

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN PERKERASAN ANTARA *HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE (HRS-WC)* BERGRADASI SENJANG DAN BERGRADASI SEMI SENJANG DENGAN *FLY ASH* SEBAGAI *FILLER* (*COMPARISON OF PERFORMANCE BETWEEN GAP GRADED AND SEMI GAP GRADED MIXED PAVEMENT HOT ROLLED SHEET (HRS-WC) WITH FLY ASH AS FILLER*)

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



**Rayhan Hafidzurrakhman
18511018**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2024**

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN PERKERASAN ANTARA
HOT ROLLED SHEET WEARING COURSE (HRS-WC) BERGRADASI
SENJANG DAN BERGRADASI SEMI SENJANG DENGAN FLY ASH
SEBAGAI FILLER
(COMPARISON OF PERFORMANCE BETWEEN GAP GRADED AND
SEMI GAP GRADED MIXED PAVEMENT HOT ROLLED SHEET (HRS-
WC) WITH FLY ASH AS FILLER)**

Disusun Oleh

Rayhan Hafidzurrakhman

18511018

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

Diuji pada tanggal 19 Februari 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing 1

Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.
NIK: 145110101

Penguji 1

Pravogo Afang Pravitno, S.T., M.Sc.
NIK: 205111303

Penguji 2

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK: 215111307

Mengesahkan,
Ketua Program Teknik Sipil



Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.)
NIK: 0951110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 1 Februari 2024

Penulis



Rayhan Hafidzurrakhman

(18511018)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Perbandingan Kinerja Campuran Perkerasan Antara Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Bergradasi Senjang Dan Bergradasi Semi Senjang dengan Fly Ash sebagai Filler (Comparison Of Performance Between Gap Graded And Semi Gap Graded Mixed Pavement Hot Rolled Sheet (HRS-WC) With Fly ash As Filler)*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.

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

1. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Dosen Pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
2. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. dan Bapak Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji yang memberikan penilaian terhadap Tugas Akhir ini.
3. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya UII yang telah mengizinkan dan memberikan arahan dalam penelitian hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
5. Staff Laboratorium Jalan Raya UII, yang telah membantu dalam proses penelitian hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
6. Bapak/Ibu seluruh Dosen Program Studi Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan ilmu semasa kuliah.

7. Bapak Afif Zufon dan Ibu Dwi Sri Rejeki, selaku orang tua penulis yang senantiasa memberi doa dan semangat.
8. Rifat Hafidzurrachim selaku saudara kandung penulis yang terus memberi dukungan untuk segera menyelesaikan Tugas Akhir ini.
9. Teman-teman angkatan 2018 serta semua pihak yang telah membantu selama pelaksanaan dan penyusunan Tugas Akhir ini.

Akhirnya Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 19 Februari 2024

Penulis



Rayhan Hafidzurrakhman

(18511018)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Peneitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batas Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 <i>Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)</i> Bergradasi Senjang	5
2.2 <i>Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)</i> Bergradasi Semi Senjang	5
2.3 Perbandingan <i>Hot Rolled Sheet</i> Bergradasi Senjang dan Semi Senjang	6
2.4 Penggunaan <i>Fly ash</i> sebagai <i>Filler</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	7
2.5 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya	7
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1 Aspal Beton	10
3.2 Penyusun Campuran Perkerasan <i>Hot Rolled Sheet – Wearing Course</i>	11
3.2.1 Agregat	11
3.2.2 Aspal	13

3.2.3 <i>Filler</i>	14
3.2.4 <i>Fly ash</i>	14
3.3 Pengujian <i>Marshall</i>	14
3.3.1 Stabilitas	15
3.3.2 Pengujian Nilai Kepadatan (Density)	16
3.3.3 Pengujian Nilai Kelelehan (Flow)	16
3.3.4 Pengujian Volume Pori	17
3.3.5 Perhitungan Marshall Quotient (MQ)	21
3.4 Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	22
3.5 Uji Analisis Statistik	22
BAB IV METODE PENELITIAN	24
4.1 Metode Penelitian	24
4.2 Peralatan dan Bahan Penelitian	24
4.2.1 Peralatan Penelitian	24
4.2.2 Bahan Penelitian	25
4.3 Tahapan Penelitian	26
4.4 Analisis Data	37
4.5 Bagan Alir Penelitian	40
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	43
5.1 Pengujian Material	43
5.1.1 Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	43
5.1.2 Pengujian Karakteristik Agregat Halus	44
5.1.3 Pengujian Karakteristik Filler	45
5.1.4 Pengujian Karakteristik Aspal	46
5.2 Pengujian Kadar Aspal Optimum	48
5.3 Analisis Data	51
5.3.1 Karakteristik <i>Marshall</i>	51
5.3.2 Karakteristik <i>Cantabro</i>	58
5.4 Pembahasan	60
5.4.1 Evaluasi Karakteristik <i>Marshall</i>	60
5.4.2 Evaluasi Karakteristik <i>Cantabro</i>	66
5.4.3 Analisis Statistik dengan <i>SPSS</i>	67

5.4.4 Perbandingan dengan penelitian terdahulu	68
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	73
6.1 Kesimpulan	73
6.2 SARAN	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbandingan Peneliti Sekarang Dengan Peneliti Terdahulu	8
Tabel 3.1	Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar	12
Tabel 3.2	Persyaratan Pemeriksaan Agregat Halus	12
Tabel 3.3	Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal	12
Tabel 3.4	Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras	13
Tabel 3.5	Persyaratan Campuran Lataston	14
Tabel 4.1	Gradasi Agregat campuran <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang	28
Tabel 4.2	Gradasi Agregat campuran <i>HRS-WC</i> Bergradasi Semi Senjang	28
Tabel 4.3	Kebutuhan Gradasi Agregat Senjang pada Kadar Aspal 6%	31
Tabel 4.4	Kebutuhan Gradasi Agregat Senjang pada Kadar Aspal 6,5%	31
Tabel 4.5	Kebutuhan Gradasi Agregat Senjang pada Kadar Aspal 7%	31
Tabel 4.6	Kebutuhan Gradasi Agregat Senjang pada Kadar Aspal 7,5%	31
Tabel 4.7	Kebutuhan Gradasi Agregat Senjang pada Kadar Aspal 8%	32
Tabel 4.8	Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 6%	33
Tabel 4.9	Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 6,5%	33
Tabel 4.10	Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 7%	33
Tabel 4.11	Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 7,5%	33
Tabel 4.12	Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 8%	34
Tabel 4.13	Jumlah Benda Uji untuk Mencari Nilai KAO	34
Tabel 4.14	Jumlah Benda Uji untuk Tiap Pengujian pada KAO	34
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Agregat Kasar	43
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Agregat Halus	44
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Filler	46
Tabel 5.4	Hasil Pengujian Aspal	46
Tabel 5.5	Hasil Pengujian Marshall <i>HRS-WC</i> bergradasi Senjang	48

Tabel 5.6	Hasil Pengujian Marshall <i>HRS-WC</i> bergradasi Semi Senjang	49
Tabel 5.7	Gradasi Agregat <i>HRS-WC</i> Senjang	50
Tabel 5.8	Gradasi Agregat <i>HRS-WC</i> Semi Senjang	50
Tabel 5.9	Hasil Pengujian Marshall <i>HRS-WC</i> Senjang	51
Tabel 5.10	Hasil Pengujian Marshall <i>HRS-WC</i> Semi Senjang	51
Tabel 5.11	Hasil Pengujian Cantabro Loss <i>HRS-WC</i> Senjang	59
Tabel 5.12	Hasil Pengujian Cantabro Loss <i>HRS-WC</i> Semi Senjang	59
Tabel 5.13	Rekapitulasi Pengujian Statistik Terhadap Karakteristik Marshall dan Cantabro	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Ilustrasi VMA, Voids, dan Kadar Bitumen Efektif	20
Gambar 3.2	Ilustrasi Rongga Agregat yang Terisi Bitumen	21
Gambar 4.1	Grafik Agregat Rencana <i>HRS-WC</i> Gradasi Senjang	29
Gambar 4.2	Grafik Agregat Rencana <i>HRS-WC</i> Gradasi Semi Senjang	29
Gambar 4.3	Bagan Alir Penelitian	41
Gambar 5.1	Grafik KAO <i>HRS-WC</i> bergradasi Senjang	49
Gambar 5.2	Grafik KAO <i>HRS-WC</i> bergradasi Semi Senjang	49
Gambar 5.3	Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas <i>HRS-WC</i> bergradasi senjang dan Semi Senjang	52
Gambar 5.4	Grafik Perbandingan Nilai Flow <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Semi Senjang	53
Gambar 5.5	Grafik Perbandingan Nilai VITM <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Semi Senjang	54
Gambar 5.6	Grafik Perbandingan Nilai VMA <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Semi Senjang	55
Gambar 5.7	Grafik Perbandingan Nilai VFWA <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Semi Senjang	56
Gambar 5.8	Grafik Perbandingan Nilai Density <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Semi Senjang	57
Gambar 5.9	Grafik Perbandingan Nilai MQ <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Semi Senjang	58
Gambar 5.10	Grafik Perbandingan Nilai Cantabro <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Semi Senjang	60
Gambar 5.11	Perbandingan Nilai Stabilitas Tiap Variasi Kadar Fly Ash	62
Gambar 5.12	Perbandingan Nilai Flow Tiap Variasi Kadar Fly Ash	62
Gambar 5.13	Perbandingan Nilai MQ Tiap Variasi Kadar Fly Ash	63
Gambar 5.14	Perbandingan Nilai VITM Tiap Variasi Kadar Fly Ash	65
Gambar 5.15	Perbandingan Nilai VMA Tiap Variasi Kadar Fly Ash	65

Gambar 5.16	Perbandingan Nilai VFWA Tiap Variasi Kadar Fly Ash	66
Gambar 5.17	Perbandingan Nilai Cantabro Loss Tiap Variasi Kadar Fly Ash	67
Gambar 5.18	Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas <i>HRS-WC</i> Senjang dengan Penelitian Terdahulu	69
Gambar 5.19	Grafik Perbandingan Nilai Flow <i>HRS-WC</i> Senjang dengan Penelitian Terdahulu	69
Gambar 5.20	Grafik Perbandingan Nilai MQ <i>HRS-WC</i> Senjang dengan Penelitian Terdahulu	70
Gambar 5.21	Grafik Perbandingan Nilai VITM <i>HRS-WC</i> Senjang dengan Penelitian Terdahulu	70
Gambar 5.22	Grafik Perbandingan Nilai VMA <i>HRS-WC</i> Senjang dengan Penelitian Terdahulu	71
Gambar 5.23	Grafik Perbandingan Nilai VFWA <i>HRS-WC</i> Senjang dengan Penelitian Terdahulu	71

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	78
Lampiran 2	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	79
Lampiran 3	Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70	80
Lampiran 4	Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	81
Lampiran 5	Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam <i>TCE</i>	82
Lampiran 6	Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	83
Lampiran 7	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	84
Lampiran 8	Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	85
Lampiran 9	Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	86
Lampiran 10	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	87
Lampiran 11	Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	88
Lampiran 12	Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Abu Batu	89
Lampiran 13	Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler Fly ash</i>	90
Lampiran 14	Hasil Pengujian <i>Marshall Test HRS-WC</i> Bergradasi Senjang untuk Mencari KAO	91
Lampiran 15	Grafik Hasil Pengujian <i>Marshall Test HRS-WC</i> Bergradasi Senjang untuk Mencari KAO	92
Lampiran 16	Grafik Hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang	93
Lampiran 17	Hasil Pengujian <i>Marshall Test HRS-WC</i> Bergradasi Semi Senjang untuk Mencari KAO	94
Lampiran 18	Grafik Hasil Pengujian <i>Marshall Test HRS-WC</i> Bergradasi Semi Senjang untuk Mencari KAO	95
Lampiran 19	Grafik Hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) Bergradasi Semi Senjang	96
Lampiran 20	Hasil Pengujian <i>Marshall Test HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dengan <i>Filler Fly ash</i>	97

Lampiran 21	Hasil Pengujian <i>Marshall Test HRS-WC</i> Bergradasi Semi Senjang dengan <i>Filler Fly ash</i>	98
Lampiran 22	Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss HRS-WC</i> dengan <i>Filler Fly Ash</i>	99
Lampiran 23	Uji Normalitas Perbandingan <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang	100
Lampiran 24	Uji Normalitas Perbandingan <i>HRS-WC</i> dengan <i>Filler Fly ash</i>	103
Lampiran 25	Uji Homogenitas Perbandingan <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan <i>Filler Fly ash</i>	106
Lampiran 26	Uji <i>ANOVA Two Way</i> Perbandingan <i>HRS-WC</i> Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan <i>Filler Fly ash</i>	110
Lampiran 27	Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	114
Lampiran 28	Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal	115
Lampiran 29	Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal	116
Lampiran 30	Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	117
Lampiran 31	Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal	118
Lampiran 32	Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam Larutan <i>TCE</i>	119
Lampiran 33	Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	120
Lampiran 34	Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	121
Lampiran 35	Gambar Alat Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	122
Lampiran 36	Gambar Alat Pemeriksaan Analisis Saringan	123
Lampiran 37	Gambar Pembuatan Sampel Campuran	124
Lampiran 38	Gambar Pengujian <i>Marshall Test</i>	126
Lampiran 39	Gambar Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	128

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	= <i>American Association of State Highway and Transport Officials</i>
<i>ASTM</i>	= <i>American Standart Testing and Material</i>
<i>HRS</i>	= <i>Hot Rolled Sheet</i>
<i>KAO</i>	= Kadar Aspal Optimum
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>SNI</i>	= Standar Nasional Indonesia
<i>TCE</i>	= <i>Trichloroethylene</i>
<i>VMA</i>	= <i>Voids in the Mineral Aggregate</i>
<i>VITM</i>	= <i>Voids in the Mix</i>
<i>VFWA</i>	= <i>Voids Filled with Asphalt</i>
<i>a</i>	= kehilangan kekuatan rerata satu hari (%)
<i>A</i>	= berat piknometer dengan penutup (gr)
<i>A</i>	= persentase agregat kasar (%)
<i>A_o</i>	= konstanta
<i>B</i>	= berat piknometer berisi air (gr)
<i>B</i>	= persentase agregat halus (%)
<i>B_a</i>	= berat beton aspal padat di dalam air (gr)
<i>B_k</i>	= berat kering beton aspal padat (gr)
<i>B_{ssd}</i>	= berat kering permukaan beton aspal yang telah dipadatkan (gr)
<i>c</i>	= berat benda uji sebelum direndam (gr)
<i>C</i>	= berat piknometer berisi aspal (gr)
<i>CA</i>	= agregat kasar tertahan saringan No. 8
<i>d</i>	= berat benda uji dalam keadaan jenuh (gr)
<i>d</i>	= diameter sampel (cm)

D	= berat piknometer berisi aspal dan air (gr)
e	= berat benda uji di dalam air (gr)
f	= volume benda uji (cm ³)
F1	= berat jenis agregat kasar
F2	= berat jenis agregat halus
FA	= agregat halus lolos saringan No. 8 dan tertahan No. 200
<i>Filler</i>	= agregat halus lolos saringan No. 200
g	= nilai <i>density</i> (gr/cc)
G _a	= berat jenis aspal
G _b	= berat jenis aspal
G _{mb}	= berat jenis bulk dari beton aspal padat
G _{mm}	= berat jenis maksimum campuran aspal yang belum dipadatkan
G _{sb}	= berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat
G _{se}	= berat jenis bulk efektif agregat
h	= tinggi sampel (cm)
H0	= Tidak ada perbedaan signifikan antara pengaruh penggunaan <i>Fly ash</i> sebagai <i>Filler</i> terhadap campuran <i>HRS-WC</i> bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang.
H1	= Ada perbedaan signifikan antara pengaruh penggunaan <i>Fly ash</i> sebagai <i>Filler</i> terhadap campuran <i>HRS-WC</i> bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang
K	= konstanta 2,0 – 3,0 untuk Lapis Tipis Aspal Beton (Lastaston)
L	= persentase kehilangan berat (%)
M ₀	= berat sebelum diabrasi (gr)
M ₁	= berat setelah diabrasi (gr)
<i>MQ</i>	= nilai <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
p	= pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat
P _a	= kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%)
P _b	= kadar aspal perkiraan

P_s	= kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%)
P_{mm}	= persen berat dari campuran total yang tidak dipadatkan = 100%
P_{maks}	= beban puncak (kg)
q	= angka koreksi benda uji
q	= nilai stabilitas (kg)
r	= nilai kelelahan <i>flow</i> (mm)
S	= nilai stabilitas
S_a	= Berat jenis dalam keadaan semu (gr)
S_d	= Berat jenis dalam keadaan kering (gr)
S_s	= Berat jenis dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr)
S_w	= Penyerapan Air (%)

ABSTRAK

Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC) memiliki fraksi gradasi agregat yang tidak lengkap serta komposisinya didominasi oleh agregat halus. Hal ini menyebabkan campuran memiliki rongga serta penggunaan bitumen yang besar sehingga campuran cenderung lebih lentur. Penggunaan *filler fly ash* dalam campuran aspal beton berfungsi sebagai pengisi rongga dalam campuran, meningkatkan daya ikat aspal beton sehingga meningkatkan kekuatan dan kerapatan campuran perkerasan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara *HRS-WC* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai *filler* ditinjau dari pengujian karakteristik Marshall dan kinerja Cantabro.

Metode yang digunakan pada penelitian ini mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan SNI. Terdapat empat tahapan pengujian pada penelitian ini, yang pertama adalah dengan pengujian sifat fisik material bahan. Tahapan berikutnya adalah pengujian guna mengetahui Kadar Aspal Optimum (KAO). Setelah itu dilakukan pengujian Marshall dan Cantabro dan kemudian pembuatan analisis dan pembahasan berdasarkan pengujian sebelumnya dan penarikan kesimpulan.

Pada pengujian Marshall ketika menggunakan *filler* abu batu maupun ketika disubstitusi dengan *fly ash*, didapatkan hasil yang serupa yaitu *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki nilai karakteristik Marshall yang lebih baik dibandingkan *HRS-WC* bergradasi senjang. Kadar *filler fly ash* optimum yang didapatkan sebesar 100% pada kedua jenis gradasi campuran *HRS-WC*. Pada pengujian Cantabro *loss HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki keausan yang lebih kecil seiring dengan bertambahnya variasi kadar *fly ash* dibandingkan *HRS-WC* bergradasi senjang. Kadar *fly ash* optimum yang didapatkan pada pengujian cantabro *loss* sebesar 100% pada kedua jenis gradasi campuran *HRS-WC*.

Kata kunci: *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)*, *Fly ash*, Gradasi, Marshall, Cantabro

ABSTRACT

Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC) has incomplete aggregate gradation fraction and the composition is dominated by fine aggregate. This causes the mixture have voids and uses a large amount of bitumen so that the mixture tends to be more flexible. The use of fly ash filler in the asphalt concrete mixture functions as cavity filler in the mixture, increasing the binding capacity of asphalt concrete thereby increasing the strength and density of the pavement mixture. This research aims to determine the comparison between HRS-WC graded and semi-graded with fly ash as filler in terms of testing Marshall characteristics and Cantabro Loss performance.

The method used in this research refers to the General Specifications for Bina Marga 2018 and SNI. There are four testing stages in this research, the first is testing the physical properties of the materials. The next stage is testing to determine the Optimum Asphalt Content (OAC). Then Marshall and Cantabro loss were tested. Then make an analysis and discussion based on previous tests and made conclusions.

In the Marshall test when using stone ash filler or when substituted with Fly ash, similar results were obtained, semi-gap graded HRS-WC had better Marshall characteristic values than gap-graded HRS-WC. The optimum fly ash filler content obtained was 100% in both types of HRS-WC mixture gradations. In the Cantabro loss test, semi-gap graded HRS-WC had smaller wear along with increasing variations fly ash content compared to gap-graded HRS-WC. The optimum fly ash content obtained in the cantabro loss test was 100% for both types of HRS-WC mixture gradations.

Keyword: *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC), Fly ash, Gradation, Marshall, Cantabro*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan salah satu infrastruktur utama yang berpengaruh terhadap distribusi barang maupun jasa bagi penduduk, serta menggerakkan roda perekonomian pada daerah tersebut. Pada praktiknya, agar masyarakat mendapatkan akses pelayanan publik yang tersedia pada daerah tersebut diperlukan perencanaan struktur jalan yang mempunyai daya tahan tinggi dan tahan lama terhadap deformasi plastis akibat beban kendaraan maupun cuaca. Faktor penyebab utama kerusakan jalan di Indonesia rata-rata terjadi akibat meningkatkannya jumlah kendaraan yang lewat, perubahan lingkungan, serta beban yang membebani jalan terlalu besar. Maka dari itu, penggunaan bahan dan material untuk perkerasan jalan harus dengan kualitas yang tinggi sehingga bisa meminimalisir kerusakan jalan yang terjadi dan jalan bisa bertahan dalam waktu yang lama.

Campuran beraspal panas (*Hot Mixed Asphalt*) merupakan jenis lapis permukaan jalan yang umum digunakan di Indonesia. Menurut Bina Marga (2018) terdapat 3 jenis campuran beraspal panas yaitu *Stone Matrix Asphalt* (SMA), Lapis Tipis Aspal beton (LATASTON) atau *Hot Rolled Sheet* (HRS), dan Lapis Aspal Panas (LASTON) atau *Asphalt Concrete* (AC). *Hot Rolled Sheet* terdiri atas dua campuran yaitu, *HRS Lapis Aus* (*HRS-Wearing Course*) dan *HRS Pondasi* (*HRS-Base*).

HRS-Lapis Aus memiliki dua jenis campuran yaitu *HRS-WC* gradasi senjang dan *HRS-WC* gradasi semi senjang. Meskipun memiliki kemiripan dalam hal gradasi agregat, dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau terdapat beberapa fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit dibandingkan dengan campuran *AC-WC*. Menurut Bina Marga (2010) penggunaan *HRS* bergradasi semi senjang sebagai pengganti *HRS* gradasi senjang hanya boleh digunakan pada daerah dimana pasir halus yang diperlukan untuk membuat gradasi yang benar-benar senjang tidak dapat diperoleh. Untuk mencapai gradasi yang benar-benar senjang

pada *HRS-WC*, setidaknya 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus lolos ayakan No.30 (0,600 mm). Selain itu komposisi bahan pembentuk campuran *HRS-WC* sangat dipengaruhi oleh penggunaan agregat halus yang dominan yang mana menyebabkan berkurangnya penggunaan butiran agregat sedang dan besar. Hal tersebut mengakibatkan rongga yang semakin terbuka pada campuran tersebut sehingga dapat diisi oleh lebih banyak bitumen. Penggunaan *filler* yang lebih banyak dapat menyerap bitumen, sehingga tidak terjadi ketidak seragamnya kandungan bitumen pada suatu campuran.

Filler memiliki peran yang penting dalam suatu campuran yang mana dapat meningkatkan fleksibilitas dan daya tahan campuran tersebut. Peran *filler* pada campuran adalah untuk mengisi rongga – rongga, sehingga memperkecil rongga udara dan meningkatkan ketahanan gesek dan *interlocking* atau penguncian penguncian antar agregat pada campuran. Menurut Bina Marga (2018), bahan pengisi atau *filler* harus terbebas dari gumpalan, kering dan bahan yang terkandung lolos saringan No.200 tidak kurang dari 75%. *Filler* dapat dibedakan menjadi 2 jenis, yaitu yang bersifat kimia aktif maupun kimia tidak aktif. *Filler* yang bersifat kimia aktif seperti, *portland cement*, ammonium sulfat, dan kapur terhidrasi, sedangkan untuk yang bersifat kimia tidak aktif adalah abu batu, debu kapur, dan abu terbang (*fly ash*). Abu terbang sendiri banyak didapatkan salah satunya dari hasil limbah pembakaran batu bara di PLTU (pembangkit listrik tenaga uap) yang banyak tersebar di Indonesia. *Fly ash* memiliki jumlah kandungan silika sekitar 46,7%, yang mana silika ini merupakan suatu zat yang memiliki daya ikat kuat, sehingga penggunaan mineral *fly ash* dalam campuran aspal beton selain untuk mengisi rongga dalam campuran, juga meningkatkan daya ikat aspal beton yang akan berpengaruh pada peningkatan kekuatan dan kerapatan dari campuran perkerasan tersebut. Penelitian yang dilakukan sebelumnya oleh Wenur dkk. (2023) menggunakan campuran perkerasan *HRS-WC* bergradasi senjang dengan penggunaan substitusi filler *fly ash* sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa seiring dengan penambahan kadar *fly ash* yang digunakan menyebabkan campuran memiliki nilai stabilitas, *flow*, dan *MQ*

yang menurun sehingga menyebabkan kemampuan campuran dalam menahan beban maupun deformasi bentuk semakin berkurang.

Berdasarkan informasi di atas, peneliti ingin melakukan penelitian terkait perbandingan antara *HRS-WC* yang bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai *filler* ditinjau dari pengujian sifat karakteristik *Marshall* dan pengujian kinerja *Cantabro Loss*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah penelitian ini berdasarkan latar belakang di atas adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan karakteristik *Marshall* antara campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)* bergradasi senjang dan yang bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*?
2. Bagaimana perbandingan kinerja *Cantabro Loss* antara campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)* bergradasi senjang dan yang bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perbandingan karakteristik *Marshall* antara campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)* bergradasi senjang dan yang bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*?
2. Mengetahui perbandingan kinerja *Cantabro Loss* antara campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)* bergradasi senjang dan yang bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*?

1.4 Manfaat Penelitian

Adanya penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman maupun menambah wawasan bagi penulis maupun menjadi referensi peneliti pada bidang perkerasan jalan.

1.5 Batas Penelitian

Demi menunjang penelitian tugas akhir ini agar dapat berjalan secara sistematis, maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada campuran beraspal panas jenis *HRS-WC* bergradasi senjang dan *HRS-WC* bergradasi semi senjang.
2. Agregat kasar, agregat halus dan *filler* berasal dari Clereng, Kab. Kulonprogo, D.I. Yogyakarta.
3. *Filler fly ash* berasal dari PT. PLN Indonesia Power PLTU Jawa Tengah 2 Adipala OMU, Kel. Bunton, Kec. Adipala, Kab. Cilacap, Jawa Tengah.
4. Variasi kadar *fly ash* sebagai pengganti *filler* adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat *filler*.
5. Bahan ikat yang digunakan yaitu aspal penetrasi 60/70.
6. Pengujian yang dilakukan meliputi uji *Marshall* dan *Cantabro*.
7. Pengujian Agregat berdasarkan persyaratan Bina Marga 2018.
8. Pengujian Aspal berdasarkan persyaratan Bina Marga 2018 yaitu pengujian titik lembek aspal, penetrasi aspal, titik nyala dan titik bakar, berat jenis aspal, kelarutan, dan daktilitas aspal.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Bergradasi Senjang

Auliani (2018) pada penelitiannya menggunakan penambahan serat *Polypropylene (PP)* dengan kadar pencampuran dari 0% - 1,6% dengan interval 0,4% terhadap berat total campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet–Wearing Course (HRS-WC)* bergradasi senjang dan menghasilkan peningkatan pada nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *VFWA* seiring penambahan kadar serat *PP* hingga mencapai 0,4%, kemudian menurun ketika kadar serat *PP* berlebih. Sedangkan terdapat penurunan untuk nilai *VITM* dan *VMA* seiring dengan bertambahnya kadar serat *PP*. Pada pengujian *ITS* mengalami peningkatan yang cukup signifikan seiring bertambahnya kadar serat *PP*, berbanding terbalik dengan pengujian *Cantabro Loss* yang mengalami penurunan.

2.2 Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Bergradasi Semi Senjang

Tombeg dkk. (2019) melakukan penelitian dengan pemanfaatan sedimen abu vulkanik gunung Soputan sebagai bahan substitusi agregat halus pada campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* bergradasi semi senjang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sedimen transport abu vulkanik gunung soputan sebagai pengganti abu batu pada campuran perkerasan *HRS-WC* bergradasi semi senjang terhadap karakteristik *Marshall* dan apakah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga tahun 2010. Pada penelitian ini menggunakan kadar abu soputan sebanyak 0%, 50%, dan 100% serta variasi kadar aspal 5% sampai 9%, dari hasil perhitungan didapatkan nilai kadar aspal optimum 7,3%, 7,5%, dan 7,95% yang mana telah memenuhi nilai persyaratan karakteristik *Marshall* sesuai spesifikasi Teknik Bina Marga 2010. Pada substitusi 0% didapatkan nilai stabilitas 1675 kg, *Flow* 3,3 mm, *VIM* 4,4%, *VMA* 18%, *VFB* 75,2%, *Density* 2,33 gr/cc, dan *MQ* 520 kg/mm. sedangkan untuk substitusi 50% didapatkan nilai Stabilitas 1601 kg, *Flow* 3,6 mm, *VIM* 4,9%, *VMA* 18,4%, *VFB* 74,9%, *Density*

2,32 gr/cc, dan *MQ* 441 kg/mm. Sementara itu, substitusi 100% menghasilkan nilai stabilitas 1500 kg, *Flow* 4,2 mm, *VIM* 4,2%, *VMA* 19,2%, *VFB* 70%, *Density* 2,3 gr/cc, dan *MQ* 360 kg/mm.

2.3 Perbandingan *Hot Rolled Sheet* Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

Yanti dkk. (2019) melakukan penelitian dengan menggunakan batu apung sebagai substitusi *filler* pada campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet Wearing Course* (*HRS-WC*) bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui berat jenis batu apung sebagai *filler*, merancang komposisi campuran *HRS-WC* yang menggunakan batu apung sebagai *filler*, dan mengetahui pengaruh substitusi batu apung sebagai *filler* terhadap karakteristik *Marshall* dan indeks kekuatan sisa (IKS). Setelah dilakukan penelitian, didapatkan komposisi untuk campuran perkerasan *HRS-WC* bergradasi senjang dengan *filler* batu apung yang terdiri dari 17,75% agregat kasar, 68,63% agregat halus, 6,75% kadar aspal, dan 6,88% batu apung sebagai *filler*. Sedangkan untuk komposisi campuran perkerasan *HRS-WC* bergradasi semi senjang terdiri dari 26,65% agregat kasar, 60,13% agregat halus, 6,75% kadar aspal, dan 6,88% batu apung sebagai *filler*. Dalam pengujian *Marshall Immersion*, diperoleh indeks perendaman atau indeks kekuatan sisa (IKS) sebesar 95,73% untuk *HRS-WC* bergradasi senjang dan 96,66% untuk *HRS-WC* bergradasi semi senjang. Hal ini menunjukkan bahwa campuran *HRS-WC* tersebut mampu menahan bertahan terhadap suhu, lama perendaman, dan terendam air.

Daud dkk. (2020) melakukan penelitian dengan menggunakan abu limbah minyak kelapa sawit mentah atau *crude palm oil* (*CPO*) sebagai pengganti *filler* pada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinerja dari campuran *HRS-WC* apabila menggunakan abu *CPO* sebagai *filler*. Kandungan aspal yang digunakan adalah 5,9%, 6,33%, 6,75%, 7,18%, dan 7,6%, sedangkan proporsi penggunaan limbah abu *CPO* adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan, pada nilai stabilitas mengalami peningkatan ketika menggunakan proporsi abu *CPO* sebanyak 25%, akan tetapi ketika menggunakan proporsi di

atasnya akan mengalami penurunan. Nilai *flow* akan mengalami penurunan apabila proporsi *CPO* yang digunakan dibawah 32% dan mengalami peningkatan jika menggunakan proporsi di atasnya. Penggunaan *CPO* pada campuran *HRS-WC* harus seimbang dengan peningkatan campuran aspal.

2.4 Penggunaan *Fly ash* sebagai *Filler* pada Campuran *HRS-WC*

Yusuf (2018) melakukan pengujian mengenai penggunaan *fly ash* sebagai pengganti *filler* dan aspal Retona Blend 55 pada campuran *HRS-WC*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui sifat dari aspal retona blend 55 sebelum maupun sesudah tercampur dengan *fly ash*. Penelitian ini menggunakan metode *Marshall* untuk mengetahui karakteristik dari campuran tersebut. Kadar *fly ash* yang digunakan sebagai bahan pengganti *filler* pada penelitian ini adalah 0%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% dari berat total *filler*. Hasil dari penelitian ini adalah meningkatnya nilai *density* dan *VFA* pada kadar *fly ash* 6,5%, pada kadar 6,5% pula nilai *VIM*, *VMA* dan *flow* mendapat nilai terendahnya. Nilai stabilitas mengalami penurunan pada penggunaan kadar *fly ash* 5% dan untuk nilai *marshal quotient* mengalami kenaikan tertinggi pada kadar 5,5%.

Wenur dkk. (2023) melakukan pengujian mengenai penggunaan *fly ash* sebagai pengganti *filler* pada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh variasi kandungan *filler fly ash* sebagai limbah buangan yang merusak lingkungan pada campuran *HRS-WC* melalui pengujian karakteristik *Marshall*. Kadar variasi *fly ash* yang digunakan pada penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat total benda uji. Hasil pengujian menunjukkan karakteristik stabilitas, *flow*, *MQ*, *density*, dan *VFB* mengalami penurunan nilai seiring dengan bertambahnya kadar *fly ash*. Sebaliknya nilai *VIM* dan *VMA* mengalami kenaikan nilai seiring bertambahnya kadar *fly ash*.

2.5 Perbandingan Dengan Penelitian Sebelumnya

Berdasarkan dari tinjauan Pustaka terdahulu, terdapat beberapa perbedaan dengan penelitian penulis. Hal tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2.1 Perbandingan Peneliti Sekarang Dengan Peneliti Terdahulu

Peneliti	Auliani (2018)	Tombeg dkk. (2019)	Yanti dkk. (2019)	Daud dkk. (2020)	Yusuf (2018)	Wenur dkk. (2023)	Peneliti (2024)
Judul Penelitian	Pengaruh Penambahan Perat <i>Polypropylene (PP)</i> Pada Campuran <i>HRS-WC</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall, Indirect Tensile Strength (Its)</i> Dan Ketahanan Aus	Pemanfaatan Sedimen Transport Abu Vulkanik (Gunung Soputan) Sebagai Bahan Substitusi Pada Abu Batu Dalam Campuran Aspal <i>HRS-WC</i> Gradasi Semi Senjang	Pengujian Batu Apung Sebagai <i>Filler</i> Pada Campuran <i>HRS-WC</i>	Penelitian tentang kinerja campuran <i>HRS-WC</i> menggunakan limbah abu minyak kelapa sawit mentah sebagai <i>filler</i>	Pengaruh Penggunaan Fly Ash Batu Bara 5%, 5,5%, 6%, 6,5% Pada Campuran <i>HRS-WC</i> Menggunakan Bahan Pengikat Aspal Retona Blend 55	Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Filler Fly Ash Batu Bara Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lataston Hot Rolled Sheet Wearing Course (<i>HRS-WC</i>)	Perbandingan Kinerja Campuran Perkerasan Antara <i>Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)</i> Bergradasi Senjang Dan Bergradasi Semi Senjang dengan <i>fly ash</i> sebagai <i>filler</i>
Tujuan Penelitian	Mengetahui Pengaruh Penambahan Serat <i>Polypropylene</i> Pada Karakteristik <i>Marshall</i> , Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung (<i>Indirect Tensile Strength</i>), Dan Ketahanan Aus Pada Campuran <i>HRS-WC</i> .	Mengetahui Pengaruh Sedimen Transport Abu Vulkanik Gunung Soputan Sebagai Pengganti Abu Batu Pada Campuran Perkerasan <i>HRS-WC</i> Bergradasi Semi Senjang Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	Mengetahui Berat Jenis Batu Apung Sebagai <i>Filler</i> , Merancang Komposisi Campuran <i>HRS-WC</i> Yang Menggunakan Batu Apung Sebagai <i>Filler</i> , Dan Mengetahui Pengaruh Substitusi Batu Apung Sebagai <i>Filler</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i> Dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS)	Mengetahui kinerja campuran <i>HRS-WC</i> yang menggunakan limbah abu minyak kelapa sawit mentah sebagai <i>filler</i>	Mengetahui sifat dari aspal retona blend 55 sebelum maupun sesudah tercampur dengan <i>fly ash</i>	mengetahui pengaruh variasi kandungan <i>filler fly ash</i> pada campuran <i>HRS-WC</i> melalui pengujian karakteristik <i>Marshall</i>	Mengetahui Perbandingan Karakteristik <i>Marshall</i> Dan Kinerja <i>Cantabro Loss</i> Antara Campuran Perkerasan <i>Hot Rolled Sheet</i> Bergradasi Senjang Dan Bergradasi Semi Senjang dengan <i>fly ash</i> sebagai <i>filler</i>
Jenis Campuran	<i>Hot Rolled Sheet (HRS-WC)</i>	<i>Hot Rolled Sheet (HRS-WC)</i>	<i>Hot Rolled Sheet (HRS-WC)</i>	<i>Hot Rolled Sheet (HRS-WC)</i>	<i>Hot Rolled Sheet (HRS-WC)</i>	<i>Hot Rolled Sheet (HRS-WC)</i>	<i>Hot Rolled Sheet (HRS-WC)</i>
Bahan Ikut	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Retona Blend 55	Pertamina Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70
Bahan Tambah	Serat <i>Polypropylene</i>	Abu Vulkanik Gunung Soputan	Abu Batu Apung	Abu Minyak Kelapa Sawit	<i>Fly ash</i>	<i>Fly ash</i>	<i>Fly ash</i>
Jenis Gradasi	Gradasi Senjang	Gradasi Semi Senjang	Gradasi Senjang dan Gradasi Semi Senjang	Gradasi Senjang dan Gradasi Semi Senjang	Gradasi Senjang	Gradasi Senjang	Gradasi Senjang dan Gradasi Semi Senjang
Metode Pengujian	Karakteristik <i>Marshall, ITS, Ketahanan Aus</i>	Karakteristik <i>Marshall</i>	Karakteristik <i>Marshall</i> dan IKS	Karakteristik <i>Marshall</i>	Karakteristik <i>Marshall</i>	Karakteristik <i>Marshall</i>	Karakteristik <i>Marshall</i> dan <i>Cantabro Loss</i>

Sumber: Auliani (2018), Tombeg dkk. (2019), Yanti dkk. (2019), Daud dkk. (2020), Yusuf (2018), Wenur dkk. (2023)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Peneliti Sekarang Dengan Peneliti Terdahulu

Peneliti	Auliani (2018)	Tombeg dkk. (2019)	Yanti dkk. (2019)	Daud dkk. (2020)	Yusuf (2018)	Wenur dkk. (2023)	Peneliti (2024)
Hasil Pengujian	Pada campuran dengan tambahan serat <i>PP</i> memiliki keunggulan pada nilai stabilitas, <i>flow</i> , <i>MQ</i> , <i>VIFW</i> , dan <i>ITS</i> yang tinggi. Pada nilai <i>VITM</i> , <i>VMA</i> , dan <i>Cantabro Loss</i> mengalami penurunan pada campuran dengan bahan tambah <i>PP</i>	Hasil penelitian menunjukkan seiring dengan penambahan presentase sediment transport abu vulkanik gunung Soputan akan mengakibatkan nilai <i>MQ</i> semakin menurun, akan tetapi <i>Sediment transport</i> abu gunung Soputan masih dapat digunakan dalam pekerasan beraspal panas.	Pada campuran perkerasan <i>HRS-WC</i> yang bergradasi senjang memiliki keunggulan pada nilai <i>VIM</i> , <i>VMA</i> , dan <i>Flow</i> . Sedangkan <i>HRS-WC</i> yang bergradasi semi senjang memiliki keunggulan nilai pada <i>VFB</i> , <i>MQ</i> , dan Stabilitas.	Nilai stabilitas mengalami peningkatan ketika menggunakan abu <i>CPO</i> sebanyak 25%, setelah itu kemudian menurun. Nilai <i>flow</i> mengalami penurunan ketika proporsi <i>CPO</i> yang digunakan dibawah 32% dan mengalami peningkatan jika menggunakan proporsi di atasnya.	Pada kadar <i>fly ash</i> 6,5% nilai <i>density</i> dan <i>VFA</i> meningkat, akan tetapi nilai <i>VIM</i> , <i>VMA</i> dan <i>flow</i> mendapat nilai terendahnya. Nilai stabilitas mengalami penurunan pada penggunaan kadar <i>fly ash</i> 5% dan untuk nilai <i>MQ</i> mengalami kenaikan tertinggi pada kadar 5,5%.	Seiring bertambahnya variasi kadar <i>fly ash</i> menyebabkan menurunnya nilai stabilitas, <i>flow</i> , <i>MQ</i> dan <i>VFB</i> . Sebaliknya nilai <i>VIM</i> dan <i>VMA</i> meningkat. Yang mana berarti penggunaan <i>fly ash</i> sebagai <i>filler</i> berpengaruh terhadap campuran <i>HRS-WC</i> .	Pada pengujian Marshall ketika menggunakan <i>filler</i> abu batu dan <i>fly ash</i> , didapatkan hasil yang serupa yaitu <i>HRS-WC</i> bergradasi semi senjang memiliki nilai karakteristik Marshall yang lebih baik. Pada pengujian <i>Cantabro loss</i> <i>HRS-WC</i> bergradasi semi senjang memiliki keausan yang lebih kecil seiring dengan bertambahnya variasi kadar <i>fly ash</i> -

Sumber: Auliani (2018), Tombeg dkk. (2019), Yanti dkk. (2019), Daud dkk. (2020), Yusuf (2018), Wenur dkk. (2023)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Aspal Beton

Aspal beton merupakan jenis perkerasan jalan dengan campuran homogen yang terdiri atas aspal dan agregat, dengan atau tanpa menggunakan bahan tambah (*additive*). Pencampuran material-material pembentuk beton aspal dilakukan dengan suhu tertentu. Aspal beton memiliki karakteristik stabilitas, kelenturan, keawetan, kedap air, ketahanan kelelahan, ketahanan geser, dan mudah dilaksanakan.

Menurut Sukirman (2003) aspal beton dapat dibedakan berdasarkan suhu pencampuran dan fungsinya. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, aspal beton dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu aspal beton campuran panas (*hotmix*), aspal beton campuran sedang (*warm mix*) dan aspal beton campuran dingin (*cold mix*). Kemudian berdasarkan fungsinya, aspal beton dapat dibedakan menjadi aspal beton untuk lapisan aus (*wearing course*), aspal beton untuk lapisan pondasi (*binder course*) dan aspal beton untuk pembentuk dan perata lapisan aspal beton yang sudah lama.

Menurut Bina Marga (2010) jenis aspal beton campuran panas (*hotmix*) dapat dibedakan sebagai berikut.

1. Lapis tipis aspal pasir (Latasir), adalah aspal beton untuk jalan dengan lalu lintas ringan. Lapisan ini khusus mempunyai ketahanan alur (*rutting*) rendah, oleh karena itu tidak diperkenankan digunakan untuk daerah berlalu lintas berat atau daerah tanjakan.
2. Lapis tipis aspal beton (Lataston), adalah aspal beton bergradasi senjang. Lataston biasa disebut dengan *Hot Rolled Sheet (HRS)*. Karakteristik aspal beton yang terpenting pada campuran ini adalah durabilitas dan fleksibilitas.
3. Lapis aspal beton (Laston), adalah aspal beton bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal

dengan nama AC (*Asphalt Concrete*). Karakteristik aspal beton yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

Pada penelitian ini akan meninjau campuran aspal beton dengan jenis lataston pada lapis aus (*Hot Rolled Sheet-Wearing Course*).

3.2 Penyusun Campuran Perkerasan *Hot Rolled Sheet – Wearing Course*

Lataston (lapis tipis aspal beton) dikenal dengan nama *Hot Rolled Sheet (HRS)* merupakan jenis aspal beton campuran panas yang memiliki gradasi senjang. Lataston terdiri dari dua jenis campuran yaitu *HRS Pondasi (HRS-Base)* dan *HRS Lapis Aus (HRS-Wearing Course)* dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm (Bina Marga, 2010). Menurut Bina Marga (2010) terdapat dua kunci utama dalam merancang campuran agar sesuai spesifikasi untuk mendapatkan hasil yang memuaskan yaitu sebagai berikut.

1. Gradasi yang benar-benar senjang Agar diperoleh gradasi yang benar-benar senjang, maka selalu dilakukan pencampuran pasir halus dengan agregat pecah mesin.
2. Sisa rongga udara pada kepadatan membal (*refusal density*) harus memenuhi ketentuan yang ditunjukkan dalam spesifikasi.

3.2.1 Agregat

Agregat adalah salah satu bahan utama dalam campuran perkerasan jalan yang berupa batuan pecah, kerikil, pasir, maupun mineral lainnya. Berdasarkan ukurannya, agregat dapat dikategorikan menjadi 2 yaitu, agregat kasar dan agregat halus. Pada campuran perkerasan *HRS-WC* sendiri terdapat 2 jenis gradasi agregat yang dapat digunakan yaitu, gradasi senjang dan gradasi semi senjang.

Adapun agregat yang akan digunakan harus memenuhi persyaratan dan gradasi seperti dibawah ini.

Tabel 3. 1 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar

No	Pengujian	Standar	Nilai (%)
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	SNI 3407:2008	Maks. 12%
2	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 2417:2008	Maks. 40%
3	Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	Min. 95%
4	Butir pecah pada agregat kasar	SNI 7619: 2012	96/90
5	Partikel pipih dan lonjong	SNI 8287: 2016	Maks. 10%
6	Material lolos ayakan no.200	SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber: Bina Marga Revisi 2 (2018)

Tabel 3. 2 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Halus

No	Pengujian	Standar	Nilai
1	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
2	Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45
3	Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
4	Agregat lolos ayakan no.200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Bina Marga Revisi 2 (2018)

Tabel 3. 3 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

Ukuran Ayakan (mm)	Lataston (HRS)			
	% Berat Lolos Saringan			
	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang	
	WC	Base	WC	Base
37,5	-	-	-	-
25	-	-	-	-
19	100	100	100	100
12,5	90-100	90-100	87-100	90-100
9,5	75-85	65-90	55-88	55-70
4,75	-	-	-	-
2,36	50-72	35-55	50-62	32-44
1,18	-	-	-	-
0,6	35-60	15-35	20-45	15-35
0,3	-	-	15-35	5-35
0,15	-	-	-	-
0,075	6-10	2-9	6-10	4-8

Sumber: Bina Marga Revisi 3 (2010)

3.2.2 Aspal

Aspal merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang berbentuk padat, apabila dipanaskan pada suhu tertentu aspal menjadi lunak/cair sehingga dapat membungkus partikel agregat, namun jika suhu diturunkan aspal akan mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya (sifat termoplastis). Pada penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan persyaratan dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3. 4 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode	Tipe 1 Aspal Pen 60/70
1	Penetrasi pada suhu 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
2	Temperatur yang Menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada Osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI-06-6442-2000	-
3	Viskositas kinematis 135° (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
5	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
6	Titik Nyaa (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
7	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI-03-3639-2002	≤ 2
Pengujian Residu Hasil TFOT (SNI-06-2440_1991) atau RTFOT (SNI-03-6835-2002)			
11	Berat yang Hilang (%)	SNI-06-2441-1991	$\leq 0,8$
12	Temperatur yang Menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada Osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI-06-6442-2000	-
13	Penetrasi pada suhu 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50
Residu Aspal Segar setelah PAV (SNI-03-6837-2002) pada Temperatur 100°C dan Tekanan 2,1 MPa			
15	Temperatur yang Menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada Osilasi 10 rad/detik ≥ 5000 kPa, (°C)	SNI-06-6442-2000	-

Sumber: Bina Marga Revisi 2 (2018)

Kadar aspal optimum didapatkan dengan cara pengujian *Marshall* terhadap benda uji dengan jumlah tumbukan yang disesuaikan dengan klasifikasi lalu lintas yang ditentukan. Berikut persyaratan untuk menentukan kadar aspal optimum terlihat pada Tabel 3.5

Tabel 3.5 Persyaratan Campuran Lataston

Sifat – sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Pondasi
Kadar aspal efektif (%)	Min.	5,9	5,5
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	17	17
Rongga terisi aspal (%)	Min.	68	
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	600	
<i>Marshall</i> Quotient (kg/mm)	Min.	250	
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	

Sumber: Bina Marga Revisi 2 (2018)

3.2.3 Filler

Bahan pengisi (*filler*) berfungsi sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga memperkaku lapisan aspal. Agregat ini merupakan material yang lolos ayakan no.200 (0,074 mm). Bahan yang sering digunakan sebagai *filler* adalah semen, *fly ash*, abu sekam, debu batu kapur dan semen *Portland* atau bahan lainnya yang mampu mengisi bagian-bagian kosong dari susunan aspal beton tersebut. *Filler* yang digunakan pada penelitian ini adalah abu batu dan sebagian akan digantikan dengan *fly ash*.

3.2.4 Fly ash

Fly ash adalah residu industri dari proses pembakaran batu bara yang terdiri dari partikel atau butiran halus. Partikel dari *fly ash* berukuran sangat halus sehingga cocok untuk digunakan sebagai *filler*. Menurut Bina Marga (2018) *fly ash* yang dapat digunakan untuk dijadikan sebagai *filler* adalah *type* C dan F, yang mana pada kedua tipe *fly ash* tersebut memiliki sifat polzanik atau sementisius, atau keduanya. Kadar *fly ash* yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat *filler*.

3.3 Pengujian *Marshall*

Pengujian ini pertama kali diperkenalkan oleh Bruce Marshall yang bertujuan untuk mengetahui dan mengukur nilai stabilitas dan kelelahan plastik suatu

campuran beraspal. Menurut Sukirman (2003) selain hal yang disebutkan di atas dapat diketahui pula nilai kinerja dari beton aspal padat yang dinilai dari pengujian benda uji yaitu.

1. Pengujian berat volume benda uji.
2. Pengujian nilai stabilitas.
3. Pengujian kelelahan (*Flow*)
4. Perhitungan kuosien *Marshall*, adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*.
5. Perhitungan berbagai jenis volume rongga dalam beton aspal padat (*VIM*, *VMA*, dan *VFA*).
6. Perhitungan tebal selimut atau film aspal.

Alat yang digunakan dalam pengujian *Marshall* berupa alat tekan yang terdapat *proving ring* (cincin pengunci) berkapasitas 22,2 kN atau sebesar 5000 lbf dan dilengkapi dengan *flowmeter*. Benda ujinya berupa silinder berdiameter 10,2 cm atau 4 inci dengan tinggi 6,35 cm atau 2,5 inci.

3.3.1 Stabilitas

Dalam konteks perkerasan jalan, nilai stabilitas merujuk pada kapasitasnya untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi seperti gelombang, alur (*rutting*), dan *bleeding*. Tingkat kebutuhan akan stabilitas jalan sebanding dengan jumlah lalu lintas dan beban kendaraan yang melintasinya. Semakin besar kadar aspal yang digunakan maka akan menyebabkan campuran perkerasan tersebut cenderung semakin lentur dikarenakan sifat aspal yang plastis. Pengujian stabilitas bertujuan untuk mengetahui ketahanan benda uji akan beban, sedangkan nilai *flowmeter* untuk mengetahui kelelahan akan beban. Pengujian ini diawali dengan pemanasan bahan uji selama 30 – 40 menit dengan suhu 60° pada *water bath*. Setelah itu dilakukan pengukuran dengan alat *Marshall* dan diberikan beban dengan kecepatan 2 inci/menit atau 51 mm/menit. Nilai stabilitas didapat dari Persamaan 3.1 berikut.

$$S = p \times q \quad (3.1)$$

dengan :

S = angka stabilitas

P = pembacaan arloji stabilitas \times kalibrasi alat

q = koreksi tebal benda uji

3.3.2 Pengujian Nilai Kepadatan (Density)

Density merupakan tingkatan kerapatan suatu campuran setelah dipadatkan. Semakin rendah nilai *density* suatu campuran maka, nilai kerapatannya semakin buruk. Campuran yang memiliki nilai *density* yang baik, maka akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan yang memiliki nilai *density* yang rendah. Hal tersebut terjadi karena butiran agregat memiliki *friction* atau gaya gesek yang besar. Nilai *density* didapat dari Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$g = c/(f) \quad (3.2)$$

$$f = d-e \quad (3.3)$$

dengan :

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

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

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

e = berat benda uji di dalam air (gr), dan

f = volume benda uji (cm³).

3.3.3 Pengujian Nilai Kelelehan (Flow)

Kelelehan (*flow*) merupakan suatu besaran perubahan vertikal atau deformasi yang terjadi pada benda uji ketika pertama kali diberi beban. Besaran tersebut akan memperlihatkan nilai stabilitas dan menunjukkan sejauh mana lapisan perkerasan mengalami deformasi akibat beban yang diterima. Nilai *flow* sangat dipengaruhi oleh kandungannya dan viskositas aspal, gradasi agregat, suhu pemadatan dan jumlah tumbukan. Benda uji dengan nilai *flow* tinggi dan stabilitas rendah memiliki

sifat lebih plastis ketika terkena beban lalu lintas, sedangkan benda uji dengan nilai *flow* rendah dan stabilitas tinggi memiliki sifat kaku dan rapuh. Sama halnya seperti saat mendapatkan nilai stabilitas, nilai *flow* didapat dari *flowmeter* pada alat tekan *Marshall* dan biasanya dalam satuan milimeter (mm).

3.3.4 Pengujian Volume Pori

Menurut Sukirman (2003) sifat volumetrik aspal didapatkan dari beberapa parameter, yaitu berat jenis maksimum (G_{mm}), berat jenis *bulk* (G_{mb}). *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, dan *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*.

1. Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan (G_{mm})

Berat jenis maksimum beton aspal yang belum dipadatkan adalah berat jenis campuran beton aspal tanpa pori/udara, yang dipadatkan dari penelitian di laboratorium menggunakan prosedur *AASHTO T209-90*. Berat jenis maksimum beton aspal diperoleh menggunakan Persamaan 3.4 berikut.

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (3.4)$$

dengan:

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

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

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

G_a = berat jenis aspal, dan

G_{se} = berat jenis bulk efektif agregat

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

Berat jenis bulk beton aspal padat adalah berat jenis campuran beton aspal dengan pori/udara, berdasarkan hukum Archimedes diperoleh Persamaan 3.5 berikut.

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (3.5)$$

dengan:

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

B_k = berat kering beton aspal padat (gr),

B_{ssd} = berat kering permukaan beton aspal yang telah dipadatkan (gr),

B_a = berat beton aspal padat di dalam air (gr), dan

$B_{ssd} - B_a$ = volume bulk dari beton aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan sama dengan 1.

3. Berat jenis bulk efektif agregat (G_{se})

Berat jenis bulk efektif agregat adalah berat jenis keseluruhan campuran beton aspal dengan pori/udara, tidak termasuk rongga pori yang terisi aspal. Berat jenis bulk efektif agregat diperoleh menggunakan Persamaan 3.6 berikut.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm} - P_b}{G_{mm}} + \frac{P_b}{G_b}} \quad (3.6)$$

dengan:

G_{se} = berat jenis bulk efektif agregat,

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

P_{mm} = persen berat dari campuran total yang tidak dipadatkan = 100%,
dan

G_b = berat jenis aspal.

4. *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*

Voids in Mineral Aggregate (VMA) adalah banyaknya pori/udara yang berada di antara butir-butir agregat dalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. Kuantitas terhadap rongga udara berpengaruh terhadap kinerja suatu campuran, jika nilai *VMA* terlalu besar maka campuran menunjukkan masalah stabilitas dan tidak ekonomis untuk diproduksi, sedangkan nilai *VMA* terlalu kecil maka campuran bisa mengalami masalah durabilitasnya.

Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³. Nilai *VMA* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.7 berikut.

$$VMA = \left(100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \right) \% \quad (3.7)$$

dengan:

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

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

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

G_{sb} = berat jenis bulk dari agregat pembentuk beton aspal padat.

5. *Voids in Total Mix (VITM)*

Voids in Total Mix (VITM) adalah pori/udara yang masih tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. *VITM* bertujuan untuk tempat bergesernya butir-butir agregat akibat pemadatan tambahan yang terjadi oleh repetisi beban lalu lintas ataupun sebagai ruang aspal yang meleleh akibat naiknya suhu udara di lapangan. Nilai *VITM* dinyatakan dalam persentase. Jika nilai *VITM* semakin tinggi akan menyebabkan kelelahan semakin cepat, hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Sebaliknya, jika nilai *VITM* terlalu kecil akan menyebabkan perkerasan mengalami bleeding jika temperatur meningkat. Perhitungan dilakukan berdasarkan volume beton aspal padat = 100 cm³. Nilai *VITM* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.8 berikut.

$$VITM = \left(100 - \frac{G_{mm} \times G_{mb}}{G_{mm}} \right) \% \quad (3.8)$$

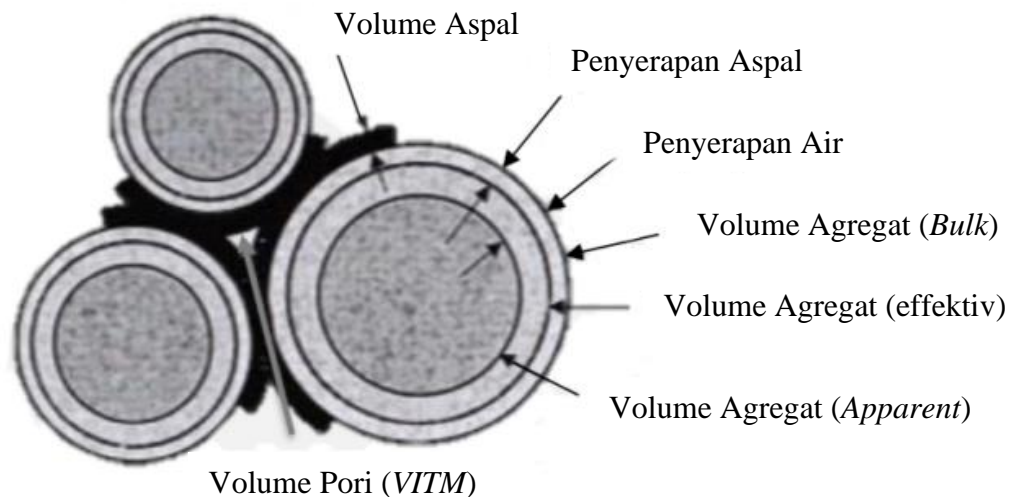
dengan:

VITM = volume pori beton aspal padat (%),

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

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

Berikut adalah ilustrasi volume pori/udara pada campuran aspal yang dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Ilustrasi VMA, Voids, dan Kadar Bitumen Efektif

(Sumber: Subarkah, 2015)

6. *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*

Voids Filled with Asphalt (VFWA) adalah persentase pori/udara terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh faktor pemadatan yaitu jumlah tumbukan, temperatur pemadatan, gradasi agregat, dan kadar viskositas aspal. Nilai *VFWA* berpengaruh terhadap sifat kedapdan dan kelenturan pada campuran aspal, dengan kata lain *VFWA* menentukan stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas. Nilai *VFWA* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.9 berikut

$$VFWA = \frac{100 - (VMA - VITM)}{VMA} \quad (3.9)$$

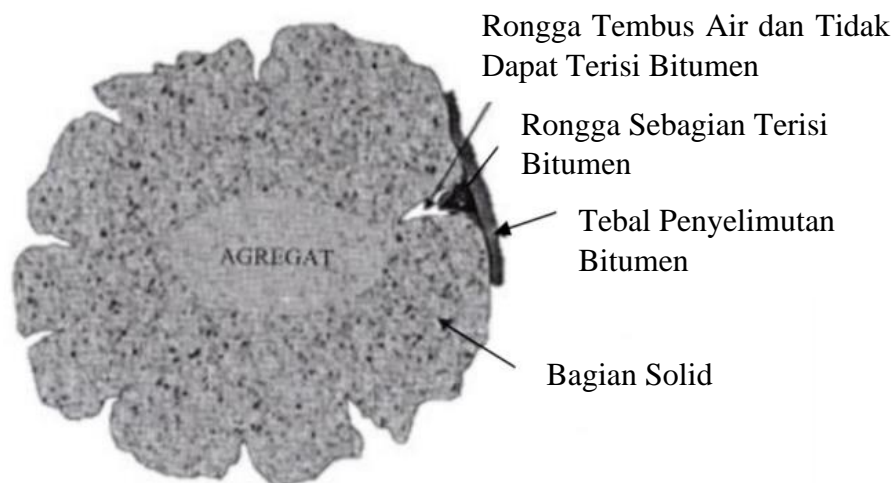
dengan:

VFWA = volume pori antara butir agregat yang terisi aspal (%),

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

$VITM$ = volume pori beton aspal padat (%).

Berikut adalah ilustrasi volume pori/udara antara butir agregat yang terisi aspal yang dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3. 2 ilustrasi Rongga Agregat yang Terisi Bitumen

(Sumber: Subarkah, 2015)

3.3.5 Perhitungan Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah perbandingan antara nilai stabilitas dengan nilai keelehan (*flow*). Semakin tinggi nilai *MQ*, maka akan semakin tinggi juga kekakuan campuran aspal dan semakin rentan terhadap keretakan. Sedangkan nilai *MQ* terlalu rendah dapat menyebabkan terjadinya *bleeding*. Nilai *MQ* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.10 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.10)$$

dengan:

MQ = nilai *Marshall Quotient* (kg/mm),

q = nilai stabilitas (kg), dan

r = nilai keelehan *flow* (mm).

3.4 Pengujian *Cantabro Loss*

Cantabro Test adalah pengujian campuran aspal yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang-ulang yang menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Pengujian ini menggunakan alat mesin *Los Angeles* dengan kondisi benda uji yang sudah dipadatkan pada kedua sisinya sebanyak 2×50 kali tumbukan. Setelah itu benda uji diletakkan di dalam drum mesin *Los Angeles* tanpa bola dan diputar sebanyak 300 kali putaran. Nilai *Cantabro Loss* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 11 berikut.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.11)$$

dengan:

L = persentase kehilangan berat (%),

M_o = berat sebelum diabrasi (gr), dan

M_i = berat setelah diabrasi (gr).

3.5 Uji Analisis Statistik

Pengujian analisis statistik pada penelitian ini menggunakan metode *ANOVA Two Way* atau *ANOVA* dua arah. Metode ini dipilih dikarenakan data hasil pengujian memiliki 2 variabel faktor. Variable yang terdapat pada penelitian ini adalah jenis gradasi (Senjang dan Semi Senjang) dan variasi kadar *fly ash* (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%). Syarat digunakannya metode *ANOVA Two Way* adalah data atau sampel hasil pengujian haruslah berdistribusi normal atau lolos uji normalitas dan bersifat homogen atau lolos uji homogenitas. Uji analisis statistik *ANOVA Two Way* secara umum adalah sebagai berikut.

1. Guna mengetahui pengaruh dari masing – masing variable faktor maka, harus merumuskan hipotesis alternatif (H_1) dan hipotesis nol (H_0).

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \dots \dots \dots \neq \mu_k$$

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 \dots \dots \dots \mu_k$$

2. Membandingkan antara nilai F-hitung dengan nilai F-tabel.

Jika nilai F-hitung $>$ F-tabel; maka H0 ditolak dan H1 diterima.

Jika nilai F-hitung $<$ F-tabel; maka H0 diterima dan H1 ditolak.

3. Menentukan nilai α atau signifikan umumnya digunakan 5 % atau 0,05.

Jika nilai signifikan atau P-Value $>$ 0,05; maka H0 diterima dan H1 ditolak.

Jika nilai signifikan atau P-Value $<$ 0,05; maka H0 ditolak dan H1 diterima.

4. Perumusan keputusan H0 dan H1

H0: Tidak ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *Fly ash* sebagai *Filler* terhadap campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang.

H1: Ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *Fly ash* sebagai *Filler* terhadap campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang.

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian akan memberikan gambaran terkait tahapan yang akan dilakukan oleh peneliti untuk mencapai tujuan penelitian yang diinginkan. Metodologi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, pada metode ini akan dilakukan percobaan maupun pengujian agar mendapatkan data – data yang diperlukan. Data yang didapat dari pengujian tersebut akan dianalisis kemudian dibandingkan dengan persyaratan dari standar spesifikasi yang akan digunakan. Acuan standar spesifikasi yang digunakan pada penelitian ini adalah Spesifikasi Umum Bina Marga (2018), *American Association of State Highway and Transport (AASHTO)*, *American Standard Testing and Material (ASTM)*, dan Standar Nasional Indonesia (SNI). Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik *Marshall* dan kinerja *cantabro loss* dari campuran perkerasan *hot rolled sheet* lapis aus (*HRS - WC*) yang menggunakan *fly ash* sebagai pengganti *filler*.

4.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

4.2.1 Peralatan Penelitian

Alat-alat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penyaringan agregat berdasarkan ukuran, seperti saringan (*sieve*) berbagai ukuran dan mesin penyaring (*sieve shaker machine*).
2. Peralatan pengujian fisik agregat, seperti mesin *Los Angeles*, saringan standar, *vibrator*, dan tabung *Sand Equivalent*.
3. Peralatan pengujian fisik aspal, seperti alat ukur penetrasi aspal, daktilitas aspal, kelarutan aspal, titik lembek aspal, titik nyala dan titik bakar aspal.
4. Cetakan benda uji berbentuk silinder (*mold*) berdiameter 10 cm (4”) dan tinggi 7,5 cm (3”) dilengkapi dengan pelat atas dan leher sambung.

5. Alat tekan *Marshall* yang terdiri sebagai berikut.
 - a. Kepala penekan yang berbentuk lengkung (*breaking head*).
 - b. Cincin penguji yang berkapasitas 2500 kg (5000 *pound*) dengan ketelitian 12,5 kg (25 *pound*) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001”).
 - c. Arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001”).
 - d. Arloji penunjuk kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01”) dengan perlengkapannya.
6. Oven, alat untuk memanaskan bahan yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai $(200\pm 3)^{\circ}\text{C}$.
7. *Ejector*, alat untuk mengeluarkan benda uji yang telah dipadatkan dari cetakan.
8. *Compactor*, alat penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg (10 *pound*) dan tinggi jatuh beban 45,7 cm (18”).
9. Bak perendam (*water bath*), dilengkapi dengan pengatur suhu minimum 20°C .
10. Timbangan yang dilengkapi penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram, timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram, dan timbangan digital.
11. Perlengkapan penunjang, seperti kompor, wajan, spatula, sarung tangan karet, gelas ukur, panci, kain lap, bak plastik, jangka sorong, termometer, dan lain-lain.

4.2.2 Bahan Penelitian

Adapun bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar dan agregat halus berasal dari Clereng, Kulon Progo.
2. *Filler* abu batu berasal dari Clereng, Kulon Progo.
3. *Filler fly ash* berasal dari PT. PLN Indonesia Power PLTU Jawa Tengah 2 Adipala OMU, Kel. Bunton, Kec. Adipala, Kab. Cilacap, Jawa Tengah, dan

4. Bahan ikat atau aspal yang digunakan merupakan aspal pertamina penetrasi 60/70.

4.3 Tahapan Penelitian

Seluruh pengujian pada penelitian ini akan dilakukan pada Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Adapun rangkaian tahapan pada penelitian ini adalah persiapan dan pemeriksaan material, persiapan alat, pembuatan benda uji, pengujian *Marshall* dan *cantabro loss*.

4.3.1 Persiapan dan Pemeriksaan Material

1. Pengujian Agregat

Pengujian agregat pada penelitian ini meliputi:

a. Pengujian Penyerapan Air dan Berat Jenis Agregat Kasar

Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 1969:2016. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat penyerapan air serta mengetahui berat jenis (*bulk*), berat jenis semu (*apparent*), dan berat jenuh permukaan atau *Saturated Surface Dry (SSD)* dari agregat kasar.

b. Pengujian Penyerapan Air dan Berat Jenis Agregat Halus

Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 1970:2016. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat penyerapan air serta mengetahui berat jenis (*bulk*), berat jenis semu (*apparent*), dan berat jenuh permukaan atau *Saturated Surface Dry (SSD)* dari agregat halus.

c. Pengujian Kelekatan Agregat pada Aspal

Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 2439:2011. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kelekatan agregat terhadap aspal.

d. Pengujian Abrasi (*Los Angeles*)

Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 2417:2008. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar keausan agregat.

e. Pengujian *Sand Equivalent*

Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 3423:2008. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui besaran kadar debu dan lumpur pada agregat halus.

2. Pengujian Aspal Pengujian aspal yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:
 - a. Pengujian Titik Lembek Aspal
Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 06-2434-2011. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui kelelahan yang dialami oleh aspal akan terjadi pada temperatur berapa.
 - b. Pengujian Penetrasi Aspal
Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 2456:2011. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui nilai penetrasi aspal.
 - c. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar
Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 2433:2011. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui temperatur maksimum pemanasan aspal agar tidak mencapai titik dimana akan terbakar.
 - d. Pengujian Berat Jenis Aspal
Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 2441:2011. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui nilai berat jenis aspal yang nantinya akan berpengaruh pada kelekatan aspal.
 - e. Pengujian Kelarutan Dalam *TCE* (*Trichloroethylene*)
Pedoman untuk pengujian ini adalah *AASHTO* T44-14. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui seberapa besar jumlah aspal yang larut dalam *TCE*.
 - f. Pengujian Daktilitas Aspal
Pedoman untuk pengujian ini adalah SNI 2432:2011. Pengujian ini memiliki tujuan untuk mengetahui sifat kohesi yang dimiliki oleh aspal, melalui kemampuan aspal untuk bertambah panjang saat ditarik sampai mengalami batas maksimumnya hingga benda uji terputus pada rangkaian pengujiannya.

4.3.2 Perencanaan Campuran

Tahapan ini dilakukan guna mendapatkan gradasi agregat yang sesuai dengan campuran perkerasan yang akan digunakan. Acuan gradasi agregat yang akan digunakan pada penelitian ini adalah persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010. Campuran perkerasan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang. *HRS-WC* bergradasi senjang sendiri menurut Bina Marga (2010) minimal 80% agregat yang lolos ayakan no.8 (2,36 mm) harus lolos pada ayakan no.30 (0,600 mm). Perbedaan yang terlihat antara kedua jenis gradasi tersebut adalah digunakannya agregat yang tertahan pada saringan no. 50 pada gradasi semi senjang. Penggunaan Komposisi substitusi *filler fly ash* pada penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari total berat *filler*. *Fly ash* digunakan untuk menggantikan sebagian *filler* abu batu pada saat nilai KAO sudah didapatkan. Gradasi agregat rencana campuran perkerasan *HRS-WC* dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 1 Gradasi Agregat campuran *HRS-WC* Bergradasi Senjang

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	15
No.8 (2,36 mm)	50	72	60	20
No.30 (0,600 mm)	35	60	48	12
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	40
PAN				8

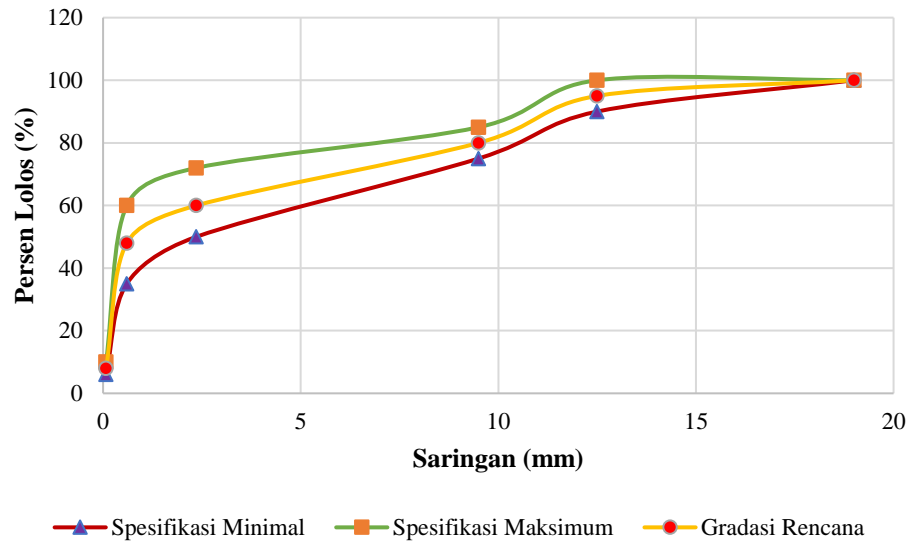
Sumber: Bina Marga (2010)

Tabel 4. 2 Gradasi Agregat campuran *HRS-WC* Bergradasi Semi Senjang

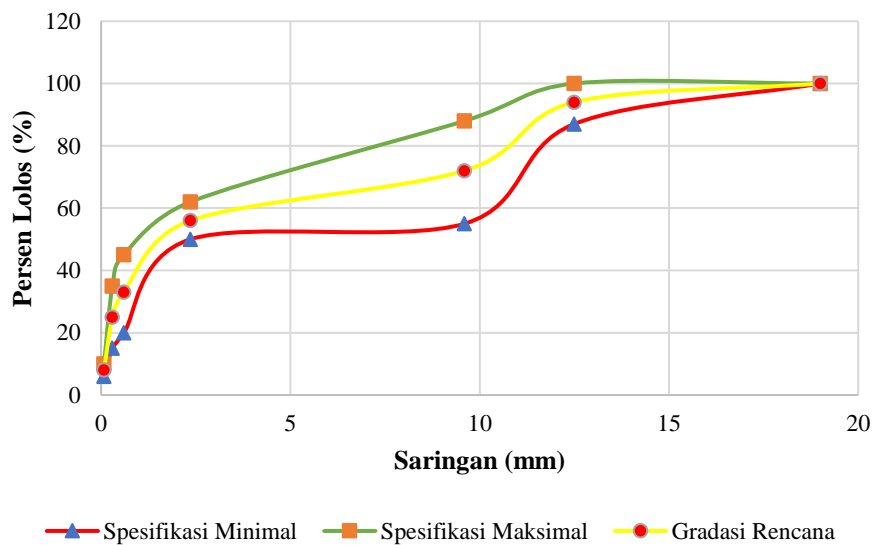
Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0
1/2" (12,5 mm)	87	100	94	6
3/8" (9,5 mm)	55	88	72	22
No.8 (2,36 mm)	50	62	56	16
No.30 (0,600 mm)	20	45	33	23
No.50 (0,300 mm)	15	35	25	8
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	17
PAN				8

Sumber: Bina Marga (2010)

Grafik agregat rencana campuran perkerasan *HRS-WC* dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2.



Gambar 4. 1 Grafik Agregat Rencana *HRS-WC* Gradasi Senjang



Gambar 4. 2 Grafik Agregat Rencana *HRS-WC* Gradasi Semi Senjang

Setelah didapatkan gradasi agregat yang sesuai spesifikasi, maka dapat dilakukan perhitungan kadar aspal optimum (KAO). Perhitungan kadar aspal optimum didapatkan dari Persamaan 4.1 berikut.

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K \quad (4.1)$$

dengan:

P_b = kadar aspal perkiraan,

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 4,

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

$Filler$ = agregat halus lolos saringan No. 200, dan

K = konstanta 2,0 – 3,0 untuk Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston).

Berdasarkan rumus persamaan di atas, maka akan didapatkan nilai kadar aspal optimal untuk *HRS WC* bergradasi senjang dan semi senjang sebagai berikut.

1. *HRS WC* bergradasi senjang

$$\begin{aligned} CA &= (100 - 60) \% \\ &= 40\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FA &= (60 - 8) \% \\ &= 52\% \end{aligned}$$

$$Filler = 8\%$$

Nilai konstanta untuk campuran perkerasan *HRS WC* adalah 2,0 – 3,0, maka nilai konstanta yang digunakan adalah 2,0. Perhitungan nilai KAO untuk *HRS WC* bergradasi senjang adalah sebagai berikut.

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K$$

$$P_b = 0,035 \times (40\%) + 0,045 \times (52\%) + 0,18 (8\%) + 2,0$$

$$P_b = 7,18 \text{ dibulatkan menjadi } 7\%$$

Ditinjau dari perhitungan di atas didapat nilai P_b sebesar 7,18% dan dibulatkan kebawah menjadi 7%, kemudian diambil 2 nilai di atas dan dibawah 7% dengan margin 0,5%, maka dari itu variasi kadar aspal yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% dari total berat campuran. Bahan uji yang digunakan memiliki berat total campuran sebesar 1.200 gr dan bahan ikat yang akan digunakan adalah aspal pen 60/70.

Kebutuhan agregat pada tiap variasi kadar aspal yang akan diuji dapat dilihat pada Tabel 4.3, Tabel 4.4, Tabel 4.5, Tabel 4.6, dan Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4. 3 Kebutuhan Gradasi Agregat Senjang pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.128	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1.071,6	56,4
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	15	902,4	169,2
No.8 (2,36 mm)	50	72	60	20	676,8	225,6
No.30 (0,600 mm)	35	60	48	12	541,44	135,36
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	40	90,24	451,2
PAN	-	-	-	8	0	90,24
Total						1.128

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

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.122	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1.065,9	56,1
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	15	897,6	168,3
No.8 (2,36 mm)	50	72	60	20	673,2	224,4
No.30 (0,600 mm)	35	60	48	12	538,56	134,64
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	40	89,76	448,8
PAN	-	-	-	8	0	89,76
Total						1.122

Tabel 4. 5 Kebutuhan Gradasi Agregat Senjang pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.116	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1.060,2	55,8
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	15	892,8	167,4
No.8 (2,36 mm)	50	72	60	20	669,6	223,2
No.30 (0,600 mm)	35	60	48	12	535,68	133,92
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	40	89,28	446,4
PAN	-	-	-	8	0	89,28
Total						1.116

Tabel 4. 6 Kebutuhan Gradasi Agregat Senjang pada Kadar Aspal 7,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.110	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1.054,5	55,5
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	15	888	166,5
No.8 (2,36 mm)	50	72	60	20	666	222
No.30 (0,600 mm)	35	60	48	12	532,8	133,2
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	40	88,8	444
PAN	-	-	-	8	0	88,8
Total						1.110

Tabel 4. 7 Kebutuhan Gradasi Agregat Senjang pada Kadar Aspal 8%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.104	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1.048,8	55,2
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	15	883,2	165,6
No.8 (2,36 mm)	50	72	60	20	662,4	220,8
No.30 (0,600 mm)	35	60	48	12	529,92	132,48
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	40	88,32	441,6
PAN	-	-	-	8	0	88,32
Total						1.104

2. *HRS WC* bergradasi semi senjang

HRS WC bergradasi senjang

$$\begin{aligned} CA &= (100 - 56) \% \\ &= 44\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} FA &= (56 - 8) \% \\ &= 48\% \end{aligned}$$

$$Filler = 8\%$$

Nilai konstanta untuk campuran perkerasan *HRS WC* adalah 2,0 – 3,0, maka nilai konstanta yang digunakan adalah 2,0. Perhitungan nilai k_{ao} untuk *HRS WC* bergradasi semi senjang adalah sebagai berikut.

$$P_b = 0,035 \times (\%CA) + 0,045 \times (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K$$

$$P_b = 0,035 \times (44\%) + 0,045 \times (48\%) + 0,18 (8\%) + 2,0$$

$$P_b = 7,14 \text{ dibulatkan menjadi } 7\%$$

Ditinjau dari perhitungan di atas didapat nilai P_b sebesar 7,14% dan dibulatkan kebawah menjadi 7%, kemudian diambil 2 nilai di atas dan dibawah 7% dengan margin 0,5%, maka dari itu variasi kadar aspal yang akan digunakan pada penelitian ini adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% dari total berat campuran. Bahan uji yang digunakan memiliki berat total campuran sebesar 1.200 gr dan bahan ikat yang akan digunakan adalah aspal pen 60/70. Kebutuhan agregat pada tiap variasi kadar aspal yang akan diuji dapat dilihat pada Tabel 4.8, Tabel 4.9, Tabel 4.10, Tabel 4.11, dan Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4.8 Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.128	0
1/2" (12,5 mm)	87	100	94	6	1.060,32	67,68
3/8" (9,5 mm)	55	88	72	22	812,16	248,16
No.8 (2,36 mm)	50	62	56	16	631,68	180,48
No.30 (0,600 mm)	20	45	33	23	372,24	259,44
No.50 (0,300 mm)	15	35	25	8	282	90,24
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	17	90,24	191,76
PAN				8	0	90,24
Total						1.128

Tabel 4.9 Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.122	0
1/2" (12,5 mm)	87	100	94	6	1.054,68	67,32
3/8" (9,5 mm)	55	88	72	22	807,84	246,84
No.8 (2,36 mm)	50	62	56	16	628,32	179,52
No.30 (0,600 mm)	20	45	33	23	370,26	258,06
No.50 (0,300 mm)	15	35	25	8	280,5	89,76
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	17	89,76	190,74
PAN				8	0	89,76
Total						1.122

Tabel 4.10 Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.116	0
1/2" (12,5 mm)	87	100	94	6	1.049,04	66,96
3/8" (9,5 mm)	55	88	72	22	803,52	245,52
No.8 (2,36 mm)	50	62	56	16	624,96	178,56
No.30 (0,600 mm)	20	45	33	23	368,28	256,68
No.50 (0,300 mm)	15	35	25	8	279	89,28
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	17	89,28	189,72
PAN				8	0	89,28
Total						1.116

Tabel 4.11 Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 7,5%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.110	0
1/2" (12,5 mm)	87	100	94	6	1.043,4	66,6
3/8" (9,5 mm)	55	88	72	22	799,2	244,2
No.8 (2,36 mm)	50	62	56	16	621,6	177,6
No.30 (0,600 mm)	20	45	33	23	366,3	255,3
No.50 (0,300 mm)	15	35	25	8	277,5	88,8
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	17	88,8	188,7
PAN				8	0	88,8
Total						1.110

Tabel 4.12 Kebutuhan Gradasi Agregat Semi Senjang pada Kadar Aspal 8%

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.104	0
1/2" (12,5 mm)	87	100	94	6	1.037,76	66,24
3/8" (9,5 mm)	55	88	72	22	794,88	242,88
No.8 (2,36 mm)	50	62	56	16	618,24	176,64
No.30 (0,600 mm)	20	45	33	23	364,32	253,92
No.50 (0,300 mm)	15	35	25	8	276	88,32
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	17	88,32	187,68
PAN				8	0	88,32
Total						1.104

4.3.3 Jumlah Benda Uji

Jumlah keseluruhan benda uji pada penelitian ini adalah sebanyak 90 buah. Rinciannya adalah 30 benda uji digunakan untuk menentukan nilai KAO dan 60 benda uji lainnya digunakan untuk pengujian KAO. Tujuan digunakannya 30 benda uji untuk menentukan nilai KAO karena pada penelitian ini menggunakan 2 jenis gradasi agregat yang berbeda, sehingga masing – masing gradasi agregat akan menggunakan 15 benda uji. Pada pengujian KAO akan dilakukan 2 jenis pengujian yaitu uji *Marshall* dan *cantabro*. Rincian benda uji yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 berikut.

Tabel 4. 13 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Nilai KAO

Jenis Campuran	Kadar Aspal (%)					Jumlah Benda Uji (buah)
	4,5	5	5,5	6	6,5	
HRS WC bergradasi Senjang	3	3	3	3	3	15
HRS WC bergradasi Semi Senjang	3	3	3	3	3	15
Total						30

Tabel 4. 14 Jumlah Benda Uji untuk Tiap Pengujian pada KAO

Jenis Campuran	Jenis Pengujian	Kadar Fly ash (%)					Jumlah Benda Uji (buah)
		0	25	50	75	100	
HRS WC bergradasi Senjang	<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3	15
	<i>Cantabro</i>	3	3	3	3	3	15
HRS WC bergradasi Semi Senjang	<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3	15
	<i>Cantabro</i>	3	3	3	3	3	15
Total							60

4.3.4 Pengujian *Marshall*

Pengujian ini memiliki tujuan guna mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*). Setelah didapatkan nilai tersebut kemudian dilakukan perhitungan

guna mendapatkan nilai kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Cara pengujian *Marshall* mengacu pada SNI 06-2489-1991. Tatacara pengujian *Marshall* dapat dilihat dibawah ini.

1. Agregat disaring sesuai dengan gradasi yang diinginkan menggunakan mesin penyaring (*sieve shaker machine*), lalu agregat ditimbang dan dipisahkan sesuai dengan kebutuhan kadar aspal yang akan diuji, campuran agregat yang sudah dipisahkan dimasukkan kedalam plastik agar tidak tercampur kembali dengan agregat yang lain, pada penelitian ini kadar aspal yang akan digunakan untuk mencari nilai KAO adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%, sedangkan untuk perencanan campuran dengan bahan pengganti sebagian *filler* menggunakan *fly ash* dengan kadar 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap berat *filler*.
2. Agregat kasar, halus, dan *filler* dipanaskan hingga suhu $\pm 150^{\circ}\text{C}$,
3. Kemudian, aspal dipanaskan secara terpisah, dan untuk aspal Pen 60/70 benda uji dipanaskan hingga suhu $160^{\circ}\text{C} - 170^{\circ}\text{C}$,
4. Agregat dan aspal yang telah dipanaskan dicampurkan, lalu aduk hingga tercampur merata,
5. Setelah suhu pemadatan tercapai, campuran dimasukkan ke dalam cetakan (*mold*) yang di bagian dalamnya sudah diolesi oli. Kertas minyak yang sudah dipotong sesuai bentuk cetakan diletakkan pada bagian bawah cetakan. Benda uji dimasukkan kedalam cetakan dan diratakan menggunakan spatula kemudian ditumbuk sebanyak 15 kali di bagian pinggir dan 10 kali dibagian tengah. Setelah benda uji diratakan kemudian bagian atas cetakan ditutup menggunakan kertas minyak dibagian permukaannya,
6. Cetakan kemudian diletakkan di alat penumbuk dan dipadatkan sebanyak 50 sisi pada masing – masing sisinya, yang mana pada campuran perkerasan *HRS-WC* memiliki kadar agregat halus yang lebih dominan sehingga jumlah tumbukan yang diperlukan tidak terlalu banyak,
7. Setelah pemadatan dilakukan, benda uji didiamkan pada suhu ruangan dengan tujuan untuk menurunkan suhunya. Setelah temperaturnya turun, benda uji

dikeluarkan dari cetakan menggunakan bantuan alat *ejector* dan diberi nama atau kode,

8. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel. Setelah itu, dimensinya diukur dari 3 sisi yang berbeda menggunakan alat pengukur dengan ketelitian 0,1 mm dan hasilnya dirata-ratakan,
9. Benda uji ditimbang dalam keadaan kering guna mengetahui berat keringnya.
10. Benda uji direndam dalam air dengan suhu ruangan selama 24 jam agar benda uji berada dalam kondisi jenuh air,
11. Setelah itu benda uji diangkat dari air dan ditimbang menggunakan timbangan yang sudah dipasang alat guna mengetahui berat benda uji di dalam air,
12. Benda uji dikeringkan menggunakan kain lap sampai permukaan benda uji tidak terdapat air atau kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
13. Benda uji ditimbang dalam kondisi *Saturated Surface Dry (SSD)*,
14. Setelah itu benda uji direndam kembali dalam bak perendam (*water bath*) selama 30 menit dengan suhu air $60\pm 1^{\circ}\text{C}$,
15. Kepala penekan (*test head*) disiapkan, lalu dibersihkan dan diberi minyak pelumas agar kepala penekan dapat meluncur tanpa hambatan,
16. Benda uji dipasang pada ring dan diletakkan pada piston pendorong,
17. *Flowmeter* dipasang pada posisi di atas salah satu batang penuntun (*guide road*),
18. Kepala penekan benda uji dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji, kemudian diatur pada kedudukan arloji tekan pada angka nol,
19. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti maka, dimulai kembali berputar menurun, kemudian arloji kelelehannya (*flow*) dibaca,
20. Benda uji dikeluarkan dari alat uji setelah pembebanan selesai, dan
21. Hasil yang sudah didapat dilanjutkan dengan analisis perhitungan selanjutnya.

4.3.5 Pengujian *Cantabro*

Langkah-langkah pengujian *Cantabro Loss* adalah sebagai berikut.

1. Benda uji dibuat berdasarkan nilai KAO yang telah didapatkan dari pengujian *Marshall*, dan diganti sebagian *filler* dengan kadar *fly ash* 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% terhadap berat *filler*.
2. Benda uji ditimbang menggunakan timbangan sebelum dilakukan pengujian,
3. Benda uji dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles*,
4. Mesin *Los Angeles* dijalankan dan putaran mesinnya diatur sebanyak 300 putaran,
5. Benda uji ditimbang setelah pengujian, dan
6. Hasil pengujian dianalisis dan pembahasan dibuat.

4.4 Analisis Data

Setelah selesai dilakukan pengujian, maka dilanjutkan dengan analisis data hasil pengujian. Analisis data yang akan dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Analisis Karakteristik *Marshall*

Berikut adalah data yang diperoleh dari Pengujian *Marshall*.

- a. Berat benda uji dalam keadaan kering (gr),
- b. Berat benda uji dalam air (gr),
- c. Berat benda uji dalam kondisi jenuh (gr),
- d. Tebal benda uji (cm),
- e. Pembacaan *dial* stabilitas (Kg), dan
- f. Pembacaan *dial* kelelahan atau *flow* (mm).

Berikut adalah rumus perhitungan yang akan digunakan untuk mendapatkan nilai-nilai karakteristik *Marshall*.

- a. Berat Jenis Aspal

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

dengan :

- A = Berat piknometer dengan penutup (gr),
- B = Berat piknometer terisi air dan penutup (gr),
- C = Berat piknometer terisi aspal dan penutup(gr),

D = Berat piknometer terisi aspal dan air dengan penutup (gr).

b. Berat Jenis Agregat kasar dan penyerapan air

$$S_d = \frac{A}{(B-C)} \quad (4.3)$$

$$S_s = \frac{B}{(B-C)} \quad (4.4)$$

$$S_a = \frac{A}{(A-C)} \quad (4.5)$$

$$S_w = \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \quad (4.6)$$

dengan:

S_d = Berat jenis dalam keadaan kering (gr),

S_s = Berat jenis dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr),

S_a = Berat jenis dalam keadaan semu (gr),

S_w = Penyerapan Air (%),

A = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gr),

B = Berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr), dan

C = Berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gr).

c. Berat Jenis Agregat Halus dan Penyerapan Air

$$S_d = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (4.7)$$

$$S_s = \frac{S}{(B+S-C)} \quad (4.8)$$

$$S_a = \frac{A}{(B+A-C)} \quad (4.9)$$

$$S_w = \left[\frac{S-A}{A} \right] \times 100\% \quad (4.10)$$

dengan:

S_d = Berat jenis dalam keadaan kering (gr),

S_s = Berat jenis dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr),

S_a = Berat jenis dalam keadaan semu (gr),

S_w = Penyerapan Air (%),

- A = Berat benda uji dalam keadaan kering oven (gr),
- B = Berat piknometer dengan terisi air (gr)
- C = Berat piknometer dengan terisi benda uji dan air sampai batas pembacaan (gr), dan
- S = Berat benda uji dalam keadaan jenuh kering permukaan (gr).

- d. Nilai stabilitas menggunakan Persamaan 3.1.
- e. Nilai kelelahan (*flow*) didapat dari pembacaan arloji kelelahan.
- f. Nilai *Marshall Quotient (MQ)* menggunakan Persamaan 3.10.
- g. Nilai *Voids in Mineral Aggregate (VMA)* menggunakan Persamaan 3.7.
- h. Nilai *Voids in Total Mix (VITM)* menggunakan Persamaan 3.8.
- i. Nilai *Voids Filled with Asphalt (VFWA)* menggunakan Persamaan 3.9.

2. Analisis Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pemilihan KAO pada campuran *HRS-WC* ditentukan dari karakteristik hasil pengujian *Marshall* yang memenuhi persyaratan berikut.

- a. *Voids in Total Mix (VITM)* dengan persyaratan 4% - 6%,
- b. *Voids in Mineral Aggregate (VMA)* dengan persyaratan minimum 18%, dan
- c. Minimum syarat kadar aspal efektif 5,9%.

Berdasarkan hasil uji *Marshall* yang telah memenuhi seluruh persyaratan tersebut, maka akan didapatkan batas minimum dan maksimumnya. Nilai kadar aspal optimum diketahui berdasarkan nilai tengah antara batas minimum dan maksimumnya.

3. Analisis *Cantabro Loss*

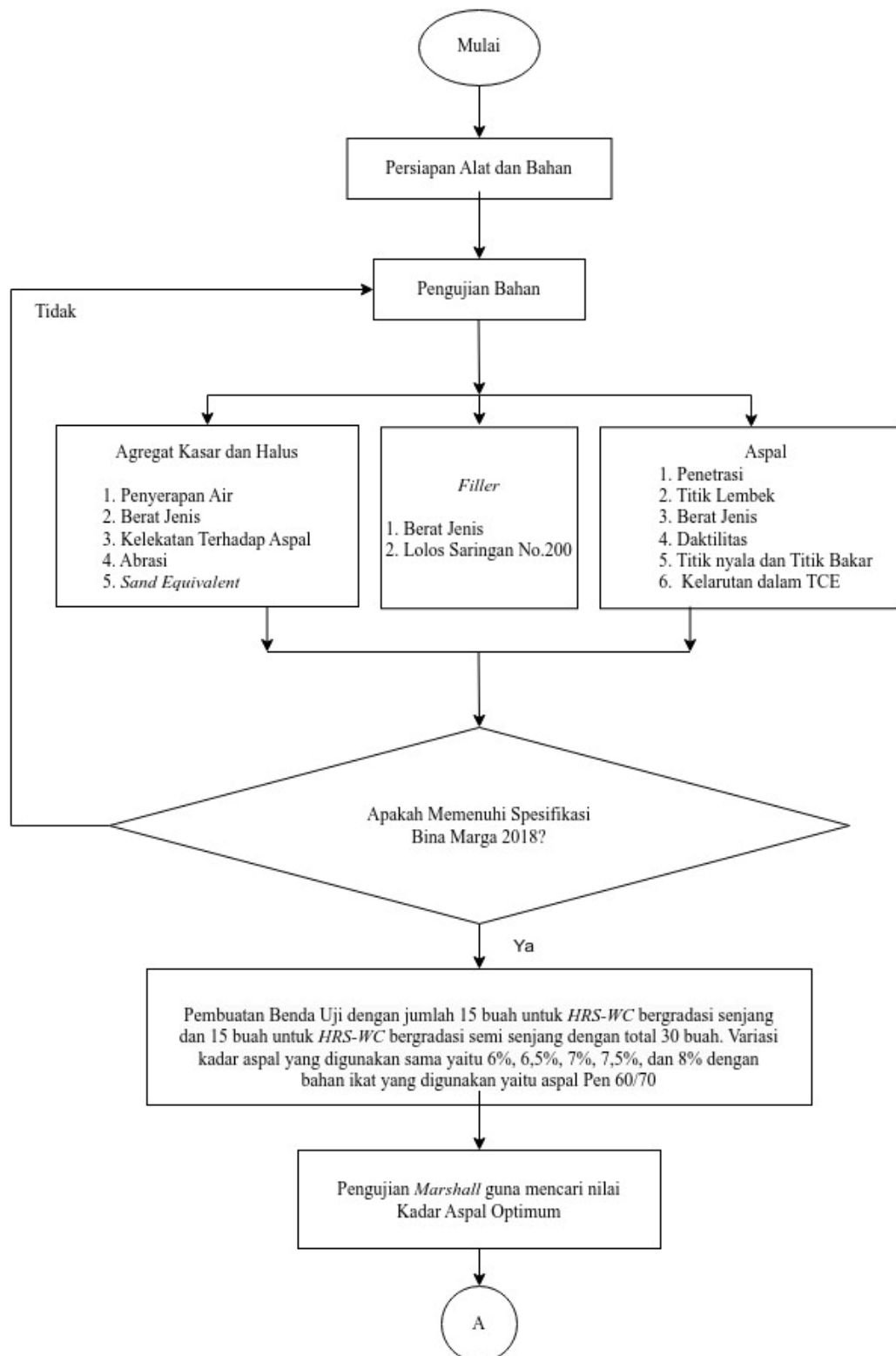
Nilai *Cantabro Loss* didapatkan dari uji keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles* dan setelahnya analisis data dengan Persamaan 3.11.

4. Analisis Statistik dengan *SPSS*

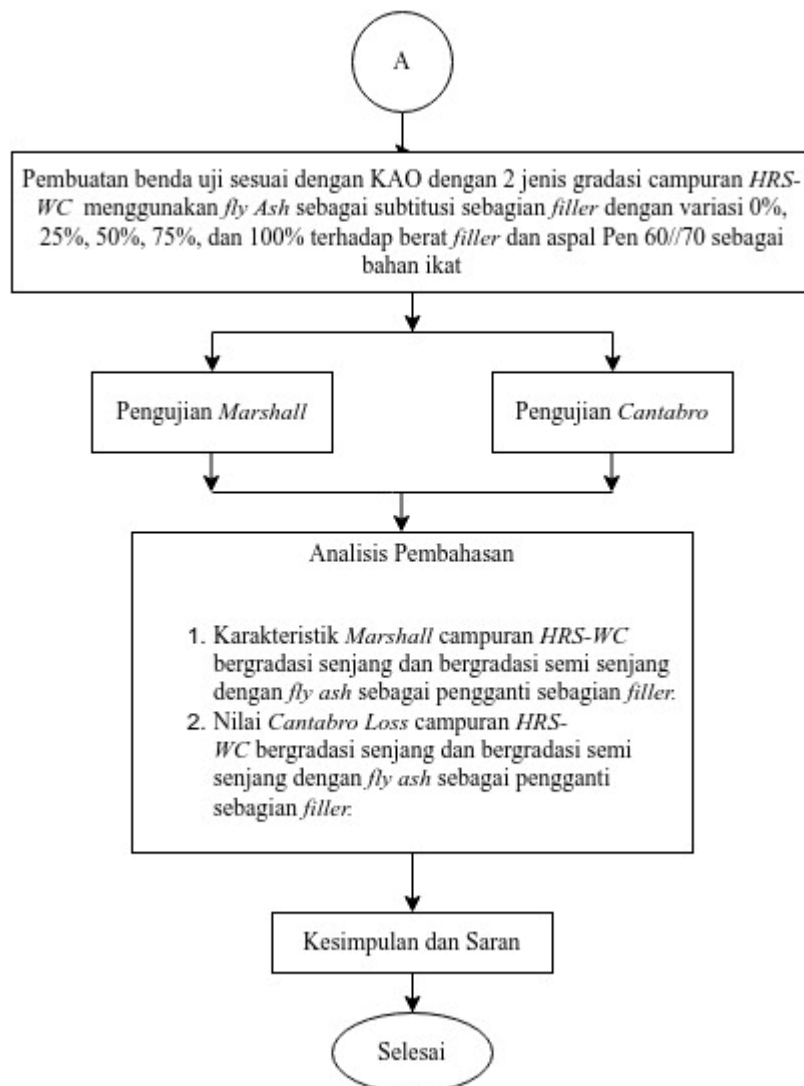
Metode analisis statistik dengan *SPSS* yang digunakan adalah *ANOVA Two Way* atau *Analysis of Variance* dua arah.

4.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan ini akan menunjukkan tahapan–tahapan apa saja yang akan dilakukan pada penelitian ini secara detil dan jelas. Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 3 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4. 3 Bagan Alir Penelitian

BAB V

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Material

Pengujian material meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus, dan aspal. Tujuan dilakukan pengujian material adalah untuk mengetahui apakah material yang digunakan pada penelitian ini sudah memenuhi spesifikasi atau tidak. Lokasi dilakukannya pengujian berada di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Acuan persyaratan yang digunakan adalah Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Revisi 2.

5.1.1 Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Agregat kasar yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng, Kab. Kulon Progo, D.I. Yogyakarta. Hasil dari pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut ini.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,62	Min. 2,5	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	2,25	Maks. 3	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	98,00	Min. 95	Memenuhi
4	Keausan dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	22,08	Maks. 40	Memenuhi

Penjelasan terkait pengujian agregat kasar di atas adalah sebagai berikut.

1. Berat jenis agregat kasar

Berat jenis agregat kasar merupakan perbandingan berat antara agregat kasar keadaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) dengan satuan volume terhadap berat air pada temperature tertentu. Data yang akan digunakan pada perhitungan berat jenis agregat kasar adalah berat benda uji dalam air (BA), berat benda uji dalam keadaan kering (BK), dan berat benda uji

dalam keadaan jenuh (BJ). Hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian ini adalah $2,62 \text{ gr/cm}^2$, yang mana sudah memenuhi persyaratan dari SNI 1969:2016 yaitu $\geq 2,5 \text{ gr/cm}^2$.

2. Penyerapan agregat kasar terhadap air

Penyerapan agregat kasar terhadap air merupakan kemampuan penyerapan air dari rongga dan pori agregat. Semakin banyak atau besar rongga yang dimiliki oleh agregat maka nilai penyerapan airnya besar. Hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian ini adalah $2,25\%$, yang mana sudah memenuhi persyaratan SNI 1969:2016 yaitu $\leq 3\%$.

3. Kelekatan agregat kasar terhadap aspal

Penyerapan agregat kasar terhadap aspal merupakan presentase luasan agregat kasar yang permukaannya terlapisi oleh aspal. Hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian ini adalah 98% , yang mana sudah memenuhi persyaratan SNI 2439:2011 yaitu $\geq 95\%$.

4. Keausan dengan mesin *los angeles*

Uji keausan atau abrasi menggunakan mesin *Los Angeles* digunakan untuk melihat sejauh mana agregat dapat menahan keausan. Nilai keausan didapat melalui perbandingan antara berat agregat aus yang lolos saringan No.12 terhadap berat awal. Hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian ini adalah $22,08\%$, yang mana sudah memenuhi persyaratan SNI SNI 2417:2008 yaitu sebesar $\leq 40\%$.

5.1.2 Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Agregat halus yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng, Kab. Kulon Progo, D.I. Yogyakarta. Hasil dari pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut ini.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	2,71	Min 2,5	Memenuhi
2.	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	1,41	Maks. 3	Memenuhi
3.	<i>Sand Equivalent</i> (%)	91,43	Min. 50	Memenuhi

Penjelasan terkait pengujian agregat kasar di atas adalah sebagai berikut.

1. Berat jenis agregat halus

Berat jenis agregat halus merupakan perbandingan berat antara agregat halus keadaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) dengan satuan volume terhadap berat air pada temperature tertentu. Data yang akan digunakan pada perhitungan berat jenis agregat kasar adalah berat benda uji dalam air (BA), berat benda uji dalam keadaan kering (BK), dan berat benda uji dalam keadaan jenuh (BJ). Hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian ini adalah $2,71 \text{ gr/cm}^2$, yang mana sudah memenuhi persyaratan dari SNI 1970:2016 yaitu $\geq 2,5 \text{ gr/cm}^2$.

2. Penyerapan agregat halus terhadap air

Penyerapan agregat halus terhadap air merupakan kemampuan penyerapan air dari rongga dan pori agregat. Semakin banyak atau besar rongga yang dimiliki oleh agregat maka nilai penyerapan airnya besar. Hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian ini adalah 1,41%, yang mana sudah memenuhi persyaratan SNI 1970:2016 yaitu $\leq 3\%$.

3. *Sand equivalent*

Sand equivalent adalah pengujian yang bertujuan untuk mengetahui persentase nilai kadar debu dan lumpur pada agregat halus. Nilai kadar debu dan lumpur sangat berpengaruh pada kualitas campuran. Hasil yang didapat pada pengujian *sand equivalent* ini adalah sebesar 91,43%, yang artinya agregat halus yang digunakan bersih dan terbebas dari kotoran debu dan lumpur, dan telah memenuhi persyaratan SNI 3423:2008 yaitu sebesar $\geq 50\%$.

5.1.3 Pengujian Karakteristik Filler

Filler yang digunakan pada penelitian ini adalah abu batu yang berasal dari Clereng, Kab. Kulon Progo, D.I. Yogyakarta dan *fly ash* yang berasal dari PT. PLN Indonesia Power PLTU Jawa Tengah 2 Adipala OMU, Kelurahan Bunton, Kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. *Fly ash* yang digunakan pada penelitian ini sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yang mana kerap

digunakan sebagai bahan tambah pada proyek yang ada di Jawa Tengah. Pengujian yang dilakukan hanyalah memastikan agar *filler* yang digunakan lolos dari saringan no.200 dan diketahui berat jenisnya. Hasil dari pengujian yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan berikut.

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian *Filler*

No.	Jenis Pengujian	Jenis <i>Filler</i>	Keterangan
1.	Lolos Saringan No. 200	Abu Batu	Lolos
		<i>Fly ash</i>	Lolos
2.	Berat Jenis	Abu Batu	2,58
		<i>Fly ash</i>	2,81

Hasil pengujian yang dilakukan adalah kedua jenis *filler* yang akan digunakan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi yaitu lolos saringan no.200 yang berarti baik abu batu maupun *fly ash* layak untuk digunakan sebagai *filler*.

5.1.4 Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal Pertamina pen 60/70 yang mana sudah tersedia di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Aspal

No.	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1.	Berat Jenis	1,06	$\geq 1,0$	Memenuhi
2.	Penetrasi (0,1mm)	63	60 – 70	Memenuhi
3.	Daktilitas (cm)	164	≥ 100	Memenuhi
4.	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	310	≥ 232	Memenuhi
5.	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	340	≥ 225	Memenuhi
6.	Kelarutan terhadap TCE (%)	99,19	≥ 99	Memenuhi
7.	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	58	≥ 48	Memenuhi

Penjelasan terkait pengujian aspal pen 60/70 di atas adalah sebagai berikut.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan berat antara aspal dengan satuan volume terhadap berat air pada temperatur tertentu. Hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian berat jenis aspal ini adalah 1,06 gr/cc,

yang mana sudah memenuhi persyaratan dari SNI 2411:2011 yaitu ≥ 1 gr/cc.

2. Penetrasi aspal

Penetrasi aspal merupakan tingkat kekerasan yang dimiliki oleh aspal, semakin keras aspal maka nilai penetrasinya akan semakin kecil, demikian juga sebaliknya. Hasil pengujian yang didapatkan pada pengujian penetrasi aspal ini adalah 63 mm dengan suhu 25°C , yang mana sudah memenuhi persyaratan dari SNI 2456:2011 yaitu berada diantara 60 mm sampai 70 mm.

3. Daktilitas

Daktilitas aspal merupakan nilai elastisitas aspal yang diukur dari seberapa panjang aspal dapat ditarik pada temperatur 25°C sebelum akhirnya terputus. Pengujian ini juga bertujuan untuk dapat mengetahui sifat kohesi pada aspal. Hasil yang didapatkan pada pengujian daktilitas aspal ini adalah 164 cm yang mana sudah memenuhi persyaratan dari SNI 2432:2011 yaitu ≥ 100 cm.

4. Titik nyala

Titik nyala aspal merupakan batasan suhu ketika aspal dibakar dan memercikkan api secara singkat pada permukaannya sehingga dapat diketahui temperatur maksimum pemanasan aspal sebelum terbakar. Hasil yang didapatkan pada pengujian titik nyala aspal ini adalah 310°C yang mana sudah memenuhi persyaratan dari SNI 2433:2011 yaitu $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

5. Titik bakar

Titik bakar aspal merupakan batasan suhu ketika aspal dibakar dan memercikkan api dengan durasi selama ± 5 detik pada permukaannya sehingga dapat diketahui temperatur maksimum pemanasan aspal sebelum terbakar sepenuhnya. Hasil yang didapatkan pada pengujian titik nyala aspal ini adalah 340°C yang mana sudah memenuhi persyaratan dari SNI 2433:2011 yaitu $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

6. Kelarutan terhadap cairan *Trichloroethylene (TCE)*

Kelarutan terhadap *TCE* merupakan persentase banyaknya mineral yang menempel pada aspal. Semakin kecil persentasenya maka akan semakin besar kandungan mineral lainnya yang dimiliki oleh aspal tersebut, sehingga menyebabkan terganggunya daya ikat aspal terhadap agregat. Hasil yang didapatkan pada pengujian kelarutan aspal terhadap *TCE* ini adalah 99,19% yang mana sudah memenuhi persyaratan dari AASHTO T44-14 yaitu $\geq 99\%$.

7. Titik lembek

Titik lembek aspal merupakan batas suhu maksimal yang dimiliki oleh aspal sebelum bentuknya berubah menjadi lunak. Hasil yang didapatkan pada pengujian titik lembek aspal ini adalah 58°C yang mana sudah memenuhi persyaratan dari SNI 2434:2011 yaitu $\geq 48^{\circ}\text{C}$.

5.2 Pengujian Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan dengan menggunakan pengujian karakteristik *Marshall*. Nilai – nilai yang didapatkan dari pengujian karakteristik *Marshall* antara lain stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), kepadatan (*density*), *Voids in Mineral Aggregate (VMA)*, *Voids Filled with Asphalt (VFWA)*, *Voids in Total Mix (VITM)*, dan *Marshall Quotient (MQ)*. Hasil pengujian karakteristik *Marshall* untuk *HRS-WC* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian *Marshall HRS-WC* bergradasi Senjang

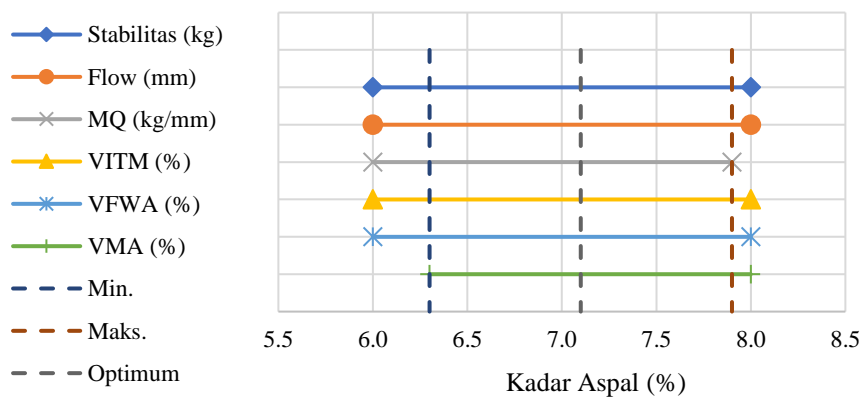
Kadar Aspal (%)	Density (gr/cc)	VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
6	2,19	16,35	76,10	3,91	838,02	3,09	271,81
6,5	2,16	17,35	77,48	3,97	860,73	3,13	274,82
7	2,16	18,34	78,05	4,03	920,18	3,18	289,12
7,5	2,15	18,93	80,92	3,63	893,92	3,26	294,64
8	2,14	19,71	82,55	3,45	793,68	3,53	228,62
Spesifikasi	-	≥ 17	≥ 68	3 - 5	≥ 600	-	≥ 250

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Marshall HRS-WC bergradasi Semi Senjang

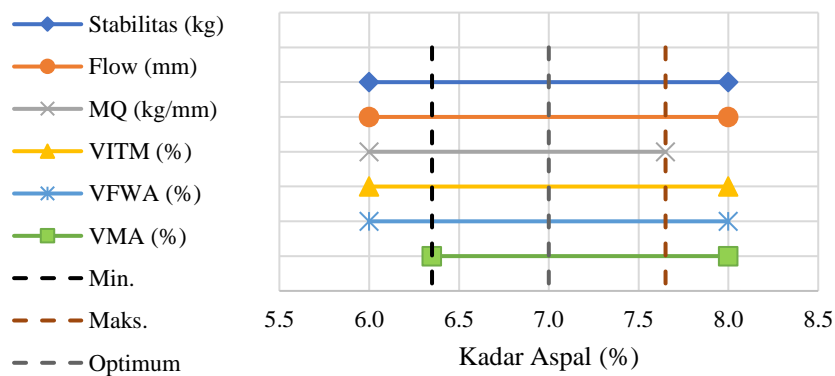
Kadar Aspal (%)	Density (gr/cc)	VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
6	2,19	16,09	77,58	3,61	909,29	3,32	273,49
6,5	2,17	17,37	77,09	3,99	989,24	3,45	291,18
7	2,16	18,33	78,15	4,02	1.187,38	3,69	327,12
7,5	2,16	18,86	81,22	3,54	993,15	3,80	262,40
8	2,15	19,37	84,33	3,04	931,01	4,19	222,77
Spesifikasi	-	≥17	≥68	3 - 5	≥600	-	≥250

Grafik pengujian karakteristik Marshall untuk HRS-WC bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut.

KAO = 7,1

**Gambar 5. 1 Grafik KAO HRS-WC bergradasi Senjang**

KAO = 7,05

**Gambar 5. 2 Grafik KAO HRS-WC bergradasi Semi Senjang**

Seiring dengan bertambahnya kadar aspal menyebabkan kedua jenis campuran perkerasan tersebut semakin lentur yang mana ditandai dengan semakin besarnya nilai *flow* yang didapatkan. Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 terdapat parameter – parameter yaitu untuk nilai stabilitas minimum 600 kg, *VFWA* minimum 68%, *VMA* minimum 17%, *VITM* minimum 3% dan maksimum 5%, dan *MQ* minimum 250 kg/mm. Nilai – nilai yang telah didapatkan dari pengujian karakteristik *Marshall* kemudian dilakukan analisis data guna menentukan KAO yang akan digunakan pada penelitian ini. Nilai KAO yang didapatkan untuk *HRS-WC* bergradasi senjang adalah 7,1%, sedangkan untuk *HRS-WC* bergradasi semi senjang adalah 7,05%. KAO yang didapatkan oleh kedua jenis gradasi tersebut berbeda dikarenakan perbedaan gradasi agregat yang digunakan. Kedua nilai KAO yang didapat telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 5,9\%$. Gradasi agregat yang akan digunakan pada pengujian *Marshall* berikutnya dapat dilihat pada Tabel 5.7 dan Tabel 5.8 berikut.

Tabel 5. 7 Gradasi Agregat *HRS-WC* Senjang

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.114,80	0
1/2" (12,5 mm)	90	100	95	5	1.059,06	55,74
3/8" (9,5 mm)	75	85	80	15	891,84	167,22
No.8 (2,36 mm)	50	72	60	20	666,88	222,96
No.30 (0,600 mm)	35	60	48	12	535,10	133,78
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	40	89,18	445,92
PAN				8	0	89,18
Total						1.114,80

Tabel 5. 8 Gradasi Agregat *HRS-WC* Semi Senjang

Ukuran Saringan	Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)		Berat (gr)	
	Min.	Maks.	Lolos	Tertahan	Lolos	Tertahan
3/4" (19 mm)	100	100	100	0	1.115,40	0
1/2" (12,5 mm)	87	100	94	6	1.048,48	66,92
3/8" (9,5 mm)	55	88	72	22	803,01	245,39
No.8 (2,36 mm)	50	60	56	16	624,62	178,46
No.30 (0,600 mm)	20	45	33	23	368,01	256,54
No.50 (0,300 mm)	15	35	25	8	278,85	89,23
No.200 (0,075 mm)	6	10	8	17	89,24	189,62
PAN				8	0	89,24
Total						1.115,40

5.3 Analisis Data

5.3.1 Karakteristik *Marshall*

Filler fly ash yang digunakan pada penelitian ini berasal dari PT. PLN Indonesia Power PLTU Jawa Tengah 2 Adipala OMU, Kelurahan Bunton, Kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. Variasi kadar *fly ash* yang digunakan sebagai pengganti *filler* pada penelitian ini adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Tabel 5.9 dan Tabel 5.10 berikut.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian *Marshall HRS-WC Senjang*

Jenis Gradasi	Kadar Fly Ash (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
Senjang	0	971,431	3,210	305,099	4,183	77,708	18,662	2,151
	25	873,435	2,810	313,404	4,079	78,063	18,574	2,154
	50	761,190	2,565	304,646	4,024	78,281	18,526	2,155
	75	733,015	2,213	336,010	3,744	79,543	18,289	2,161
	100	728,036	2,077	358,111	3,202	82,260	17,829	2,173
Spesifikasi		≥600	-	≥250	3 - 5	≥68	≥17	-

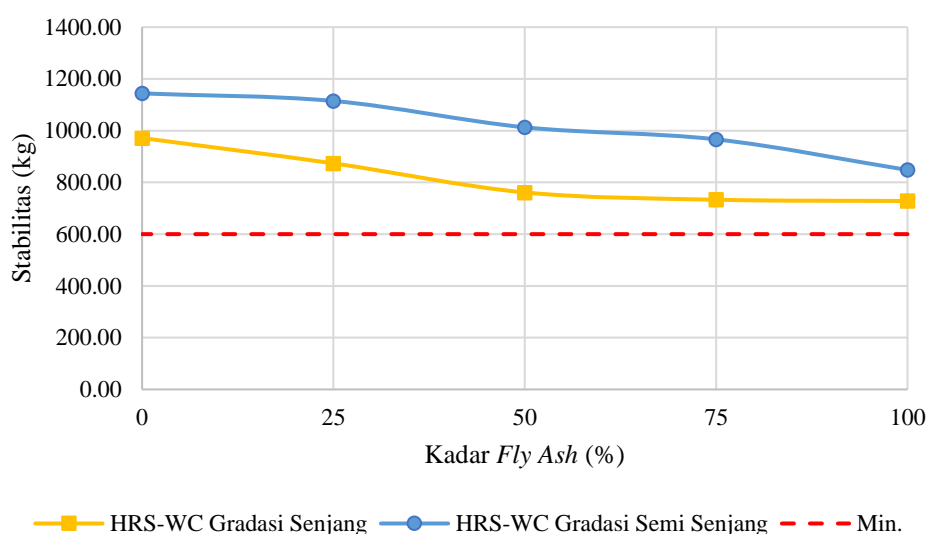
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Marshall HRS-WC Semi Senjang*

Jenis Gradasi	Kadar Fly Ash (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
Semi Senjang	0	1.143,75	3,623	317,987	4,208	77,490	18,683	2,151
	25	1.114,569	3,497	318,936	3,652	79,999	18,210	2,163
	50	1.012,856	3,143	322,597	3,548	80,430	18,122	2,166
	75	966,119	2,960	326,596	3,379	81,220	17,979	2,169
	100	847,958	2,527	338,129	3,172	82,193	17,804	2,174
Spesifikasi		≥600	-	≥250	3 - 5	≥68	≥17	-

1. Stabilitas (*Stability*)

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan, nilai stabilitas yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Hasil pengujian menunjukkan nilai stabilitas untuk campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dengan substitusi *fly ash* 0% 971,43 kg, *fly ash* 25% 873,43 kg, *fly ash* 50% 761,19 kg, *fly ash* 75% 733,01 kg, dan *fly ash* 100% 728,04 kg. Nilai stabilitas untuk *HRS-WC* bergradasi semi senjang dengan substitusi *fly ash* 0% 1143,75 kg, *fly ash* 25%

1114,57 kg, *fly ash* 50% 1012,86 kg, *fly ash* 75% 966,12 kg, dan *fly ash* 100% 847,96 kg. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 nilai stabilitas yang diizinkan untuk campuran *HRS-WC* adalah ≥ 600 kg, yang mana baik campuran *HRS-WC* bergradasi senjang maupun campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang masih memenuhi persyaratan tersebut. Hasil perbandingan nilai stabilitas dengan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

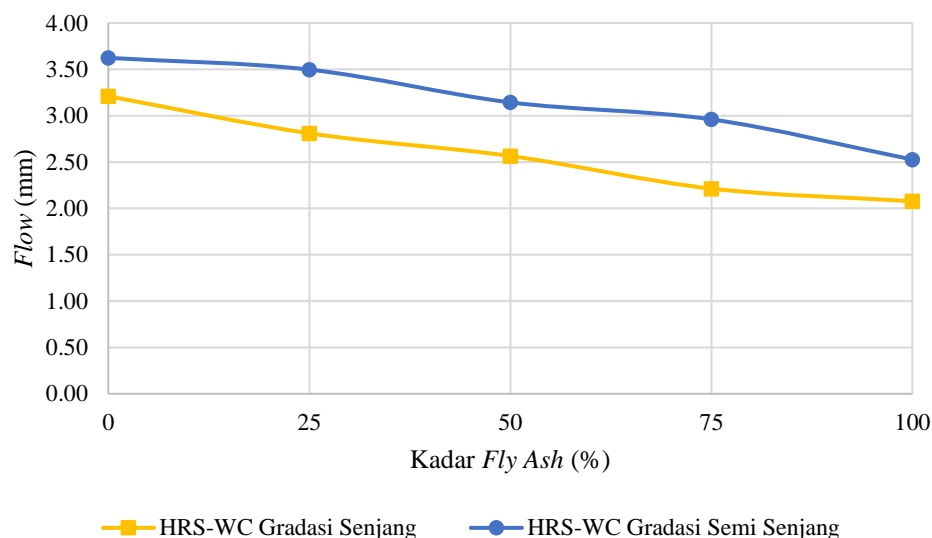


Gambar 5. 3 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas *HRS-WC* bergradasi senjang dan Semi Senjang

2. Kelelehan (*Flow*)

Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *flow* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Nilai *flow* campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dengan substitusi *fly ash* sebagai *filler* adalah *fly ash* 0% 3,21 mm, *fly ash* 25% 2,81 mm, *fly ash* 50% 2,57 mm, *fly ash* 75% 2,21 mm, dan *fly ash* 100% 2,08 mm. Nilai *flow* untuk *HRS-WC* bergradasi semi senjang dengan substitusi *fly ash* 0% 3,62 mm, *fly ash* 25% 3,50 mm, *fly ash* 50% 3,14 mm, *fly ash* 75% 2,96 mm, dan *fly ash* 100% 2,53 mm. Adapun dari hasil yang telah didapatkan menunjukkan campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki

nilai *flow* yang lebih baik dan stabil dibandingkan dengan *HRS-WC* bergradasi senjang. Hasil perbandingan nilai kelelehan (*flow*) dengan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.

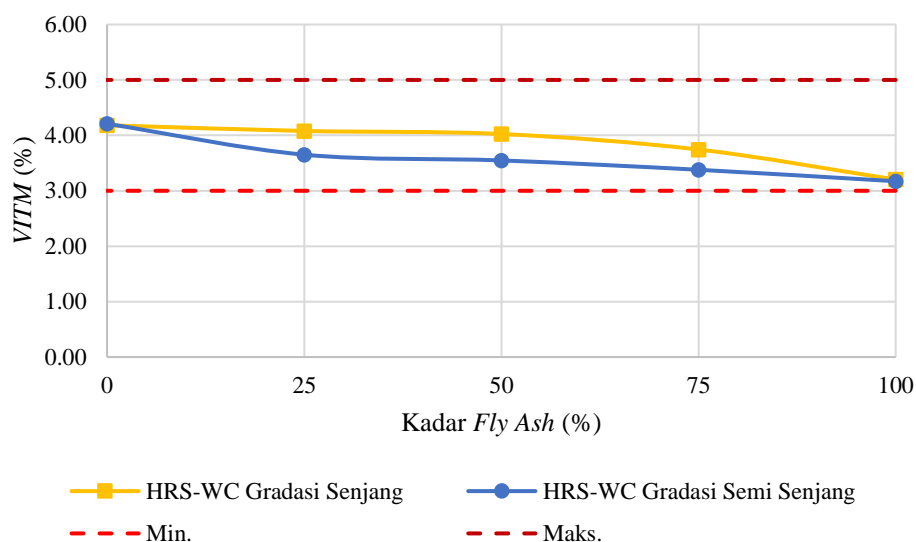


Gambar 5. 4 Grafik Perbandingan Nilai *Flow* *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

3. *Voids in total mix (VITM)*

Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *VITM* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Nilai *VITM* campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dengan substitusi *fly ash* sebagai *filler* adalah *fly ash* 0% 4,18%, *fly ash* 25% 4,08%, *fly ash* 50% 4,02%, *fly ash* 75% 3,74%, dan *fly ash* 100% 3,20%. Nilai *flow* untuk *HRS-WC* bergradasi semi senjang dengan substitusi *fly ash* 0% 4,21%, *fly ash* 25% 3,65%, *fly ash* 50% 3,55%, *fly ash* 75% 3,38%, dan *fly ash* 100% 3,17%. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 nilai *VITM* yang diizinkan untuk campuran *HRS-WC* adalah 3% - 5%. Dapat dilihat dari hasil yang didapatkan, campuran *HRS-WC* bergradasi senjang maupun campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang masih memenuhi persyaratan tersebut. Hasil perbandingan nilai *VITM* dengan penggunaan *fly ash* sebagai

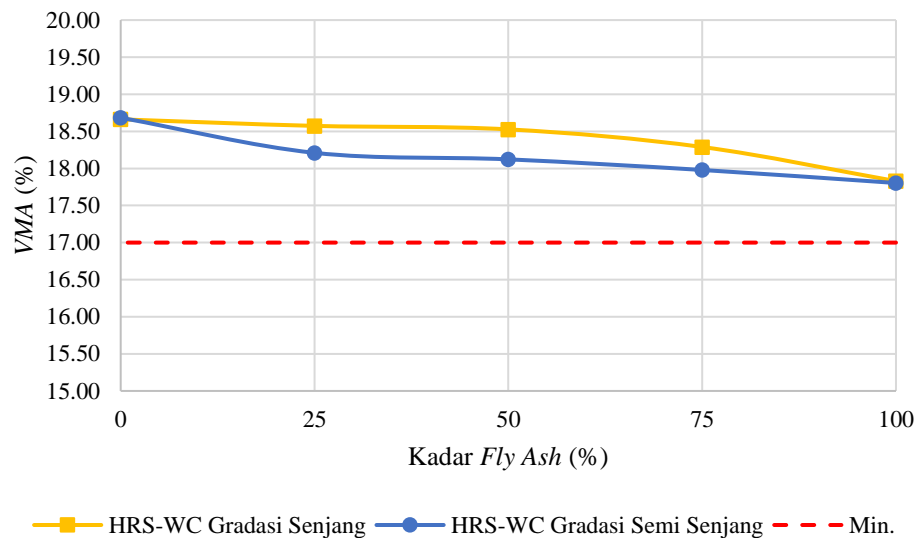
filler antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



Gambar 5. 5 Grafik Perbandingan Nilai VITM HRS-WC Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

4. Voids in the mineral aggregate (VMA)

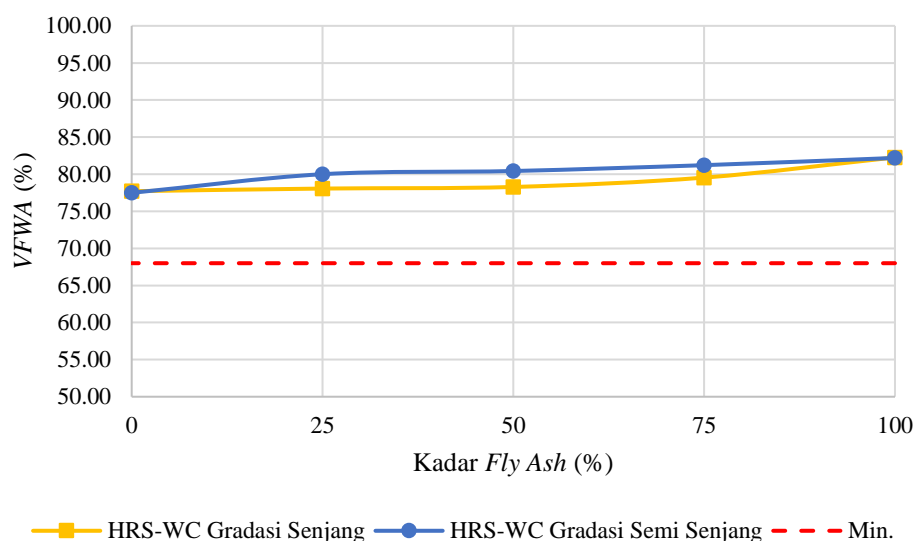
Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *VMA* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Nilai *VMA* campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dengan substitusi *fly ash* sebagai *filler* adalah *fly ash* 0% 18,66%, *fly ash* 25% 18,57%, *fly ash* 50% 18,53%, *fly ash* 75% 18,29%, dan *fly ash* 100% 17,83%. Nilai *VMA* untuk *HRS-WC* bergradasi semi senjang dengan substitusi *fly ash* 0% 18,68%, *fly ash* 25% 18,21%, *fly ash* 50% 18,12%, *fly ash* 75% 17,98%, dan *fly ash* 100% 17,80%. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 nilai *VMA* yang diizinkan untuk campuran *HRS-WC* adalah $\geq 17\%$. Dapat dilihat dari hasil yang didapatkan, campuran *HRS-WC* bergradasi senjang maupun campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang masih memenuhi persyaratan tersebut. Hasil perbandingan nilai *VMA* dengan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.



Gambar 5. 6 Grafik Perbandingan Nilai VMA HRS-WC Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

5. Voids filled with asphalt (VFWA)

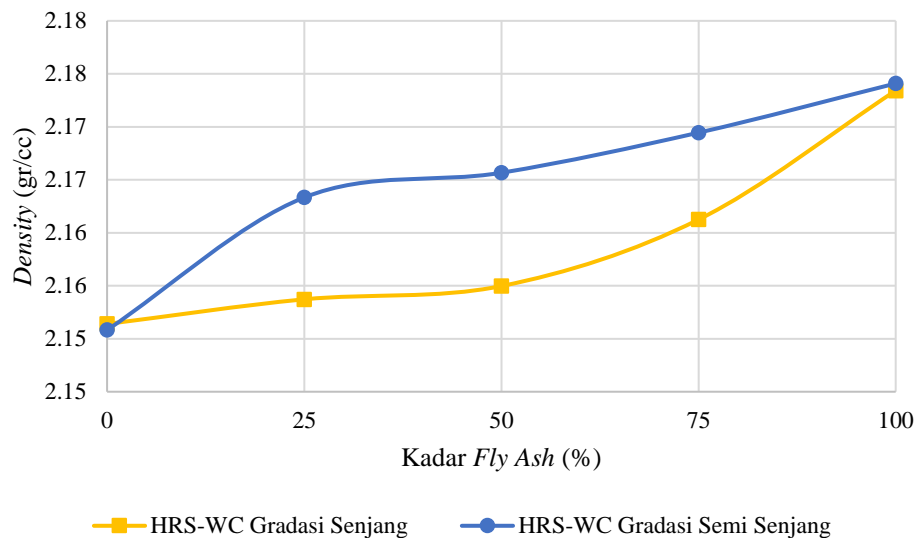
Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai VFWA yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran HRS-WC mengalami kenaikan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Nilai VFWA campuran HRS-WC bergradasi senjang dengan substitusi *fly ash* sebagai *filler* adalah *fly ash* 0% 77,71%, *fly ash* 25% 78,06%, *fly ash* 50% 78,28%, *fly ash* 75% 79,54%, dan *fly ash* 100% 82,26%. Nilai VFWA untuk HRS-WC bergradasi semi senjang dengan substitusi *fly ash* 0% 77,49%, *fly ash* 25% 79,99%, *fly ash* 50% 80,43%, *fly ash* 75% 81,22%, dan *fly ash* 100% 82,19%. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 nilai VFWA yang diizinkan untuk campuran HRS-WC adalah 68%. Dapat dilihat dari hasil di atas, campuran HRS-WC bergradasi senjang maupun campuran HRS-WC bergradasi semi senjang masih memenuhi persyaratan tersebut. Hasil perbandingan nilai VFWA dengan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* antara campuran HRS-WC bergradasi senjang dan semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5. 7 Grafik Perbandingan Nilai VFWA HRS-WC Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

6. Kepadatan (*Density*)

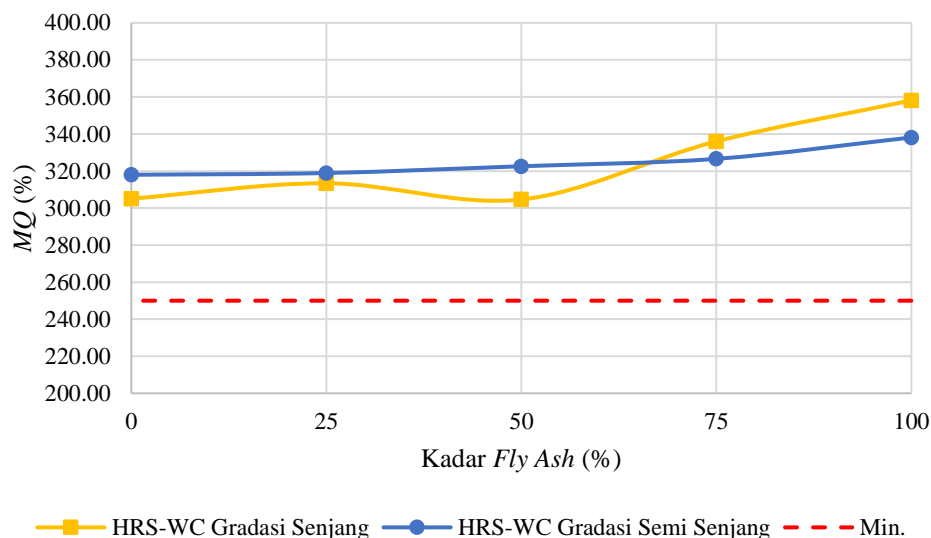
Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai kepadatan yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami kenaikan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Nilai kepadatan campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dengan substitusi *fly ash* sebagai *filler* adalah *fly ash* 0% 2,15 gr/cc, *fly ash* 25% 2,15 gr/cc, *fly ash* 50% 2,15 gr/cc, *fly ash* 75% 2,16 gr/cc, dan *fly ash* 100% 2,17 gr/cc. Nilai *density* untuk *HRS-WC* bergradasi semi senjang dengan substitusi *fly ash* 0% 2,15 gr/cc, *fly ash* 25% 2,16 gr/cc, *fly ash* 50% 2,17 gr/cc, *fly ash* 75% 2,17 gr/cc, dan *fly ash* 100% 2,17 gr/cc. Adapun dari hasil yang telah didapatkan menunjukkan campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki nilai kepadatan yang lebih stabil dibandingkan dengan *HRS-WC* bergradasi senjang. Hasil perbandingan nilai kepadatan dengan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut



Gambar 5. 8 Grafik Perbandingan Nilai *Density* HRS-WC Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

7. Marshall quotient (*MQ*)

Pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *MQ* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami kenaikan seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Nilai *MQ* campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dengan substitusi *fly ash* sebagai *filler* adalah *fly ash* 0% 305,10 kg/mm, *fly ash* 25% 313,40 kg/mm, *fly ash* 50% 304,65 gr/mm, *fly ash* 75% 336,01 kg/mm, dan *fly ash* 100% 358,11 kg/mm. Nilai *MQ* untuk *HRS-WC* bergradasi semi senjang dengan substitusi *fly ash* 0% 317,99 kg/mm, *fly ash* 25% 318,94 kg/mm, *fly ash* 50% 322,60 kg/mm, *fly ash* 75% 326,60 kg/mm, dan *fly ash* 100% 338,13 kg/mm. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 nilai *MQ* yang diizinkan untuk campuran *HRS-WC* adalah 250 kg/mm. Dapat dilihat dari hasil di atas, campuran *HRS-WC* bergradasi senjang maupun campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang masih memenuhi persyaratan tersebut. Hasil perbandingan nilai *MQ* dengan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut



Gambar 5. 9 Grafik Perbandingan Nilai MQ HRS-WC Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data karakteristik *Marshall* yang telah dilakukan, didapatkan variasi kadar *fly ash* optimum untuk campuran HRS-WC bergradasi senjang adalah 100%. Pada campuran HRS-WC bergradasi semi senjang variasi kadar *fly ash* optimumnya adalah 100%. Kadar *fly ash* optimum tersebut didapatkan berdasarkan dari nilai MQ dan *voids*. Semakin besar nilai MQ dan *voids* yang didapatkan maka akan semakin baik bagi campuran perkerasan tersebut. Hal tersebut menandakan bahwa campuran perkerasan tersebut memiliki sifat yang rapat dan tidak terlalu lentur maupun terlalu kaku.

5.3.2 Karakteristik *Cantabro*

Sama halnya dengan pengujian karakteristik *Marshall*, pada pengujian ketahanan aus (*Cantabro Loss*) ini menggunakan *filler fly ash* yang berasal dari PT. PLN Indonesia Power PLTU Jawa Tengah 2 Adipala OMU, Kelurahan Bunton, Kecamatan Adipala, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah. Variasi kadar *fly ash* yang digunakan pun sama yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% terhadap berat total *filler*. Rekapitulasi hasil pengujian *cantabro loss* dapat dilihat pada Tabel 5.10 dan Tabel 5.11 berikut.

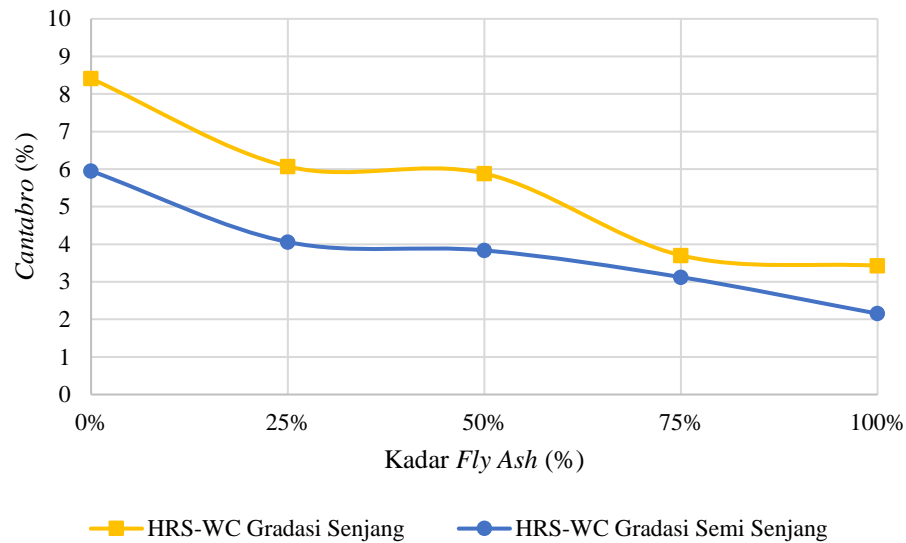
Tabel 5. 11 Hasil Pengujian *Cantabro Loss HRS-WC Senjang*

Jenis Gradasi	Kadar <i>Fly ash</i> (%)	Kehilangan Berat (%)
Senjang	0	8,41
	25	6,07
	50	5,88
	75	3,70
	100	3,43

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian *Cantabro Loss HRS-WC Semi Senjang*

Jenis Gradasi	Kadar <i>Fly ash</i> (%)	Kehilangan Berat (%)
Semi Senjang	0	5,95
	25	4,06
	50	3,84
	75	3,12
	100	2,15

Berdasarkan pengujian yang sudah dilakukan menunjukkan nilai *cantabro loss* yang dimiliki kedua jenis gradasi pada campuran *HRS-WC* mengalami penurunan nilai seiring dengan besarnya substitusi *fly ash* sebagai *filler*. Penurunan nilai yang terjadi menandakan bahwa campuran perkerasan tersebut menjadi semakin rapat dan tidak mudah aus. Nilai *cantabro* campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dengan substitusi *fly ash* sebagai *filler* adalah *fly ash* 0% 8,41%, *fly ash* 25% 6,07%, *fly ash* 50% 5,88%, *fly ash* 75% 3,70%, dan *fly ash* 100% 3,43%. Nilai *cantabro* untuk *HRS-WC* bergradasi semi senjang dengan substitusi *fly ash* 0% 5,95%, *fly ash* 25% 4,06%, *fly ash* 50% 3,84%, *fly ash* 75% 3,12%, dan *fly ash* 100% 2,15%. Berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 nilai *cantabro* yang diizinkan untuk campuran *HRS-WC* adalah $\leq 20\%$. Dapat dilihat dari hasil di atas, campuran *HRS-WC* bergradasi senjang maupun campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang masih memenuhi persyaratan tersebut. Hasil perbandingan nilai *cantabro* dengan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut



Gambar 5. 10 Grafik Perbandingan Nilai *Cantabro* HRS-WC Bergradasi Senjang dan Semi Senjang

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data karakteristik *cantabro* yang telah dilakukan, didapatkan variasi kadar *fly ash* optimum untuk campuran HRS-WC bergradasi senjang adalah 100%. Sementara itu variasi kadar *fly ash* optimum untuk campuran HRS-WC bergradasi semi senjang adalah 100%. Hasil kadar *fly ash* optimum di atas didapatkan berdasarkan dari nilai *cantabro loss* yang paling sedikit mengalami keausan. Makin sedikit keausan yang terjadi menandakan bahwa campuran perkerasan tersebut memiliki kekuatan yang lebih baik dan bersifat tahan terhadap gerusan maupun keausan akibat kendaraan yang melintas.

5.4 Pembahasan

5.4.1 Evaluasi Karakteristik *Marshall*

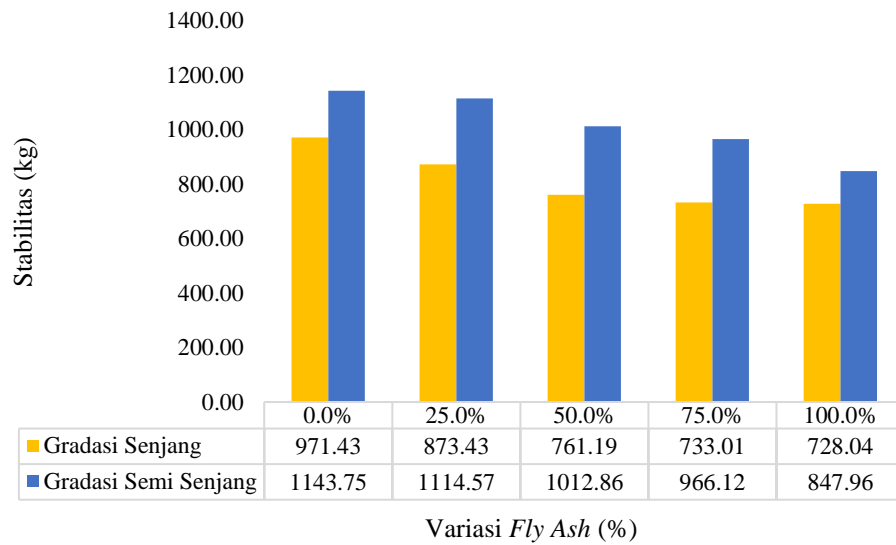
1. Karakteristik mekanik

Karakteristik mekanik dapat dilihat dari hasil pengujian *Marshall* yakni nilai stabilitas, kelelahan (*flow*), dan *marshal quotient* (*MQ*). Nilai stabilitas menandakan kapabilitas suatu benda uji ketika menerima beban tanpa terjadi deformasi. Semakin tinggi nilai stabilitas yang dimiliki suatu benda uji, maka daya tahan benda uji tersebut terhadap deformasi akan semakin tinggi begitupun sebaliknya. Nilai *flow* sendiri memperlihatkan besaran nilai deformasi ketika

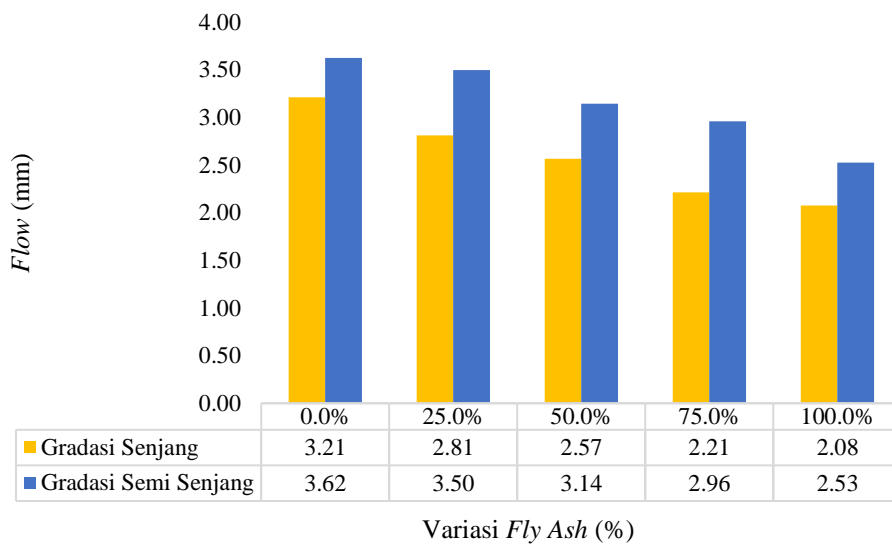
benda uji menerima beban, terhitung dari awal pembebanan hingga stabilitas menurun. Semakin besar nilai *flow* yang dimiliki suatu benda uji, maka benda uji tersebut memiliki sifat yang plastis dan mudah berubah bentuk begitupun sebaliknya. Nilai *MQ* adalah hasil pembagian antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Semakin tinggi nilai *MQ* suatu benda uji, maka akan semakin rigid atau kaku benda uji tersebut begitupun sebaliknya.

Campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki nilai stabilitas yang lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang pada seluruh variasi kadar *fly ash*. Sama halnya dengan nilai stabilitas, nilai *flow* yang dimiliki campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang pun lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang pada seluruh variasi kadar *fly ash*. Berbeda dengan nilai stabilitas dan nilai *flow*, pada variasi kadar *fly ash* 75% dan 100% nilai *MQ* yang dimiliki oleh campuran *HRS-WC* bergradasi senjang memiliki nilai yang lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang.

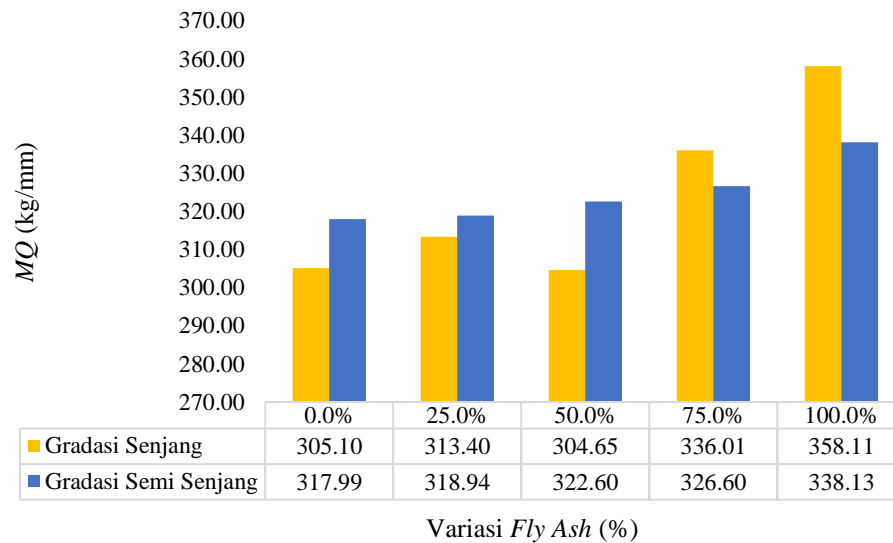
Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* memiliki dampak yang lebih baik terhadap karakteristik mekanik yang dimiliki oleh campuran *HRS-WC* baik yang bergradasi senjang maupun yang bergradasi semi senjang. Pada campuran *HRS-WC* yang bergradasi senjang dan semi senjang menunjukkan seiring dengan penambahan kadar *fly ash* yang digunakan menyebabkan campuran memiliki nilai stabilitas dan *flow* yang menurun akan tetapi terjadi peningkatan yang dialami oleh nilai *MQ*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan penggunaan *fly ash* sebagai *filler* menyebabkan campuran menjadi lebih padat, rapat dan kaku. Hasil perbandingan nilai stabilitas, nilai *flow*, dan nilai *MQ* tiap variasi kadar *filler fly ash* antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.11, Gambar 5.12, dan Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5. 11 Perbandingan Nilai Stabilitas Tiap Variasi Kadar *Fly ash*



Gambar 5. 12 Perbandingan Nilai *Flow* Tiap Variasi Kadar *Fly ash*



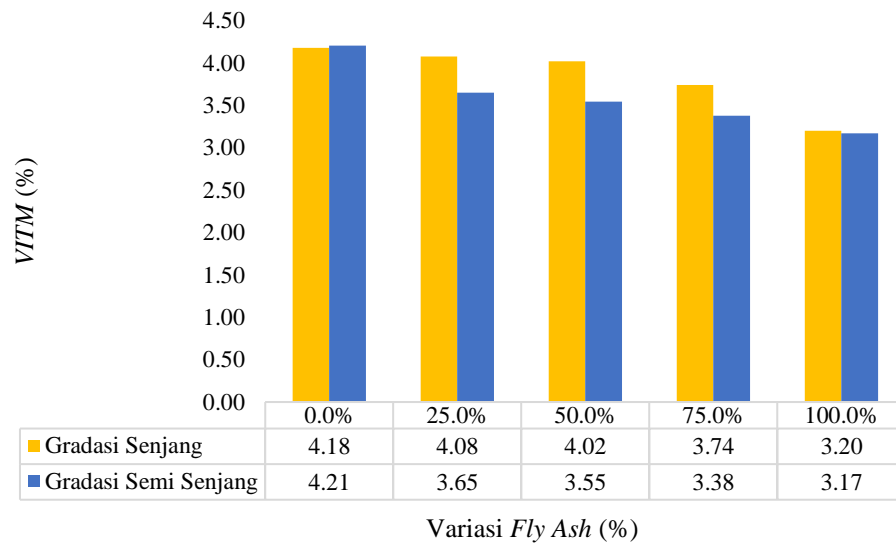
Gambar 5. 13 Perbandingan Nilai MQ Tiap Variasi Kadar *Fly ash*

2. Karakteristik volumetrik

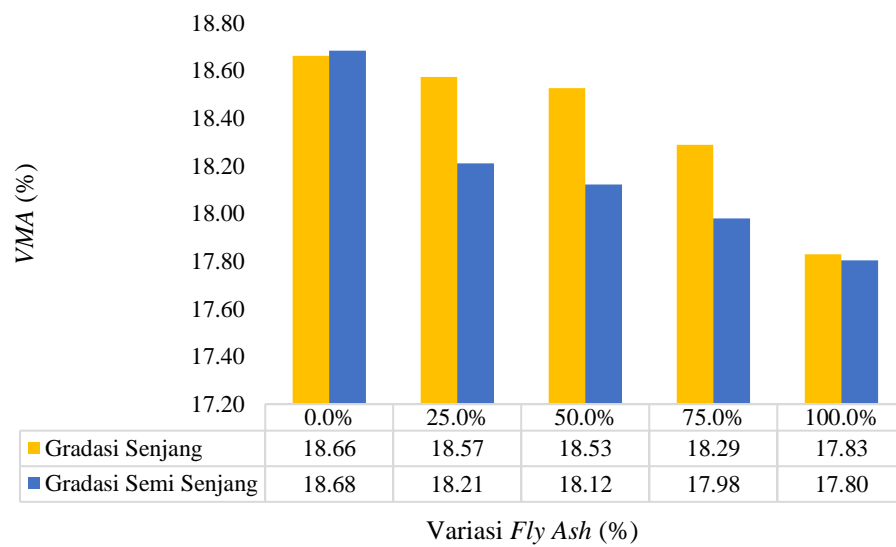
Karakteristik volumetrik pada pengujian *Marshall* membahas tentang ruang yang berada didalam suatu campuran antara lain *voids in total mix (VITM)*, *voids in the mineral aggregates (VMA)*, dan *voids filled with asphalt (VFWA)*. Nilai *VITM* menandakan persentase besaran rongga udara yang terdapat pada suatu benda uji. Semakin besar nilai *VITM* yang dimiliki oleh campuran, maka campuran tersebut memiliki rongga yang semakin besar sehingga bersifat rapuh begitupun sebaliknya. Hal tersebut mempermudah air maupun udara masuk ke dalam campuran yang mana memperlancar proses oksidasi sehingga meningkatkan kecepatan penuaan aspal. Nilai *VMA* menandakan persentase besaran rongga pori yang dimiliki agregat pada suatu campuran. Semakin besar nilai *VMA* suatu campuran, maka rongga pori yang dimiliki semakin terbuka dan menyebabkan kepadatan dan daya tahan campuran melemah, tetapi jika nilai *VMA* terlalu kecil maka campuran menjadi terlalu padat dan kemampuan penyerapannya melemah. Nilai *VFWA* menandakan persentase besaran rongga yang terisi atau terselimuti oleh aspal pada suatu campuran. Semakin besar nilai *VFWA* yang dimiliki oleh campuran, maka kemampuan aspal dalam mengisi rongga antar agregat pada suatu campuran semakin baik.

Campuran *HRS-WC* bergradasi senjang memiliki nilai *VITM* yang lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang ketika dilakukan variasi substitusi *filler fly ash*. Sama halnya dengan nilai *VITM*, nilai *VMA* campuran *HRS-WC* bergradasi senjang pun lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang ketika dilakukan variasi substitusi *filler fly ash*. Berbeda dengan nilai *VITM* dan nilai *VMA*, pada variasi kadar *fly ash* 25%, 50%, dan 100% nilai *VFWA* yang dimiliki oleh campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki nilai yang lebih besar daripada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang.

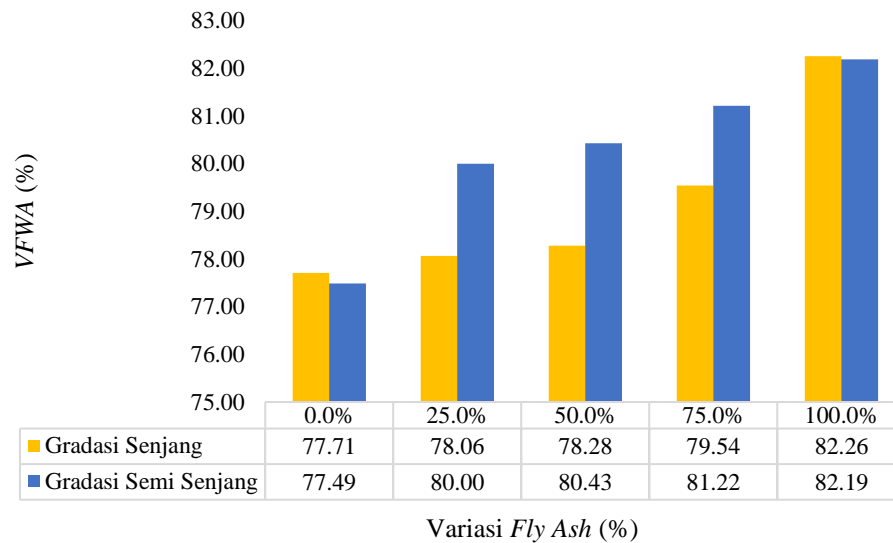
Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* memiliki dampak yang lebih baik terhadap karakteristik volumetrik yang dimiliki oleh campuran *HRS-WC* baik yang bergradasi senjang maupun yang bergradasi semi senjang. Pada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang seiring dengan penambahan kadar *fly ash* yang digunakan menyebabkan campuran memiliki rongga yang semakin kecil dan padat. Campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang mengalami hal sama dengan yang dialami oleh campuran *HRS-WC* bergradasi senjang. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan *fly ash* sebagai *filler* dapat mengisi lebih banyak rongga kosong atau pori yang berada di dalam campuran. Hasil perbandingan nilai *VITM*, nilai *VMA*, dan nilai *VFWA* tiap variasi kadar *filler fly ash* antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.14, Gambar 5.15, dan Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5. 14 Perbandingan Nilai *VITM* Tiap Variasi Kadar *Fly ash*



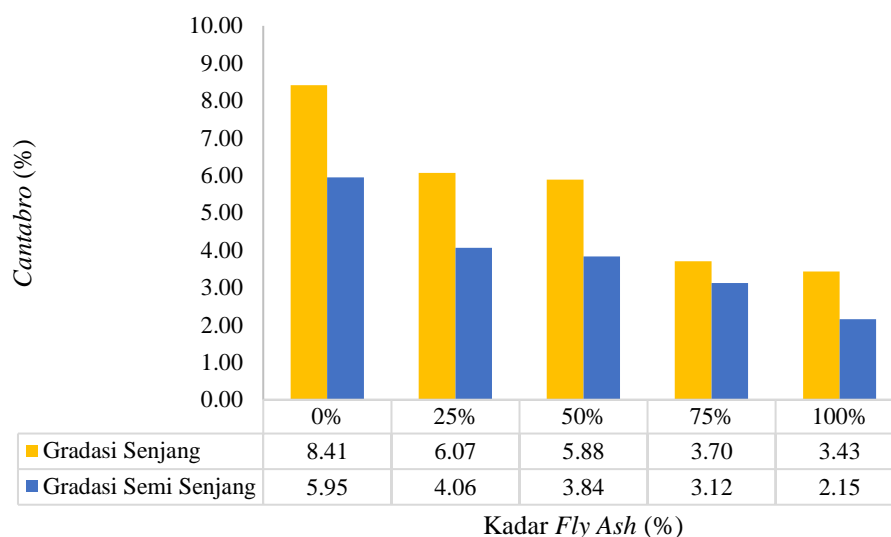
Gambar 5. 15 Perbandingan Nilai *VMA* Tiap Variasi Kadar *Fly ash*



Gambar 5. 16 Perbandingan Nilai VFWA Tiap Variasi Kadar Fly ash

5.4.2 Evaluasi Karakteristik *Cantabro*

Nilai ketahanan aus atau *cantabro loss* menandakan kekuatan ketika menghadapi beban lalu lintas dan seberapa banyak keausan yang dialami suatu benda uji tersebut. Semakin besar nilai *cantabro* yang didapatkan, maka keausan yang terjadi akan semakin besar begitupun sebaliknya. Penggunaan *filler fly ash* pada pengujian *cantabro loss* memberikan hasil yang lebih baik seiring dengan penambahan kadar *fly ash* yang mana menandakan campuran lebih tahan aus. Sehingga dapat diartikan bahwa penggunaan *filler fly ash* 100% lebih baik daripada *filler* abu batu 100%. Campuran *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki ketahanan yang lebih baik daripada *HRS-WC* bergradasi senjang. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan rongga yang dimiliki pada campuran semakin kecil karena telah terisi oleh *fly ash*. Hasil perbandingan nilai *cantabro loss* tiap variasi kadar *filler fly ash* antara campuran *HRS-WC* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5. 17 Perbandingan Nilai Cantabro Loss Tiap Variasi Kadar Fly ash

5.4.3 Analisis Statistik dengan SPSS

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik *Marshall* dan *Cantabro loss* dilakukan pengujian analisis statistik menggunakan *SPSS*. Sebelum dilakukan uji signifikansi menggunakan metode *ANOVA twoway*, data yang diperoleh harus lolos uji normalitas dan uji homogenitas. Pada uji normalitas, seluruh data yang didapatkan memiliki hasil Sig. > α atau 0,05 yang mana dapat diartikan bahwa seluruh data yang diuji berdistribusi normal. Sama halnya dengan uji normalitas, pada uji homogenitas didapatkan nilai *Based on Median* dan *Based on Median with Adjusted df* > 0,05 yang mana data diartikan bahwa seluruh data yang diuji adalah homogen. Rekapitulasi hasil analisis menggunakan metode *ANOVA two way* dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengujian Stastistik Terhadap Karakteristik *Marshall* dan *Cantabro*

Parameter	Variabel yang Mempengaruhi	Hasil Analisis <i>P(Value)</i>	Keterangan
Stabilitas	Jenis Gradasi	<0,000	Signifikan Berbeda
	Kadar <i>Fly ash</i>	<0,000	Signifikan Berbeda
<i>Flow</i>	Jenis Gradasi	<0,000	Signifikan Berbeda
	Kadar <i>Fly ash</i>	<0,000	Signifikan Berbeda
<i>Density</i>	Jenis Gradasi	0,224	Tidak Signifikan
	Kadar <i>Fly ash</i>	0,080	Tidak Signifikan

Lanjutan Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengujian Stastistik Terhadap Karakteristik *Marshall* dan *Cantabro*

Parameter	Variabel yang Mempengaruhi	Hasil Analisis <i>P(Value)</i>	Keterangan
<i>VITM</i>	Jenis Gradasi	0,224	Tidak Signifikan
	Kadar <i>Fly ash</i>	0,080	Tidak Signifikan
<i>VMA</i>	Jenis Gradasi	0,224	Tidak Signifikan
	Kadar <i>Fly ash</i>	0,080	Tidak Signifikan
<i>VFWA</i>	Jenis Gradasi	0,244	Tidak Signifikan
	Kadar <i>Fly ash</i>	0,071	Tidak Signifikan
<i>MQ</i>	Jenis Gradasi	0,868	Tidak Signifikan
	Kadar <i>Fly ash</i>	0,432	Tidak Signifikan
<i>Cantabro</i>	Jenis Gradasi	<0,000	Signifikan Berbeda
	Kadar <i>Fly ash</i>	<0,000	Signifikan Berbeda

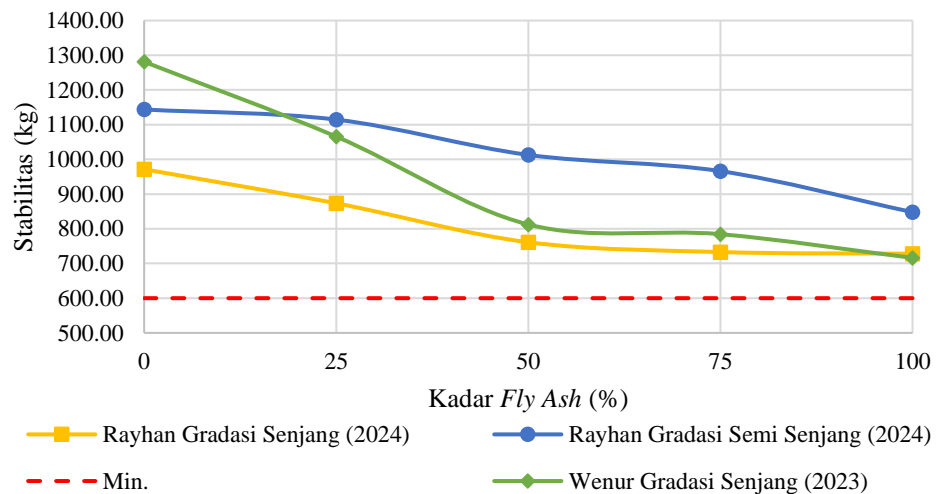
Berdasarkan hasil Tabel 5.13 di atas didapatkan perbandingan nilai stabilitas, *flow*, dan *cantabro* pada variabel jenis gradasi (senjang dan semi senjang) dan variasi kadar *fly ash* (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%) memiliki perbedaan yang signifikan terhadap *PValue* = 0,05 (nilai Sig. < 0,05). Sebaliknya nilai *density*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, dan *MQ* memiliki perbandingan yang tidak signifikan terhadap faktor jenis gradasi (senjang dan semi senjang) dan variasi kadar *fly ash* (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%).

5.4.4 Perbandingan dengan penelitian terdahulu

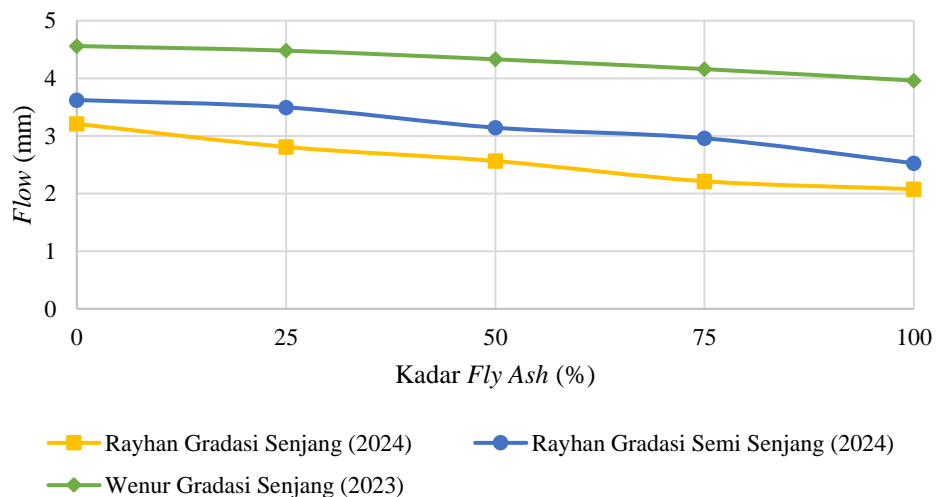
Wenur, Panelewen, dan Waani (2023) melakukan penelitian mengenai pengaruh variasi kadar *fly ash* yang berasal dari PLTU Sulut Kema sebagai *filler* pada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang. Variasi kadar *filler fly ash* yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari berat total benda uji dan kadar aspal optimum (KAO) yang didapatkan adalah 7,35%. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *VFWA*, dan kepadatan yang menurun seiring dengan bertambahnya kadar *fly ash*, sedangkan nilai *VITM* dan *VMA* meningkat.

Penelitian yang dilakukan penulis memiliki kadar aspal optimum (KAO) sebesar 7,1% dengan variasi kadar *filler fly ash* yang sama dengan peneliti sebelumnya yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dari berat total benda uji. *Fly ash* yang digunakan pada penelitian penulis berasal dari PLTU Jateng 2. Berdasarkan penelitian penulis didapatkan nilai stabilitas, *flow*, *VITM*, dan *VMA* yang menurun seiring dengan bertambahnya kadar *fly ash*, sedangkan nilai *VFWA* dan *MQ*

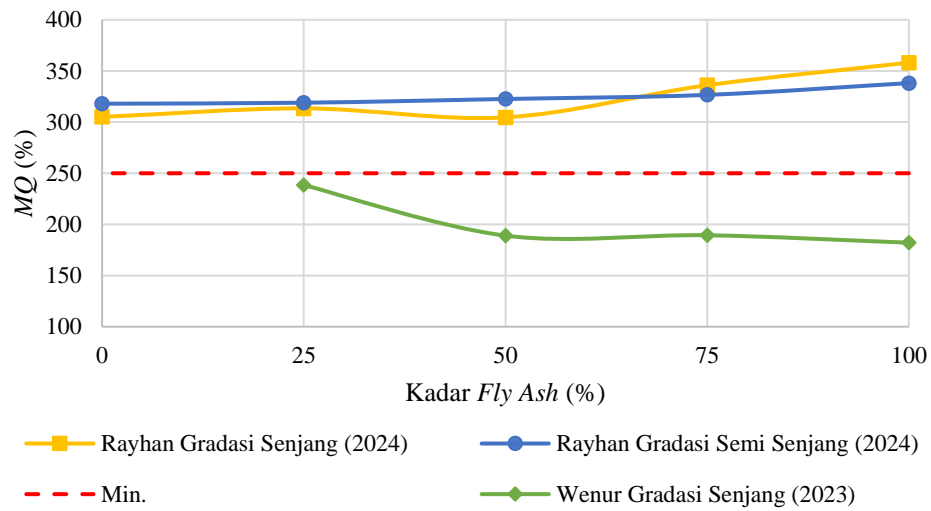
meningkat. Berikut ini merupakan grafik perbandingan hasil pengujian karakteristik *Marshall HRS-WC* bergradasi senjang dan semi senjang dengan penelitian terdahulu yang dapat dilihat pada Gambar 5.18, Gambar 5.19, Gambar 5.20, Gambar 5.21, Gambar 5.22, dan Gambar 5.23 berikut.



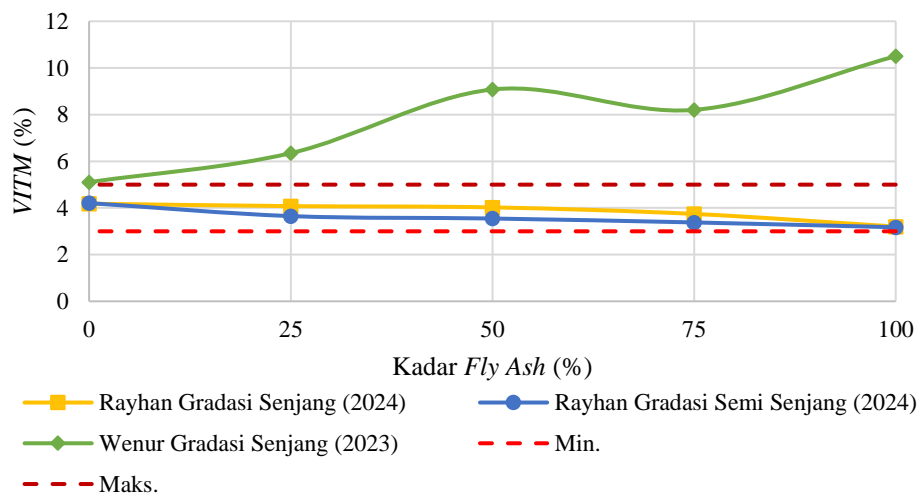
Gambar 5. 18 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas *HRS-WC* Senjang dengan Penelitian Terdahulu



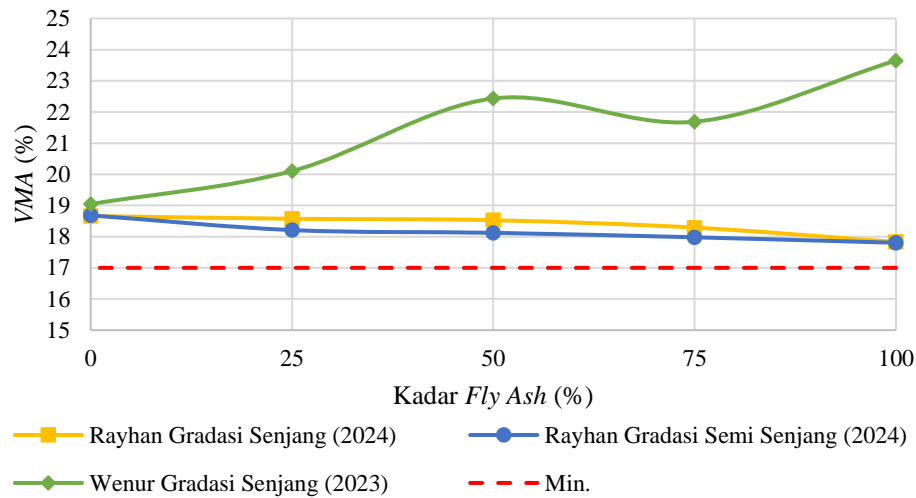
Gambar 5. 19 Grafik Perbandingan Nilai *Flow HRS-WC* Senjang dengan Penelitian Terdahulu



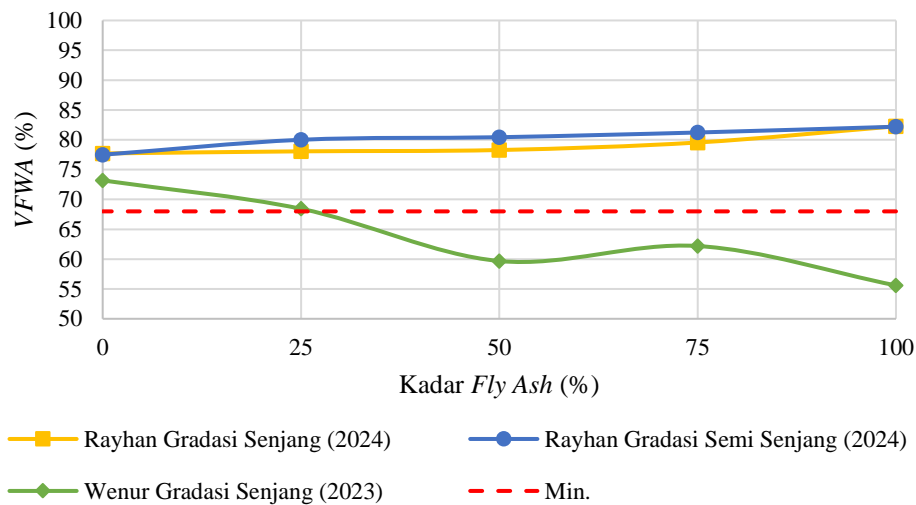
Gambar 5. 20 Grafik Perbandingan Nilai *MQ HRS-WC* Senjang dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 5. 21 Grafik Perbandingan Nilai *VITM HRS-WC* Senjang dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 5. 22 Grafik Perbandingan Nilai VMA HRS-WC Senjang dengan Penelitian Terdahulu



Gambar 5. 23 Grafik Perbandingan Nilai VFWA HRS-WC Senjang dengan Penelitian Terdahulu

Berdasarkan hasil yang telah dibandingkan antara penelitian terdahulu dengan penelitian penulis dapat dilihat bahwa nilai stabilitas dan nilai *flow* mengalami penurunan. Hal tersebut menandakan bahwa penggunaan *fly ash* sebagai *filler* pada campuran perkerasan HRS-WC bergradasi senjang menyebabkan campuran menjadi padat dan kaku. Secara karakteristik volmetrik pada penelitian

terdahulu memiliki nilai yang lebih buruk dibandingkan penelitian penulis. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan faktor perbedaan berat jenis material maupun perbedaan sumber diperolehnya material agregat, aspal, dan *fly ash*.

Perbedaan Kadar Aspal Optimum (KAO) yang mana pada penelitian terdahulu memiliki KAO yang lebih besar dibandingkan dengan penelitian penulis. Semakin besar KAO maka campuran akan bertambah lentur atau bersifat plastis sehingga mudah mengalami deformasi. Hal tersebut dapat dibuktikan dengan nilai *MQ* yang dimiliki penelitian terdahulu semakin menurun. Berbanding terbalik dengan penelitian terdahulu, pada penelitian penulis memiliki campuran yang bersifat kaku dan padat.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian perbandingan kinerja campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai *filler* didapat kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada pengujian Marshall yang menggunakan *filler* abu batu 100%, didapatkan hasil bahwa *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki kekuatan atau karakteristik yang lebih baik berdasarkan dari nilai volumetrik dan mekanik apabila dibandingkan dengan *HRS-WC* bergradasi senjang. Ketika *filler* yang digunakan disubstitusi dengan *fly ash*, didapatkan hasil yang serupa dengan penggunaan *filler* abu batu yang mana *HRS-WC* bergradasi semi senjang memiliki nilai yang lebih baik dibandingkan dengan *HRS-WC* bergradasi senjang. Kadar *filler fly ash* optimum yang didapatkan sebesar 100% pada kedua jenis gradasi campuran *HRS-WC*. Hal tersebut dapat terjadi dikarenakan seiring dengan bertambahnya variasi kadar *fly ash* yang digunakan menyebabkan campuran menjadi padat dan rapat. Perbandingan antara variabel jenis gradasi (senjang dan semi senjang) dan variasi kadar *fly ash* (0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%) memiliki nilai yang signifikan berbeda pada nilai stabilitas dan *flow*. Sebaliknya pada nilai *MQ*, *VITM*, *VMA*, dan *VFWA* tidak terdapat perbedaan yang signifikan terhadap variabel faktor yang ada.
2. Penggunaan *fly ash* sebagai *filler cantabro loss* cukup berpengaruh menurunkan nilai *cantabro loss* pada kedua jenis gradasi yang digunakan. Pada campuran perkerasan *HRS-WC* bergradasi senjang didapat penurunan nilai sebesar 4,98% dengan nilai terkecilnya adalah 3,43% pada variasi kadar *fly ash* 100%. Pada campuran perkerasan *HRS-WC* bergradasi semi senjang didapat penurunan nilai sebesar 3,80% dengan nilai terkecilnya adalah 2,15% pada variasi kadar *fly ash* 100%. Berdasarkan hasil di atas dapat disimpulkan bahwa *HRS-WC* bergradasi

semi senjang memiliki durabilitas yang lebih tinggi serta keausan yang terjadi lebih kecil atau sedikit seiring dengan bertambahnya variasi kadar *fly ash* dibandingkan dengan yang bergradasi senjang. Sehingga didapatkan kadar *fly ash* optimum pada pengujian *cantabro loss* sebesar 100% baik pada campuran *HRS-WC* bergradasi senjang maupun yang bergradasi semi senjang.

6.2 SARAN

Berdasarkan hasil penelitian perbandingan kinerja campuran perkerasan *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* bergradasi senjang dan bergradasi semi senjang dengan *fly ash* sebagai *filler*, maka peneliti dapat memberikan saran sebagai berikut.

1. Perlu dilakukan metode pengujian lainnya seperti pengujian *Indirect Tensile Strength Test (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* guna mengetahui kekuatan tarik campuran perkerasan tersebut maupun pengujian rendaman (*Immersion Test*) guna mengetahui pengaruh air, suhu, dan cuaca terhadap perubahan karakteristik campuran.
2. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan *fly ash* sebagai *filler* pada jenis campuran perkerasan lainnya.
3. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai perbandingan antara campuran perkerasan *HRS-WC* bergradasi senjang maupun bergradasi semi senjang dengan menggunakan bahan tambah lainnya guna mengetahui perbandingan karakteristik *Marshall* maupun kinerja *cantabro* yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Auliani, N. 2018. Pengaruh Penambahan Serat *Polypropylene (PP)* pada Campuran *HRS-WC* Terhadap Karakteristik *Marshall, Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan Ketahanan Aus. *Dspace UII*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Daud., Rachman, R., dan Taniyaya, J. 2020. *Study of HRS-WC Mixture Performance Using the Waste of Crude Palm Oil Ash as Filler. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 419*. Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar, Indonesia.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. Spesifikasi Umum. Edisi 2020 (Rev. 2). Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. Spesifikasi Umum. Edisi 2014 (Rev. 3). Penerbit Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.
- Hermanus, G., Kaseke, O.H., dan Jansen, F. 2015 Kajian Perbedaan Kinerja Campuran Beraspal Panas Antara Jenis Lapis Tipis Aspal Beton-Lapis Aus (*HRS-WC*) Bergradasi Senjang dengan yang Bergradasi Semi Senjang. *Jurnal Sipil Statik Volume 3 No.4*. Universitas Sam Ratulangi. Manado. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. Cara Uji Berat Jenis Aspal Panas. SNI 2441:2011. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2016. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. SNI 1969:2016. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2016. Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus. SNI 1970:2016. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat *Marshall*. SNI 06-2489-1991. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2014. Spesifikasi abu terbang batubara dan pozolan alam mentah atau yang telah dikalsinasi untuk digunakan dalam beton. SNI 2460:2014. Indonesia.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. Spesifikasi Bahan Uji Pengisi untuk Campuran Beraspal. SNI 03-6723-2002. Indonesia.
- Subarkah. 2015. Modul Praktikum Bahan Perkerasan Jalan. Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

- Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Tombeg, C.V., Manopo, M.R.E., dan Sendow, T.K. 2019. Pemanfaatan Sedimen Transport Abu Vulkanik (Gunung Soputan) sebagai Bahan Substitusi pada Abu Batu dalam Campuran Aspal *HRS-WC* Gradasi Semi Senjang. *Jurnal Sipil Statik Volume 7 No.3*. Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia.
- Wenur, K.R., Palenewen, S.Ch.N., Waani, J.E. 2023. Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi *Filler Fly ash* pada Campuran Berasapal Panas Janis Lataston *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. *TEKNO Volume 21 No.85*. Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia.
- Yanti, S., Rosalia., Alpius., dan Sandi, D. 2019. Pengujian Batu Apung Sebagai *Filler* pada Campuran *HRS-WC*. *Paulus Civil Engineering Journal Volume I No.2*. Universitas Kristen Indonesia Paulus, Makassar, Indonesia.
- Yusuf, M.R. 2018. Pengaruh Penggunaan *Fly ash* Batu Bara 5%, 5,5%, 6%, 6,5% pada Campuran *HRS-WC* Menggunakan Bahan Ikat Aspal Retona Blend 55. *Repository UMY*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : AASHTO T - 228 - 68 ; ASTM D - 70 - 72

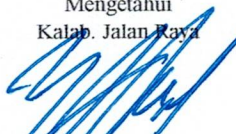
- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
3 Diuji Pada : 2023

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,64	24,11
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,07	47,15
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,43	23,04
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	26,96	26,38
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	2,32	2,27
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,18	47,28
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	20,22	20,9
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	2,21	2,14
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,050	1,061
10	Rata-rata BJ Aspal	1,06	

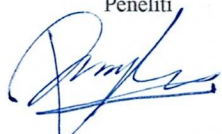
Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil


If Perlian Kusnadi, M.Eng., I.P.M., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


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

Yogyakarta, 2023
Peneliti


Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 2 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN; AASHTO T 53-74, ASTM D 36-70

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2023

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	28 °C	09.00 WIB	
	Selesai pemanasan	135 °C	09.15 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	135 °C	09.30 WIB	
	Selesai	28 °C	11.00 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	11.00 WIB	
	Selesai	59 °C	11.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C				
2	10 °C	112,00	108,00		
3	15 °C	220,00	202,00		
4	20 °C	322,00	310,00		
5	25 °C	397,00	387,00		
6	30 °C	475,00	458,00		
7	35 °C	676,00	654,00		
8	40 °C	688,00	668,00		
9	45 °C	783,00	776,00		
10	50 °C	1.138,00	1.124,00		
11	55 °C			57°C	59°C
12	60 °C				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusnanti, 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, 2023
Peneliti

Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

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

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2023

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	13.00 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	13.15 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	13.15 WIB	
	Selesai	27 °C	13.45 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	13.45 WIB	
	Selesai	27 °C	14.15 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	310 °C	340 °C	
2	Benda uji 2	°C	°C	
3	Rata - rata	310 °C	340 °C	

Yogyakarta, 2023
Peneliti

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya



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

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

Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 4 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

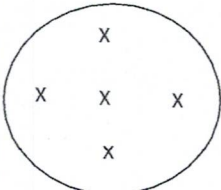
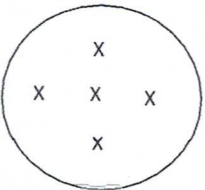
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2023


No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	10.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	13.00 WIB	
	Selesai	27 °C	13.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	60	60			
2	62	65			
3	64	63			
4	61	65			
5	66	64			
Rata2	62,6	63,4			
Rata2	63				

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, 2023
Peneliti

Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 5 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2023

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan		
			Waktu		Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20	WIB	27 °C
		Selesai	13.30	WIB	27 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30	WIB	27 °C
3	Pelarutan	Mulai	13.40	WIB	27 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45	WIB	27 °C
		Selesai	14.15	WIB	27 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15	WIB	110 °C
6	Peminbangan	Mulai	14.30	WIB	27 °C

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji				Keterangan
		1		2		
1	Berat erlen meyer kosong	68,880	gr	75,190	gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	70,020	gr	76,520	gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,140	gr	1,330	gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,600	gr	0,590	gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,610	gr	0,600	gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010	gr	0,010	gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,877	%	0,752	%	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,123	%	99,248	%	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,185				%

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusnanti, 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, 2023
Peneliti

Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 6 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

- 1 Contoh dari : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diperiksa tg : 2023

Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

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

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



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

Mengetahui
Kaliw. Jalan Raya



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

Yogyakarta, 2023
Peneliti



Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan	Benda uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1668,13	1652,77	1660,45
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1023,83	1022,20	1023,02
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1630,70	1617,10	1623,90
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,53	2,56	2,55
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,59	2,62	2,61
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,69	2,72	2,70
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	2,30	2,21	2,25
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,61	2,64	2,63

Yogyakarta, 2023

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

Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

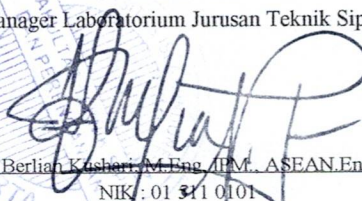
- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2023

Persiapan pemeriksaan


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

Hasil pemeriksaan

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

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusri, M.Eng. (P.M. ASEAN Eng)
NIK : 01 311 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


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

Yogyakarta, 2023
Peneliti


Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2023

No	Jenis Gradasi		B		Keterangan
	Saringan		Benda Uji (gram)		
	Lolos	Tertahan	100 x Putaran	400 x Putaran	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00	2500,00	
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00	2500,00	
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	5000,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		3896,00	4792,00	
13	KEAUSAN = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		22,080	4,160	
14	Rata-rata Keausan (%)		13,12		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusnadi, M.Eng., P.M., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti

Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan	Benda uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,04	500,03	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	692,41	704,54	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1006,45	1020,05	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	493,33	492,75	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,65	2,67	2,66
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,69	2,71	2,70
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,75	2,78	2,77
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	1,35	1,47	1,41
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,70	2,73	2,71

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, 2023
Peneliti

Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

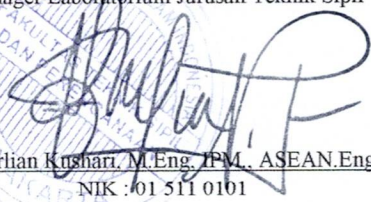
Lampiran 11 Pemeriksaan Sand Equivalent

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

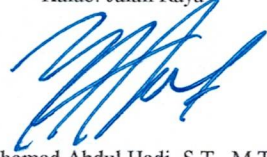
- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Halus
- 3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan		Benda uji		
			1	2	Rata-rata
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl ₂ selama (± 10.1 menit).	Mulai	09.25	09.30	
		Selesai	09.35	09.40	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan CaCl ₂)	Mulai	09.38	09.43	
		Selesai	09.50	09.55	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,40	3,70	3,55
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		3,00	3,50	3,25
6	$Sand\ Equivalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ %$		88,24	94,59	91,41
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		11,76	5,41	8,59

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil


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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


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

Yogyakarta, 2023
Peneliti


Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Abu Batu

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER*

- 1 Jenis Material : *Filler* Abu Batu
- 2 Sumber Material : Clereng
- 3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan	Benda uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Vicnometer Kosong gr	24,01	24,52	
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,87	47,05	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,86	22,53	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	33,05	34,45	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	9,040	9,930	9,49
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	52,250	53,280	52,77
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,200	18,830	19,02
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	3,660	3,700	3,68
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	2,470	2,684	2,58

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Ir. Berlian Kusnadi, 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, 2023
Peneliti



Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Fly Ash*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER*

- 1 Jenis Material : *Filler Fly Ash*
- 2 Sumber Material : PT. PLN Indonesia Power PLTU Jawa Tengah 2 Adipala OMU, Kel. Bunton, Kec. Adipala, Kab. Cilacap, Jawa Tengah.
- 3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan	Benda uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Vicnometer Kosong gr	24,01	24,52	
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,91	47,28	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,90	22,76	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	32,03	34,22	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	8,020	9,700	8,86
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	52,080	53,530	52,81
7	Berat Aquadest (6-4) gr	20,050	19,310	19,68
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	2,850	3,450	3,15
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	2,814	2,812	2,81

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

In. Berhian Kusnan, M.Eng. IPM, ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 1010

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti

Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 14 Hasil Pengujian Marshall Test HRS-WC Bergradasi Senjang untuk Mencari KAO

HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST UNTUK MENCARI KAO

Type Campuran : Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Bergradasi Senjang
Tahun Uji : 2023

SAMPUL	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFA (%)	N VTM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Infiltrasi (kg Flow cm)	S	T IQ (kg/mm)
6A	6.508667	6.382979	6	1178.86	1185.95	648.74	537.21	2.194412	2.27572	12.48007	83.94706	3.572873	16.05294	77.74319	3.572873	60	887.4499	0.949	842.19	2.9	290.4103
6B	6.631333	6.382979	6	1165.07	1171.65	635.87	535.78	2.174531	2.27572	12.367	83.1863	4.446498	16.8135	73.55399	4.446498	60	887.4499	0.93725	831.7624	3.22	258.3113
6C	6.783667	6.382979	6	1186.09	1191.74	650.4	541.34	2.191026	2.27572	12.46081	83.81753	3.721656	16.34963	76.0997	3.913676	63	931.8224	0.901583	840.1155	3.15	266.7033
								2.186656													
6.5A	6.943333	6.951872	6.5	1184.5	1191.52	640.2	551.32	2.14848	2.2618	13.23708	81.75276	5.01016	18.24724	72.54292	5.01016	60	887.4499	0.89	789.8304	3.12	253.1508
6.5B	6.770333	6.951872	6.5	1191.54	1196.52	640.88	555.64	2.144446	2.2618	13.21223	81.59926	5.188512	18.40074	71.8027	5.188512	68	1005.777	0.904917	910.144	3.26	279.1853
6.5C	6.580667	6.951872	6.5	1176.99	1182.22	647.16	535.06	2.199735	2.2618	13.55287	83.70307	2.744062	16.29693	83.16209	2.744062	63	931.8224	0.94675	882.2029	3.02	292.1202
								2.16422													
7A	6.785	7.526882	7	1164.9	1170.98	631.34	539.64	2.158661	2.248048	14.32287	81.70092	3.976207	17.34883	77.4824	3.966287	63	931.8224	0.90125	839.8049	2.9	289.3879
7B	6.784333	7.526882	7	1175.45	1181.44	637.85	543.59	2.162383	2.248048	14.34757	81.84179	3.810638	18.13821	79.01424	3.810638	71	1050.149	0.901417	946.6219	3.25	291.2683
7C	6.928333	7.526882	7	1179.6	1185.76	637.5	548.26	2.151534	2.248048	14.27558	81.43116	4.293255	18.56884	76.87924	4.293255	74	1094.522	0.89	974.1242	3.4	286.5071
								2.157526													
7.5 A	6.774	8.108108	7.5	1175.6	1183.72	634.07	549.65	2.138816	2.234463	15.20483	80.51459	4.280562	19.48541	78.03196	4.280562	68	1005.777	0.904	969.222	2.25	404.0987
7.5 B	6.853333	8.108108	7.5	1179.7	1189.24	640.68	548.56	2.15054	2.234463	15.2882	80.95593	3.755873	19.04407	80.27999	3.755873	65	961.4041	0.89	855.6496	4.2	203.7261
7.5 C	6.744667	8.108108	7.5	1179.89	1187.53	644.06	543.47	2.171031	2.234463	15.43387	81.7273	2.83883	18.2727	84.46409	2.83883	68	1005.777	0.911333	916.5977	3.32	276.0836
								2.153462													
8A	6.910333	8.695652	8	1201.47	1208.76	646.2	562.56	2.135719	2.221041	16.19502	79.96343	3.841548	18.93406	80.92468	3.625088	50	739.5416	0.89	658.192	2.75	239.3425
8B	6.889	8.695652	8	1172.12	1180.31	632.52	547.79	2.139725	2.221041	16.22544	80.11842	3.661172	19.88658	81.58973	3.661172	60	887.4499	0.89	789.8304	4.3	183.0815
8C	6.785333	8.695652	8	1182.75	1190.77	642.72	548.05	2.158106	2.221041	16.36478	80.80163	2.83359	19.19837	85.24037	2.83359	70	1035.538	0.901167	933.0303	3.55	262.8254
								2.144517													
									19.70717	82.55281	3.445437						887.4499		793.6842	3.533333	228.6165

Disahkan Oleh

Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Mengetahui

Kalab. Jalan Raya

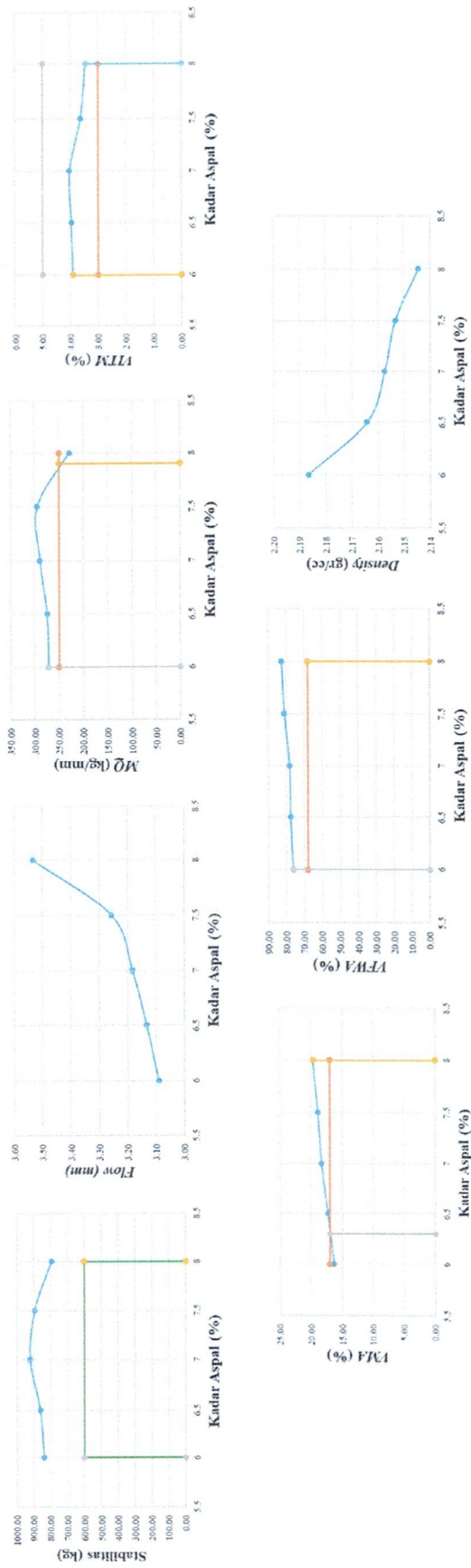
Peneliti


I. Berlian Khusnani, M.Eng, P.M., ASEAN.Eng.
NIK : 01 541 0101


Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 15 Grafik Hasil Pengujian Marshall Test HRS-WC Bergradasi Senjang untuk Mencari KAO

GRAFIK HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST UNTUK MENCARI KAO



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Peneliti



Ir. Berlian Kuswari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 18 511 0101

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

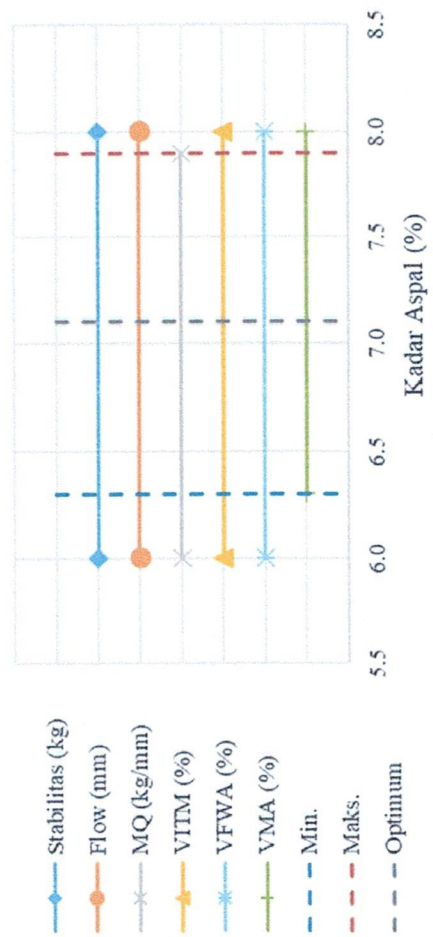


Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 16 Grafik Hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) HRS-WC Bergradasi Senjang

GRAFIK HASIL KADAR ASPAL OPTIMUM (KAO)

KAO = 7,1



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 0125110101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti
Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 17 Hasil Pengujian Marshall Test HRS-WC Bergradasi Semi Senjang untuk Mencari KAO

HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST UNTUK MENCARI KAO

Tipe Campuran : Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Bergradasi Semi Senjang
Tahun Uji : 2023

SAMPPEL	Thggl (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G (gram)	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFA (%)	N VITM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R stabilitas (kg Flow (cm)	S	T (kg/mm)
6A	6.31	6.382979	6	1171.4	1183.86	647.48	536.38	2.183899	2.27572	12.42028	83.54491	4.03481	16.45509	75.47987	4.03481	65	961.4041	1.01	971.0181	3.45	281.4545
6B	6.495667	6.382979	6	1177.94	1183.42	648.43	534.99	2.201798	2.27572	12.52207	84.22962	3.248303	15.77038	79.4025	3.248303	63	931.8224	0.963583	897.8885	3.24	277.1261
6C	6.478333	6.382979	6	1184.93	1191.2	651.35	539.85	2.194925	2.27572	12.48298	83.96667	3.550346	16.03333	77.85647	3.550346	60	887.4499	0.967917	858.9776	3.38	261.8834
								2.193541					16.08627	77.57961	3.611153		926.8921		909.2947	3.323333	273.488
6.5A	6.333	6.951872	6.5	1178.49	1186.54	646.22	540.32	2.181096	2.2618	13.43803	82.99386	3.568106	17.00614	79.01872	3.568106	71	1050.149	1.00425	1054.612	3	351.5374
6.5B	6.255667	6.951872	6.5	1170.29	1178.44	641.65	536.79	2.180164	2.2618	13.43229	82.95836	3.609348	17.04164	78.82041	3.609348	69	1020.567	1.023583	1044.636	4.1	254.7892
6.5C	6.659333	6.951872	6.5	1175.38	1188.27	642.42	545.85	2.153302	2.2618	13.26679	81.93625	4.796959	18.06375	73.44428	4.796959	63	931.8224	0.932	868.4585	3.25	267.218
								2.171521					17.37051	77.09447	3.991471		1000.846		989.2355	3.45	291.1815
7A	6.519	7.526882	7	1183.52	1194.58	650.23	544.35	2.174189	2.248048	14.4259	82.28863	3.285472	17.71137	81.44993	3.285472	88	1301.593	0.958813	1247.333	3.6	346.4814
7B	6.608667	7.526882	7	1176.93	1188.37	642.46	545.91	2.155905	2.248048	14.30458	81.59659	4.098825	18.40341	77.7279	4.098825	85	1257.221	0.9415	1183.673	3.21	368.7456
7C	6.531667	7.526882	7	1177.4	1192.52	643.12	549.4	2.143065	2.248048	14.21939	81.11064	4.669972	18.88936	75.27724	4.669972	80	1183.267	0.955938	1131.129	4.25	266.148
								2.15772					18.33471	78.15169	4.01809		1247.36		1187.378	3.686667	327.125
7.5A	6.561667	8.108108	7.5	1178.76	1192.33	646.26	546.07	2.158624	2.234463	15.34567	81.26028	3.394052	18.73972	81.88846	3.394052	70	1035.358	0.950313	983.9139	3.75	262.377
7.5B	6.403333	8.108108	7.5	1177.56	1190.13	643.86	546.27	2.155637	2.234463	15.32444	81.14783	3.527732	18.85217	81.28739	3.527732	75	1109.312	0.986667	1094.522	3.64	300.6927
7.5C	6.631667	8.108108	7.5	1175.53	1188.84	642.5	546.34	2.151645	2.234463	15.29606	80.99756	3.70638	19.00244	80.49524	3.70638	65	961.4041	0.937188	901.0159	4.02	224.1333
								2.155302					18.86478	81.2237	3.542722		1035.358		993.1504	3.803333	262.401
8A	6.530667	8.695652	8	1175.88	1190.48	642.62	547.86	2.146315	2.221041	16.27537	80.36015	3.364479	19.63985	82.86912	3.364479	64	946.6132	0.956125	905.0806	4	226.2701
8B	6.526	8.695652	8	1178.3	1193.25	646.15	547.1	2.15372	2.221041	16.33152	80.63739	3.031083	19.36261	84.34569	3.031083	68	1005.777	0.957	962.5282	4.12	233.6233
8C	6.499667	8.695652	8	1180.95	1195.85	649.3	546.55	2.160736	2.221041	16.38472	80.90008	2.715199	19.09992	85.78424	2.715199	65	961.4041	0.962583	925.4315	4.44	208.4305
								2.15359					19.36746	84.33302	3.036992		971.2646		931.0134	4.186667	222.7747

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kusriani, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 015110101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

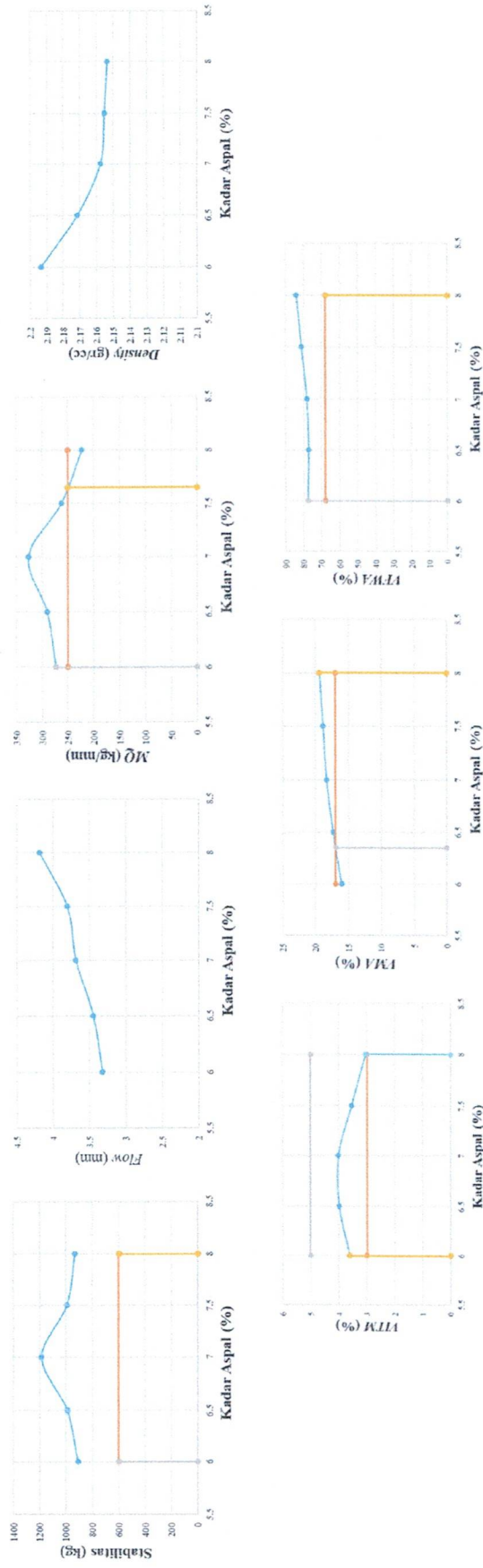
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Peneliti

Rayhan Hafidzurrahman
NIK : 18 511 018

Lampiran 18 Grafik Hasil Pengujian Marshall Test HRS-WC Bergradasi Semi Senjang untuk Mencari KAO

GRAFIK HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST UNTUK MENCARI KAO



Disahkan Oleh
 Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
 Ir. Berlian Kusnari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
 NIK : 01 511 0101

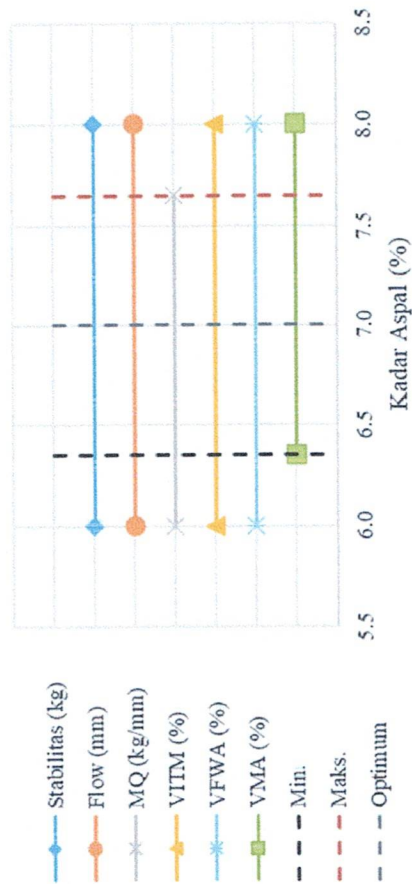
Mengetahui
 Kalab. Jalan Raya
 Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
 NIK : 21 511 1307

Peneliti
 Rayhan Hafidzurrahman
 NIK : 18 511 018

Lampiran 19 Grafik Hasil Kadar Aspal Optimum (KAO) Bergradasi Semi Senjang

GRAFIK HASIL KADAR ASPAL OPTIMUM (KAO)

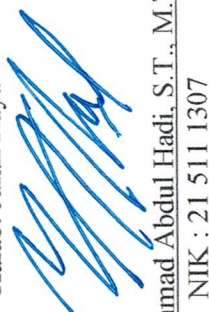
KAO = 7,05



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil


I. Berlian Kusnanto, S.T., M.T., PMP, ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


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


Peneliti



Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

Lampiran 20 Hasil Pengujian Marshall Test HRS-WC Bergradasi Senjang dengan Filler Fly Ash

HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST HRS-WC DENGAN FILLER FLY ASH

SAMPLE	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G		H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
								Density	Meas														
0% A	6.589	7.642626	7.1	1166.96	1171.3	634.04	537.26	2.172058	2.245318	14.61764	82.11957	3.262786	17.88043	81.75219	3.262786	3.262786	3.262786	70	1035.358	0.945188	978.6076	2.85	343.3711
0% B	6.780333	7.642626	7.1	1174.62	1180.54	628.73	551.81	2.128667	2.245318	14.32563	80.47909	5.195285	17.38606	73.38606	5.195285	5.195285	5.195285	70	1035.358	0.902417	934.3245	3.48	268.4841
0% C	6.680333	7.642626	7.1	1170.3	1176.25	632.8	543.45	2.153464	2.245318	14.49251	81.41657	4.09092	18.48343	77.98619	4.09092	4.09092	4.09092	73	1079.731	0.927417	1001.36	3.3	303.4425
25% A	6.628333	7.642626	7.1	1170.06	1176	630.73	545.27	2.145836	2.245318	14.44117	81.12818	4.430648	18.87182	76.52241	4.430648	4.430648	4.430648	60	887.4499	0.937813	832.2616	2.58	322.582
25% B	6.658333	7.642626	7.1	1170.05	1176.9	632.77	544.13	2.150313	2.245318	14.4713	81.29746	4.231241	18.70254	77.37612	4.231241	4.231241	4.231241	68	1005.777	0.932188	937.5723	3.3	284.1128
25% C	6.680333	7.642626	7.1	1175.3	1181.21	638.35	542.86	2.165015	2.245318	14.57024	81.85328	3.576475	18.14672	80.29134	3.576475	3.576475	3.576475	62	917.0316	0.927417	850.4704	2.55	333.5178
50% A	6.734333	7.642626	7.1	1172.4	1178.5	633.13	545.37	2.149733	2.245318	14.4674	81.27552	4.257078	18.72448	77.26464	4.257078	4.257078	4.257078	62	917.0316	0.913917	838.0904	2.34	358.1583
50% B	6.949	7.642626	7.1	1181.41	1187.8	639.2	548.6	2.1535	2.245318	14.49275	81.41793	4.089324	18.58207	77.99317	4.089324	4.089324	4.089324	50	739.5416	0.89	658.192	1.95	337.5344
50% C	6.604	7.642626	7.1	1179.23	1185.63	638.79	546.84	2.156444	2.245318	14.51256	81.52925	3.958186	18.47075	78.57052	3.958186	3.958186	3.958186	62	917.0316	0.942375	864.1876	3.18	271.7571
70% A	6.656667	7.642626	7.1	1174.14	1180	638.84	541.16	2.169673	2.245318	14.60159	82.02938	3.369037	17.97062	81.25253	3.369037	3.369037	3.369037	52	769.1232	0.9325	717.2074	2.25	318.7889
70% B	6.628667	7.642626	7.1	1169.29	1174.78	632.22	542.56	2.155135	2.245318	14.50375	81.47975	4.016502	18.52025	78.31292	4.016502	4.016502	4.016502	57	843.0774	0.93775	790.5958	2.59	305.2494
70% C	6.645	7.642626	7.1	1184.93	1190.2	641.35	548.85	2.158932	2.245318	14.52931	81.62332	3.847377	18.37668	79.06382	3.847377	3.847377	3.847377	50	739.5416	0.934688	691.2403	1.8	384.0224
100% A	6.636667	7.642626	7.1	1185.14	1190.92	649.33	541.59	2.18826	2.245318	14.72668	82.73213	2.541184	17.26787	85.28374	2.541184	2.541184	2.541184	48	709.9599	0.93625	664.7	1.58	420.6962
100% B	6.497333	7.642626	7.1	1176.23	1182.9	645.92	536.98	2.190454	2.245318	14.74144	82.81507	2.443491	17.18493	85.78121	2.443491	2.443491	2.443491	56	828.2866	0.963167	797.778	2.45	325.6337
100% C	6.626	7.642626	7.1	1175.38	1181.27	632.42	548.85	2.141532	2.245318	14.41221	80.96547	4.622323	19.03453	75.71612	4.622323	4.622323	4.622323	52	769.1232	0.93825	721.6299	2.2	328.0136
								2.173416											769.1232		728.036	2.076667	358.1112

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

Rayhan Hafidzurrahman
NIK : 18 511 018

Lampiran 21 Hasil Pengujian Marshall Test HRS-WC Bergradasi Semi Senjang dengan Filler Fly Ash

HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST HRS-WC DENGAN FILLER FLY ASH

SAMPLE	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G		H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VITM (%)	O Means	P	Q Koretest	R stabilitas (kg Flow (cm)	S	T
								Density	IQ (kg/mm)													
0% A	6.673333	7.642626	7.1	1176.15	1193.73	647.92	545.81	2.154871	2.245318	14.50197	81.46976	4.028267	18.53024	78.26112	4.028267	4.028267	84	1242.43	0.929167	1154.424	4.02	287.1703
0% B	6.766333	7.642626	7.1	1176.95	1193.88	644.38	549.51	2.141856	2.245318	14.41439	80.97772	4.607896	19.02228	75.77633	4.607896	4.607896	81	1198.057	0.905917	1085.34	3.55	305.7296
0% C	6.728333	7.642626	7.1	1171.54	1182.25	638.8	543.45	2.155746	2.245318	14.50786	81.50284	3.989299	18.49716	78.43291	3.989299	3.989299	88	1301.593	0.913417	1191.5	3.3	361.0606
25% A	6.664	7.642626	7.1	1182.55	1195.82	650.16	545.66	2.167192	2.245318	14.58489	81.95559	3.479513	18.06441	80.75829	3.479513	3.479513	78	1153.685	0.931125	1074.225	3.32	323.5617
25% B	6.684333	7.642626	7.1	1186.1	1199.85	654.4	545.45	2.174535	2.245318	14.65431	82.2132	3.152487	17.78668	80.27625	3.152487	3.152487	81	1198.057	0.926417	1109.9	3.62	306.6023
25% C	6.592333	7.642626	7.1	1180.02	1192.21	642.92	549.29	2.148264	2.245318	14.45751	81.21998	4.322507	18.78002	76.98348	4.322507	4.322507	83	1227.639	0.944563	1159.582	3.55	326.6428
50% A	6.587333	7.642626	7.1	1184.11	1196.27	650.12	546.15	2.168104	2.245318	14.59103	81.97007	3.438896	18.02993	80.92675	3.438896	3.438896	72	1064.94	0.9455	1006.901	3.3	305.1214
50% B	6.451333	7.642626	7.1	1174.93	1190.08	646.27	543.81	2.160552	2.245318	14.54021	81.68457	3.775223	18.31543	79.38775	3.775223	3.775223	75	1109.312	0.974667	1081.21	3.08	351.0421
50% C	6.59	7.642626	7.1	1179.23	1185.63	641.79	543.84	2.16834	2.245318	14.59262	81.97899	3.428387	18.02101	80.97561	3.428387	3.428387	68	1005.777	0.945	950.4588	3.05	311.6259
70% A	6.342	7.642626	7.1	1181.01	1194.16	651.65	542.51	2.176937	2.245318	14.65048	82.30402	3.045507	17.69598	82.78984	3.045507	3.045507	66	976.1949	1.002	978.1473	2.85	343.2096
70% B	6.477667	7.642626	7.1	1175.37	1188.89	646.74	542.15	2.167979	2.245318	14.59019	81.96536	3.444448	18.03464	80.90093	3.444448	3.444448	70	1035.358	0.968083	1002.313	3.08	325.4263
70% C	6.471333	7.642626	7.1	1180.93	1190.77	644.91	545.86	2.16343	2.245318	14.55938	81.79337	3.647054	18.20663	79.96854	3.647054	3.647054	64	946.6132	0.969667	917.8993	2.95	311.1523
100% A	6.622333	7.642626	7.1	1182.56	1195.74	652.68	543.06	2.177586	2.245318	14.65485	82.32857	3.016583	17.67143	82.9296	3.016583	3.016583	60	887.4499	0.938938	833.26	2.2	378.7545
100% B	6.426	7.642626	7.1	1175.25	1187.9	645.6	542.3	2.167158	2.245318	14.58467	81.93432	3.48101	18.06568	80.75136	3.48101	3.48101	62	917.0316	0.981	899.608	2.8	321.2886
100% C	6.588	7.642626	7.1	1176.65	1188.78	648.42	540.36	2.17753	2.245318	14.65447	82.32644	3.019098	17.67556	82.91743	3.019098	3.019098	58	857.8682	0.945375	811.0072	2.58	314.3439
								2.174091					17.80356	82.1928	3.172306			887.4499		847.9584	2.526667	338.129

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Peneliti


Rayhan Hafidzurakhman
NIK : 18 511 018


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


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

Lampiran 22 Hasil Pengujian Cantabro Loss HRS-WC dengan Filler Fly Ash

HASIL PENGUJIAN CANTABRO LOSS DENGAN DUA METODE PENGAMPURAN

Variasi Campuran	Sampel	Berat Benda Uji (g)		Berat Sebelum Abrasi (M1-Mi2)	Kehilangan Berat (%)	Rata - Rata (%)
		Mi1	Mi2			
0% SENJANG	A	1166.19	1076.76	89.43	7.668561727	8.409662
	B	1165.66	1059.87	105.79	9.075545185	
	C	1166.31	1067.35	98.96	8.484879663	
25% SENJANG	A	1165.81	1091.94	73.87	6.336366989	6.071284
	B	1156.95	1090.54	66.41	5.740092485	
	C	1162.22	1090.89	71.33	6.137392232	
50% SENJANG	A	1163.12	1081.37	81.75	7.028509526	5.884072
	B	1166.02	1098.03	67.99	5.830946296	
	C	1168.22	1112.23	55.99	4.792761637	
75% SENJANG	A	1153.5	1114.62	38.88	3.370611183	3.703989
	B	1166.43	1119.4	47.03	4.031960769	
	C	1158.41	1115.44	42.97	3.709394774	
100% SENJANG	A	1165.99	1120.26	45.73	3.921989039	3.42913
	B	1189.1	1150.12	38.98	3.278109495	
	C	1176.76	1140.43	36.33	3.087290527	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Peneliti



J. Berlian Kuchant, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.

NIK : 21 511 1307

Rayhan Hafidzurrahman

NIK : 18 511 018

Lampiran 22 Hasil Pengujian *Cantabro Loss HRS-WC* dengan *Filler Fly Ash*

HASIL PENGUJIAN *CANTABRO LOSS* DENGAN DUA METODE *PENCAMPURAN*

Variasi Campuran	Sampel	Berat Benda Uji (g)		Berat Sebelum Abrasi (M1-Mi2)	Kehilangan Berat (%)	Rata - Rata (%)
		M1	Mi2			
0% SEMI SENJANG	A	1180.5	1110.87	69.63	5.898348158	5.950822
	B	1183.31	1113.55	69.76	5.895327514	
	C	1185.22	1113.41	71.81	6.058790773	
25% SEMI SENJANG	A	1197.37	1153.5	43.87	3.6638633	4.060905
	B	1156.11	1107.44	48.67	4.209807025	
	C	1172.65	1122.12	50.53	4.309043619	
50% SEMI SENJANG	A	1174.97	1119.7	55.27	4.703949888	3.837205
	B	1186.23	1146.13	40.1	3.380457416	
	C	1176.76	1136.43	40.33	3.427206907	
75% SEMI SENJANG	A	1179.55	1138.99	40.56	3.438599466	3.124494
	B	1181.4	1147.8	33.6	2.844083291	
	C	1178.66	1142.23	36.43	3.090798025	
100% SEMI SENJANG	A	1172.62	1150.19	22.43	1.912810629	2.153607
	B	1179.88	1159.8	20.08	1.701867987	
	C	1158.41	1125.44	32.97	2.846142557	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Peneliti

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

Rayhan Hafidzurrakhman
NIK : 18 511 018

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

Lampiran 23 Uji Normalitas Perbandingan *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang

HASIL UJI NORMALITAS TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL TEST*

1. STABILITAS

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis Gradasi	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Stabilitas	Gradasi Senjang	.139	15	.200*	.947	15	.475
	Gradasi Semi Senjang	.152	15	.200*	.959	15	.669

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

2. FLOW

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis Gradasi	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Flow	Gradasi Senjang	.146	15	.200*	.961	15	.705
	Gradasi Semi Senjang	.096	15	.200*	.985	15	.991

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

3. DENSITY

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis Gradasi	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Densitas	Gradasi Senjang	.159	15	.200*	.951	15	.538
	Gradasi Semi Senjang	.192	15	.143	.924	15	.225

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Lanjutan Lampiran 23 Uji Normalitas Perbandingan *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang

4. *VITM*

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis Gradasi	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VITM	Gradasi Senjang	.159	15	.200*	.951	15	.538
	Gradasi Semi Senjang	.192	15	.143	.924	15	.225

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

5. *VMA*

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis Gradasi	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VMA	Gradasi Senjang	.159	15	.200*	.951	15	.538
	Gradasi Semi Senjang	.192	15	.143	.924	15	.225

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

6. *VFWA*

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis Gradasi	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
VFW	Gradasi Senjang	.171	15	.200*	.938	15	.363
A	Gradasi Semi Senjang	.185	15	.177	.930	15	.272

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Lanjutan Lampiran 23 Uji Normalitas Perbandingan *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang

7. MARSHALL QUOTIENT

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis Gradasi	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
MQ	Gradasi Senjang	.143	15	.200*	.950	15	.530
	Gradasi Semi Senjang	.204	15	.094	.930	15	.276

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

HASIL UJI NORMALITAS TERHADAP KARAKTERISTIK *CANTABRO LOSS*

		Tests of Normality					
		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Jenis Gradasi	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Cantabro	Gradasi Senjang	.173	15	.200*	.929	15	.260
	Gradasi Semi Senjang	.147	15	.200*	.935	15	.324

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 24 Uji Normalitas Perbandingan *HRS-WC* dengan *Filler Fly Ash*

HASIL UJI NORMALITAS TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL TEST*

1. STABILITAS

Tests of Normality

	Kadar Fly Ash	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Stabilitas	0%	.208	6	.200*	.937	6	.633
	25%	.217	6	.200*	.897	6	.357
	50%	.172	6	.200*	.969	6	.882
	75%	.194	6	.200*	.893	6	.336
	100%	.213	6	.200*	.970	6	.891

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

2. FLOW

Tests of Normality

	Kadar Fly Ash	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Flow	0%	.214	6	.200*	.957	6	.799
	25%	.288	6	.130	.828	6	.104
	50%	.333	6	.036	.834	6	.116
	75%	.206	6	.200*	.923	6	.530
	100%	.238	6	.200*	.938	6	.641

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

3. DENSITY

Tests of Normality

	Kadar Fly Ash	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Density	0%	.231	6	.200*	.953	6	.764
	25%	.255	6	.200*	.888	6	.309
	50%	.204	6	.200*	.918	6	.489
	75%	.131	6	.200*	.983	6	.967
	100%	.250	6	.200*	.873	6	.240

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Lanjutan Lampiran 24 Uji Normalitas Perbandingan HRS-WC dengan Filler Fly Ash

4. *VITM*

Tests of Normality							
	Kadar Fly Ash	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
<i>VITM</i>	0%	.231	6	.200*	.953	6	.764
	25%	.255	6	.200*	.888	6	.309
	50%	.204	6	.200*	.918	6	.489
	75%	.131	6	.200*	.983	6	.967
	100%	.250	6	.200*	.873	6	.240

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

5. *VMA*

Tests of Normality							
	Kadar Fly Ash	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
<i>VMA</i>	0%	.231	6	.200*	.953	6	.764
	25%	.255	6	.200*	.888	6	.309
	50%	.204	6	.200*	.918	6	.489
	75%	.131	6	.200*	.983	6	.967
	100%	.250	6	.200*	.873	6	.240

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

6. *VFWA*

Tests of Normality							
	Kadar Fly Ash	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
<i>VFWA</i>	0%	.221	6	.200*	.955	6	.779
	25%	.257	6	.200*	.889	6	.311
	50%	.205	6	.200*	.915	6	.472
	75%	.128	6	.200*	.982	6	.962
	100%	.241	6	.200*	.889	6	.313

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Lanjutan Lampiran 24 Uji Normalitas Perbandingan *HRS-WC* dengan *Filler Fly Ash*

7. MARSHALL QUOTIENT

Tests of Normality							
	Kadar Fly Ash	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
MQ	0%	.233	6	.200*	.948	6	.725
	25%	.306	6	.084	.864	6	.204
	50%	.177	6	.200*	.943	6	.680
	75%	.247	6	.200*	.864	6	.205
	100%	.349	6	.021	.800	6	.058

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

HASIL UJI NORMALITAS TERHADAP KARAKTERISTIK *CANTABRO LOSS*

Tests of Normality							
	Kadar Fly Ash	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Cantabro	0%	.285	6	.139	.841	6	.134
	25%	.247	6	.200*	.877	6	.257
	50%	.186	6	.200*	.925	6	.540
	75%	.144	6	.200*	.988	6	.984
	100%	.193	6	.200*	.942	6	.672

*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

Lampiran 25 Uji Homogenitas Perbandingan *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan *Filler Fly Ash*

HASIL UJI HOMOGENITAS TERHADAP KARAKTERISTIK *MARSHALL TEST*

1. STABILITAS

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Stabilitas	Based on Mean	1.246	9	20	.324
	Based on Median	.252	9	20	.981
	Based on Median and with adjusted df	.252	9	7.969	.972
	Based on trimmed mean	1.136	9	20	.384

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: Stabilitas

b. Design: Intercept + Jenis_Gradasi + Fly_Ash + Jenis_Gradasi * Fly_Ash

2. *FLOW*

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Flow	Based on Mean	1.636	9	20	.172
	Based on Median	.486	9	20	.867
	Based on Median and with adjusted df	.486	9	11.436	.857
	Based on trimmed mean	1.523	9	20	.207

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: Flow

b. Design: Intercept + Jenis_Gradasi + Fly_Ash + Jenis_Gradasi * Fly_Ash

Lanjutan Lampiran 25 Uji Homogenitas Perbandingan *HRS-WC* Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan *Filler Fly Ash*

3. DENSITY

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Density	Based on Mean	3.507	9	20	.009
	Based on Median	.617	9	20	.769
	Based on Median and with adjusted df	.617	9	5.184	.752
	Based on trimmed mean	3.143	9	20	.016

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: Density

b. Design: Intercept + Jenis_Gradasi + Fly_Ash + Jenis_Gradasi * Fly_Ash

4. VITM

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VITM	Based on Mean	3.507	9	20	.009
	Based on Median	.617	9	20	.769
	Based on Median and with adjusted df	.617	9	5.184	.752
	Based on trimmed mean	3.143	9	20	.016

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: VITM

b. Design: Intercept + Jenis_Gradasi + Fly_Ash + Jenis_Gradasi * Fly_Ash

Lanjutan Lampiran 25 Uji Homogenitas Perbandingan HRS-WC Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan *Filler Fly Ash*

5. VMA

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VMA	Based on Mean	3.507	9	20	.009
	Based on Median	.617	9	20	.769
	Based on Median and with adjusted df	.617	9	5.184	.752
	Based on trimmed mean	3.143	9	20	.016

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: VMA

b. Design: Intercept + Jenis_Gradasi + Fly_Ash + Jenis_Gradasi * Fly_Ash

6. VFWA

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
VFWA	Based on Mean	3.493	9	20	.009
	Based on Median	.611	9	20	.774
	Based on Median and with adjusted df	.611	9	4.963	.755
	Based on trimmed mean	3.131	9	20	.016

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: VFWA

b. Design: Intercept + Jenis_Gradasi + Fly_Ash + Jenis_Gradasi * Fly_Ash

Lanjutan Lampiran 25 Uji Homogenitas Perbandingan HRS-WC Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan *Filler Fly Ash*

7. MARSHALL QUOTIENT

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
MQ	Based on Mean	1.632	9	20	.173
	Based on Median	.237	9	20	.984
	Based on Median and with adjusted df	.237	9	11.058	.980
	Based on trimmed mean	1.438	9	20	.238

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: MQ

b. Design: Intercept + Jenis_Gradasi + Fly_Ash + Jenis_Gradasi * Fly_Ash

HASIL UJI HOMOGENITAS TERHADAP KARAKTERISTIK *CANTABRO LOSS*

Levene's Test of Equality of Error Variances^{a,b}

		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Cantabro	Based on Mean	1.744	9	20	.144
	Based on Median	.685	9	20	.714
	Based on Median and with adjusted df	.685	9	9.916	.709
	Based on trimmed mean	1.660	9	20	.165

Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.

a. Dependent variable: Cantabro

b. Design: Intercept + Jenis_Gradasi + Fly_Ash + Jenis_Gradasi * Fly_Ash

Lampiran 26 Uji ANOVA Two Way Perbandingan HRS-WC Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan Filler Fly Ash

HASIL PENGUJIAN ANOVA TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL TEST

1. STABILITAS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Stabilitas

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	594532.536 ^a	9	66059.171	17.816	<.001
Intercept	25270693.907	1	25270693.907	6815.336	<.001
Jenis_Gradasi	295528.275	1	295528.275	79.702	<.001
Fly_Ash	283054.924	4	70763.731	19.085	<.001
Jenis_Gradasi * Fly_Ash	15949.338	4	3987.334	1.075	.395
Error	74158.322	20	3707.916		
Total	25939384.766	30			
Corrected Total	668690.859	29			

a. R Squared = .889 (Adjusted R Squared = .839)

2. FLOW

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Flow

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7.449 ^a	9	.828	6.267	<.001
Intercept	244.531	1	244.531	1851.524	<.001
Jenis_Gradasi	2.611	1	2.611	19.768	<.001
Fly_Ash	4.705	4	1.176	8.906	<.001
Jenis_Gradasi * Fly_Ash	.133	4	.033	.252	.905
Error	2.641	20	.132		
Total	254.621	30			
Corrected Total	10.090	29			

a. R Squared = .738 (Adjusted R Squared = .620)

Lanjutan Lampiran 26 Uji ANOVA Two Way Perbandingan HRS-WC Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan Filler Fly Ash

3. *DENSITY*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Density

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.002 ^a	9	.000	1.386	.258
Intercept	140.180	1	140.180	799441.824	<.001
Jenis_Gradasi	.000	1	.000	1.576	.224
Fly_Ash	.002	4	.000	2.445	.080
Jenis_Gradasi * Fly_Ash	.000	4	4.907E-5	.280	.888
Error	.004	20	.000		
Total	140.186	30			
Corrected Total	.006	29			

a. R Squared = .384 (Adjusted R Squared = .107)

4. *VITM*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: VITM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	4.340 ^a	9	.482	1.386	.258
Intercept	416.701	1	416.701	1198.066	<.001
Jenis_Gradasi	.548	1	.548	1.576	.224
Fly_Ash	3.402	4	.851	2.445	.080
Jenis_Gradasi * Fly_Ash	.389	4	.097	.280	.888
Error	6.956	20	.348		
Total	427.997	30			
Corrected Total	11.296	29			

a. R Squared = .384 (Adjusted R Squared = .107)

Lanjutan Lampiran 26 Uji ANOVA Two Way Perbandingan HRS-WC Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan Filler Fly Ash

5. VMA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: VMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.127 ^a	9	.347	1.386	.258
Intercept	10018.656	1	10018.656	39972.315	<.001
Jenis_Gradasi	.395	1	.395	1.576	.224
Fly_Ash	2.452	4	.613	2.445	.080
Jenis_Gradasi * Fly_Ash	.281	4	.070	.280	.888
Error	5.013	20	.251		
Total	10026.797	30			
Corrected Total	8.140	29			

a. R Squared = .384 (Adjusted R Squared = .107)

6. VFWA

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: VFWA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	91.025 ^a	9	10.114	1.434	.239
Intercept	190490.842	1	190490.842	27015.803	<.001
Jenis_Gradasi	10.142	1	10.142	1.438	.244
Fly_Ash	71.828	4	17.957	2.547	.071
Jenis_Gradasi * Fly_Ash	9.055	4	2.264	.321	.861
Error	141.022	20	7.051		
Total	190722.889	30			
Corrected Total	232.047	29			

a. R Squared = .392 (Adjusted R Squared = .119)

Lanjutan Lampiran 26 Uji ANOVA Two Way Perbandingan HRS-WC Bergradasi Senjang dan Bergradasi Semi Senjang dengan Filler Fly Ash

7. MARSHALL QUOTIENT

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MQ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6036.962 ^a	9	670.774	.535	.832
Intercept	3187012.599	1	3187012.599	2540.139	<.001
Jenis_Gradasi	35.409	1	35.409	.028	.868
Fly_Ash	5010.043	4	1252.511	.998	.432
Jenis_Gradasi * Fly_Ash	991.510	4	247.877	.198	.937
Error	25093.212	20	1254.661		
Total	3218142.773	30			
Corrected Total	31130.174	29			

a. R Squared = .194 (Adjusted R Squared = -.169)

HASIL PENGUJIAN ANOVA TERHADAP KARAKTERISTIK CANTABRO LOSS

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Cantabro

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	93.963 ^a	9	10.440	31.664	<.001
Intercept	652.172	1	652.172	1977.967	<.001
Jenis_Gradasi	21.023	1	21.023	63.759	<.001
Fly_Ash	69.603	4	17.401	52.774	<.001
Jenis_Gradasi * Fly_Ash	3.337	4	.834	2.530	.073
Error	6.594	20	.330		
Total	752.729	30			
Corrected Total	100.557	29			

a. R Squared = .934 (Adjusted R Squared = .905)

Lampiran 27 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

1. Vicnometer



2. Timbangan Digital



3. Bitumen atau Aspal



Lampiran 28 Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal

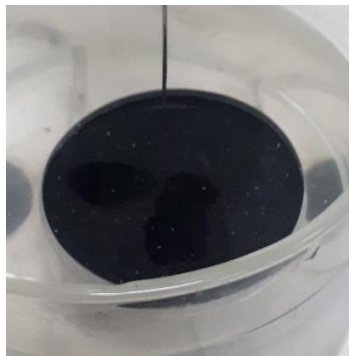
1. Senter



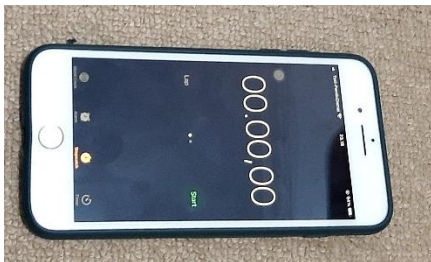
2. Termometer



3. Cawan Berisi Aspal



4. Stopwatch



5. Alat Penetrasi Aspal



Lampiran 29 Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal

1. Mesin Uji Daktilitas

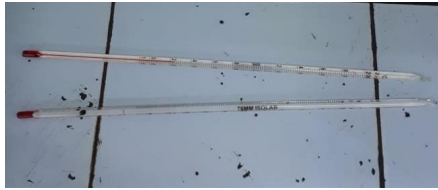


2. Termometer



Lampiran 30 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

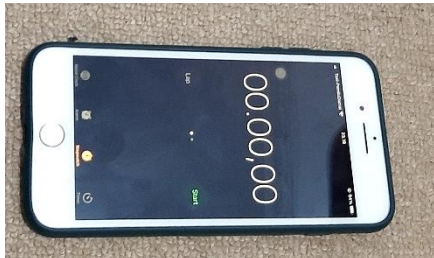
- 1. Termometer



- 2. Bejana Gelas



- 3. Stopwatch



- 4. Cincin Kuningan

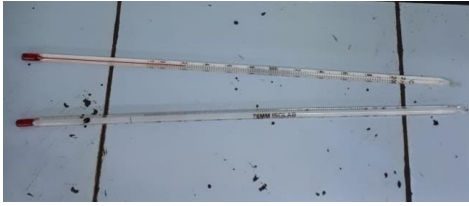


- 5. Alat Pemanas



Lampiran 31 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal

1. Termometer



2. Alat Uji Titik nyala dan Titik Bakar Aspal



Lampiran 32 Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam Larutan TCE

1. Timbangan



5. Larutan TCE



2. Oven



6. Alat Pompa



3. Bejana Gelas



7. Kertas Saringan



4. Aspal



8. Pengaduk



Lampiran 33 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

1. Oven



2. Kain Lap



3. Timbangan dan Keranjang Kawat



Lampiran 34 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

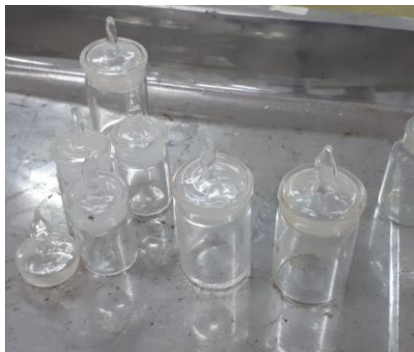
1. Oven



4. Cone



2. Vicinometer



5. Penumbuk



3. Timbangan



Lampiran 35 Gambar Alat Pemeriksaan *Sand Equivalent*

1. Larutan CaCl_2



2. Silinder Ukur



3. Alat Pengujian



Lampiran 36 Gambar Alat Pemeriksaan Analisis Saringan

1. Timbangan



2. Wadah



3. Kuas



4. Mesin *Shaker aggregate* dan Saringan



Lampiran 37 Gambar Pembuatan Sampel Campuran

1. Menyiapkan agregat campuran dalam plastik.



2. Memanaskan agregat hingga suhu $\pm 165^{\circ}\text{C}$.



3. Memanaskan aspal hingga suhu $\pm 165^{\circ}\text{C}$.



4. Mencampurkan aspal yang sudah dipanaskan ke dalam agregat dan dicampur hingga homogen.



5. Memasukkan campuran ke dalam cetakan yang telah diberi oli dan sudah terpasang pada mesin penumbuk yang telah diberi lapisan kertas minyak, lalu dipadatkan dengan spatula.



6. Menumbuk campuran di dalam cetakan dengan mesin penumbuk sebanyak 50x di masing-masing permukaan.



7. Dinginkan campuran dan beri nama atau penanda pada campuran.



8. Keluarkan campuran dari dalam cetakan menggunakan *ejector*.



Lampiran 38 Gambar Pengujian *Marshall Test*

1. Mengukur benda uji kemudian menimbang benda uji.



2. Merendam benda uji selama ± 24 jam pada suhu ruangan.



3. Menimbang berat dalam air benda uji, kemudian dikeringkan hingga kering permukaan.



4. Menimbang berat kering permukaan yang dimiliki oleh benda uji.



5. Masukkan benda uji ke dalam *waterbath* dan diamkan selama 30 menit dengan suhu 60°C .



6. Keluarkan benda uji dari *waterbath* kemudian uji dengan alat *Marshall Test* dan hasilnya dicatat.



Lampiran 39 Gambar Pengujian *Cantabro Loss*

1. Menimbang berat benda uji.



2. Masukkan benda uji ke dalam mesin *Los Angeles* dan diputar sebanyak 300x putaran tanpa bola besi.



3. Keluarkan benda uji dari mesin *Los Angeles*, kemudian ditimbang dan dicatat hasilnya.

