	195,30	279,00
# 10	2	60	72	66,00	9,00	100,44	379,44
# 35	0.5	25	45	35,00	31,00	345,96	725,40
# 60	0.25	15	40	27,50	7,50	83,70	809,10
# 230	0.063	7	11	9,00	18,50	206,46	1015,56
PAN		0	0	0	9,00	100,44	1116,00
Jumlah						1116,00	

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7.5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat %		Berat Tertahan (Gr)	
inch	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4	20	100	100	100,00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	92,50	7,50	83,25	83,25
3/8	10	60	90	75,00	17,50	194,25	277,50

Lanjutan Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7.5%

# 10	2	60	72	66,00	9,00	99,90	377,40
# 35	0.5	25	45	35,00	31,00	344,10	721,50
# 60	0.25	15	40	27,50	7,50	83,25	804,75
# 230	0.063	7	11	9,00	18,50	205,35	1010,10
PAN		0	0	0	9,00	99,90	1110,00
Jumlah						1110,00	

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 8%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat %		Berat Tertahan (Gr)	
inch	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4	20	100	100	100,00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	92,50	7,50	82,80	82,80
3/8	10	60	90	75,00	17,50	193,20	276,00
# 10	2	60	72	66,00	9,00	99,36	375,36
# 35	0.5	25	45	35,00	31,00	342,24	717,60
# 60	0.25	15	40	27,50	7,50	82,80	800,40
# 230	0.063	7	11	9,00	18,50	204,24	1004,64
PAN		0	0	0	9,00	99,36	1104,00
Jumlah							1104,00

Setelah dilakukan pengujian terhadap masing-masing jenis *filler*, diperoleh nilai berat jenis untuk abu batu sebesar 2,54 gr/cm³ dan serbuk besi sebesar 3,26 gr/cm³. Oleh karena itu, penyetaraan volume dilakukan berdasarkan perbedaan nilai berat jenis tersebut.

Berat volume serbuk besi = $\frac{a\ x(b\ x\ A)}{b}$ (4.2)

Keterangan:

A = Persen kadar subtitusi (%)

a = Berat jenis serbuk besi (gr/cm^3)

b = Berat jenis serbu batu (gr/cm^3)

Setelah dilakukan penyetaraan volume, diperoleh kebutuhan agregat untuk setiap variasi substitusi filler. Rincian kebutuhan agregat pada masing-masing variasi substitusi *filler* dapat dilihat pada Tabel 4.7 hingga Tabel 4.10 berikut.

Tabel 4.7 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 0%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Berat Tertahan Abu Batu (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi dalam Volume (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)
inch	mm	Min	Max				
3/4	20	100	100	0.00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	83,25	0,00	0,00	83,25
3/8	10	60	90	194,25	0,00	0,00	277,50
# 10	2	60	72	99,90	0,00	0,00	377,40
# 35	0.5	25	45	344,10	0,00	0,00	721,50
# 60	0.25	15	40	83,25	0,00	0,00	804,75
# 230	0.063	7	11	205,35	0,00	0,00	1010,10
PAN		0	0	99,90	0,00	0,00	1110,00
Jumlah						1110	

Tabel 4.8 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 25%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Berat Tertahan Abu Batu (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi dalam Volume (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)
inch	mm	Min	Max				
3/4	20	100	100	0.00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	83,25	0,00	0,00	83,25
3/8	10	60	90	194,25	0,00	0,00	277,50
# 10	2	60	72	99,90	0,00	0,00	377,40
# 35	0.5	25	45	344,10	0,00	0,00	721,50
# 60	0.25	15	40	83,25	0,00	0,00	804,75
# 230	0.063	7	11	205,35	0,00	0,00	1010,10

Lanjutan Tabel 4.8 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 25%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Berat Tertahan Abu Batu (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi dalam Volume (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)
inch	mm	Min	Max				
PAN		0	0	99,90	0,00	0,00	1117,03
Jumlah						1117	

Tabel 4.9 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 50%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Berat Tertahan Abu Batu (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi dalam Volume (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)
inch	mm	Min	Max				
3/4	20	100	100	0.00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	83,25	0,00	0,00	83,25
3/8	10	60	90	194,25	0,00	0,00	277,50
# 10	2	60	72	99,90	0,00	0,00	377,40
# 35	0.5	25	45	344,10	0,00	0,00	721,50
# 60	0.25	15	40	83,25	0,00	0,00	804,75
# 230	0.063	7	11	205,35	0,00	0,00	1010,10
PAN		0	0	99,90	0,00	0,00	1124,05
Jumlah						1124	

Tabel 4.10 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 75%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Berat Tertahan Abu Batu (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi (Gr)	Berat Tertahan serbuk besi dalam Volume (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)
inch	mm	Min	Max				
3/4	20	100	100	0.00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	83,25	0,00	0,00	83,25
3/8	10	60	90	194,25	0,00	0,00	277,50
# 10	2	60	72	99,90	0,00	0,00	377,40

Lanjutan Tabel 4.10 Kebutuhan Agregat pada Variasi Subtitusi *Filler* 75%

# 35	0.5	25	45	344,10	0,00	0,00	721,50
# 60	0.25	15	40	83,25	0,00	0,00	804,75
# 230	0.063	7	11	205,35	0,00	0,00	1010,10
PAN		0	0	99,90	0,00	0,00	1131,08
Jumlah						1131	

Rincian dengan jumlah benda uji yang akan digunakan dalam mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Jumlah Benda Uji untuk Memperoleh KAO

Kadar Aspal (%)	Pengujian	
	Marshall	*IRS*
6	3	3
6.5	3	3
7	3	3
7.5	3	3
8	3	3
Jumlah Benda Uji	30	

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

Tabel 4.12 Jumlah Benda untuk Subtitusi *Filler* Serbuk Besi pada KAO

Pengujian	Kadar *Filler* Serbuk Besi (%)			
	0	25	50	75
Marshall	3	6	6	6
ITS	6	6	6	6
IRS	3	6	6	6
TSR	6	6	6	6
Cantabro loss	6	6	6	6
Jumlah Benda Uji	24	30	30	30
Total Keseluruhan	114			

Berdasarkan Tabel 4.11 dan Tabel 4.12, maka total benda uji dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah 114 buah benda uji.

4.4.4 Pembuatan Benda Uji

Setelah mendapatkan nilai berat tertahan pada masing-masing kadar aspal, dilakukan penyaringan agregat. Penyaringan agregat ini bertujuan untuk memisahkan ukuran butiran sesuai nomor saringan agregat. Kemudian menimbang ukuran butiran agregat sesuai nilai berat tertahan pada masing-masing kadar aspal. Setelah proses penyaringan dan penimbangan, agregat kasar, halus, dan *filler* di bungkus dengan plastik.

Penelitian ini menggunakan dua metode pencampuran pada saat proses pencampuran agregat dengan aspal yaitu, metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap, dimana metode pencampuran bertahap dilakukan setelah mendapat nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Metode pencampuran bertahap ini bertujuan membentuk ikatan yang sangat kuat antara aspal dengan agregat kasar dan pengikatan yang optimal bisa mengatasi masalah debu dan kelembapan pada agregat kasar.

Selanjutnya pembuatan sampel campuran. Cara pembuatan sampel dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut ini:

1. Memanaskan aspal. Untuk aspal Pen 60/70 dipanaskan hingga mencapai suhu 160˚C.
2. Pada tahap pencampuran aspal panas dengan agregat panas terdapat perbedaan antara sebelum mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dan setelah mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Perbedaan kedua proses pencampuran tersebut antara lain:

   a. Penentuan Nilai KAO

Proses pembuatan sampel yang digunakan sabelum mendapatkan nilai KAO dibuat dengan metode pencampuran konvensional yaitu dengan mencampurkan agregat kasar, agregat halus, *filler,* yang telah dipanaskan mencapai suhu 170˚C dalam satu wajan dengan bahan ikat aspal panas sesuai dengan nilai kadar aspal optimum (KAO), kemudian mengaduk campuran secara merata.

b. Campuran pada KAO

Setelah KAO diperoleh, dibuat spesimen dengan 2 metode pencampuran, yaitu:

1) Untuk membandingkan sampel yang digunakan pada dua metode pencampuran, campuran utama dibuat dengan metode pencampuran secara konvesional sama seperti proses pembuatan sampel penentuan nilai KAO.
2) Campuran kedua dibuat dengan metode pencampuran bertahap. Metode pencampuran bertahap didasarkan pada pelapisan awal agregat kasar dengan jumlah aspal sesuai dengan kadar aspal optimal sebelum pencampuran agregat halus dan *filler*.

Berikut tahapan yang digunakan untuk metode pencampuran bertahap:

a) Memanaskan agregat kasar yang sebelumnya telah dipisahkan dengan agregat halus dan *filler* dengan wajan yang berbeda hingga masing-masing agregat kasar, agregat halus dan *filler* mencapai suhu 170˚C.
b) Mencampurkan agregat kasar terlebih dahulu dengan aspal sesuai dengan nilai kadar aspal optimum (KAO) dan mengaduk secara merata hingga aspal menutupi seluruh permukaan agregat kasar .
c) Agregat kasar yang telah terlapisi oleh aspal kemudian dicampurkan dengan agregat halus, *filler*, dan serat selulosa yang sebelumnya telah dipanaskan pada wajan yang berbeda. Kemudian mengaduk campuran secara merata. Peninjauan sampel yang dibuat menggunakan metode pencampuran bertahap disusun menjadi dua kelompok. Kelompok pertama menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70.

3. Membersihkan cetakan benda uji *mold* dan mengolesi bagian dalamnya dengan minyak pelumas.
4. Meletakkan selembar kertas / kertas penghisap yang sudah digunting sesuai dengan ukuran cetakan dibagian bawah cetakan, kemudian memasukkan benda uji 1/3 dari volume cetakan dan dipukul menggunakan spatula

sebanyak 25x (15x pukulan di pinggir, dan 10x pukulan di tengah), kemudian memasukkan benda uji hingga 2/3 dari volume cetakan dan dipukul menggunakan spatula sebanyak 25x, dengan cara tersebut memasukkan benda uji kembali hingga penuh dalam volume cetakan dan dipukul menggunakan spatula sebanyak 25x dan menaruh kertas penghisap di permukaan.

5. Meletakan cetakan *mold* diatas dudukannya (landasan) pemadatan. Memadatkan sebanyak 50x pukulan di sisi pertama dan menumbuk 50x pukulan di sisi kedua.
6. Mendiamkan benda uji sesudah pemadatan selesai sampai mencapai suhu ruang, kemudian mengeluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan *ejector hydrolic pump* lalu mendiamkan sampel sampai mencapai suhu ruang. Setelah dingin ambil kertas penghisap di kedua sisi untuk memberikan kodefikasi terhadap sampel tersebut.

4.4.5 Pengujian *Marshall*

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

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

7. Memeriksa mesin *Marshall Test* beserta dial pelengkapnya dan menyiapkan *breaking head* yang telah diolesi dengan oli.
8. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head*, kemudian memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
9. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
10. Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
11. Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

4.4.6 Pengujian *Indirect Tensile Strength* (*ITS*)

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

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

4.4.7 Pengujian *Indeks of Retained Strength* (*IRS*)

Pengujian *IRS* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan benda uji yang akan digunakan.
2. Membersihkan benda uji dari kotoran yang masih menempel dari proses pembuatan sampel.
3. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi dengan menggunakan kaliper kemudian menimbang benda uji dalam keadaan kering udara.
4. Merendam benda uji di dalam air pada suhu ruang selama 20 sampai 24 jam untuk mendapatkan kejenuhan, kemudian menimbang benda uji di dalam air dan mencatat hasilnya.
5. Mengelap benda uji yang telah ditimbang dalam air dengan menggunakan kain lap sampai mencapai kondisi SSD, kemudian menimbang benda uji sehingga diperoleh berat dalam keadaan SSD.
6. Memasukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam.

7. Memeriksa mesin *Marshall Test* beserta dial pelengkapnya dan menyiapkan *breaking head* yang telah diolesi dengan oli.
8. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head,* kemudian memasang *dial flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
9. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
10. Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
11. Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

4.4.8 Pengujian *Cantabro Loss*

Dalam pengujian *Cantabro Loss* dapat dilakukan berikut ini.

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

4.5 Analisis Data

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

4.5.1 Analisis Karakteristik *Marshall Test*

Hasil parameter pengujian *Marshall* diperoleh data sebagai berikut ini.

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

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

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.2 berikut.

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

Keterangan :

A = berat piknometer dengan penutup (gr),

B = berat piknometer berisi air (gr),

C = berat piknometer berisi aspal, dan

D = berat piknometer berisi air dan aspal.

2. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.3 berikut.

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

Keterangan :

A = persentase agregat kasar (%),

B = persentase agregat halus (%),

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 diperoleh dengan pembacaan dial *flow*
5. Nilai *VITM* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.7
6. Nilai *VMA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.6
7. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.8
8. Nilai *Density* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan. 3.2 dan 3.3
9. Nilai *MQ* tabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan. 3.9

4.5.2 Analisis Pengujian *IRS*

Nilai pengujian *IRS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.10

4.5.3 Analisis Nilai IDP

Nilai pengujian IDP dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.11

4.5.4 Analisis Nilai IDK

Nilai pengujian IDK dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.12

4.5.5 Analisis Nilai *ITS*

Nilai pengujian *ITS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.13

4.5.6 Analisis Nilai *TSR*

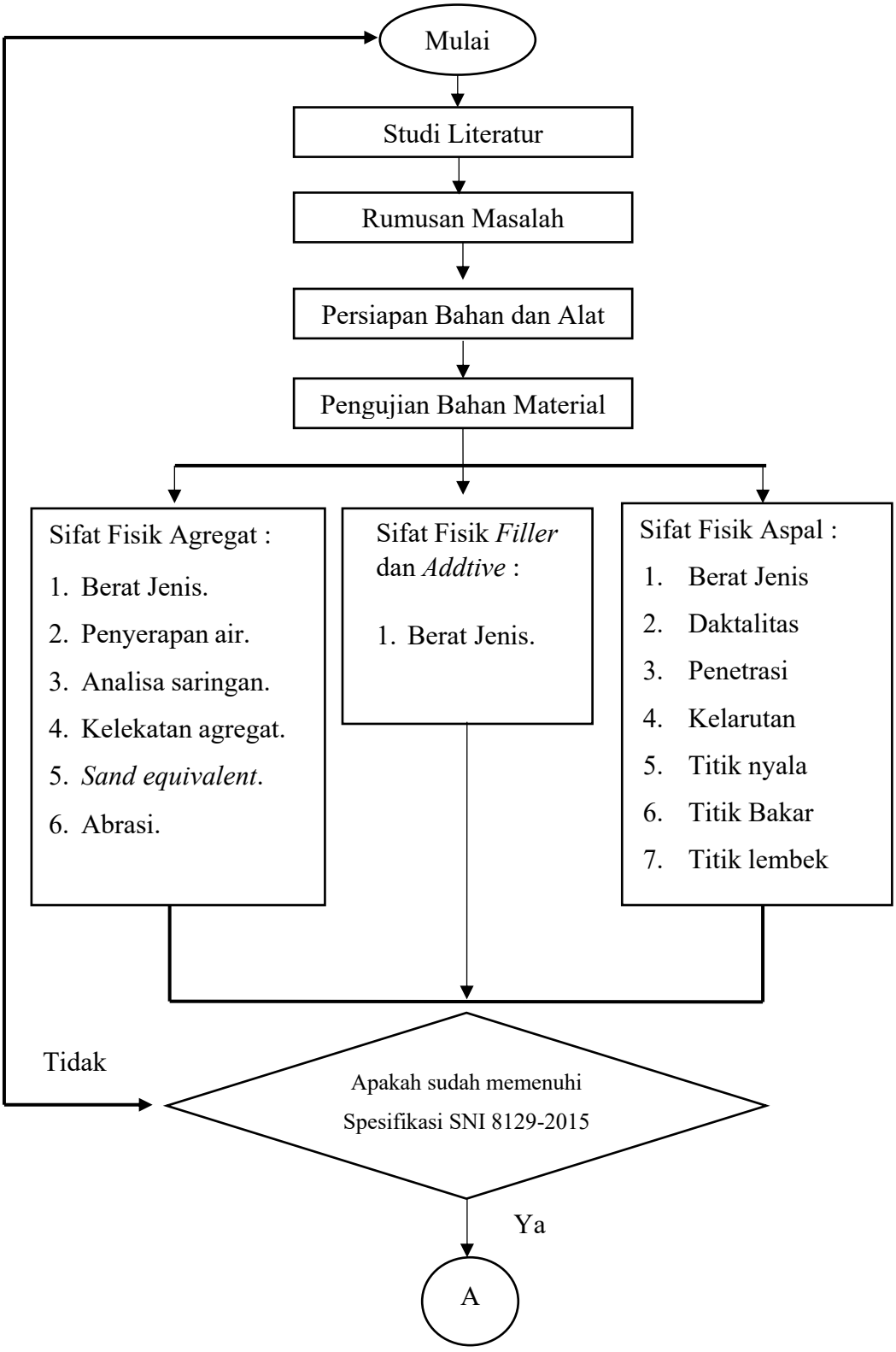
Nilai pengujian *TSR* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.14

4.5.7 Analisis Nilai *Cantabro Loss*

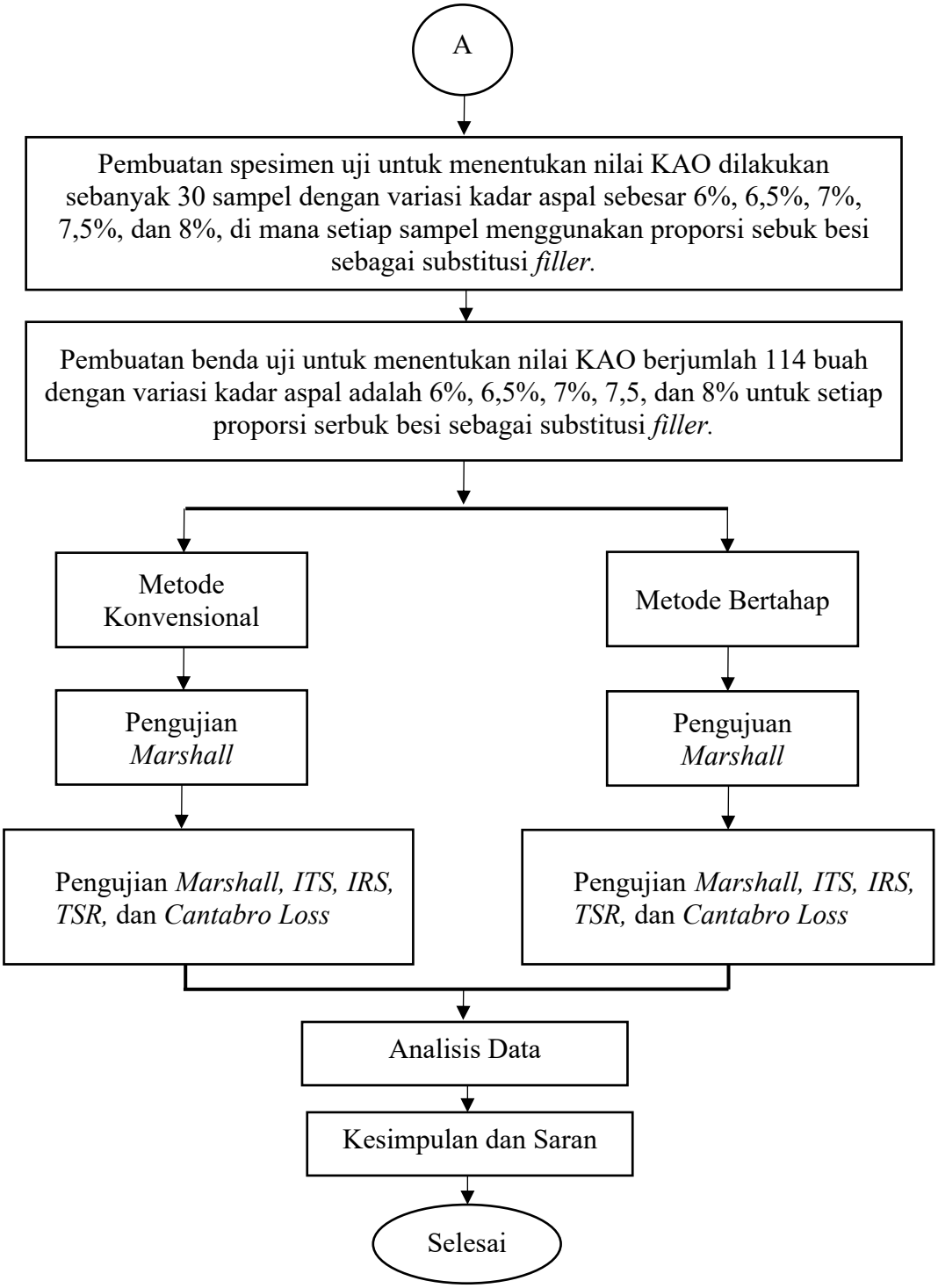
Nilai pengujian *Cantabro Loss* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.15

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian menunjukkan alir atau tahapan dari suatu penelitian yang dilakukan secara lebih singkat dan jelas. Pada penelitian ini, bagan alir dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran

Berdasarkan pengujian-pengujian yang telah dilaksanakan, diperoleh hasil dari setiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Aspal yang digunakan dalam pengujian ini adalah jenis aspal Pen 60/70, dengan hasil yang diperoleh mengacu pada spesifikasi pedoman Bina Marga tahun 2018 Revisi Ke-2. Rekapitulasi hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 60/70

NO	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,051	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60 - 70	66,5	Memenuhi
3	Titik nyala (ºC)	≥ 232	290	Memenuhi
4	Titik Bakar (ºC)	≥ 232	310	Memenuhi
5	Titik lembek (ºC)	≥ 48	48	Memenuhi
6	Daktilitas (cm)	≥ 100	168,8	Memenuhi
7	Kelarutan *TCE* (%)	≥ 99	99,51	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Agregat yang digunakan dalam pengujian ini diperoleh dari Sungai Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Hasil pengujian ini mengacu pada spesifikasi pedoman Bina Marga Tahun 2018 Revisi ke-2. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.2 hingga Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,62	Memenuhi
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	≤ 2	1,83	Memenuhi
3	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi
4	Keausan agregat dengan mesin *Los Angeles* (%)	≤ 40	13,11	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus Celereng

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,54	Memenuhi
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	≤ 2	0,39	Memenuhi
3	*Sand Equivalent* (%)	≥ 50	93,35	Memenuhi

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis (Abu Batu)	≥ 2,5	2,54	Memenuhi
2	Berat Jenis (Serbuk Besi)	≥ 2,5	3,26	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian untuk Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

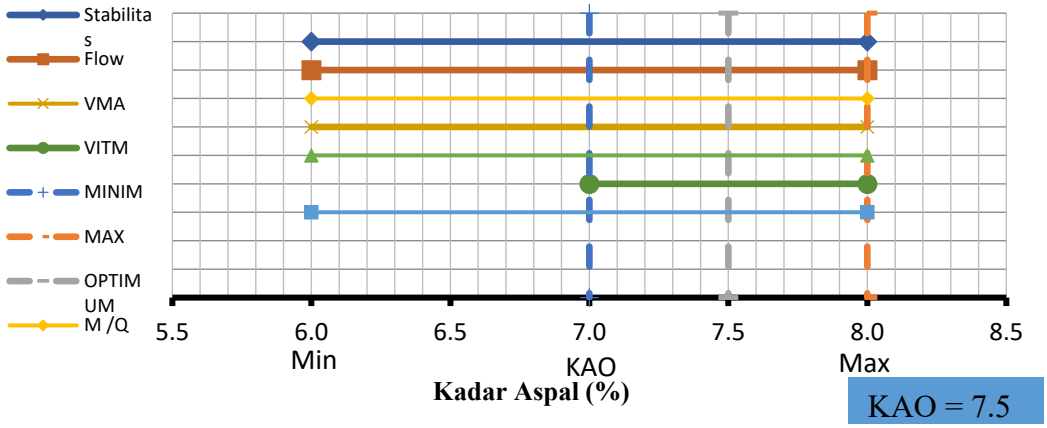
Penentuan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) didasarkan pada spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, khususnya pada bagian lapisan lataston lapis aus. Penentuan ini didasarkan pada karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* yang memiliki gradasi senjang (*gap graded*). Parameter-parameter yang digunakan dalam pengujian mengikuti spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu stabilitas minimum 600 kg, rongga dalam campuran (*VITM*) antara 3% hingga 5%, rongga dalam agregat (*VMA*) minimal 17%, rongga terisi aspal minimal 68%, *Marshall Quotient* minimal 250 kg/mm, serta stabilitas *Marshall* sisa setelah perendaman selama 24 jam pada suhu 60ºC.

Hasil pengujian dengan bahan ikat aspal pen 60/70 dalam memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian untuk Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal	Stabilitas	*Flow*	*VITM*	*VMA*	*VFWA*	*MQ*	*IRS*
(%)	(Kg)	(mm)	(%)	(%)	(%)	(Kg/mm)	(%)
6	911,35	3,07	5,82	18,52	68,57	299,02	90,90
6,5	958,40	3,27	5,55	19,26	71,21	293,26	92,41
7	1057,06	3,67	4,68	19,48	75,98	288,34	93,32
7,5	1034,39	3,87	4,18	20,01	79,14	268,16	94,14
8	1010,33	4,03	3,76	20,62	81,76	251,05	95,65
Spesifikasi	> 600	-	3 – 5	>17	> 68	> 250	90%

Berdasarkan Tabel 5.5 pengujian untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) telah dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5.1 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan Gambar 5.1 Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan sebesar 7,5%. Nilai KAO ini digunakan untuk menetapkan variasi substitusi *filler* dalam penelitian, dengan variasi mulai dari 0%, 25%, 50%, hingga 75%. Substitusi *filler*

diidentifikasi berdasarkan hasil pengujian pada kadar substitusi 50% dan 75%, di mana pada kadar substitusi 75% ditemukan batas maksimum, sehingga variasi substitusi hanya mencapai 75%. Dalam penelitian ini, *filler* yang digunakan merupakan campuran abu batu dan serbuk besi sebagai pengganti *filler* pada berbagai tingkat substitusi. Penentuan berat volume dilakukan berdasarkan berat jenis masing-masing *filler.*

5.1.4 Hasil Pengujian pada Kadar Aspal Optimum

Dalam penelitian ini, pengujian substitusi *filler* dilakukan dengan menggunakan metode konvensional dan metode bertahap, yang mencakup pengujian *Marshall Test*, *Index of Retained Strength* (*IRS*), *Indeks Durabilitas Pertama* (*IDP*), *Indeks Durabilitas Kedua* (*IDK*), *Indirect Tensile Strength* (*ITS*), *Tensile Strength Ratio* (*TSR*), dan *Cantabro Loss*. Hasil dari pengujian ini disajikan pada Tabel 5.9 hingga Tabel 5.17, sedangkan detail lengkap hasil pengujian dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian *Marshall Test* pada Metode Pencampuran Konvensional

Subtitusi *Filler* (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	*VITM* (%)	*VMA* (%)	*VFWA* (%)	*MQ* (Kg/mm)
0	1034,39	3,87	4,18	20,02	79,11	268,16
25	1005,10	3,98	4,70	20,54	77,10	252,95
50	964,15	4,03	4,78	20,69	76,89	239,32
75	849,81	4,05	4,81	20,80	76,85	209,82
Spesifikasi	> 600	-	3-5	> 17	> 68	> 250

Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Marshall Test* pada Metode Pencampuran Bertahap

Subtitusi *Filler* (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	*VITM* (%)	*VMA* (%)	*VFWA* (%)	*MQ* (Kg/mm)
0	1044,62	3,85	3,95	19,83	80,12	271,33

Lanjutan Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Marshall Test* pada Metode Pencampuran Bertahap

Subtitusi *Filler* (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	*VITM* (%)	*VMA* (%)	*VFWA* (%)	*MQ* (Kg/mm)
25	1039,71	3,87	4,19	20,03	79,09	269,25
50	995,06	3,93	4,55	20,49	77,80	253,95
75	976,41	3,98	4,85	20,83	76,71	245,84
Sesifikasi	> 600	-	3-5	> 17	> 68	> 250

Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Index of Retained Strength* (*IRS*), Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua Konvensional

Subtitusi *Filler* (%)	Stabilitas Normal (Kg)	Stabilitas Rendaman (mm)	*IRS* (%)	IDP (%)	IDK (%)
0	1034,39	985,25	95,25	0,207	2,375
25	1005,10	964,74	95,98	0,175	2,008
50	964,15	939,71	97,47	0,110	1,267
75	911,94	894,45	98,08	0,083	0,959
Spesifikasi	> 600	> 600	> 90	-	-

Tabel 5.9 Hasil pengujian *Index of Retained Strength* (*IRS*), Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua Bertahap

Subtitusi *Filler* (%)	Stabilitas Normal (Kg)	Stabilitas Rendaman (mm)	*IRS* (%)	IDP (%)	IDK (%)
0	1044,62	1017,58	97,41	0,113	1,294
25	1039,71	1004,64	96,63	0,147	1,687
50	995,06	975,34	98,02	0,086	0,991
75	976,41	967,38	99,08	0,040	0,462
Spesifikasi	> 600	> 600	> 90	-	-

Tabel 5.10 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) dan *Tensile Strength Ratio* (*TSR*) pada Metode Pencampuran Konvensional

Subtitusi *Filler* (%)	*ITS* Normal (Kpa)	*ITS* Rendaman (Kpa)	*TSR* (%)
0	768,233	693,584	90,283
25	687,423	639,404	93,015
50	667,205	624,811	93,646
75	633,918	585,681	92,391
Spesifikasi	-	-	> 80

Tabel 5.11 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) dan *Tensile Strength Ratio* (*TSR*) pada Metode Pencampuran pada Metode Pencampuran Bertahap

Subtitusi *Filler* (%)	*ITS* Normal (Kpa)	*ITS* Rendaman (Kpa)	*TSR* (%)
0	704,655	643,184	91,276
25	697,926	635,411	91,043
50	675,867	619,929	91,724
75	649,806	603,926	92,939
Spesifikasi	-	-	> 80

Tabel 5.12 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Konvensional Normal

Subtitusi *Filler* (%)	Kehilangan Berat (%)
0	4,94
25	6,76
50	8,15
75	6,55
Spesifikasi	< 20

Tabel 5.13 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Bertahap Normal

Subtitusi *Filler* (%)	Kehilangan Berat (%)
0	5,34
25	5,45
50	6,35
75	6,04
Spesifikasi	< 20

Tabel 5.14 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Konvensional Rendaman

Subtitusi *Filler* (%)	Kehilangan Berat (%)
0	1,48
25	6,37
50	7,66
75	5,69
Spesifikasi	< 20

Tabel 5.15 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Bertahap Rendaman

Subtitusi *Filler* (%)	Kehilangan Berat (%)
0	4,52
25	1,90
50	13,62
75	23,83
Spesifikasi	< 20

5.2 Pembahasan

Hasil pengujian yang dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia akan dibahas lebih mendalam. Berikut adalah analisis terkait pengujian tersebut.

5.2.1 Karakteristik Fisik Bahan Susun pada Perkerasan Jalan

Agar dapat menghasilkan perkerasan jalan yang berkualitas, diperlukan bahan penyusun dengan mutu yang baik. Bahan utama dalam perkerasan jalan meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*). Kualitas masing-masing komponen tersebut harus memenuhi standar yang ditetapkan guna memastikan ketahanan dan performa perkerasan jalan secara optimal.

1. Hasil Pengujian karakteristik Aspal

Dalam penelitian ini, bahan pengikat aspal yang digunakan pada campuran *Hot Rolled Asphalt* adalah aspal jenis Pertamina Pen 60/70, dengan pengujian karakteristik aspal yang merujuk pada spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2. Penjelasan lebih rinci mengenai hal ini dapat diuraikan sebagai berikut.

a. Berat Jenis

Berat jenis aspal berdasarkan SNI 2441-2011 merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling pada suhu pengujian. Dalam pengujian ini, diperoleh berat jenis aspal sebesar 1,051, yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 1,00.

b. Penetrasi Aspal

Nilai penetrasi aspal digunakan untuk menentukan tingkat kelembutan atau kekerasan aspal. Berdasarkan pengujian penetrasi pada suhu 25˚C, diperoleh hasil sebesar 66,5 mm. Hasil ini sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu berada dalam rentang 60 hingga 70 mm.

c. Titik Nyala Aspal

Titik nyala aspal merupakan suhu di mana aspal mulai mengalami perubahan yang ditandai dengan munculnya percikan api dalam waktu singkat. Fenomena ini terjadi karena sifat termoplastik aspal, di mana aspal bersifat berubah-ubah tergantung pada suhu lingkungan. Hasil pengujian titik nyala aspal

menunjukkan nilai 290˚C, yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 232˚C.

d. Titik Bakar Aspal

Titik bakar aspal merupakan suhu di mana aspal mengalami perubahan yang ditandai dengan munculnya nyala api yang bertahan selama ± 5 detik. Hal ini terjadi karena sifat termoplastik aspal, di mana aspal memiliki karakteristik yang berubah sesuai dengan suhu lingkungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa titik bakar aspal mencapai 310˚C, yang memenuhi spesifikasi yang sudah disyaratkan oleh Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 232˚C

e. Titik Lembek Aspal

Titik lembek aspal adalah suhu di mana aspal mulai mengalami perubahan menjadi lunak. Perubahan ini disebabkan oleh sifat termoplastik aspal, yang memungkinkan aspal berubah sifat tergantung pada suhu lingkungan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa titik lembek aspal tercatat pada 48˚C, yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 48˚C.

f. Daktalitas Aspal

Nilai daktilitas digunakan untuk menentukan tingkat elastisitas dan sifat kohesi aspal. Berdasarkan hasil pengujian, daktilitas aspal mencapai 168,8 cm, yang memenuhi spesifikasi persyaratan Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 100 cm.

g. Kelarutan dalam *Trichloroethylene* (*TCE*)

Nilai kelarutan dalam *Trichloroethylene* (*TCE*) mengukur kemampuan aspal dalam mengikat agregat. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kelarutan sebesar 99,51%, yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 99%.

2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pada penelitian ini, agregat kasar yang digunakan dalam campuran *Hot Rolled Asphalt* berasal dari Clereng, Kulon Progo. Pengujian karakteristik agregat kasar dijelaskan sebagai berikut.

a. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis agregat kasar merupakan rasio antara berat jenis agregat dalam kondisi jenuh dengan berat air suling pada suhu pengujian. Data yang digunakan dalam pengujian ini meliputi berat jenis dalam kondis jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji dalam kondisi kering oven (BK). Pada penelitian ini, diperoleh hasil berat jenis agregat kasar sebesar 2,62, yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 2,5.

b. Kelekatan Agregat Kasar

Nilai kelekatan agregat kasar menunjukkan persentase luas permukaan agregat yang dilapisi oleh aspal. Dalam penelitian ini, hasil kelekatan agregat kasar mencapai 98%, yang memenuhi spesifikasi persyaratan Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 95%.

c. Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*

Nilai keausan agregat kasar menggunakan mesin *Los Angeles* merupakan parameter yang mengukur ketahanan agregat kasar terhadap abrasi. Dalam penelitian ini, hasil pengujian keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles* tercatat sebesar 13,11%, yang memenuhi spesifikasi persyaratan Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu kurang dari 40%.

d. Penyerapan Air pada Agregat Kasar

Penyerapan air pada agregat kasar mengukur kemampuan agregat dalam menyerap air melalui pori-pori yang ada di dalamnya. Pada penelitian ini, hasil penyerapan air pada agregat kasar sebesar 1,83%, yang memenuhi spesifikasi persyaratan Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu kurang dari 2%.

3. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pada penelitian ini, agregat kasar yang digunakan dalam campuran *Hot Rolled Asphalt* berasal dari Clereng, Kulon Progo. Pengujian karakteristik agregat halus dijelaskan sebagai berikut

a. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat suatu material per satuan volume dengan berat air dalam volume yang sama pada suhu tertentu. Hasil pengujian berat jenis agregat halus dari Clereng, Kulon Progo menunjukkan nilai

sebesar 2,55, yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2, yaitu ≥ 2,5.

b. Penyerapan Air pada Agregat Halus

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan suatu material untuk menyerap air melalui rongga atau pori-pori yang terdapat pada agregat. Agregat dengan rongga atau pori-pori yang lebih besar akan membutuhkan lebih banyak aspal karena tingkat penyerapannya yang lebih tinggi. Hasil pengujian penyerapan agregat halus dari Clereng, Kulon Progo menunjukkan nilai sebesar 1,49%, yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi ke-2, yaitu ≤ 2%.

c. *Sand Equivalent*

Nilai *Sand Equivalent* digunakan untuk menentukan kadar kotoran seperti debu, lumpur, dan kotoran lainnya yang terdapat pada agregat halus. Dalam penelitian ini, hasil pengujian *Sand Equivalent* pada agregat halus mencapai 93,35%, yang memenuhi spesifikasi Bina Marga tahun 2018 revisi ke-2, yaitu lebih dari 50%.

4. Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Pengisi (*Filler*)

Pada penelitian ini Bahan pengisi yang digunakan pada campuran *Hot Rolled Asphalt* menggunakan abu batu yang berasl berasal dari Clereng,Kulon Progo dan Serbuk Besi yang berasal dari Pati, Jawa Tengah. Berikut ini adalah pembahasan mengenai hasil pengujian bahan pengisi (*filler*).

a. Pengujian Berat Jenis Debu Batu

Berat jenis merupakan rasio antara massa suatu material per satuan volume terhadap massa air dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Berdasarkan hasil pengujian, nilai berat jenis *filler* debu batu tercatat sebesar 2,54.

b. Pengujian Berat Jenis Serbuk Besi

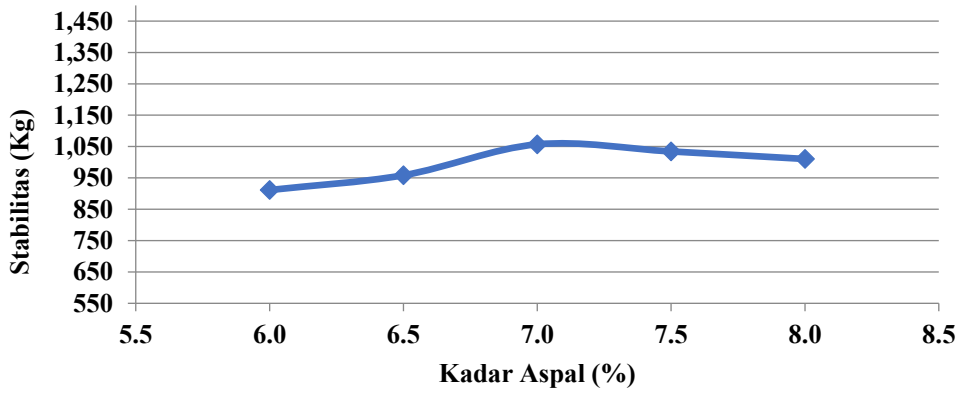
Berat jenis mengacu pada perbandingan antara massa material per satuan volume dengan massa air pada volume yang setara pada suhu tertentu. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa berat jenis *filler* serbuk besi mencapai 3,26. Untuk menentukan berat volume, diperlukan informasi mengenai berat jenis dari setiap *filler*. Langkah ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan volume antar *filler*,

sehingga dapat mencapai volume yang setara, karena berat jenis serbuk besi sebagai *filler* pengganti lebih tinggi dibandingkan dengan berat jenis *filler* debu batu.

5.2.2 Pengaruh Kadar Aspal untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

1. Stabilitas adalah kemampuan dari lapisan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi. Hasil pengujian nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.2, terlihat bahwa nilai stabilitas meningkat hingga mencapai titik optimum, kemudian kembali mengalami penurunan. Hal ini sejalan dengan pendapat Sukirman (2003), di mana stabilitas mengalami kenaikan hingga titik optimum, setelah itu menurun akibat meningkatnya kadar aspal dalam campuran. Aspal yang awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat berubah peran ketika stabilitas mencapai nilai maksimum, menjadi pengisi rongga-rongga dalam campuran.



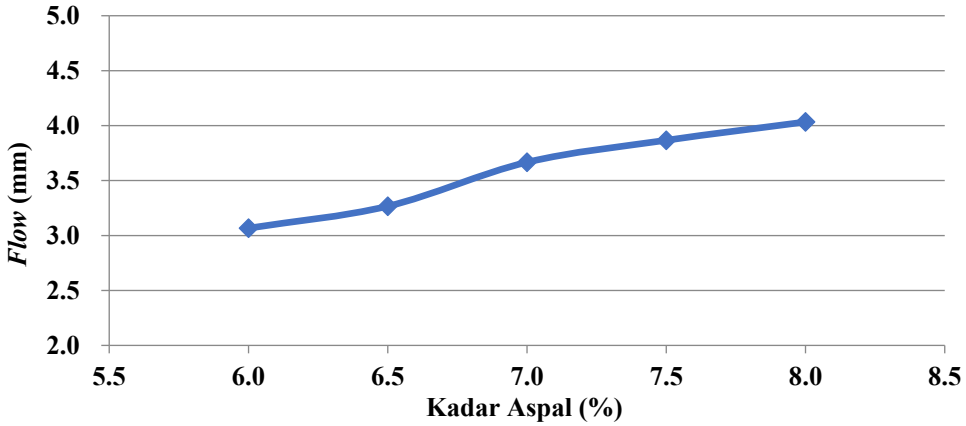
Gambar 5.2 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

Hasil ini sesuai dan memenuhi ketentuan yang ditetapkan oleh Bina Marga dalam Revisi ke-2 Tahun 2018, yaitu nilai stabilitas harus lebih dari 600.

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

Kelelehan (*flow*) merujuk pada kondisi di mana terjadi perubahan bentuk pada campuran aspal akibat adanya beban lalu lintas yang melewati. Hasil pengujian nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.3.

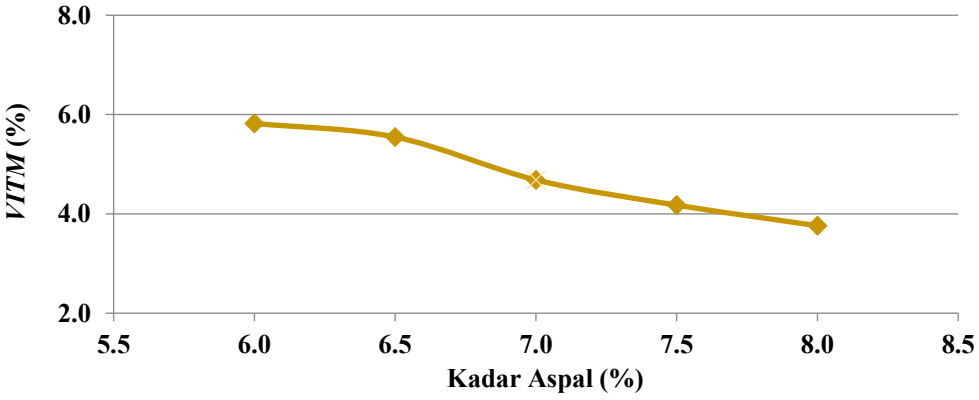
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.3 terlihat bahwa nilai *flow* meningkat dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini sesuai dengan pendapat Sukirman (2003), di mana peningkatan kadar aspal menyebabkan lapisan aspal menjadi lebih tebal, yang menjadikan campuran lebih plastis. Akibatnya, campuran tersebut akan mengalami deformasi ketika terkena beban.



Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow*

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

Nilai *VITM* mengacu pada persentase volume rongga dalam campuran aspal setelah proses pemadatan selesai. Hasil pengujian nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.4.



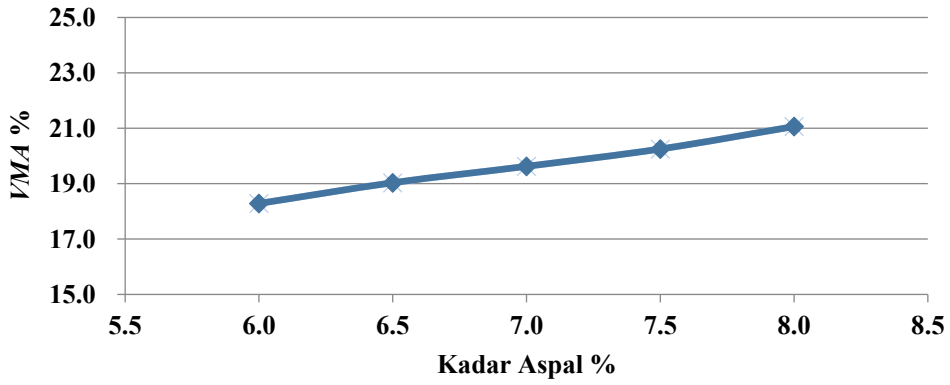
Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VITM*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4, terlihat bahwa nilai *VITM* menurun seiring dengan peningkatan kadar aspal. Hal ini sesuai dengan yang disampaikan oleh Sukirman (2003), di mana penurunan nilai *VITM* dapat menyebabkan terjadinya *bleeding* atau kegemukan pada campuran aspal, terutama ketika suhu meningkat. Penurunan ini juga membuat campuran menjadi lebih kedap air dan menyebabkan rongga dalam campuran semakin rapat. Sebaliknya, jika nilai *VITM* terlalu tinggi, campuran akan kehilangan kekedapan, meningkatkan laju oksidasi yang mempercepat penuaan aspal dan menurunkan durabilitas campuran. Hasil pengujian ini sesuai dengan standar Bina Marga Revisi ke-2 Tahun 2018, di mana nilai *VITM* berada dalam kisaran 3-5%.

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

Nilai *VMA* merujuk pada persentase volume rongga yang terdapat di antara agregat dalam campuran aspal. Hasil pengujian nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.5.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5, terlihat bahwa nilai *VMA* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Hal ini sejalan dengan pendapat Sukirman (2003), di mana peningkatan kadar aspal menyebabkan peningkatan nilai *VMA*, karena aspal yang lebih banyak akan mengisi rongga-rongga dalam campuran dan membungkus agregat, sehingga memperbesar jarak antar rongga agregat.

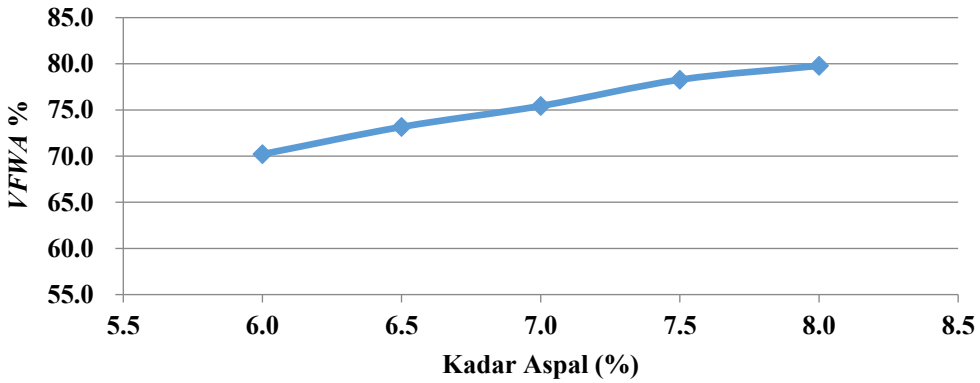


Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA*

Hasil ini sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh Bina Marga dalam Revisi ke-2 Tahun 2018, di mana nilai *VMA* harus kurang dari 17%.

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

Nilai *VFWA* merujuk pada persentase volume rongga antar agregat yang terisi oleh aspal. Hasil pengujian nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.6.



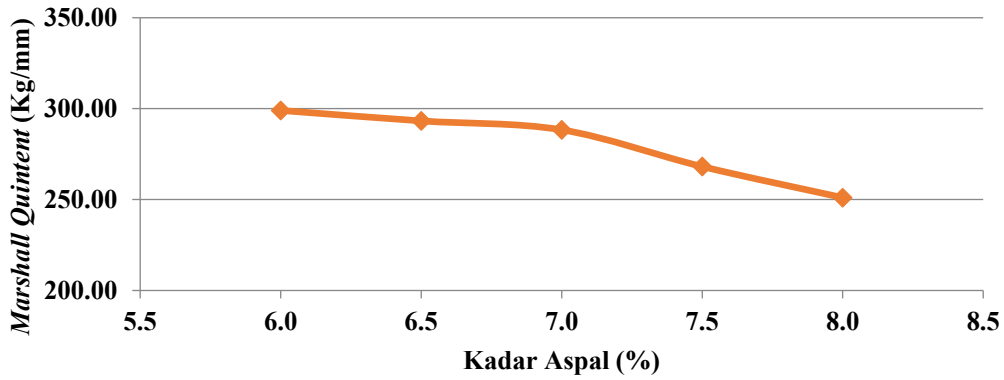
Gambar 5.6 Grafik Kadar Aspal Terhadap Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6, terlihat bahwa nilai *VFWA* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Hal ini sesuai dengan pendapat Sukirman (2003), di mana peningkatan kadar aspal dalam campuran menyebabkan terjadinya *bleeding* atau kelebihan aspal, sehingga rongga antar agregat yang semakin besar diisi oleh aspal. Akibatnya, rongga dalam campuran aspal semakin mengecil, karena aspal yang awalnya berfungsi sebagai pengikat agregat kini beralih peran menjadi pengisi rongga. Hasil ini sesuai dengan ketentuan yang ditetapkan oleh Bina Marga dalam Revisi ke-2 Tahun 2018, yaitu nilai *VFWA* harus lebih dari 68%.

6. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *MQ* dalam Menentukan KAO

Nilai *MQ* diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Hasil pengujian nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.7.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7, terlihat bahwa nilai *MQ* menurun seiring dengan penambahan kadar aspal. Penurunan ini terjadi akibat perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai *flow* pada setiap kadar aspal. Hasil ini sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh Bina Marga dalam Revisi ke-2 Tahun 2018, di mana nilai *MQ* harus lebih dari 250 Kg/mm.

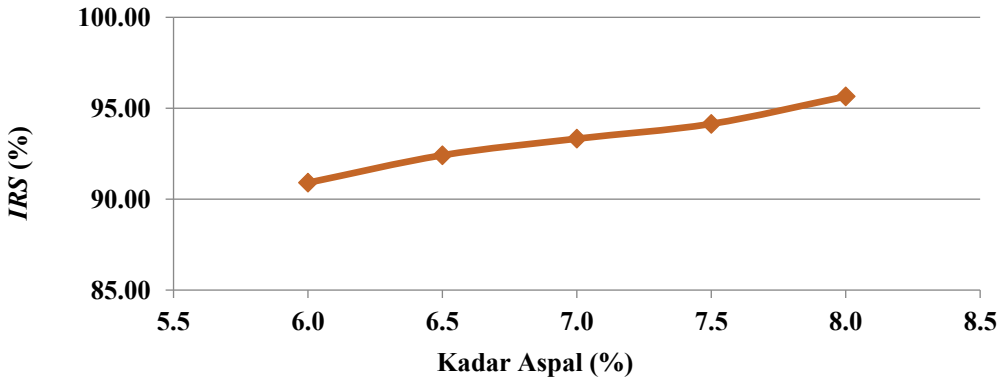


Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *MQ*

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

Nilai *IRS* diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam dalam *waterbath* pada suhu 60˚C dengan nilai stabilitas campuran yang direndam selama 0,5 jam pada suhu yang sama. Hasil pengujian nilai *IRS* dapat dilihat pada Gambar 5.8.

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa nilai *IRS* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Peningkatan ini disebabkan oleh penurunan nilai *VITM*, yang mengakibatkan campuran mengalami *bleeding* atau kelebihan aspal, sehingga campuran menjadi lebih sensitif terhadap perubahan suhu.



Gambar 5.8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *IRS*

Hasil ini sesuai dan memenuhi standar yang ditetapkan oleh Bina Marga dalam Revisi ke-2 Tahun 2018, di mana nilai *IRS* harus lebih dari 90%.

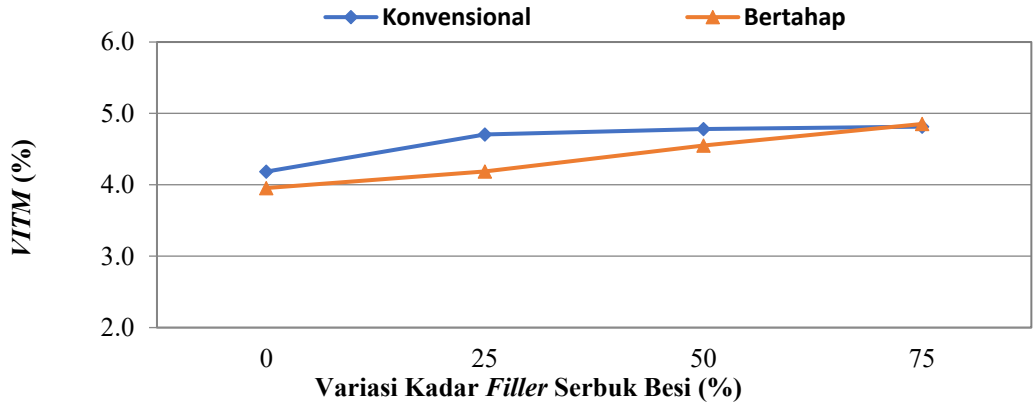
5.3 Pembahasan Subtitusi *Filler* Serbuk Besi pada KAO Pencampuran dengan Menggunakan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap.

Berdasarkan hasil pengujian pada campuran *Hot Rolled Asphalt*, diperoleh nilai KAO campuran sebesar 7,5%. Oleh karena itu, berikut ini disajikan hasil pengujian mengenai pengaruh substitusi *filler* serbuk besi, yang dilakukan dengan perbandingan antara metode konvensional dan bertahap terhadap campuran aspal.

5.3.1 Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* Terhadap Nilai Volumetrik Pencampuran Aspal dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Bertahap.

a. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Membandingkan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Bertahap terhadap Nilai *VITM* (*Void In Total Mix*).

Grafik yang menunjukkan pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk besi dengan perbandingan antara metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10.



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Void in Total Mix* (*VITM*)

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10, terlihat bahwa nilai *VITM* pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan metode konvensional

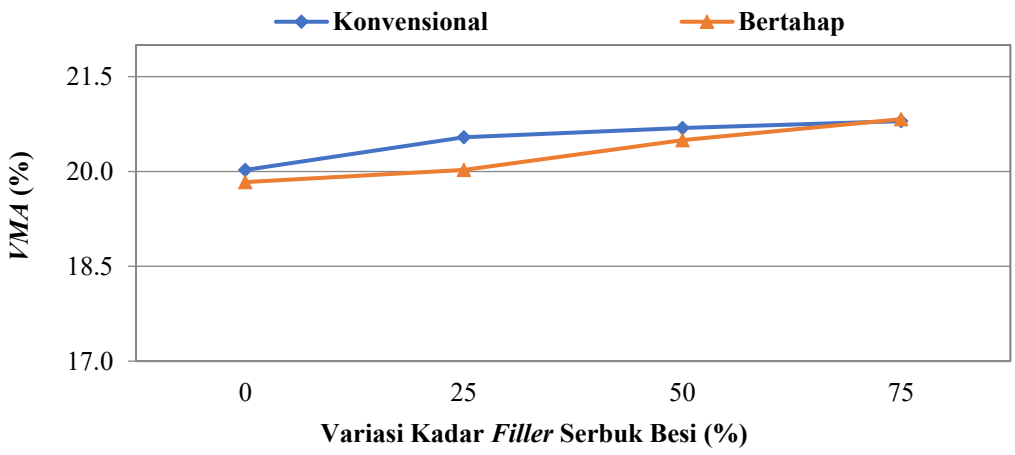
lebih tinggi dibandingkan dengan metode bertahap. Peningkatan nilai *VITM* pada metode bertahap disebabkan oleh pengaruh metode tersebut terhadap proses pencampuran, di mana *filler* memiliki peran penting dalam melapisi pori-pori agregat kasar. Selain itu, substitusi *filler* dengan menggunakan serbuk besi kurang maksimal dalam mengisi rongga sehingga menyebabkan rongga antar agregat menjadi besar. Hal ini terjadi karena *filler* serbuk besi memiliki tekstur yang lebih kasar dibandingkan *filler* abu batu, sehingga mengurangi sifat plastis aspal dan kemampuannya dalam mengisi rongga pada campuran. Akibatnya, campuran cenderung memiliki rongga udara yang lebih besar. Campuran dengan rongga udara yang besar ini menjadi kurang kedap terhadap air dan udara, sehingga lebih rentan terhadap proses oksidasi dan deformasi, hal ini dapat menyebabkan kerusakan pada lapisan perkerasa.

Penelitian yang dilakukan oleh Kok dan Kologlu (2011) menyimpulkan bahwa penggunaan metode bertahap dapat menembus rongga mikro pada agregat selama proses pelapisan awal, sehingga menghasilkan jumlah rongga yang lebih rendah dibandingkan dengan metode konvensional. Temuan ini sejalan dengan penelitian Iqbal dan Fauziah (2023), Firdaus (2023), serta Atthaullah (2024) yang menyatakan bahwa metode bertahap berpengaruh terhadap nilai *VITM* karena adanya peningkatan ketebalan lapisan aspal yang melapisi agregat.

b. Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Penampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VMA* (*Void In Mineral Aggregate*).

Grafik pengaruh variasi subtitusi *filler* serbuk besi dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.10.

Berdasarkan Grafik 5.10 nilai *VMA* pada campuran *Hot Rolled Asphalt* yang menggunakan metode konvensional lebih tinggi dibandingan dengan metode bertahap. Hal ini menjadikan terjadinya meningkatnya nilai *VMA* oleh metode bertahap yang disebabkan oleh banyaknya rongga didalam campuran yang terisi dengan aspal sehingga campuran menjadi kedap terhadap air dan udara.



Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Void In Mineral Aggregate* (*VMA*)

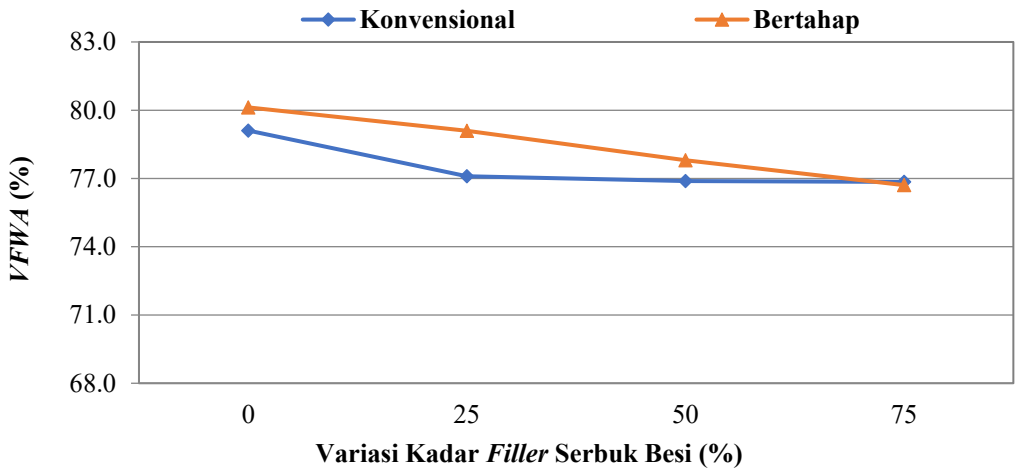
Penelitian ini sejalan dengan Utomo (2020), yang dalam penelitiannya menggunakan limbah serbuk besi sebagai material pengisi (*filler*) dan menemukan bahwa nilai *VMA* cenderung meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa substitusi serbuk besi menyebabkan persentase rongga terhadap agregat menjadi lebih tinggi. Selain itu, penelitian Iqbal dan Fauziah (2023), serta Atthaullah (2024), yang menyatakan metode bertahap mengalami penurunan nilai VMA karena jarak dari butiran agregat lebih rapat.

c. Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*).

Grafik yang menunjukkan pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk besi dengan perbandingan antara metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Grafik 5.11 dan Grafik 5.12.

Pada Grafik 5.11 terlihat bahwa peningkatan persentase substitusi *filler* serbuk besi dalam campuran *HRA* dengan menggunakan metode bertahap dan metode konvensional yang menyebabkan penurunan nilai *VFWA*. Hal ini menunjukkan bahwa penuruna nilai *VFWA* dengan menggunakan metode bertahap dapat diartikan bahwa *filler* serbuk besi memiliki kemampuan menyerap aspal, sehingga lapisan aspal menjadi lebih tipis dan kecil. Kondisi tersebut berdampak

pada campuran aspal yang akan megalami oksidasi dengan udara dan keawetan campuran aspal itu sendiri akan berkurang.



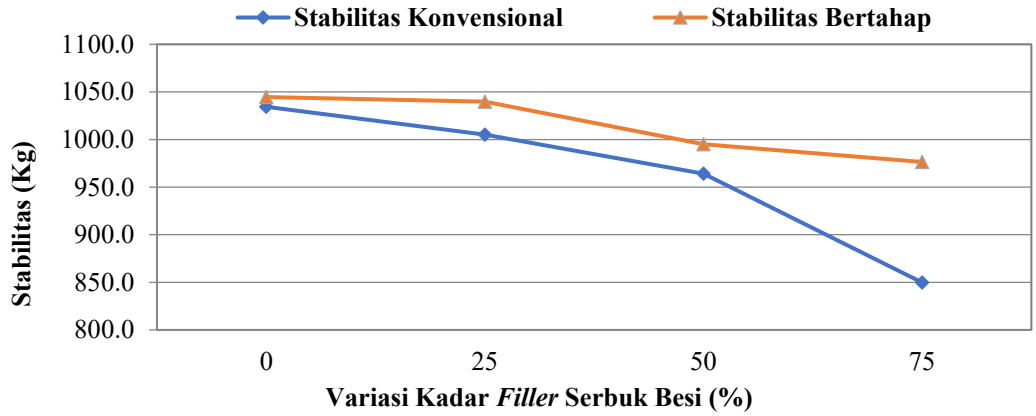
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Void Filled With Asphalt* (*VFWA*)

Penelitian ini sejalan dengan Tahir (2018), yang menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan *filler* semen pada berbagai kadar substitusi menyebabkan penurunan nilai *VFWA*. Penurunan tersebut disebabkan oleh ketidakmampuan aspal untuk mengisi rongga dalam campuran secara optimal. Selain itu, penelitian Iqbal dan Fauziah (2023), Firdaus (2023), serta Atthaullah (2024), menyatakan bahwa metode campuran dengan bertahap mampu mengisi rongga pada campuran secara optimal.

5.3.2 Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* Terhadap Nilai Kekuatan Pencampuran Aspal dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap.

a. Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Stabilitas.

Grafik pengaruh variasi subtitusi *filler* serbuk besi dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.12



Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Stabilitas

Pada Gambar 5.12 terlihat bahwa peningkatan persentase substitusi *filler* serbuk besi dalam campuran menyebabkan penurunan nilai stabilitas. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi *filler* serbuk besi memengaruhi stabilitas campuran. Penurunan stabilitas ini konsisten dengan nilai *VITM* yang menunjukkan keberadaan rongga besar dalam campuran, nilai *VMA* yang mengindikasikan jarak antar partikel agregat semakin kedap terhadap air. Akibatnya, campuran menjadi kurang mampu menahan deformasi. Meskipun demikian, pada kadar substitusi *filler* serbuk besi 100%, nilai stabilitas masih berada di atas batas minimum yang telah ditentukan.

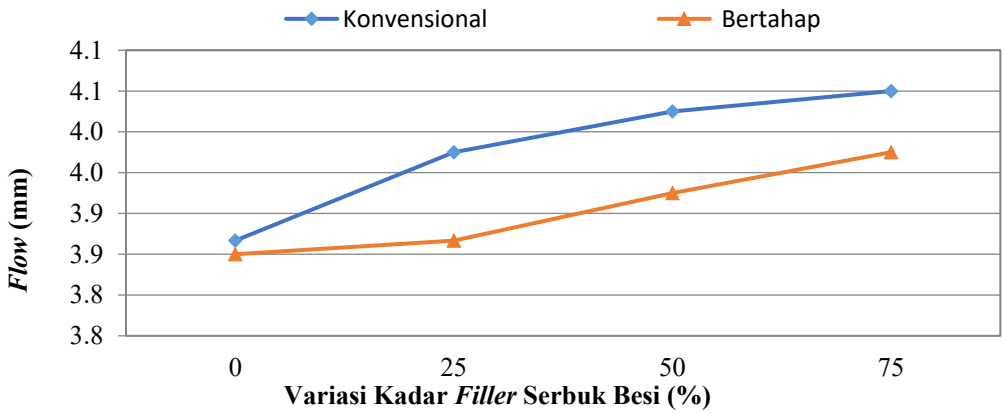
Berdasarkan grafik perbandingan Gambar 5.12, didapatkan nilai stabilitas pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode konvensional yang ternyata lebih rendah dibandingkan dengan metode bertahap. Hal ini disebabkan oleh penurunan nilai stabilitas pada metode bertahap, hal ini menyebabkan campuran perkerasan akan mudah terjadi *rutting* yang disebabkan oleh beban lalu lintas atau perubahan dari bentuk *subgrade*

Penelitian ini Sejalan dengan Oktariman (2023), yang menunjukkan bahwa nilai stabilitas cenderung menurun seiring dengan meningkatnya kadar substitusi limbah serbuk besi. Meskipun demikian, nilai stabilitas yang dihasilkan tetap memenuhi persyaratan minimum yang telah ditetapkan. Selain itu penelitian Iqbal dan Fauziah (2023), Firdaus (2023), serta Atthaullah (2024) yang menyatakan

bahwa metode bertahap menunjukkan adanya peningkatan nilai stabilitas, yang disebabkan oleh adanya daya ikat antar agregat. Hal ini mengakibatkan berkurangnya rongga dalam campuran, sehingga nilai stabilitas meningkat.

b. Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Flow*

Grafik yang menunjukkan pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk besi dengan perbandingan antara metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Flow*

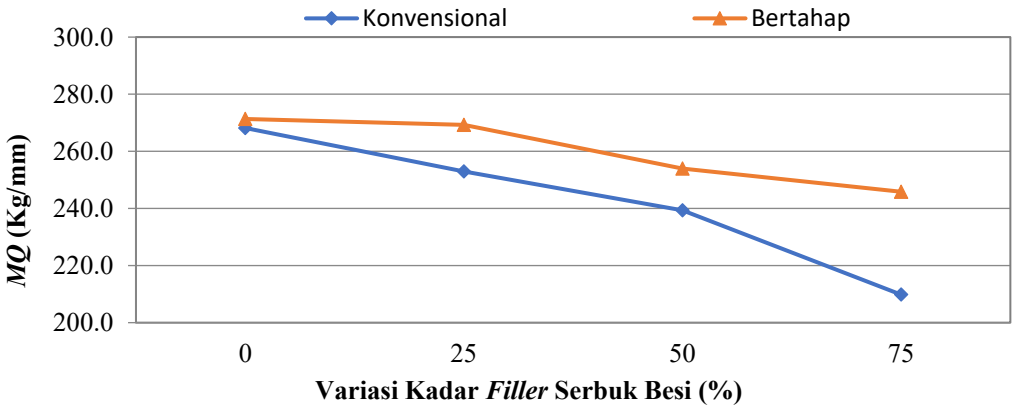
Berdasarkan grafik diatas perbandingan Gambar 5.13, didapatkan nilai *flow* yang terdapat pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan subtitusi *filler* serbuk besi dengan menggunakan metode konvensional yang lebih tinggi dibandingkan metode bertahap. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan nilai *flow* pada metode bertahap dengan nilai stabilitas yang rendah cenderung memiliki sifat yang lentur dan mudah sekali mengalami perubahan dari bentuk apabila dibebani.

Penelitian yang dilakukan oleh Kok dan Kologlu (2011) menunjukkan hasil yang sejalan, di mana mereka menyatakan bahwa penggunaan metode bertahap menyebabkan campuran menjadi lebih kaku akibat meningkatnya daya ikat antara agregat dan aspal. Namun, temuan dalam penelitian ini sejalan dengan Firdaus (2023), yang menyatakan bahwa metode bertahap meningkatkan nilai *flow*, sehingga campuran menjadi lebih lentur dan kurang rentan terhadap deformasi

plastis. Penelitian ini sejalan dengan Attahaullah (2024) yang menyatakan bahwa Peningkatan nilai *flow* tersebut menyebabkan campuran aspal memiliki fleksibilitas yang lebih tinggi, sehingga tidak mudah mengalami keretakan saat menerima beban lalu lintas.

c. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Marshall Quentient (MQ).*

Grafik pengaruh variasi subtitusi *filler* serbuk besi dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.14



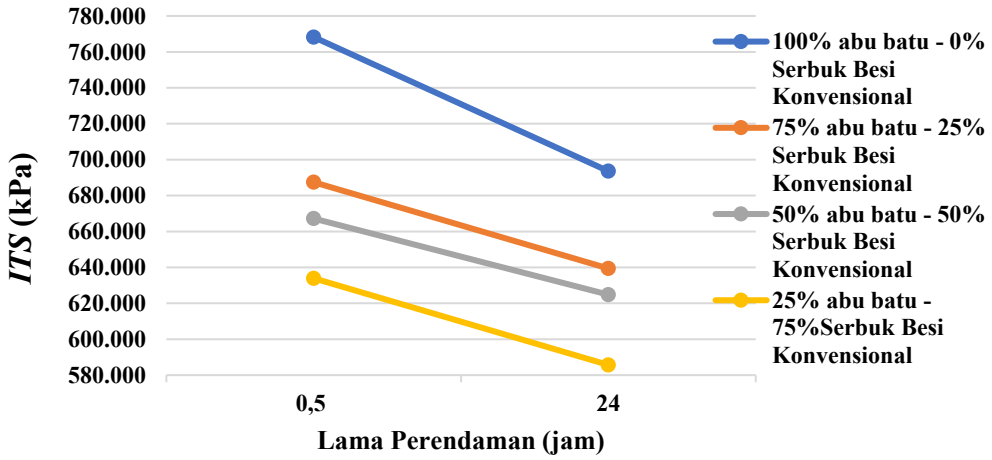
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Marshall Quentient* (*MQ*)

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.14, nilai *Marshall Quotient* (*MQ*) pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan metode konvensional lebih rendah dibandingkan metode bertahap. Hal ini mengindikasikan bahwa campuran *filler* serbuk besi berpengaruh terhadap nilai *MQ* seiring dengan bertambahnya subtitusi serbuk besi. Pada grafik diatas menunjukkan bahwa nilai *Marshall Quotient* (*MQ*) pada metode bertahap lebih baik dibandingkan metode konvensional disebabkan oleh kurangnya nilai stabilitas dan lebihnya nilai *flow*, sehingga menyebabkan campuran bersifat lentur dan fleksibelitas yang rendah sehingga mudah juga terjadi deformasi pada saat adanya beban pada lalu lintas.

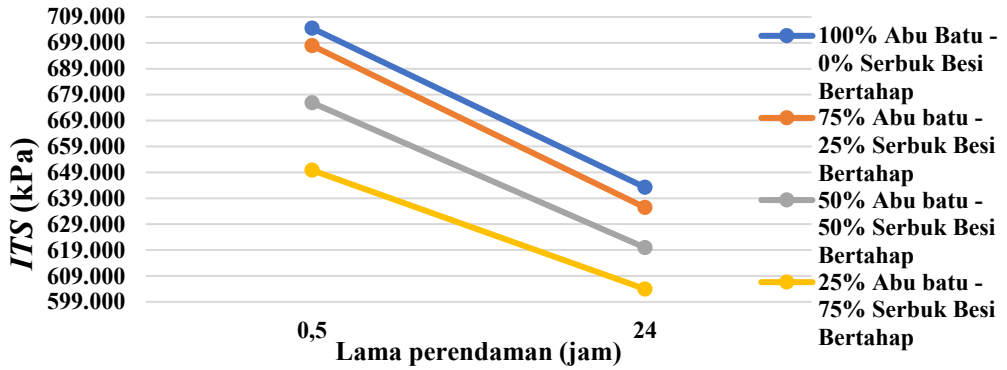
Penelitian yang dilakukan oleh Kok dan Kologlu (2011) menyatakan bahwa penerapan metode bertahap menyebabkan peningkatan nilai kekakuan pada campuran, sehingga menjadikannya lebih kaku. Sementara itu, penelitian yang menggunakan abu batu dari Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia menunjukkan hasil yang berlawanan dengan temuan Firdaus (2021) yang mana Firdaus (2021) mengungkapkan bahwa penggunaan metode bertahap berpengaruh terhadap peningkatan nilai stabilitas dan *flow*, yang mengakibatkan campuran menjadi lebih lentur dan tidak mudah mengalami deformasi plastis. Selain itu, hasil penelitian dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023), serta Atthaullah (2024) di mana mereka menemukan bahwa metode bertahap berkontribusi terhadap peningkatan nilai *Marshall Quotien* (*MQ*).

d. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength* (*ITS*).

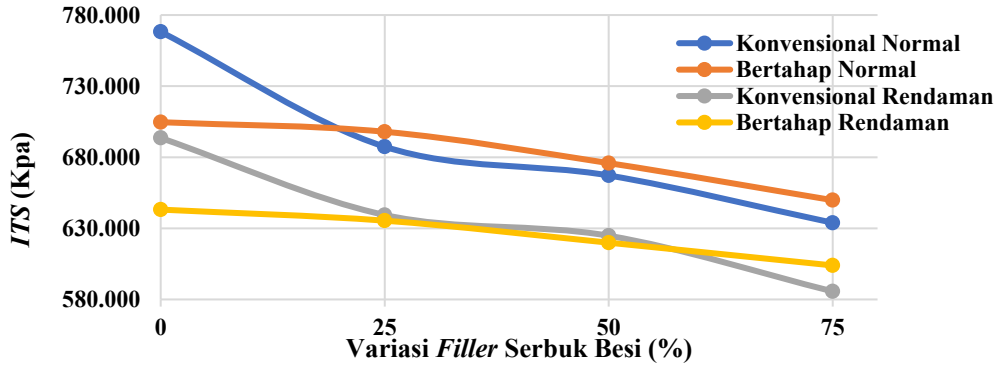
Grafik yang menunjukkan pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk besi dengan perbandingan antara metode campuran konvensional dan metode bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.15 dan Gambar .



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Nilai *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) 0,5 Jam dengan 24 Jam Rendaman Metode Pencampuran Konvensional.



Gambar 5.16 Grafik Nilai *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) 0,5 Jam dengan 24 Jam Rendaman Metode Pencampuran Bertahap



Gambar 5.17 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS).

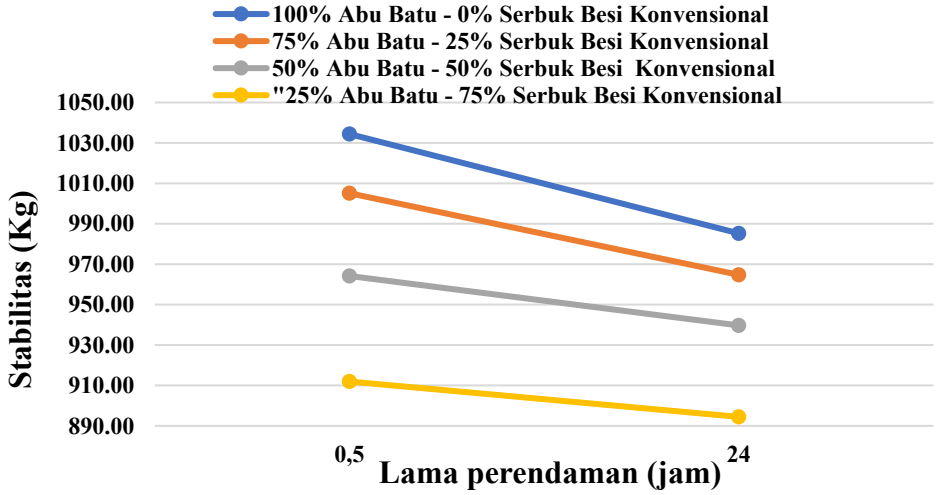
Berdasarkan data pada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16, terlihat bahwa nilai *Indirect Tensile Strength* (*ITS*) menurun seiring bertambahnya kadar substitusi serbuk besi dan lamanya proses perendaman, baik dengan metode bertahap maupun metode konvensional. Namun, metode bertahap menunjukkan nilai *ITS* yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Meskipun demikian, pada kadar substitusi serbuk besi sebesar 0%, nilai *ITS* metode bertahap lebih rendah dibandingkan metode konvensional, baik pada kondisi rendaman 0,5 jam maupun setelah rendaman 24 jam. Pada Gambar 5.17, terlihat bahwa nilai *ITS* pada masa perendaman 0,5 jam dan setelah perendaman 24 jam mengalami penurunan. Penurunan ini disebabkan oleh berkurangnya daya ikat antara agregat dan aspal selama proses perendaman, yang mengakibatkan campuran menjadi lebih lunak dan rentan terhadap keretakan.

Grafik tersebut juga menunjukkan bahwa metode bertahap mampu mengurangi potensi keretakan pada campuran seiring dengan peningkatan kadar substitusi serbuk besi. Temuan ini konsisten dengan penelitian Iqbal dan Fauziah (2023), Firdaus (2023), Hidayat (2021), serta Atthaullah (2024) yang menyatakan bahwa metode bertahap menghasilkan nilai *ITS* yang lebih baik, baik pada kondisi perendaman normal maupun setelah perendaman.

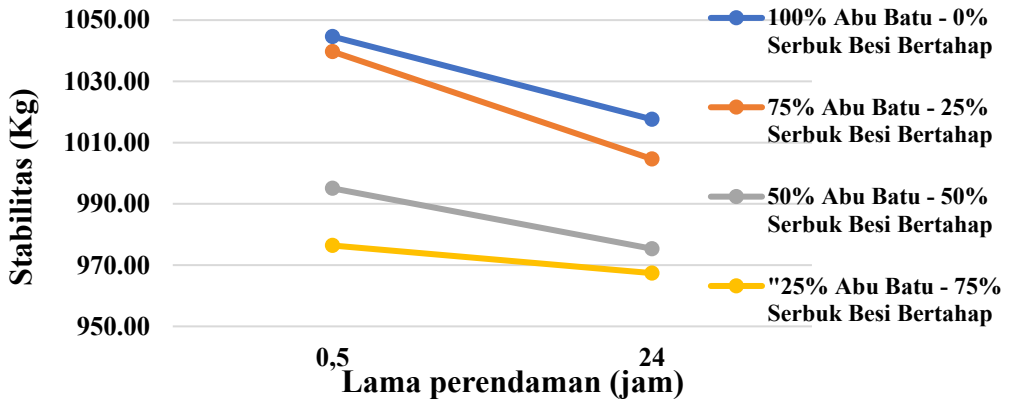
5.3.3 Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* Terhadap Nilai Durabilitas Pencampuran Aspal dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap.

a. Pengaruh variasi subtitusi *filler* dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap terhadap nilai *Index of Retained Strength* (*IRS*).

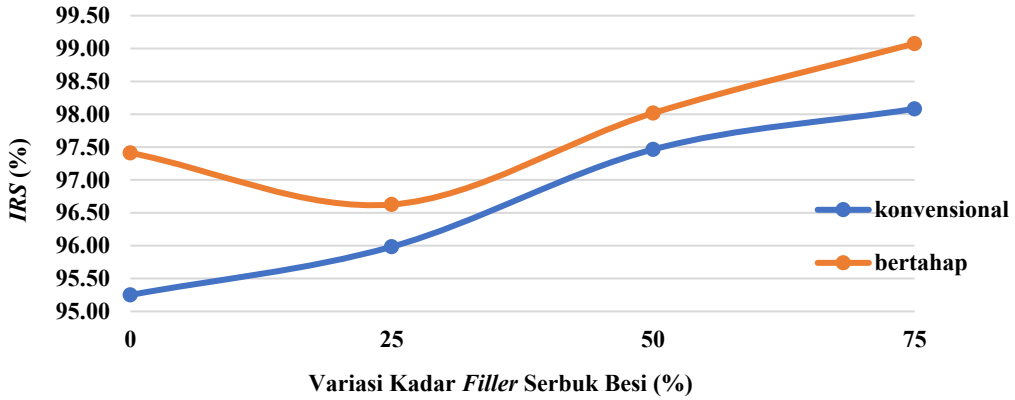
Nilai Index *of Retained Strength* (*IRS*) merupakan indikator yang diperoleh melalui perbandingan antara stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam dalam *waterbath* pada suhu 60˚C dengan stabilitas campuran setelah direndam selama 0,5 jam pada suhu yang sama. Pengaruh variasi substitusi bahan pengisi (*filler*) serbuk besi terhadap nilai *IRS*, dengan membandingkan metode campuran konvensional dan metode bertahap, dapat diamati pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19.



Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas 0,5 jam dengan Nilai Stabilitas 24 Jam Rendaman Metode Pencampuran Konvensional



Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas 0,5 jam dengan Nilai Stabilitas 24 Jam Rendaman Metode Pencampuran Bertahap



Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Index of Retained Strength* (*IRS*)

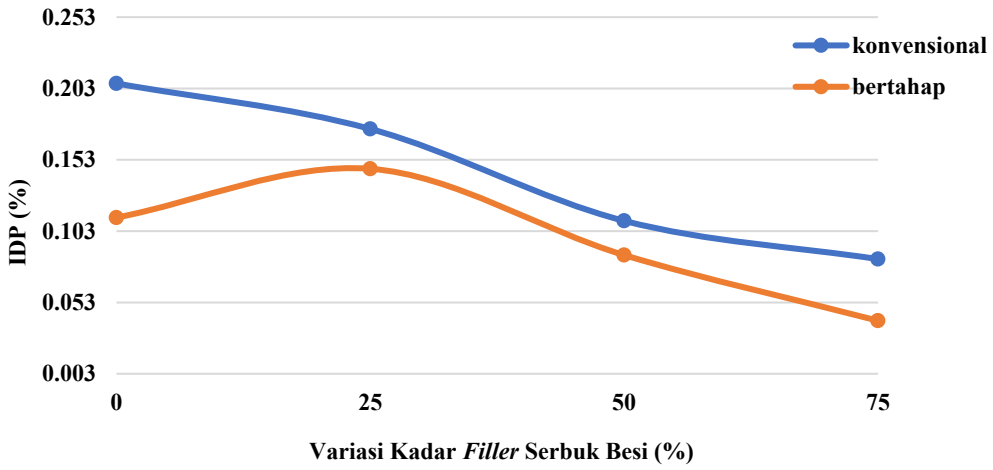
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19, stabilitas campuran dengan berbagai kadar substitusi serbuk besi menunjukkan tren penurunan pada kedua metode, baik metode bertahap maupun metode konvensional, seiring dengan lamanya waktu perendaman. Namun, metode bertahap menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Hal ini sejalan dengan penelitian Hidayat (2021), yang menyimpulkan bahwa metode bertahap mampu melapisi agregat dengan lebih baik, sehingga menghasilkan lapisan aspal yang lebih tebal pada campuran. Selanjutnya, berdasarkan grafik pada Gambar 5.20, nilai *Index of Retained Strength* (*IRS*) pada campuran *Hot Rolled Asphalt* menunjukkan peningkatan pada kadar serbuk besi dengan metode bertahap, sedangkan pada kadar

25% bertahap mengalami penurunan. Sementara itu, metode konvensional menunjukkan peningkatan nilai *IRS* seiring bertambahnya kadar substitusi serbuk besi. Peningkatan nilai *IRS* pada metode bertahap dengan kadar 50% dan 75% disebabkan oleh tertutupnya pori-pori dalam campuran secara optimal, sehingga rongga dalam campuran dapat diminimalkan. Sebaliknya, penurunan nilai IRS pada kadar 25% terjadi akibat adanya rongga dalam campuran, yang disebabkan oleh kurang baiknya ikatan antar-agregat. Selain itu, substitusi *filler* dengan serbuk besi pada kadar 50% dan 75% mampu mengisi rongga dalam agregat dengan lebih efektif, sehingga menghasilkan campuran yang lebih padat. Namun, pada kadar 25% serbuk besi tidak dapat mengisi rongga secara optimal, sehingga menyebabkan penurunan nilai *IRS* pada metode bertahap.

Penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023) serta Firdaus (2023) menunjukkan sejalan, di mana metode bertahap menghasilkan nilai *Indirect Retensile Strength* (*IRS*) yang lebih baik seiring dengan peningkatan nilai *IRS*. Sementara itu, Atthaullah (2024) menyatakan bahwa penggunaan abu bauksit dapat meningkatkan nilai *IRS*, dengan meningkatnya secara signifikan. Hal ini disebabkan oleh terbentuknya selaput aspal yang tebal, sehingga nilai *IRS* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar substitusi abu bauksit. Adapun penurunan nilai *IRS* pada metode bertahap lebih rendah dibandingkan metode konvensional, namun karena tidak terdapat parameter yang relevan dalam penelitian sebelumnya, perbandingan secara langsung tidak dapat dilakukan.

b. Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Indek Durabilitas Pertama IDP.

Indeks Durabilitas Pertama IDP merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menentukan durabilitas suatu campuran, selain *IRS* dan Indeks Durabilitas Kedua. Grafik yang menunjukkan pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk besi, dengan perbandingan antara metode pencampuran konvensional dan bertahap, dapat diamati pada Gambar 5.21.



Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Indeks Durabilitas* Pertama

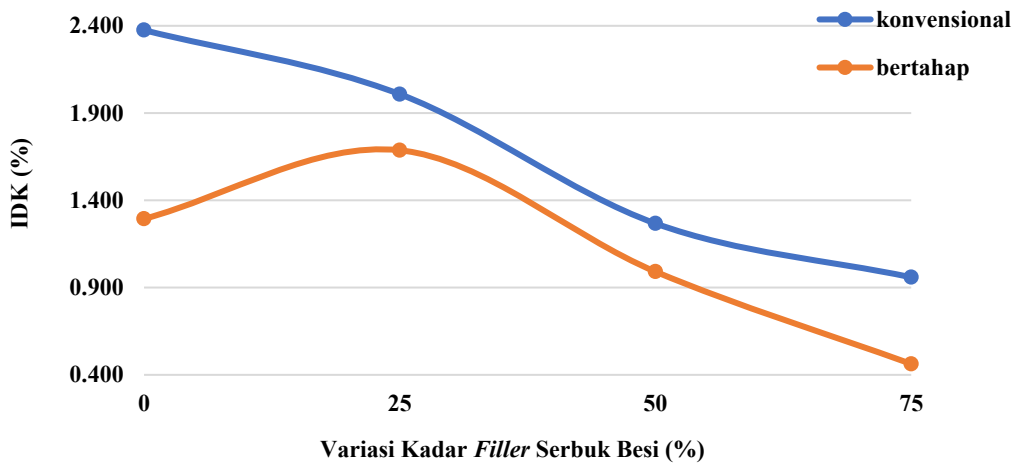
Berdasarkan analisis grafik pada Gambar 5.21, nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) menunjukkan penurunan pada setiap kadar substitusi serbuk besi baik pada metode bertahap maupun metode konvensional. Namun, pada kadar substitusi serbuk besi 25% terjadi peningkatan nilai IDP dibandingkan dengan kadar 50% dan 75%. Hal ini dapat disebabkan oleh tidak mampuan campuran pada kadar 50% dan 75% untuk menutup rongga secara optimal, sehingga menghasilkan pori-pori yang lebih besar dan mempermudah penetrasi air ke dalam campuran. Kondisi ini menyebabkan penurunan durabilitas campuran sehingga menjadi lebih rentan terhadap kerusakan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Firdaus (2023) sejalan dimana metode bertahap memiliki nilai IDP yang lebih baik daripada metode konvensional. Peneilitian ini sejalan dengan Octavian (2024) pada penelitiannya bahwa kadar subtitusi *filler* serbuk besi nilai IDP mengalami penurunan. substitusi *filler* serbuk besi pada campuran tidak menunjukkan pengaruh signifikan terhadap nilai Indeks Durabilitas Pertama IDP. Penurunan nilai IDP pada metode bertahap menunjukkan tingkat yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional. Namun, dikarenakan penelitian sebelumnya tidak menyantumkan parameter terkait, perbandingan secara langsung tidak dapat dilakukan. Hal ini yang menjadikan Penurunan stabilitas yang relatif kecil ini disebabkan oleh karakteristik *filler* serbuk besi yang

meningkatkan kekakuan aspal, sehingga campuran memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap pengaruh suhu dan air.

c. Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua.

Indeks Durabilitas Kedua merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi durabilitas suatu campuran, selain Indeks Residu Stabilitas (IRS) dan Indeks Durabilitas Pertama. Penurunan nilai indeks ini menunjukkan bahwa campuran hanya mengalami sedikit kehilangan kekuatan, sedangkan peningkatan nilai indeks mengindikasikan bahwa campuran mengalami penurunan kekuatan yang lebih signifikan. Grafik yang memperlihatkan pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk besi dengan perbandingan antara metode pencampuran konvensional dan bertahap dapat diamati pada Gambar 5.22.



Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.22, nilai Indeks Durabilitas Kedua IDK menunjukkan tren penurunan pada setiap kadar substitusi serbuk besi, baik dengan metode bertahap maupun metode konvensional. Namun, kadar substitusi serbuk besi sebesar 25% menunjukkan peningkatan nilai IDK, sedangkan kadar 50% dan 75% mengalami penurunan. Hal ini berbanding terbalik dengan metode

konvensional, sering bertambahnya *filler* serbuk besi nilai IDK mengalami penurunan. Hal ini kemungkinan disebabkan oleh ketidakmampuan campuran dengan kadar 50% dan 75% untuk menutup rongga dengan baik, sehingga menghasilkan pori-pori yang lebih besar dan mempermudah penetrasi air ke dalam campuran. Kondisi tersebut menyebabkan durabilitas campuran menurun dan meningkatkan kerentanannya terhadap kerusakan.

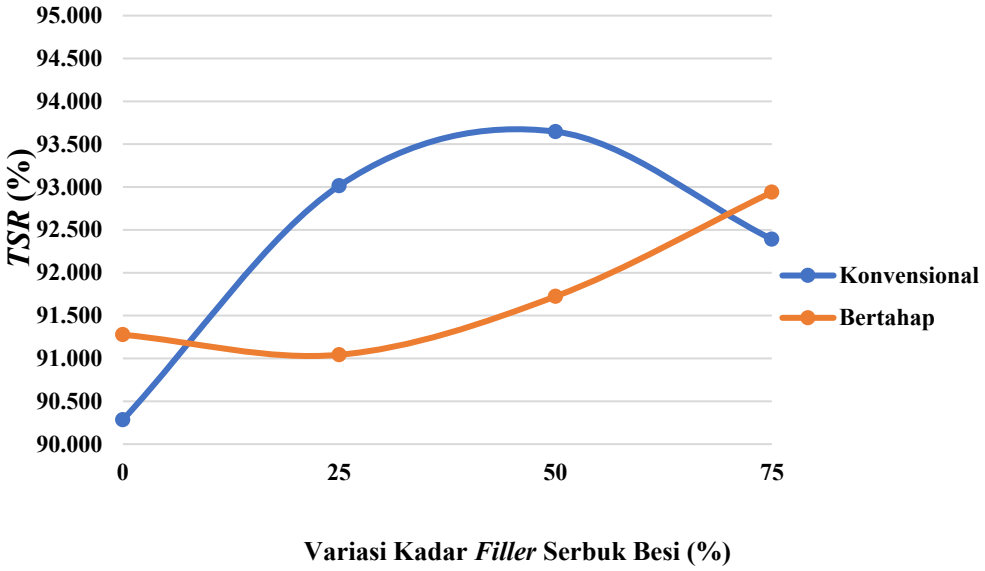
Pada penelitian yang dilakukan oleh Firdaus (2023) sejalan dimana metode bertahap memiliki nilai IDK yang lebih baik seiring peningkatan nilai IDP. Penelitian ini sejalan dengan Octavian (2024), bahwa dengan kadar subtitusi *filler* serbuk besi nilai IDK mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi *filler* serbuk besi pada campuran tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Nilai IDK yang lebih kecil mengindikasikan tingkat kehilangan kekuatan yang lebih rendah. Nilai ini cenderung kecil karena substitusi *filler* serbuk besi meningkatkan kekakuan aspal, sehingga campuran mampu mempertahankan kekuatan rata-rata meskipun mengalami proses perendaman.

d. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Membandingkan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Tensile Strength Ratio TSR.*

Nilai Nilai *Tensile Strength Ratio TSR* diperoleh dari perbandingan antara nilai *Indirect Tensile Strength ITS* campuran setelah direndam selama 24 jam dalam *waterbath* pada suhu 60˚C dengan nilai *ITS* campuran setelah direndam selama 0,5 jam pada suhu yang sama. Grafik yang menunjukkan pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk besi dengan perbandingan metode pencampuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.23.

Berdasarkan Gambar 5.23, pada metode bertahap mengalami peningkatan nilai *TSR* seiring bertambahnya kadar subtitusi *filler* serbuk besi dibandingkan dengan metode konvensional. Hal ini disebabkan seiring bertambahnya kadar subtitusi *filler* serbuk besi mampu untuk mengisi rongga-rongga pada campuran sehingga meningkatkan nilai viskositas dan kohesi pada aspal., sehingga menghasilkan nilai *TSR* campuran *Hot Rolled Asphalt HRA* pada kadar 0% dan 75%

lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu pada kadar 25% dan 50 % pada metode konvensional lebih tinggi daripada metode bertahap. Hal ini disebabkan oleh terjadinya penurunan nilai indeks penetrasi pada metode bertahap sehingga nilai *TSR* pada kadar 25 % dan 50 % metode konvensional lebih tinggi daripada metode bertahap.

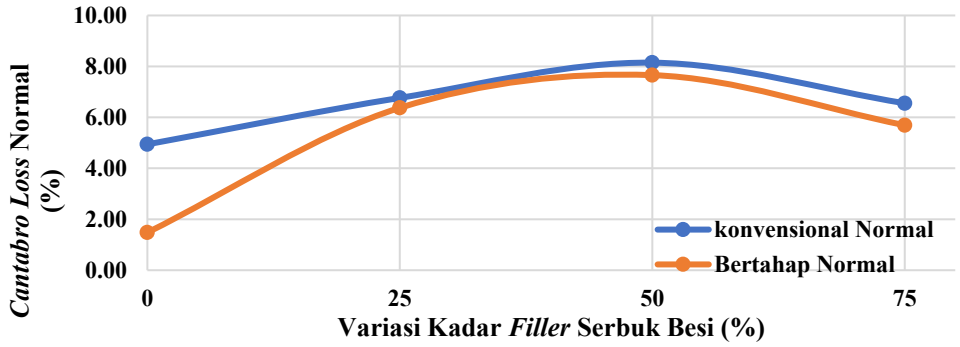


Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Tensile Strength Ratio* (*TSR*).

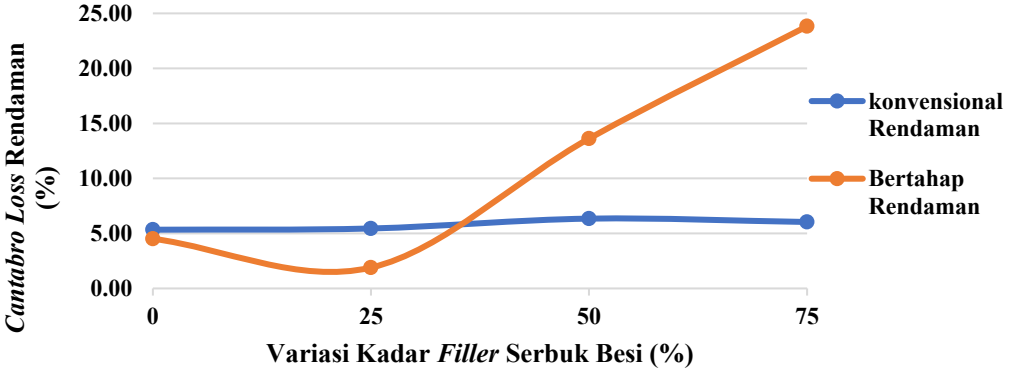
Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023), di mana penambahan serbuk ban karet sebesar 2% meningkatkan nilai *TSR*, tetapi pada kadar 4% dan 6% terjadi penurunan nilai *TSR*. Oleh karena itu, penurunan nilai *TSR* pada metode bertahap dapat disimpulkan disebabkan oleh penurunan indeks penetrasi dalam campuran, yang membuat campuran lebih rentan terhadap perubahan suhu. Penelitian ini juga sejalan dengan Octavian (2023) dimana pada kadar 0 % sampai 50 % mengalami peningkatan nilai *TSR*.

e. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Membandingkan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantrabro Loss*.

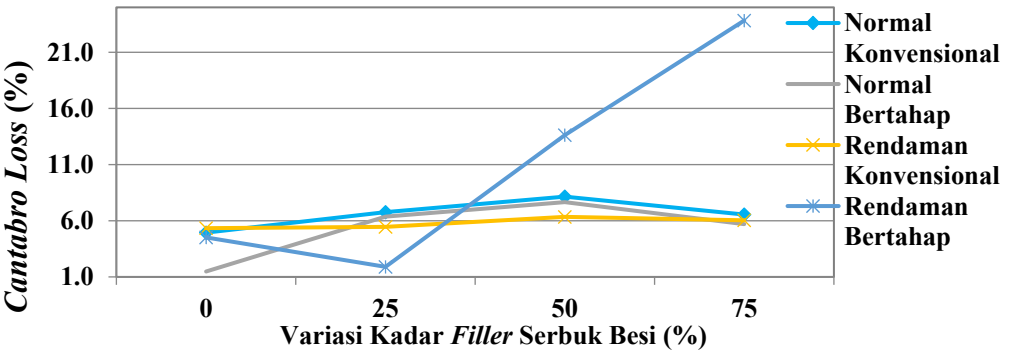
Grafik yang menunjukkan pengaruh variasi substitusi *filler* serbuk besi dengan perbandingan antara metode pencampuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.24 hingga Gambar 5.27.



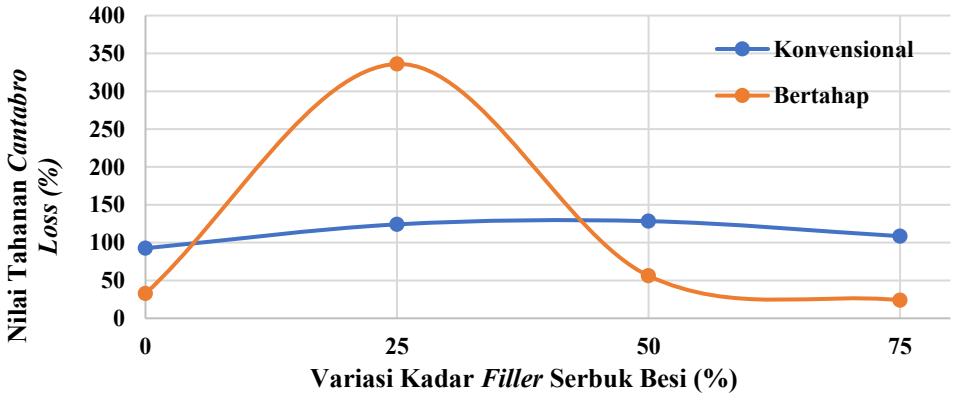
Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantabro Loss* Normal



Gambar 5.25 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantabro Loss* Rendaman



Gambar 5.26 Grafik Rekapitulasi Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantabro Loss*



Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Tahanan *Cantabro Loss*

Berdasarkan Gambar 5.24 hingga 5.27, nilai *Cantabro loss* pada metode bertahap menunjukkan hasil yang lebih rendah dibandingkan metode konvensional, terkecuali pada kadar 25% mengalami peningkatan pada metode bertahap, dalam kadar 25% ini bisa disimpulkan karena kesalahan dalam pada saat pembuatan sampel ataupun pada saat pencampuran sample pada *Cantabro Loss.* Hal ini mengindikasikan bahwa metode bertahap memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan beban akibat keausan. Metode ini efektif dalam mengunci agregat dan aspal, sehingga ketika terjadi benturan, campuran tetap mempertahankan kondisi awalnya. Selain itu, penggunaan serbuk besi sebagai substitusi *filler* menyebabkan penurunan nilai *Cantabro loss* pada kedua metode tersebut. Hal ini terjadi karena serbuk besi mampu meningkatkan ikatan antara agregat dan aspal, sehingga menghasilkan campuran yang lebih padat.

Pernyataan ini sejalan dengan Iqbal dan Fauziah, dkk (2023) yang menyatakan bahwa metode bertahap menghasilkan nilai *Cantabro loss* yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa metode bertahap mampu mempertahankan ikatan yang kuat antara agregat dan aspal, sehingga campuran menjadi stabil.

5.4 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi Dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Rekapitulasi hasil pengujian subtitusi *filler* serbuk besi dengan menggunakan metode bertahap dan metode konvensional dapat dilihat pada tabel 5.15.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	Stabilitas Konvensional (Kg)	1034,39	1005,10	964,15	849,81	Semakin meningkatnya substitusi pada *filler* serbuk besi menyebabkan menurunnya nilai stabilitas, yang mengakibatkan perkerasan akan mudah mengalami *rutting* yang disebabkan oleh beban lalu lintas.
	Stabilitas Bertahap (kg)	1044,62	1039,71	995,06	976,41	Semakin meningkatnya substitusi pada *filler* serbuk besi menyebabkan menurunnya nilai stabilitas, yang mengakibatkan perkerasan akan mudah mengalami *rutting* yang disebabkan oleh beban lalu lintas.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	*Flow* Konvensional (mm)	3,87	3,98	4,03	4,05	Semakin meningkatnya substitusi *filler* serbuk besi menyebabkan nilai *flow* meningkat yang tidak signifikan, sehingga campuran menjadi plastis apabila mengalami pembebanan.
	Flow Bertahap (mm)	3,85	3,87	3,93	3,98	Semakin meningkatnya substitusi *filler* serbuk besi menyebabkan nilai *flow* meningkat yang tidak signifikan, sehingga campuran menjadi plastis apabila mengalami pembebanan.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	*MQ* Konvensional (Kg/mm)	268,16	252,95	239,32	209,82	Semakin meningkatnya subtitusi *filler* serbuk besi menyebabkan penurunan nilai *MQ,* sehingga campuran bersifat plastis sehingga mudah mengalami deformasi.
	MQ Bertahap (Kg/mm)	271,33	269,25	253,95	245,84	Semakin meningkatnya subtitusi *filler* serbuk besi menyebabkan penurunan nilai *MQ,* sehingga campuran bersifat plastis sehingga mudah mengalami deformasi.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	*ITS* Konvensional (kPa)	768,23	687,42	667,20	633,91	Semakin besar nilai pada subtitusi *filler* serbuk besi membuat penurunan nilai *ITS* subtitusi pada campuran meskipun membuat campuran menjadi lebih lentur namun masih mampu menahan beban dengan baik.
	ITS Bertahap (kPa)	704,65	697,92	675,86	649,80	Semakin besar nilai pada subtitusi *filler* serbuk besi membuat penurunan nilai *ITS* subtitusi pada campuran meskipun membuat campuran menjadi lebih lentur namun masih mampu menahan beban dengan baik.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	*VITM* Konvensional (%)	4,18	4,70	4,78	4,81	Semakin meningkatnya subtitusi *filler* serbuk besi menyebabkan peningkatan nilai *VITM,* hal ini menyebabkan banyaknya rongga pada campuran sehingga lebih mudah diresapi air dan teroksidasi.
	VITM Bertahap (%)	3,95	4,19	4,55	4,85	Semakin meningkatnya subtitusi *filler* serbuk besi menyebabkan peningkatan nilai *VITM,* hal ini menyebabkan banyaknya rongga pada campuran sehingga lebih mudah diresapi air dan teroksidasi.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	*VMA* Konvensional (%)	20,02	20,54	20,69	20,80	Semakin meningkatnya subtitusi *filler* serbuk besi menyebabkan peningkatan nilai *VMA,* hal ini menyebabkan banyaknya rongga yang terisi oleh aspal sehingga aspal mengalami kekedapan terhadap air dan udara yang semakin tinggi.
	VMA Bertahap (%)	19,83	20,03	20,49	20,83	Semakin meningkatnya subtitusi *filler* serbuk besi menyebabkan peningkatan nilai *VMA,* hal ini menyebabkan banyaknya rongga yang terisi oleh aspal sehingga aspal mengalami kekedapan terhadap air dan udara yang semakin tinggi.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	*VFWA* Konvensional (%)	79,11	77,10	76,89	76,85	Semakin besar nilai pada subtitusi *filler* serbuk besi membuat penuruna nilai *VFWA,* hal ini menyebabkan kekedapan pada campuran aspal semakin kecil dan aspal didalam campuran akan terjadi oksidasi dengan udara dan keawetan akan berkurang.
	VFWA Bertahap (%)	80,12	79,09	77,80	76,71	Semakin besar nilai pada subtitusi *filler* serbuk besi membuat penuruna nilai *VFWA,* hal ini menyebabkan kekedapan pada campuran aspal semakin kecil dan aspal didalam campuran akan terjadi oksidasi dengan udara dan keawetan akan berkurang.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	*IRS* Konvensional (%)	95,25	95,98	97,47	98,08	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat kenaikan nilai *IRS* pada campuran hal ini membuat campuran menjadi lebih awet apabila terjadi perubahan suhu.
	IRS Bertahap (%)	97,41	96,93	98,02	99,08	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat kenaikan nilai *IRS,* tetapi pada subtitusi 25% mengalami penurunan pada campuran. Hal ini membuat campuran menjadi lebih awet apabila terjadi perubahan suhu.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	IDP Konvensional (%)	0,207	0,175	0,110	0,083	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat penurunan nilai IDP pada campuran hal ini membuat campuran mampu mempertahankan ikatan antar aspal dan agregat.
	IDP Bertahap (%)	0,113	0,147	0,086	0,040	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat penurunan nilai IDP, tetapi terjadi kenaikan pada kadar 25% pada campuran. Hal ini membuat campuran mampu mempertahankan ikatan antar aspal dan agregat.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	IDK Konvensional (%)	2,375	2,008	1,267	0,959	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat penurunan nilai IDK pada campuran hal ini membuat campuran mampu mempertahankan ikatan antar aspal dan agregat.
	IDK Bertahap (%)	1,294	1,687	0,991	0,462	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat penurunan nilai IDK, tetapi pada kadar 25% mengalami kenaikan pada campuran. Hal ini membuat campuran mampu mempertahankan ikatan antar aspal dan agregat.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	TSR Konvensional (%)	90,283	93,015	93,646	92,391	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat kenaikan nilai *TSR,* tetapi pada subtitusi 75% mengalami penurunan pada campuran. Hal ini membuat campuran menjadi lebih awet apabila terjadi perubahan suhu.
	TSR Bertahap (%)	91,276	91,043	91,724	92,939	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat meningkatnya nilai *TSR,* lalu mengalami penuruna pada 25% pada campuran. Hal ini membuat campuran menjadi lebih kaku akan tetapi lebih awet apabila terjadi perubahan suhu.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	*Cantabro Loss* Konvensional Normal (%)	4,94	6,76	8,15	6,55	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat kenaikan lalu mengalami penurunan pada 75% nilai *CL.* Hal ini membuat campuran lebih kaku dan tahan terhadap segregasi.
	Cantabro Loss Bertahap Normal (%)	5,34	5,45	6,35	6,04	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat peningkatan lalu mengalami kenaikan pada 75% nilai *CL.* Hal ini membuat campuran lebih kaku dan tahan terhadap segregasi.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Serbuk Besi dengan Menggunakan Metode Pencampuran Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi %				Keterangan
		0	25	50	75	
Tinjauan Segi Kekuatan	*Cantabro Loss* Konvensional Rendaman (%)	1,48	6,37	7,66	5,69	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat kenaikan lalu mengalami penurunan pada 75% nilai *CL* pada campuran. Hal ini membuat campuran lebih kaku dan tahan terhadap segregasi.
	Cantabro Loss Bertahap Rendaman (%)	4,52	1,90	13,63	23,83	Semakin besar nilai subtitusi *filler* serbuk besi membuat kenaikan nilai *CL* dan mengalami penuran pada kadar 25% pada campuran. Hal ini membuat campuran lebih kaku dan tahan terhadap segregasi.

Tabel 5.17 Rekapitulasi Kadar Optimal Penggunan Serbuk Besi pada Metode Pencampuran Bertahap dan Konvensional

NO	Pengujian	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi								Keterangan
		0% K	0% B	25% K	25% B	50% K	50% B	75% K	75% B	
1.	Stabilitas	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap.
2.	*MQ*	✓	✓	✓	✓	X	✓	X	X	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap, terkecuali pada kadar subtitusi 50% konvensional, 75 % konvesional dan betahap
3.	*ITS*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap
4.	*Cantabro Loss* normal	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap

Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Kadar Optimal Penggunan Serbuk Besi pada Metode Pencampuran Bertahap dan Konvensional

NO	Pengujian	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi								Keterangan
		0% K	0% B	25% K	25% B	50% K	50% B	75% K	75% B	
5.	*Cantabro Loss* rendaman	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	X	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap, terkecuali pada kadar subtitusi 75% bertahap.
6.	*VITM*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap.
7.	*VMA*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap.
8.	*VFWA*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap.
10.	*IRS*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap.

Lanjutan Tabel 5.17 Rekapitulasi Kadar Optimal Penggunan Serbuk Besi pada Metode Pencampuran Bertahap dan Konvensional

NO	Pengujian	Subtitusi *Filler* Serbuk Besi								Keterangan
		0% K	0% B	25% K	25% B	50% K	50% B	75% K	75% B	
11.	*IDP*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap.
12.	*IDK*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap.
13.	*TSR*	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Subtitusi serbuk besi bisa digunakan pada metode konvensional maupun bertahap.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta analisis terhadap karakteristik *Hot Rolled Asphalt,* yang dilakukan dengan membandingkan metode pencampuran konvensional dan bertahap serta variasi substitusi *filler* serbuk besi pada kadar 0%, 25%, 50%, dan 75%, diperoleh hasil sebagai berikut.

1. Berdasarkan parameter volumetrik, penggunaan subtitusi *filler* serbuk besi menggunakan variasi 0%, 25%, 50% dan 75% pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode pencampuran bertahap lebih baik dari pada metode konvesional. Hal ini berdasarkan nilai dari *VITM, VMA, VFWA* bertahap lebih baik daripada metode konvesional.
2. Berdasarkan paratemer kekuatan, penggunaan subtitusi *filler* serbuk besi menggunakan variasi 0%, 25%, 50% dan 75% pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode pencampuran bertahap lebih baik daripada metode konvesional. Hal ini dapat dilihat berdasarkan nilai stabilitas, *MQ, ITS,* dan *Cantabro Loss* dengan menggunakan metode bertahap lebih baik dari pada metode konvensional.
3. Berdasarkan parameter keawetan (*durability*), penggunaan subtitusi *filler* serbuk besi menggunakan variasi 0%, 25%, 50% dan 75% pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode pencampuran bertahap lebih baik daripada metode konvesional. Hal ini didapatkan berdasarkan nilai *IRS,* IDP, IDK dan *TSR* bertahap lebih baik daripada metode konvesional. Menandakan bahwa campuran mampu beradaptasi terhadap perubahan suhu sehingga membuat campuran tahan terhadap keausan.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang membandingkan metode pencampuran bertahap dan konvensional dengan substitusi *filler* berupa serbuk besi, penulis

memberikan beberapa rekomendasi untuk penelitian selanjutnya. Adapun rekomendasi tersebut adalah sebagai berikut.

1. Dilakukan pengujian terhadap kandungan senyawa dan analisis ukuran butiran *filler* serbuk besi untuk memahami pengaruh reaksi kimia yang terjadi saat dicampur dengan *Hot Rolled Asphalt*.
2. Penggunaan serbuk besi dapat menggantikan fungsi abu batu dalam campuran karena mampu meningkatkan kekuatan dan durabilitas campuran secara lebih optimal.
3. Diperlukan penelitian lanjutan terkait penerapan serbuk besi sebagai substitusi *filler* pada jenis campuran lain untuk mengeksplorasi potensinya lebih lanjut.
4. Perlu adanya eksperimen terkait penggunaan serbuk besi pada pengujian *Cantabro Loss* yang memiliki nilai yang sangat tinggi pada variasi 25%.
5. Perlu adanya pembahasan terkait keekonomisan dari penggunaan metode pencampuran bertahap.

DAFTAR PUSTAKA

Adibroto F. 2014. Studi Pemanfaatan Abu Tanah Liat Bakar Asal Gunung Sarik Padang Sebagai *Filler* Pada Campuran *Hot Rolled Sheet (HRS) – WC*. Jurnal Poli Rekayasa, Vol 9, No 2, (2014).

Arifiardi I. 2016. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Carita Sebagai Campuran Agregat Halus pada Lapis Permukaan Aspal Beton Terhadap Persyaratan Parameter *Marshall*. Universitas Negri Jakarta. Jakarta.

Arifiardi I, Hadi W. dan Purnomo A. 2026. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Carita Sebagai Campuran Agregat Halus Pada Lapis Permukaan Aspal Beton Terhadap Persyaratan Parameter *Marshall.* Jurnal Teknik Sipil, Vol. 11, No. 1 (2016).

Ator P.I. 2015. Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisiterhadap Kriteria *Marshall* Pada Campuran Lapis Aspal Beton-Lapis Antara Bergradasi Halus. Jurnal Teknik Sipil. Vol. 3, No12, 813-820.

Atthaullah M. N. 2024 pengaruh subtitusi *filler* abu bauksit terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* (*HRA*) dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap. Tugas Akhir (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Bahri S. dan Irawan D.A.S. 2010. Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sejumlah Agregrat Halus Terhadap Campuran Aspal. Jurnal Teknik Sipil, 1(2), 25–32. https://doi.org/10.33369/ijts.1.2.25-32.

Bancin. E.D.L. 2021. Pengaruh Penggunaan Tanah Merah Sebagai *Filler* Pada Campuran Aspal AC-BC Terhadap Nilai Marshall. *JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING BUILDING AND TRANSPORTATION*, 5(1), 17-25.

Bina Marga. 2020. Pesyaratan Spesifikasi Agregat Halus. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.

Bina Marga. 2020. Pesyaratan Spesifikasi Agregat Kasar. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.

Bina Marga. 2020. Pesyaratan Spesifikasi Aspal Keras AC 60/70. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.

BS, 2005, *Bristish Standard* (*BS*). 594: *Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas,* Part I: *Spesification for Constituen Material Mixtures, 2nd Edition, British Standard Instutution*, London

Devi C dan Affandy. 2021. Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Campuran Agregat Halus pada *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*

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

Firdaus, M. 2021. Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional Dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kinerja Hot Rolled Asphalt (Hra) (*Comparison Of Conventional Mixing Methods And Two-Phase Mixing Methods On The Pavement Of Hot Rolled Asphalt (Hra)*). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hamzah R.A. 2016. Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Kriteria *Marshall* Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Tipis Aspal Beton – Lapis Aus Gradasi Senjang. Jurnal Sipil *Statik*, Vol.4, No.7 (2016).

Handayani S.P. 2023. Modifikasi Lapisan *(AC-WC)* dengan *Filler Laterit* dan Pasir Pantai sebagai Agregat Halus terhadap Karakteristik *Marshall.* Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur.

Hasemi E.dkk. 2015. *Effect of mixing sequence on the workability and performance of asphalt mixtures*. *Journal Road Materials and Pavement Design Vol. 16*. University of Nebraska. Lincoln.

Hidayat I. M. 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.(Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Hurriyanto, (2008), Pengaruh *Dust Proportion Spent Catalyst RCC* (Limbah Pertamina) Terhadap Karakteristik *Marshall* dan Durabilitas pada Campuran *Hot Rolled Sheet* dengan Kepadatan Mutlak, Thesis Master, Universitas Diponegoro, Semarang.

Imtihan. 2004. Pengaruh *Polyethylene* sebagai *Additive* terhadap Sifat *Marshall* dan Nilai Kohesi *HRA.* Universitas Ialam Indonesia. Yogyakarta.

Iqbal dan 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, 44(2), 168-175. Yogyakarta.

Kok, B.V., and Kologlu, N. 2011. *Effects of Two-Phase Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt. Journal Road Materials and Pavement Design*. 12:4, 721-738. Civil Engineering Department Elazig. Firat University. Turkey.

Kusdiyanto W dan Laksono B. 2000. Penelitian Pengaruh Lama Pemeraman Asbuton Menggunakan *Flux* Butas Buatan sebagai Bahan Peremaja terhadap *HRA* dengan Campuran Secara Dingin. Universitasi Islam Indonesia. Yogyakarta.

Lalamentik L. 2016. Penggunaan Mikro *Asbuton* Sebagai Bahan pengigsi *(Filler)* Terhadap Durabilitas Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA).* Jurnal Sipil Statik, Vol.4 No.6, 399-404.

Mulyono, T., 2006. Teknologi Beton, Penerbit Andi, Yogyakarta.

Nurman. 2022. Pengaruh Penggunaan Pasir Besi sebagai Agregat Halus pada Campuran Aspal Panas *HRA (Hot Rollet Asphalt).* Universitas Islam Malang. Malang

Oktariman, M.I., Rahmat, Veronika,. Pengaruh Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Pengganti *Filler* Terhadap Campuran Aspal Beton Ac-Bc. Kumpulan *Executive Summary* Tugas Akhir Wisudawan Teknik Sipil Ke-80. Vol. 2 No. 1 (2023).

Oktavian, R. 2024. Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Material Pengganti *Filler* Terhadap Karakteristik Campuran *Stone Matrix Asphalt* (*Effect Of Iron Powding Waste As Filler Substitute Material On The Characteristics Of Stone M Atrix Asphalt Mixture*). *Tugas Akhir.* (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Perkasa G.J. 2012. Pengaruh suhu pemadatan terhadap *indeks workabilitas* campuran *HRA* (*hot rolled asphalt*) menggunakan *filler* abu *vulkanik* gunung merapi. (Tidak diterbitkan) Universitas Semelas Maret. Surakarta.

Pratama H. 2021. Studi Penggunaan Limbah Abu Batu Bara *(Fly Ash)* Sebagai Pengganti *Filler* Pada Campuran *AC-WC* Terhadap Karakteristik Uji *Marshall.*

Rosyad F dan Ardian M. 2019. Analisis Pengaruh Pengganti *Filler* Dengan Abu Serbuk Kayu Terhadap Kinerja Perkerasan Aspal *AC-WC.* Jurnal TEKNO *(Civil Engineeering, Elektrical Engineeering and Industrial Engineeering)* Vol. 16, No : 1, April 2019 , p-ISSN:1907-5243, e-ISSN: 2655-8416.

Putri N. 2017. Pengaruh Variasi Suhu Pemadatan Terhadap *Indeks Workabilitas Hot Roller Asphalt (HRA)* dengan Menggunakan *Filler* Abu Vulkanik Gunung Sinabung. Politeknik Negeri Medan. Medan

Sugiyanto G. 2008. Kajian Karakteristik Campuran *Hot Roller Asphalt* Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas. UNSOED. Purwokerto.

Susanto A. 2020. Perbandingan Karakteristik Pengujian *Marshall* Campuran Aspal Beton dengan *Filler* Pasir Besi dan Abu Batu. Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.

Susanto A. 2020. Pengaruh Penggunaan *Filler* Pasir Besi dan Semen Dalam Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC).* Universitas Muhammadiyah Purwokerto. Purwokerto.

Susanto H.A. 2020. Perbandingan Karakteristik Pengujian *Marshall* Campuran Aspal Beton Dengan *Filler* Pasir Besi Dan Abu Batu. (Tidak diterbitkan) Universitas Jenderal Soedirman.

Syaihu R. 2022. Pengaruh Penggunaan Serbuk Besi Sebagai Pengganti Sebagian Pasir Pada Beton Terhadap Kuat Tekan Dan Kuat Tarik Beton. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Syammaun T., Rani H. dan Amalia P. 2020. Pengaruh Substitusi *Styrofoam* Pada Campuran Aspal Porus Dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai *Filler.* Konf. Nas. Tek. Sipil ke, 2020.

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

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 Penentuan Batas Cair 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 Aspa*l. 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 Kasar*. 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.

Utomo, N., Wahjudijanto, I., Yasin, F.S.R. 2020. Penggunaan Limbah Serbuk Besi Sebagai Material Pengisi (*Filler*) Pada Campuran Struktur Perkerasan Jalan Kolektor Ponco-Jatirogo (STA.130+200-STA.138+700). *Jurnal Envirotek Vol 12 No 2 (2020)*.

Utomo S.E. 2017. Pengaruh Penggunaan Pasir Besi Sebagai Substitusi Agregat Halus Dan Aspal Modifikasi *Starbit* E-55 Pada Campuran Laston *AC-WC.* Universitas Atma Jaya. Yogyakarta.

Widyotomo, Kusdianto dan Bayu A. 2000. Penelitian Pengaruh Lama Pemeraman *Asbuton* Menggunakan *Flux* Butas Buatan Sebagai Bahan Peremaja Terhadap

HRA Dengan Campuran Secara Dingin. (Tidak diterbitkan) Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

Wijaya P. 2023. Penggunaan Abu Batu Karang Sebagai *Filler* Dan Pasir Besi Sebagai Agregat Halus Terhadap Parameter *Marshall* Pada Campuran *AC-BC*. Universitas Muhammadiyah Semarang.

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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

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

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,01	23,34
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	46,88	46,34
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,87	23
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,41	25,04
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,4	1,7
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,98	46,38
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	21,57	21,34
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,3	1,66
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,08	1,024
10	Rata-rata BJ Aspal	1,051	

Yogyakarta, 2025

Diperiksa Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kusharjanta, Dr. Eng, IPM, ASEAN.Eng
NIK : 01 511 101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

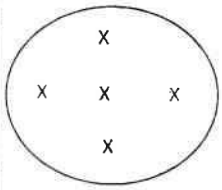
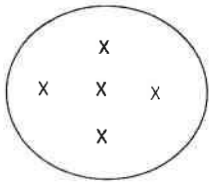
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

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

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

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

HASIL PENGAMATAN

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

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

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

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

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

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	290 ^{O}C	310 ^{O}C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	290 ^{O}C	310 ^{O}C	

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium, Fakultas Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0107

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

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

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

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (^{o}C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 ^{o}C	0 detik	0 detik		
2	10 ^{o}C	60 detik	60 detik		
3	15 ^{o}C	120 detik	120 detik		
4	20 ^{o}C	180 detik	180 detik		
5	25 ^{o}C	240 detik	240 detik		
6	30 ^{o}C	300 detik	300 detik		
7	35 ^{o}C	360 detik	360 detik		
8	40 ^{o}C	420 detik	420 detik		
9	45 ^{o}C	480 detik	480 detik		
10	50 ^{o}C	524 detik	526 detik	48^{o}C	48^{o}C
11	55 ^{o}C				
12	60 ^{o}C				

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernun Kusnan, 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

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

Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

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

Yogyakarta, 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

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

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

Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji				Keterangan
		1		2		
1	Berat erlen meyer kosong	58,600	gr	65,980	gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	61,040	gr	67,760	gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	2,440	gr	1,780	gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,590	gr	0,590	gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,600	gr	0,600	gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010	gr	0,010	gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,410	%	0,562	%	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,590	%	99,438	%	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,514			%	

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernardinus Kristiadi, 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

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

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1621,07	1629,90	1625,49
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000,17	1000,43	1000,30
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1597,85	1593,60	1595,73
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA}$	2,573	2,532	2,553
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA}$	2,611	2,589	2,600
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,673	2,687	2,680
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,453	2,278	1,866
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,623	2,609	2,616

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernah 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

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

Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

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

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachtiar 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

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

No	Jenis Gradasi Saringan		B Benda Uji (gram)		Keterangan
	Lolos	Tertahan	1	2	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00		
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00		
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	4669,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4669,00	3754,00	
13	KEAUSAN 100x = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		6,620	19,597	
17	Rata-rata Keausan (%)		13,11		

Yogyakarta, 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

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

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,00	500,00	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	709,88	692,44	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1011,43	996,67	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	498,13	497,98	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,510	2,544	2,527
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,520	2,554	2,537
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,534	2,570	2,552
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	0,375	0,406	0,391
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,522	2,557	2,540

Yogyakarta, 2025

Disiapkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachtiar 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

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

No.	Keterangan		Benda uji 1	Benda uji 2	Rata-rata
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (± 10.1 menit).	Mulai	09.25	09.25	
		Selesai	09.35	09.35	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	09.40	09.40	
		Selesai	09.55	09.55	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,80	3,70	3,75
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		3,50	3,50	3,50
6	$Sand\ Eqiuvalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ \%$		92,11	94,59	93,35
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		7,89	5,41	6,65

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* DEBU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

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

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,80	23,80	
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,63	47,23	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,83	23,43	
4	Berat Vicnometer + *Filler* gr	33,80	33,80	
5	Berat *Filler* (4-1) gr	10,000	10,000	10,00
6	Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr	53,120	52,100	52,61
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,320	18,300	18,81
8	Volume *Filler* (3-7) gr	3,510	5,130	4,32
9	Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8)	2,849	1,949	2,399

Disahkan 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

Yogyakarta, 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* DEBU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

1 Jenis Material : *Filler Serbuk Besi*
2 Sumber Material :
3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	24,17	24,17	
2	Berat Vicnometer + Air gr	47,69	48,39	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	23,52	24,22	
4	Berat Vicnometer + *Filler* gr	29,25	29,25	
5	Berat *Filler* (4-1) gr	5,080	5,080	5,08
6	Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr	51,250	51,870	51,56
7	Berat Aquadest (6-4) gr	22,000	22,620	22,31
8	Volume *Filler* (3-7) gr	1,520	1,600	1,56
9	Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8)	3,342	3,175	3,259

Yogyakarta, 2025

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN BATAS ATAS ATAU MAKSIMUM SUBTITUSI

Tanggal Pengujian : AGUSTUS 2024
Tipe Campuran : *Hot Rolled Asphalt*

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	M VFWA (%)	n VITM (%)	o	p Kalibrasi *Proving Ring*	q	Koreksi Tebal	r Stab. (kg)	s *Flow* (mm)	t MQ
0%	62,70	8,11	7,50	1187,52	1189,65	655,64	534,01	2,224	2,315	15,876	80,166	3,958	19,83	80,045	3,96	70	14,79108	1035,38	1,0200	1056,08	3,70	285,43
0%	62,67	8,11	7,50	1185,43	1187,57	652,12	535,45	2,214	2,315	15,806	79,809	4,385	20,19	78,283	4,38	68	14,79108	1005,79	1,0208	1026,75	3,80	270,20
0%	61,73	8,11	7,50	1171,34	1175,66	647,53	528,13	2,218	2,315	15,834	79,954	4,212	20,05	78,990	4,21	66	14,79108	976,21	1,0452	1020,34	4,10	248,86
								2,219					**20,02**	**79,11**	**4,18**					**1034,39**	**3,87**	**268,16**
25%	63,22	8,11	7,50	1189,42	1205,04	671,13	533,91	2,228	2,328	15,905	79,807	4,288	20,19	78,765	4,29	64	14,53044	929,95	1,0071	936,54	3,75	249,74
25%	62,61	8,11	7,50	1185,61	1197,55	663,69	533,86	2,221	2,328	15,855	79,559	4,586	20,44	77,567	4,59	69	14,53044	1002,60	1,0222	1024,82	4,10	249,96
25%	63,01	8,11	7,50	1191,48	1203,59	665,75	537,84	2,215	2,328	15,816	79,361	4,823	20,64	76,633	4,82	67	14,53044	973,54	1,0122	985,38	3,85	255,94
								2,218					**20,54**	**77,10**	**4,70**					**1005,10**	**3,98**	**252,95**
50%	63,03	8,11	7,50	1205,08	1213,86	672,80	541,06	2,227	2,340	15,901	79,294	4,805	20,71	76,796	4,80	70	14,53044	1017,13	1,0117	1029,00	4,10	250,97
50% *)	64,37	8,11	7,50	1203,18	1214,21	676,95	537,26	2,239	2,340	15,988	79,729	4,282	20,27	78,874	4,28	55	14,53044	799,17	0,9782	781,73	3,60	217,15
50%	63,57	8,11	7,50	1192,56	1207,30	672,12	535,18	2,228	2,340	15,909	79,333	4,759	20,67	76,976	4,76	62	14,53044	900,89	0,9983	899,31	3,95	227,67
								2,228					**20,69**	**76,89**	**4,78**					**964,15**	**4,03**	**239,32**
75% *)	65,20	8,11	7,50	1208,30	1216,50	676,52	539,98	2,238	2,352	15,976	79,174	4,851	20,83	76,709	4,85	62	14,53044	900,89	0,958	863,11	4,10	210,51
75%	63,43	8,11	7,50	1195,84	1208,65	672,70	535,95	2,231	2,352	15,930	78,946	5,124	21,05	75,663	5,12	66	14,53044	959,01	1,002	960,77	4,15	231,51
75%	63,10	8,11	7,50	1200,51	1209,85	673,76	536,09	2,239	2,352	15,988	79,234	4,778	20,77	76,990	4,78	57	14,53044	828,24	1,010	836,52	4,00	209,13
								2,239					**20,80**	**76,85**	**4,81**					**849,81**	**4,05**	**209,82**

Yogyakarta, Februari 2025

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernah Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 001 911 [illegible]

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN BATAS ATAS ATAU MAKSIMUM SUBTITUSI

Tanggal Pengujian : AGUSTUS 2024
Tipe Campuran : *Hot Rolled Asphalt*

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	M VFWA (%)	n VITM (%)	o	p Kalibrasi *Proving Ring*	q	Koreksi Tebal	r Stab. (kg)	s *Flow* (mm)	t MQ
0%	63,03	8,11	7,50	1181,66	1184,76	656,02	528,74	2,235	2,315	15,956	80,565	3,479	19,43	82,098	3,48	74	14,79108	1094,54	1,0118	1107,40	4,00	276,85
0%	65,02	8,11	7,50	1175,80	1179,54	646,04	533,50	2,204	2,315	15,735	79,450	4,815	20,55	76,570	4,81	72	14,79108	1064,96	0,9620	1024,49	3,70	276,89
0%	64,23	8,11	7,50	1182,05	1184,64	655,23	529,41	2,233	2,315	15,941	80,490	3,570	19,51	81,704	3,57	69	14,79108	1020,58	0,9818	1001,96	3,85	260,25
								2,224					**19,83**	**80,12**	**3,95**					**1044,62**	**3,85**	**271,33**
25%	61,50	8,11	7,50	1198,78	1211,46	670,44	541,02	2,216	2,315	15,819	79,877	4,303	20,12	78,614	4,30	73	14,53044	1060,72	0,9378	994,76	3,95	251,84
25%	63,25	8,11	7,50	1189,30	1205,54	668,91	536,63	2,216	2,315	15,823	79,894	4,284	20,11	78,695	4,28	80	14,53044	1162,44	0,9398	1092,40	3,75	291,31
25%	64,65	8,11	7,50	1195,76	1212,86	675,05	537,81	2,223	2,315	15,874	80,152	3,975	19,85	79,974	3,97	76	14,53044	1104,31	0,9345	1031,98	3,90	264,61
								2,218					**20,03**	**79,09**	**4,19**					**1039,71**	**3,87**	**269,25**
50%	0,95	8,11	7,50	1203,41	1209,34	671,97	537,37	2,239	2,340	15,988	79,728	4,284	20,27	78,869	4,28	68	14,53044	988,07	0,9849	973,17	4,05	240,29
50%	0,97	8,11	7,50	1205,57	1211,46	678,22	533,24	2,261	2,340	16,141	80,490	3,369	19,51	82,731	3,37	62	14,53044	900,89	1,0401	937,00	4,15	225,78
50%	0,96	8,11	7,50	1201,07	1208,69	669,35	539,34	2,227	2,340	15,899	79,282	4,819	20,72	76,741	4,82	70	14,53044	1017,13	0,9998	1016,96	3,80	267,62
								2,233					**20,49**	**77,80**	**4,55**					**995,06**	**3,93**	**253,95**
75%	63,37	8,11	7,50	1221,67	1227,22	682,23	544,99	2,242	2,352	16,004	79,314	4,682	20,69	77,365	4,68	72	14,53044	1046,19	0,928	971,13	3,85	252,24
75%	62,82	8,11	7,50	1223,64	1229,72	686,05	543,67	2,251	2,352	16,069	79,635	4,297	20,37	78,902	4,30	65	14,53044	944,48	0,911	860,81	3,95	217,93
75%	62,51	8,11	7,50	1225,54	1232,96	684,29	548,67	2,234	2,352	15,947	79,031	5,022	20,97	76,051	5,02	73	14,53044	1060,72	0,926	981,70	4,10	239,44
								2,238					**20,83**	**76,71**	**4,85**					**976,41**	**3,98**	**245,84**

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM. / ASEAN.Eng.
NIK : 91 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

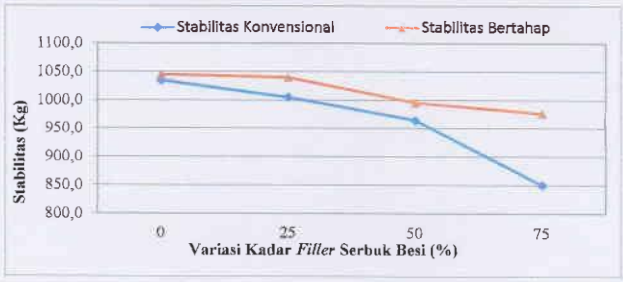
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

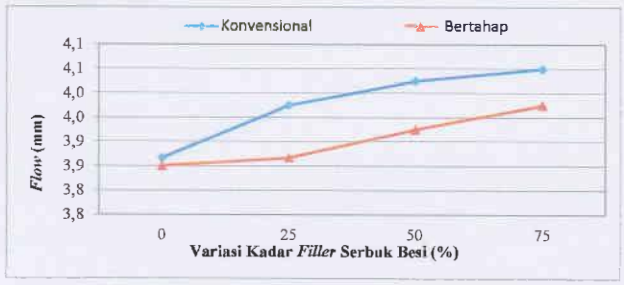
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

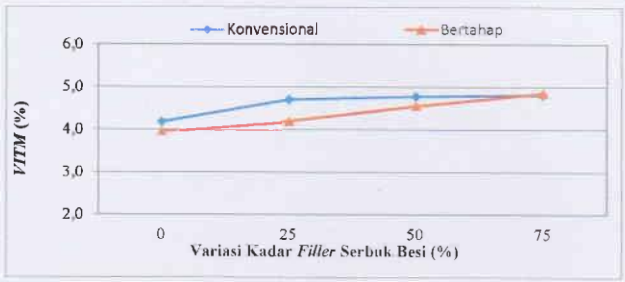
REKAPITULASI

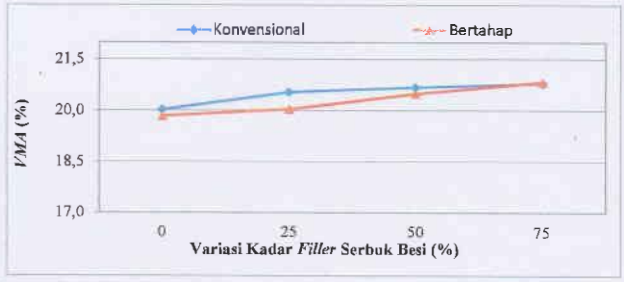
KETERANGAN		STABILITAS	*FLOW*	VITM	VMA	VFWA	M/Q
K	0%	1034,39	3,87	4,18	20,02	79,11	268,16
K	25%	1005,10	3,98	4,70	20,54	77,10	252,95
K	50%	964,15	4,03	4,78	20,69	76,89	239,32
K	75%	849,81	4,05	4,81	20,80	76,85	209,82
spesifikasi		600	-	3-5	17	68	250

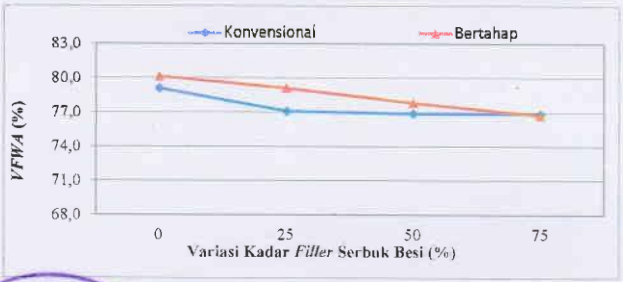
KETERANGAN		STABILITAS	FLOW	VITM	VMA	VFWA	M/Q
B	0%	1044,62	3,85	3,95	19,83	80,12	271,33
B	25%	1039,71	3,87	4,19	20,03	79,09	269,25
B	50%	995,06	3,93	4,55	20,49	77,80	253,95
B	75%	976,41	3,98	4,85	20,83	76,71	245,84
spesifikasi		600	-	3-5	17	68	250

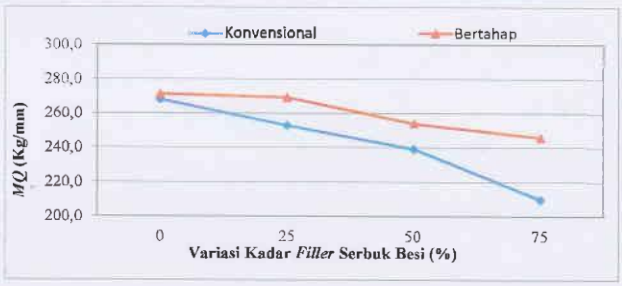












Yogyakarta, Februari 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Rekayasa 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL KONVENSIONAL

Persen Aspal		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Berat (g)			Arloji Stability			Flow (mm)		Stability (kg)			Angka Koreksi			
																		Tebal Sampel		Koreksi	
		1	2	3	rata2		Udara	Dalam Air	SSD	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX
0,0%	1	63,30	62,60	62,20	62,70	1,02	1187,52	655,64	1189,65	70	14,79108	1035,38	370	3,87	1056,08	1034,39	600	61,9	63,5	1,04	1
	2	62,70	62,50	62,80	62,67	1,02	1185,43	652,12	1187,57	68	14,79108	1005,79	380		1026,75			61,9	63,5	1,04	1
	3	61,20	62,00	62,00	61,73	1,05	1171,34	647,53	1175,57	66	14,79108	976,21	410		1020,34			60,3	61,9	1,09	1,04
25,0%	1	63,02	63,38	63,25	63,22	1,01	1189,42	671,13	1205,04	64	14,53044	929,95	375	3,98	936,54	1005,10	600	61,9	63,5	1,04	1
	2	63,09	62,05	62,70	62,61	1,02	1185,61	663,69	1197,55	69	14,53044	1002,60	410		1024,82			61,9	63,5	1,04	1
	3	62,75	63,19	63,10	63,01	1,01	1191,48	665,75	1203,59	67	14,53044	973,54	385		985,38			61,9	63,5	1,04	1
50,0%	1	63,05	62,86	63,19	63,03	1,01	1205,08	672,80	1213,86	70	14,53044	1017,13	410	4,03	1029,00	964,15	600	61,9	63,5	1,04	1
	2	64,27	64,25	64,60	64,37	0,98	1203,18	676,95	1214,21	56	14,53044	813,70	360		795,94			63,5	65,1	1	0,96
	3	64,30	64,23	62,18	63,57	1,00	1192,56	672,12	1207,30	62	14,53044	900,89	395		899,31			63,5	65,1	1	0,96
75,0%	1	65,77	64,54	65,30	65,20	0,96	1208,30	676,52	1216,50	62	14,53044	900,89	410	4,05	863,11	911,94	600	65,1	66,7	0,96	0,93
	2	62,83	64,65	62,80	63,43	1,00	1195,84	672,70	1208,65	66	14,53044	959,01	415		960,77			61,9	63,5	1,04	1
	3	62,59	62,95	63,76	63,10	1,01	1200,51	673,76	1209,85	55	14,53044	799,17	400		807,17			63,5	65,1	1	0,96

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL BERTAHAP

Persen Aspal		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Berat (g)			Arloji Stability			Flow (mm)		Stability (kg)			Angka Koreksi			
																		Tebal Sampel		Koreksi	
		1	2	3	rata2		Udara	Dalam Air	SSD	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX
0,0%	1	62,87	63,46	62,76	63,03	1,01	1181,66	656,02	1184,76	74	14,79108	1094,54	400	3,85	1107,40	1044,62	600	61,9	63,5	1,04	1
	2	65,27	64,68	65,11	65,02	0,96	1175,80	646,04	1179,54	72	14,79108	1064,96	370		1024,49			63,5	65,1	1	0,96
	3	63,45	64,78	64,46	64,23	0,98	1182,05	655,23	1184,64	69	14,79108	1020,58	385		1001,96			63,5	65,1	1	0,96
25,0%	1	66,64	66,46	65,75	66,28	0,94	1198,78	670,44	1211,46	73	14,53044	1060,72	395	3,87	994,76	1039,71	600	65,1	66,7	0,96	0,93
	2	66,41	66,47	65,66	66,18	0,94	1189,30	668,91	1205,54	80	14,53044	1162,44	375		1092,40			65,1	66,7	0,96	0,93
	3	66,74	66,29	66,35	66,46	0,93	1195,76	675,05	1212,86	76	14,53044	1104,31	390		1031,98			65,1	66,7	0,96	0,93
50,0%	1	64,17	64,52	63,62	64,10	0,98	1203,41	671,97	1209,34	68	14,53044	988,07	405	3,93	973,17	995,06	600	63,5	65,1	1	0,96
	2	61,92	62,05	61,72	61,90	1,04	1205,57	678,22	1211,46	62	14,53044	900,89	415		937,00			61,9	63,5	1,04	1
	3	64,41	62,34	63,77	63,51	1,00	1201,07	669,35	1208,69	70	14,53044	1017,13	380		1016,96			63,5	65,1	1	0,96
75,0%	1	67,41	66,61	66,29	66,77	0,93	1221,67	682,23	1227,22	72	14,53044	1046,19	385	3,98	971,13	976,41	600	66,7	68,3	0,93	0,89
	2	64,57	68,79	68,97	67,44	0,91	1223,64	686,05	1229,72	65	14,53044	944,48	395		860,81			66,7	68,3	0,93	0,89
	3	65,85	67,44	67,35	66,88	0,93	1225,54	684,29	1232,96	73	14,53044	1060,72	410		981,70			66,7	68,3	0,93	0,89

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, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN IRS KONVENSIONAL

	Persen Aspal		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi			
														Tebal Sampel		Koreksi	
			1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX
24	0%	1	63,30	62,60	62,20	62,70	1,02	65	14,79	961,42	980,65	985,25	600	63,5	65,1	1	0,96
		2	62,70	62,50	62,80	62,67	1,02	65	14,79	961,42	981,45			63,5	65,1	1	0,96
		3	61,20	62,00	62,00	61,73	1,05	64	14,79	946,63	993,66			60,3	63,5	1,09	1
	25%	1	65,17	65,26	65,09	65,17	0,96	72	14,53	1046,19	1002,91	964,74	600	65,1	66,7	0,96	0,93
		2	64,69	65,04	65,53	65,09	0,96	68	14,53	988,07	948,88			63,5	65,1	1	0,96
		3	64,57	65,39	66,86	65,607	0,95	71	14,53	1031,66	980,59			65,1	66,7	0,96	0,93
	50%	1	65,47	65,23	66,09	65,60	0,95	68	14,53	988,07	939,35	939,71	600	65,1	66,7	0,96	0,93
		2	68,64	67,45	67,09	67,73	0,90	69	14,53	1002,60	906,68			66,7	68,3	0,93	0,89
		3	67,23	66,88	66,68	66,93	0,92	70	14,53	1017,13	940,08			66,7	68,3	0,93	0,89
	75%	1	65,68	63,50	63,85	64,34	0,98	67	14,53	973,54	953,01	894,45	600	63,5	65,1	1	0,96
		2	65,70	65,58	65,05	65,44	0,95	64	14,53	929,95	886,76			65,1	66,7	0,96	0,93
		3	66,45	65,59	66,35	66,13	0,94	66	14,53	959,01	902,13			65,1	66,7	0,96	0,93

Yogyakarta, Februari 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN IRS BERTAHAP

	Persen Aspal		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi			
														Tebal Sampel		Koreksi	
			1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX
24	0%	1	67,93	67,84	67,66	67,81	0,90	72	14,53	1046,19	943,93	1017,58	600	66,7	68,3	0,93	0,89
		2	65,41	65,98	65,50	65,63	0,95	73	14,53	1060,72	1007,75			65,1	66,7	0,96	0,93
		3	62,92	62,53	62,08	62,51	1,02	69	14,53	1002,60	1027,41			61,9	63,5	1,04	1
	25%	1	64,34	64,92	65,50	64,92	0,96	73	14,53	1060,72	1023,07	1004,64	600	63,5	65,1	1	0,96
		2	65,54	64,96	65,45	65,32	0,96	71	14,53	1031,66	986,20			65,1	66,7	0,96	0,93
		3	65,46	65,72	65,76	65,65	0,95	69	14,53	1002,60	952,22			65,1	66,7	0,96	0,93
	50%	1	66,60	66,17	65,30	66,02	0,94	70	14,53	1017,13	958,84	975,34	600	65,1	66,7	0,96	0,93
		2	67,80	66,19	66,17	66,72	0,93	73	14,53	1060,72	985,94			66,7	68,3	0,93	0,89
		3	66,67	66,29	66,32	66,43	0,94	71	14,53	1031,66	964,73			65,1	66,7	0,96	0,93
	75%	1	69,70	68,22	68,50	68,81	0,89	75	14,53	1089,78	969,91	967,38	600	68,3	69,9	0,89	0,89
		2	68,21	67,93	67,88	68,01	0,90	74	14,53	1075,25	964,86			66,7	68,3	0,93	0,89
		3	68,48	68,52	67,93	68,31	0,89	72	14,53	1046,19	931,11			68,3	69,9	0,89	0,89

Yogyakarta, Februari 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

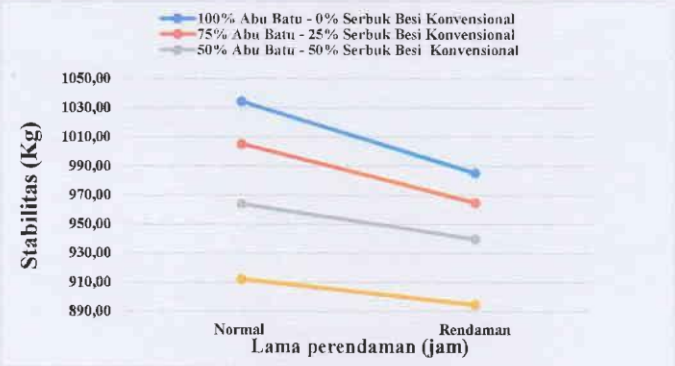
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

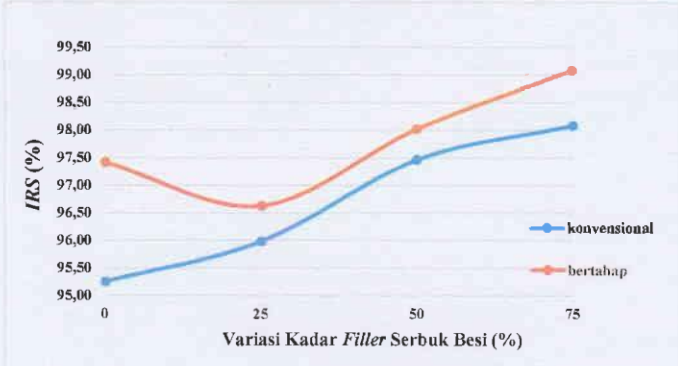
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

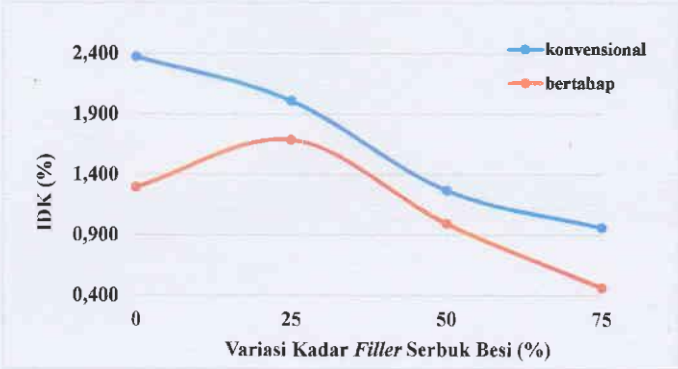
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

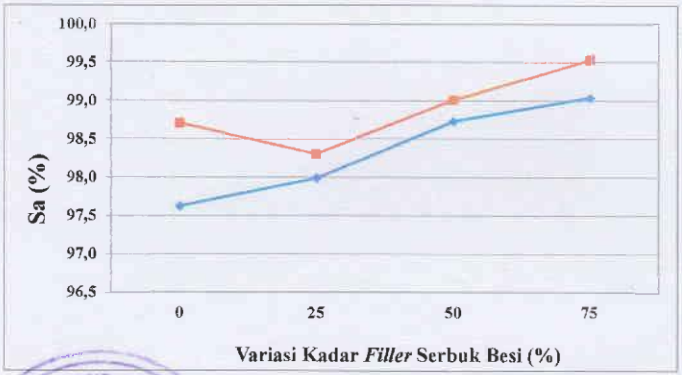
REKAPITULASI IRS

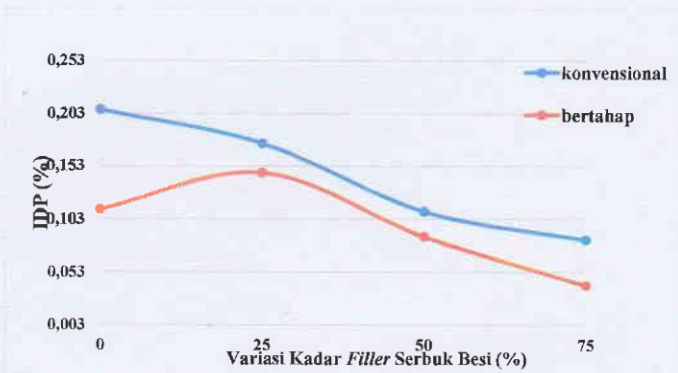
	Kadar Substitusi (%)	stabilitas normal (kg)	stabilitas rendaman (kg)	IRS %	Si %	Si+1 %	ti+1 Jam	IDP %	tn Jam	IDK %	Sa %
Konvensional	0	1034,39	985,25	95,25	100,00	95,25	24,00	0,207	48,000	2,375	97,625
	25	1005,10	964,74	95,98	100,00	95,98	24,00	0,175	48,000	2,008	97,992
	50	964,15	939,71	97,47	100,00	97,47	24,00	0,110	48,000	1,267	98,733
	75	911,94	894,45	98,08	100,00	98,08	24,00	0,083	48,000	0,959	99,041
	Kadar Substitusi (%)	**Stabilitas normal (kg)**	**Stabilitas rendaman (kg)**	**IRS %**	**Si %**	**Si+1 %**	**ti+1 Jam**	**IDP %**	**tn Jam**	**IDK %**	**Sa %**
Bertahap	0	1044,62	1017,58	97,41	100,00	97,41	24,00	0,113	48,000	1,294	98,706
	25	1039,71	1004,64	96,63	100,00	96,63	24,00	0,147	48,000	1,687	98,313
	50	995,06	975,34	98,02	100,00	98,02	24,00	0,086	48,000	0,991	99,009
	75	976,41	967,38	99,08	100,00	99,08	24,00	0,040	48,000	0,462	99,538











Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Burhan Kusberi, 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, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN 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 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
7,5%	0,0%	1	65,65	65,93	67,45	66,34	0,94	4,16	3,99	3,95	4,03	0,15	24	14,53	348,73	326,65	345,28	600	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	746,65	768,23	600
		2	61,50	62,31	61,71	61,84	1,04	4,05	3,99	4,05	4,03	0,15	25	14,53	363,26	378,47			60,3	61,9	1,09	1,04	4	4,1	0,156	0,152	929,39		
		3	63,73	64,22	63,80	63,92	0,99	4,04	4,03	3,95	4,01	0,16	23	14,53	334,20	330,72			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	789,82		
	25,0%	1	62,70	62,42	61,99	62,37	1,03	4,07	4,05	4,05	4,06	0,15	18	14,53	261,55	268,94	279,89	600	61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	650,14	687,42	600
		2	63,86	63,79	63,74	63,80	0,99	4,05	4,15	4,11	4,10	0,17	20	14,53	290,61	288,45			63,5	65,1	1	0,96	4,1	4,2	0,152	0,49	734,82		
		3	62,43	62,65	62,72	62,60	1,02	4,07	4,08	4,06	4,07	0,15	19	14,53	276,08	282,29			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	677,31		
	50,0%	1	65,04	65,77	65,40	65,40	0,95	4,00	4,01	4,01	4,01	0,16	22	14,53	319,67	305,06	287,45	600	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	712,06	667,21	600
		2	66,40	65,67	64,17	65,41	0,95	3,99	4,01	3,99	4,00	0,16	19	14,53	276,08	262,87			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	615,16		
		3	66,49	66,72	65,87	66,36	0,93	3,99	3,99	4,01	4,00	0,16	20	14,53	290,61	269,83			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	622,35		
	75,0%	1	68,12	67,35	67,57	67,68	0,91	3,97	3,96	3,97	3,97	0,16	22	14,53	319,67	289,46	278,79	600	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	660,11	633,92	600
		2	67,62	67,20	65,94	66,92	0,92	3,98	4,01	4,10	4,03	0,15	21	14,53	305,14	282,10			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	639,72		
		3	67,58	67,49	67,29	67,45	0,91	3,99	4,00	3,99	3,99	0,16	20	14,53	290,61	264,79			66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	601,92		

Disahkan Oleh:
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachan Kuswari, M.Eng.(Prac.), IPM., ASEAN Eng.
NIK : 21 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN 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 Kpa		
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	Tebal Sampel MIN	Tebal Sampel MAX	Koreksi MIN	Koreksi MAX	Tebal Sampel MIN	Tebal Sampel MAX	Koreksi MIN	Koreksi MAX	awal	rata2	MIN
7,5%	0,0%	1	68,36	68,40	69,03	68,60	0,89	3,975	3,968	3,973	3,97	0,16	24	14,53	348,73	310,37	311,99	600	68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,1600	0,1560	697,15	704,65	600
		2	68,60	69,33	69,34	69,09	0,89	4,026	4,032	4,029	4,03	0,15	25	14,53	363,26	323,30			68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	710,56		
		3	65,60	65,80	66,20	65,87	0,95	3,993	3,968	3,970	3,98	0,16	22	14,53	319,67	302,29			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	706,26		
	25,0%	1	64,84	65,78	66,04	65,55	0,95	3,993	3,993	3,981	3,99	0,16	19	14,53	276,08	262,69	299,34	600	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,160	0,156	614,74	697,93	600
		2	64,07	65,10	66,17	65,11	0,96	4,009	4,016	4,011	4,01	0,16	23	14,53	334,20	320,75			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	751,29		
		3	65,19	65,13	65,56	65,29	0,96	4,040	4,041	4,039	4,04	0,15	20	14,53	290,61	277,93			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	644,56		
	50,0%	1	64,46	63,47	64,31	64,08	0,99	4,062	4,075	4,090	4,08	0,15	19	14,53	276,08	272,08	292,59	600	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	636,94	675,87	600
		2	66,64	65,57	65,35	65,85	0,95	4,041	4,039	4,040	4,04	0,15	21	14,53	305,14	288,62			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	663,62		
		3	66,67	65,84	66,49	66,33	0,94	4,039	4,040	4,039	4,04	0,15	23	14,53	334,20	313,10			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	714,79		
	75,0%	1	73,39	72,70	71,40	72,50	0,82	4,015	4,007	4,012	4,01	0,16	23	14,53	334,20	272,80	293,83	600	71,4	73	0,83	0,81	4	4,1	0,156	0,152	574,01	649,81	600
		2	68,00	68,59	69,24	68,61	0,89	3,978	3,980	3,979	3,98	0,16	25	14,53	363,26	323,30			68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,16	0,156	724,79		
		3	66,59	66,39	66,28	66,42	0,94	4,041	4,039	4,040	4,04	0,15	21	14,53	305,14	285,38			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	650,61		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachan Kustanto, M.Eng, IPM. / ASEAN Eng.
NIK : 215111 01

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN TSR KONVENSIONAL

Kadar Aspal	Substitusi		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal Sampel		Angka Koreksi Koreksi		Angka Koreksi Tebal Sampel		Angka Koreksi Koreksi		ITS 24 JAM Kpa		
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	MIN
7,5%	0,0%	1	64,55	64,47	63,75	64,26	0,98	3,97	3,97	4,00	3,98	0,157	19	14,53	276,08	270,86	291,25	600	63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,160	0,156	648,20	693,58	600
		2	66,80	65,18	65,75	65,91	0,94	3,95	3,96	3,95	3,95	0,16	23	14,53	334,20	315,76			65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,160	0,156	741,71		
		3	63,10	64,65	64,18	63,98	0,99	3,98	3,97	3,98	3,98	0,16	20	14,53	290,61	287,15			63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,160	0,156	690,84		
	25,0%	1	66,70	66,53	64,92	66,05	0,94	3,97	3,96	3,96	3,97	0,157	21	14,53	305,14	287,50	275,01	600	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,160	0,156	671,79	639,40	600
		2	62,02	63,34	63,98	63,11	1,01	4,02	4,06	4,05	4,05	0,154	25	14,53	363,26	366,77			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	878,78		
		3	65,83	65,49	65,44	65,59	0,95	4,03	4,04	4,03	4,03	0,155	19	14,53	276,08	262,52			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	607,02		
	50,0%	1	67,62	66,40	66,42	66,81	0,93	3,94	3,94	3,96	3,95	0,16	15	14,53	217,96	202,24	269,36	600	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,160	0,156	469,33	624,81	600
		2	66,00	65,12	65,36	65,49	0,95	4,01	3,99	4,00	4,00	0,16	19	14,53	276,08	263,00			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	613,86		
		3	65,74	65,93	65,43	65,70	0,95	4,04	4,04	4,04	4,04	0,15	20	14,53	290,61	275,72			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	635,77		
	75,0%	1	62,72	62,73	63,89	63,11	1,01	4,04	4,07	4,10	4,07	0,15	17	14,53	247,02	249,41	258,33	600	61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	593,28	585,68	600
		2	65,00	65,39	64,64	65,01	0,96	4,02	4,03	4,03	4,03	0,15	16	14,53	232,49	223,71			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	522,53		
		3	62,59	62,83	62,46	62,63	1,02	4,07	4,07	4,07	4,07	0,15	18	14,53	261,55	267,26			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	641,24		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

HASIL PENGUJIAN TSR BERTAHAP

Kadar Aspal	Substitusi		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal Sampel		Angka Koreksi Koreksi		Angka Koreksi Tebal Sampel		Angka Koreksi Koreksi		ITS 24 JAM Kpa		
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	MIN
7,5%	0,0%	1	66,83	65,29	65,55	65,89	0,95	3,97	3,97	4,00	3,98	0,157	20	14,53	290,61	274,68	262,45	600	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,1600	0,1560	641,06	643,18	600
		2	63,66	64,94	63,25	63,95	0,99	3,95	3,94	3,95	3,95	0,15	18	14,53	261,55	258,61			63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,156	0,152	610,93		
		3	59,93	60,16	61,96	60,68	1,08	3,98	3,97	3,98	3,98	0,16	17	14,53	247,02	266,29			60,3	61,9	1,09	1,04	3,9	4	0,16	0,156	675,43		
	25,0%	1	66,00	66,40	66,70	66,37	0,94	3,99	4,00	4,00	4,00	0,156	20	14,53	290,61	272,08	274,73	600	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	627,48	635,41	600
		2	64,30	64,25	64,20	64,25	0,98	4,07	4,06	4,08	4,07	0,153	18	14,53	261,55	256,64			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	600,19		
		3	65,30	65,35	65,53	65,39	0,95	4,04	4,03	4,03	4,03	0,155	20	14,53	290,61	277,39			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	643,34		
	50,0%	1	66,60	66,56	66,22	66,46	0,93	4,01	4,01	4,01	4,01	0,16	19	14,53	276,08	255,65	270,15	600	61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	586,89	619,93	600
		2	68,75	69,31	68,62	68,89	0,89	4,00	4,02	4,00	4,00	0,16	17	14,53	247,02	219,85			68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	487,68		
		3	66,54	66,40	66,70	66,55	0,93	4,00	4,01	4,01	4,01	0,16	21	14,53	305,14	284,66			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	652,97		
	75,0%	1	67,45	67,70	68,63	67,93	0,90	3,99	3,99	3,99	3,99	0,16	21	14,53	305,14	274,42	265,67	600	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	619,34	603,93	600
		2	67,87	68,54	67,48	67,96	0,90	4,02	4,02	4,04	4,02	0,16	27	14,53	392,32	352,47			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	788,65		
		3	66,65	66,49	66,86	66,67	0,93	4,01	4,01	4,00	4,01	0,16	19	14,53	276,08	256,93			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	588,51		

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bernardus Kuncoro Tri Nugroho, IPM., ASEAN Eng
NIK : 21 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

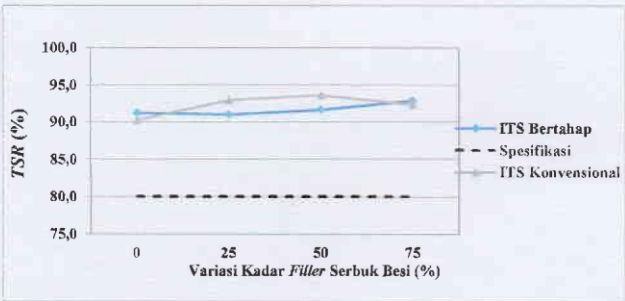
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

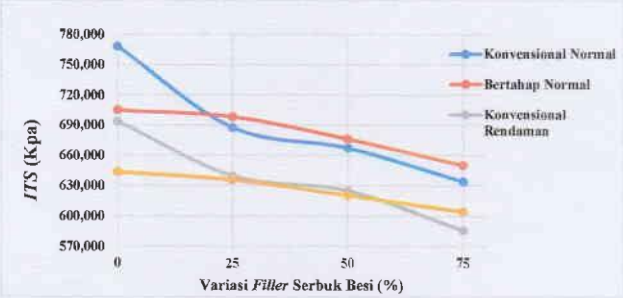
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

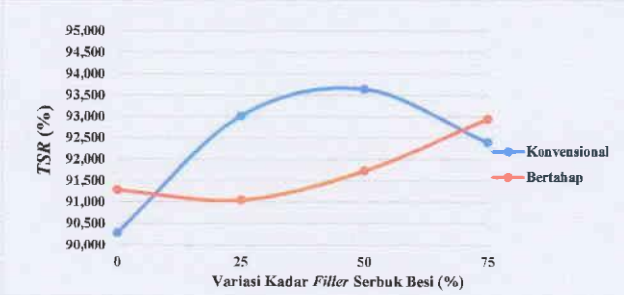
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

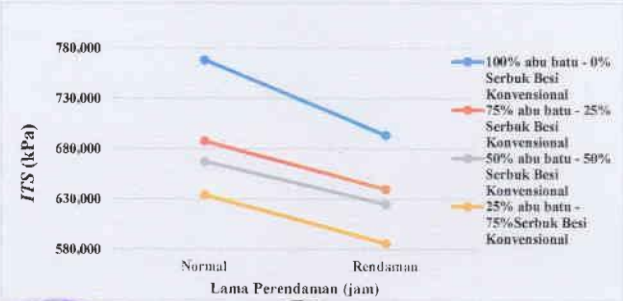
REKAPITULASI ITS

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	ITS	ITS 24 Jam	TSR (B)	ITS	ITS 24 Jam	TSR (K)
0	75%	704,655	643,184	91,276	768,233	693,584	90,283
25		697,926	635,411	91,043	687,423	639,404	93,015
50		675,867	619,929	91,724	667,205	624,811	93,646
75		649,806	603,926	92,939	633,918	585,681	92,391









Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Fakultas 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, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PENGUJIAN CANTABRO LOSS KONVENSIONAL

Substitusi	No.	Keterangan	Sampel		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1188,50	1202,52	1187,82
	2	Berat Sesudah Abrasi	1163,94	1138,18	1133,98
	3	Persentase Kehilangan Berat	2,07	5,35	4,53
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,94		
25%	1	Berat Sebelum Abrasi	1193,31	1196,76	1195,76
	2	Berat Sesudah Abrasi	1147,67	1115,94	1114,76
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,82	6,75	6,77
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,76		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1204,43	1127,93	1163,98
	2	Berat Sesudah Abrasi	1166,26	1022,80	1082,84
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,17	9,32	6,97
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	8,15		
75%	1	Berat Sebelum Abrasi	1205,94	1205,96	1202,36
	2	Berat Sesudah Abrasi	1150,03	1121,96	1128,52
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,64	6,97	6,14
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,55		

Yogyakarta, Februari 2025

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bachan Kuchari, 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PENGUJIAN CANTABRO LOSS BERTAHAP

Substitusi	No.	Keterangan	Sampel		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1193,04	1203,89	1195,67
	2	Berat Sesudah Abrasi	1169,64	1187,24	1182,54
	3	Persentase Kehilangan Berat	1,96	1,38	1,10
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	1,48		
25%	1	Berat Sebelum Abrasi	1187,85	1196,85	1188,57
	2	Berat Sesudah Abrasi	1143,32	1127,47	1105,96
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,75	5,80	6,95
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,37		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1188,41	1216,50	1197,23
	2	Berat Sesudah Abrasi	1091,25	1150,71	1111,76
	3	Persentase Kehilangan Berat	8,18	5,41	7,14
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	7,66		
75%	1	Berat Sebelum Abrasi	1221,69	1217,75	1215,87
	2	Berat Sesudah Abrasi	1148,15	1152,43	1109,84
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,02	5,36	8,72
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,69		

Yogyakarta, Februari 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PENGUJIAN CANTABRO LOSS KONVENSIONAL RENDAMAN

Substitusi	No.	Keterangan	Sampel		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1196,45	1206,42	1194,21
	2	Berat Sesudah Abrasi	1124,23	1148,21	1132,67
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,04	4,83	5,15
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,34		
25%	1	Berat Sebelum Abrasi	1194,74	1197,86	1197,30
	2	Berat Sesudah Abrasi	1151,52	1146,59	1118,05
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,62	4,28	6,62
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,45		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1199,40	1191,41	1195,64
	2	Berat Sesudah Abrasi	1125,98	1162,98	1117,09
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,12	2,39	6,57
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,35		
75%	1	Berat Sebelum Abrasi	1192,31	1191,91	1195,43
	2	Berat Sesudah Abrasi	1116,82	1139,65	1126,72
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,33	4,38	5,75
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,04		

Yogyakarta, Februari 2025

Disahkan 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

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

PENGUJIAN CANTABRO LOSS BERTAHAP RENDAMAN

Substitusi	No.	Keterangan	Sampel		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1196,06	1213,22	1198,21
	2	Berat Sesudah Abrasi	1162,45	1158,22	1144,23
	3	Persentase Kehilangan Berat	2,81	4,53	4,51
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,52		
25%	1	Berat Sebelum Abrasi	1202,77	1204,06	1206,65
	2	Berat Sesudah Abrasi	1182,34	1178,83	1174,21
	3	Persentase Kehilangan Berat	1,70	2,10	2,69
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	1,90		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1225,36	1217,69	1197,99
	2	Berat Sesudah Abrasi	1049,81	1060,46	1172,91
	3	Persentase Kehilangan Berat	14,33	12,91	2,09
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	13,62		
75%	1	Berat Sebelum Abrasi	1243,26	1239,13	1192,56
	2	Berat Sesudah Abrasi	892,20	998,48	1142,91
	3	Persentase Kehilangan Berat	28,24	19,42	4,16
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	23,83		

Yogyakarta, Februari 2025

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Hardian Kusbari, 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

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179

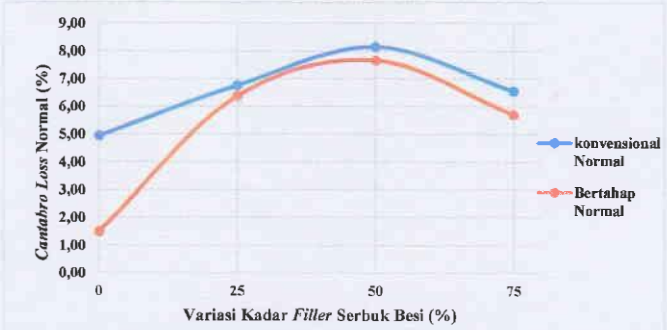
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

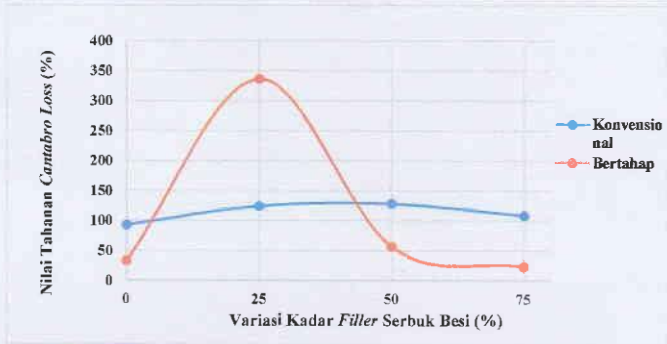
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

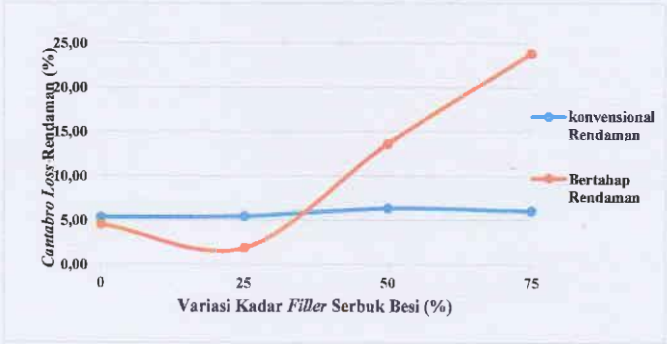
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

REKAPITULASI CANTABRO LOSS

	Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL		Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL
Konvensional	0	7,5	4,94	Bertahap	0	7,5	1,48
	25		6,76		25		6,37
	50		8,15		50		7,66
	75		6,55		75		5,69
	Variasi Substitusi (%)	**KAO (%)**	**CL**		**Variasi Substitusi (%)**	**KAO (%)**	**CL**
Konvensional Rendaman	0	7,5	5,34	Bertahap Rendaman	0	7,5	4,52
	25		5,45		25		1,90
	50		6,35		50		13,62
	75		6,04		75		23,83







Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM, ASEAN.Eng.
NIK : 21 511 0100

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Februari 2025
Peneliti

Habib Amir Khoiruddin
NIM : 20 511 179