

TUGAS AKHIR

**PENGARUH DEBU BAUKSIT SEBAGAI SUBSTITUSI
FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN
STONE MATRIX ASPHALT
(THE EFFECT OF BAUXITE ASH AS A
SUBSTITUTION OF FILLER ON THE
CHARACTERISTICS OF STONE MATRIX ASPHALT
MIXTURE)**

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



**HANIF NOVIA YUDA
20511115**

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

TUGAS AKHIR

**PENGARUH DEBU BAUKSIT SEBAGAI SUBSTITUSI
FILLER TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN
STONE MATRIX ASPHALT
(THE EFFECT OF BAUXITE ASH AS A
SUBSTITUTION OF FILLER ON THE
CHARACTERISTICS OF STONE MATRIX ASPHALT
MIXTURE)**

Disusun oleh

**HANIF NOVIA YUDA
20511115**

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

Diuji pada tanggal 13 Maret 2024

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing I

Miftahul Fauziah, S.T., M.T, Ph.D.
NIK: 955110103

Penguji I

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

Penguji II

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

Mengesahkan,



Ketua Program Studi Teknik Sipil 26/24
3

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 13 Maret 2024
Yang membuat pernyataan,




Hanif Novia Yuda
(20511115)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul *Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi Filler Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat strata satu di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, 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 Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, pembelajaran, ilmu yang baru dan nasihat baik serta motivasi yang membangkitkan semangat penulis selama penyusunan Tugas Akhir sehingga menghasilkan yang terbaik.
2. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. dan Bapak Prayogo Afang, S.T., M.Sc., selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran, pengarahan, serta dukungan hingga akhir.
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D. (Eng.), selaku kepala Prodi Teknik Sipil yang telah membantu untuk kelancaran dalam masalah akademik selama ini.
4. Bapak Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., Bapak Sukamto H.M., S.T., Bapak Pranoto, S.T., dan Bapak Giri Widhiyatmoko, S.T. selaku Kepala Laboratorium dan laboran Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. PT. ENCEHA PASIFIC yang sudah memberikan bantuan bahan tambah VIATOP⁶⁶, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir.

6. Kedua orang tuaku, Ayahanda Alm Yusardi, S.T., M.Si. dan Ibunda Visda Yanti, yang selalu mendoakan dan mendukung saya dari awal hingga tulisan ini selesai.
7. Kedua Adikku, Hadi Julianda Yuda dan Sri Nayla Febrianti Yuda, yang selalu mendukung.
8. Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa.
9. Annika Nusabella yang selalu menguatkan dan memberikan dukungan. Selalu ada dalam segala kondisi apa pun untuk memberikan semangat dan dukungan, sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir.
10. Teman-teman yang selalu memberikan dukungan dan motivasi selama penyusunan laporan Tugas Akhir, Roby Octavian, Aldi Fadlan, Muhammad Ishomuddin Wahid, Khairul Nur Ihfanyah, Alief Akbar Apriansyah, Putri Yasmin Azzahra, dan Rizky Ayu Adha Pramudhita.

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

Yogyakarta, 13 Maret 2024
Penulis,



Hanif Novia Yuda
(20511115)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xviii
DAFTAR SINGKATAN	xix
ABSTRAK	xx
<i>ABSTRACT</i>	xxi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Karakteristik Campuran Aspal dengan Berbagai Alternatif Pengganti <i>Filler</i>	5
2.2 Pemanfaatan Bauksit Pada Perkerasan Jalan	7
2.3 Pemanfaatan Bauksit Pada Campuran Beton	8
2.4 Penggunaan Bauksit Pada Campuran Aspal	9
2.5 Penelitian Terkait Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Campuran Aspal	9
2.6 Posisi Penelitian	24
BAB III LANDASAN TEORI	25
3.1 Perkerasan Jalan	25

3.2	Bauksit	26
3.3	<i>Stone Matrix Asphalt</i>	27
3.4	Bahan Penyusun Perkerasan Jalan	27
3.4.1	Agregat	28
3.4.2	Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	29
3.4.3	Gradasi Agregat	29
3.4.4	Aspal	30
3.4.5	Aditif	30
3.5	Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan Jalan	31
3.5.1	Stabilitas (<i>Stability</i>)	31
3.5.2	Keawetan (<i>Durability</i>)	32
3.5.3	Kelenturan (<i>Flexibility</i>)	32
3.5.4	Ketahan Terhadap Kelelahan (<i>Fatigue Resistance</i>)	32
3.5.5	Kekesatan (<i>Skid Resistance</i>)	33
3.5.6	Kedap Air (<i>Impermeability</i>)	33
3.5.7	Kemudahan Pelaksanaan (<i>Workability</i>)	33
3.6	Parameter Pengujian <i>Marshall</i>	33
3.6.1	Stabilitas (<i>Stability</i>)	34
3.6.2	Kelelahan (<i>Flow</i>)	34
3.6.3	<i>VITM (Void in the Total Mix)</i>	35
3.6.4	<i>VFWA (Void Filled With Asphalt)</i>	36
3.6.5	<i>VMA (Void in Mineral Agregate)</i>	37
3.6.6	Kepadatan (<i>Density</i>)	38
3.6.7	<i>Marshall Quotient</i>	39
3.7	<i>Void in Coarse Aggregate (VCA)</i>	40
3.8	Pengujian <i>Draindown</i>	42
3.9	Pengujian <i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	42
3.10	Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	43
3.11	Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	43
3.12	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	44
3.13	Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	45

3.14	Pengujian <i>Cantabro loss</i>	45
3.15	Analisis Statistik	46
BAB IV METODE PENELITIAN		48
4.1	Metode Penelitian	48
4.2	Metode Pengambilan Sampel	48
4.3	Metode Pengambilan Data	48
4.4	Tahapan Penelitian	48
4.4.1	Persiapan dan Pemeriksaan Material	49
4.4.2	Persiapan Alat	51
4.4.3	Perencanaan Campuran	52
4.4.4	Pembuatan Campuran Benda Uji	57
4.4.5	Pengujian <i>Marshall</i>	58
4.4.6	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	59
4.4.7	Pengujian <i>Tensile Strength Rasio (TSR)</i>	59
4.4.8	Pengujian <i>Indeks of Retained Strength (IRS)</i>	60
4.4.9	Pengujian <i>Void Coarse Aggregate Dry Rodded Condition</i> (VCA_{DRC})	60
4.4.10	Pengujian <i>Draindown</i>	61
4.4.11	Pengujian <i>Cantabro loss</i>	61
4.5	Analisis Data	62
4.5.1	Analisis Karakteristik <i>Marshall Test</i>	62
4.5.2	Analisis Pengujian <i>VCA</i>	63
4.5.3	Analisis Pengujian <i>Draindown</i>	63
4.5.4	Analisis Pengujian <i>IRS</i>	63
4.5.5	Analisis Nilai <i>IDP</i>	63
4.5.6	Analisis nilai <i>IDK</i>	63
4.5.7	Analisis Pengujian <i>ITS</i>	63
4.5.8	Analisis Nilai <i>TSR</i>	63
4.5.9	Analisis Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	64
4.5.10	Analisis Statistik <i>ANOVA</i> Satu Arah	64
4.6	Bagan Alir Penelitian	64

BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	67
5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran	67
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	67
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	67
5.1.3 Hasil Pengujian Campuran untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	68
5.1.4 Hasil Pengujian Campuran pada Kadar Aspal Optimum	70
5.2 Pembahasan	75
5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	75
5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	77
5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	78
5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	78
5.2.5 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Campuran untuk Menentukan KAO	79
5.2.6 Karakteristik Marshall pada KAO Campuran dengan <i>Filler</i> Debu Bauksit	84
5.2.7 Karakteristik Pengujian <i>Void Coarse Aggregate (VCA)</i> pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit	94
5.2.8 Karakteristik Pengujian <i>Draindown</i> pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit	95
5.2.9 Karakteristik Pengujian <i>Cantabro Loss</i> pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit	96
5.2.10 Karakteristik Pengujian <i>Index Tensile Strength (ITS)</i> pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit	97
5.2.11 Karakteristik Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit	99
5.2.12 Karakteristik Pengujian Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i> pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit	100
5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan <i>Filler</i> Debu Bauksit	104
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	110

6.1 Kesimpulan	110
6.2 Saran	110
DAFTAR PUSTAKA	112
LAMPIRAN	116

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Campuran Aspal	10
Tabel 3.1 Kandungan Bauksit	26
Tabel 3.2 Persyaratan Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	27
Tabel 3.3 Persyaratan Agregat Kasar Pada Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	28
Tabel 3.4 Persyaratan Agregat Halus Pada Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	29
Tabel 3.5 Gradasi Agregat Gabungan Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>	30
Tabel 3.6 Persyaratan Aspal Keras AC 60/70	30
Tabel 3.7 Persyaratan Serat Selulosa	31
Tabel 3.8 Kepadatan Air Sesuai Temperatur Saat Pengukuran	41
Tabel 4.1 Gradasi Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> 25 mm	53
Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%	54
Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%	55
Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%	55
Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%	55
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%	56
Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO	56
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit pada KAO	57
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	67
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	68
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng	68
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Filler</i>	68
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Untuk Menentukan KAO	68
Tabel 5.6 Berat Debu Batu dan Debu Bauksit	70
Tabel 5.7 Rekapitulasi Pengujian <i>Marshall</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit	71
Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian Nilai <i>VCA</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit	71
Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian <i>Draindown</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi	

Debu Bauksit	72
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Pengujian <i>IRS</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit	72
Tabel 5.11 Rekapitulasi Pengujian <i>IDP</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit	72
Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian <i>IDK</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit	73
Tabel 5.13 Rekapitulasi Pengujian <i>ITS</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit	73
Tabel 5.14 Rekapitulasi Nilai <i>TSR</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit	73
Tabel 5.15 Rekapitulasi Pengujian <i>Cantabro Loss</i> pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit	74
Tabel 5.16 Rekapitulasi Data Uji Statistika <i>ANOVA</i> untuk Pengaruh <i>Filler</i> Debu Bauksit Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	74
Tabel 5.17 Rekapitulasi Data Uji Statistika <i>ANOVA</i> untuk Pengaruh <i>Filler</i> Debu Bauksit Terhadap <i>IRS, IDP, IDK, ITS, TSR, VCA, Cantabro,</i> dan <i>Draindown</i>	75
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan <i>Filler</i> Debu Bauksit	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas	34
Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Flow</i>	35
Gambar 3.3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i>	36
Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i>	37
Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i>	38
Gambar 3.6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Density</i>	39
Gambar 3.7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i>	39
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> 25 mm	53
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	65
Gambar 5.1 Penentuan KAO dengan Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit 0%	69
Gambar 5.2 Debu Bauksit	70
Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas	79
Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Flow</i>	80
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>VITM</i>	81
Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>VMA</i>	82
Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>VCA</i>	83
Gambar 5.8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Draindown</i>	83
Gambar 5.9 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>IRS</i>	84
Gambar 5.10 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>VITM</i>	85
Gambar 5.11 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>VFWA</i>	86
Gambar 5.12 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>VMA</i>	88
Gambar 5.13 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>Density</i>	89
Gambar 5.14 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Stabilitas	90

Gambar 5.15 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai <i>Flow</i>	92
Gambar 5.16 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai <i>MQ</i>	93
Gambar 5.17 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>VCA</i>	94
Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>Draindown</i>	95
Gambar 5.19 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>Cantabro Loss</i>	96
Gambar 5.20 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>ITS</i>	98
Gambar 5.21 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>TSR</i>	99
Gambar 5.22 Grafik Hubungan antara Rendaman dan Stabilitas	100
Gambar 5.23 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>IRS</i>	101
Gambar 5.24 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>IDP</i>	102
Gambar 5.25 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap <i>IDK</i>	103
Gambar 5.26 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Nilai Kekuatan Sisa Satu Hari (<i>Sa</i>)	104

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	117
Lampiran 2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	118
Lampiran 3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70	119
Lampiran 4. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	120
Lampiran 5. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam <i>TCE</i>	121
Lampiran 6. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	122
Lampiran 7. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	123
Lampiran 8. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	124
Lampiran 9. Pemeriksaan Keausan Agregat Dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	125
Lampiran 10. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	126
Lampiran 11. Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	127
Lampiran 12. Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Debu Batu	128
Lampiran 13. Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Debu Bauksit	129
Lampiran 14. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>Marshall</i>	130
Lampiran 15. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>IRS</i>	131
Lampiran 16. Sifat Campuran <i>Void Course Aggregate (VCA)</i>	132
Lampiran 17. Sifat Campuran <i>Draindown</i>	133
Lampiran 18. Rekapitulasi Perhitungan KAO	134
Lampiran 19. Sifat Campuran Metode <i>Marshall</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	136
Lampiran 20. Rekapitulasi Perhitungan KAO pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	137
Lampiran 21. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>ITS</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	138
Lampiran 22. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>TSR</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	139
Lampiran 23. Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>ITS</i> dan <i>TSR</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	140

Lampiran 24. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>Cantabro Loss</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	141
Lampiran 25. Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>Cantabro Loss</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	142
Lampiran 26. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>Draindown</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	143
Lampiran 27. Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>Draindown</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	144
Lampiran 28. Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>Void Course Aggregate (VCA)</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	145
Lampiran 29. Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>Void Course Aggregate (VCA)</i> pada Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit	146
Lampiran 30. Hasil Analisis <i>ANOVA</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	147
Lampiran 31. Hasil Analisis <i>ANOVA</i> Terhadap <i>IRS, IDP, IDK, ITS, TSR, VCA, Cantabro Loss, dan Draindown</i>	148

DAFTAR NOTASI

A_0	=	Konstanta
A	=	Nilai absolut kehilangan selama satu hari (kg)
A	=	Persentase agregat dan aspal yang tertinggal (%)
B	=	Berat akhir piring penampung (gr)
C	=	Berat awal jumlah campuran yang diuji (gr)
a	=	Persentase aspal terhadap batu
a	=	Kehilangan kekuatan rerata satu hari (%)
b	=	Persentase aspal terhadap campuran
c	=	Berat benda uji sebelum direndam (gr)
d	=	Berat benda uji dalam keadaan jenuh (SSD) (gr)
e	=	Berat dalam air (gr)
f	=	Volume (cm ³)
g	=	Berat isi sampel (gr/cc)
G_{CA}	=	Berat jenis <i>bulk</i> dari fraksi campuran agregat kasar
G_{mb}	=	Berat jenis <i>bulk</i> dari campuran aspal yang telah dipadatkan
h	=	Berat jenis maksimum teoritis campuran
L	=	Persentase kehilangan berat (%)
l	=	Nilai <i>VMA</i> (%)
m	=	Nilai rongga terisi aspal (<i>VFWA</i>) (%)
MQ	=	Nilai <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
Mo	=	Berat sebelum di abrasi (gr)
Mi	=	Berat setelah di abrasi (gr)
n	=	Nilai rongga dalam campuran (<i>VITM</i>) (%)
P_{CA}	=	Persentase campuran agregat kasar dalam total campuran aspal
P_{runtuh}	=	Beban puncak (kg)
q	=	Nilai stabilitas (kg)
r	=	Nilai <i>flow</i> (mm)
r	=	Indeks penurunan stabilitas (%)

S_1	=	Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam
S_2	=	Stabilitas setelah direndam selama 24 jam
SA	=	Nilai absolut kekuatan sisa satu hari
S_a	=	Persentase kekuatan sisa satu hari (%)
S_o	=	Nilai absolut kekuatan awal (kg)
S_i	=	Persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%)
S_{i+1}	=	Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%)
S_1	=	Rata-rata nilai <i>ITS</i> tanpa rendaman
S_2	=	Rata-rata nilai <i>ITS</i> setelah perendaman 24 jam (kg)
t_{1+1}	=	Periode perendaman
V_s	=	Volume silinder takaran (m^3)
W_s	=	Berat silinder takaran (kg)
W_{s+w}	=	Berat silinder takaran dengan air (kg)
Y_w	=	Kepadatan atau berat satuan air pada suhu tertentu (kg/m^3)
Y_w	=	Berat satuan agregat kasar dalam kondisi <i>dry-rodded</i> (kg/m^3)

DAFTAR SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	=	<i>America Association of State Highway and Transport</i>
<i>ANOVA</i>	=	<i>Analysis of Variance</i>
IDP	=	Indeks Durabilitas Pertama
IDK	=	Indeks Durabilitas Kedua
<i>ITS</i>	=	<i>Indirect Tensile Strength</i>
<i>IRS</i>	=	<i>Index of Retained Strength</i>
KAO	=	Kadar Aspal Optimum
<i>MQ</i>	=	<i>Marshall Quotient</i>
<i>SMA</i>	=	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
SNI	=	Standar Nasional Indonesia
<i>TSR</i>	=	<i>Tensile Strength Ratio</i>
<i>VITM</i>	=	<i>Void in the Total Mix</i>
<i>VFWA</i>	=	<i>Void Filled With Asphalt</i>
<i>VMA</i>	=	<i>Void in Mineral Agregate</i>
<i>VCA</i>	=	<i>Void in Coarse Aggregate</i>
<i>VCA_{DRC}</i>	=	<i>Void Coarse Aggregate Dry Rodded Condition</i>
<i>VCA_{MIX}</i>	=	<i>Void Coarse Aggregate Mix</i>

ABSTRAK

Populasi penduduk yang semakin meningkat menimbulkan perkembangan volume lalu lintas jalan di Indonesia setiap tahunnya selalu meningkat. Peningkatan ini mengakibatkan daya tahan jalan juga membutuhkan peningkatan untuk menahan beban volume lalu lintas yang tinggi. Salah satu faktor untuk meningkatkan daya tahan jalan yaitu bahan perkerasan jalan. Bahan utama penyusun perkerasan jalan adalah agregat, aspal, dan *filler*. Pada daerah Kepulauan Riau terdapat material yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan *filler* yaitu debu bauksit. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui pengaruh debu bauksit sebagai substitusi *filler* terhadap kekuatan struktur, karakteristik volumetrik, dan durabilitas pada campuran *stone matrix asphalt*.

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

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentase substitusi debu bauksit terbaik sebesar 100%. Pada parameter kekuatan struktur berdasarkan nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *ITS*, menghasilkan campuran yang kaku, mampu menahan beban dan memiliki ketahanan terhadap *fatigue crack*. Pada parameter volumetrik berdasarkan *VITM*, *VFWA*, *VMA*, *VCA*, dan *density*, menghasilkan campuran yang berongga, selimut aspal yang baik, dan memiliki *stone-on-stone contact* yang baik. Pada parameter durabilitas berdasarkan *IRS*, *IDP*, *IDK*, *draindown*, *cantabro*, dan *TSR*, menghasilkan campuran yang memiliki ketahanan terhadap aus, homogen, dan memiliki ketahanan terhadap air, cuaca, serta suhu.

Kata kunci: Debu Bauksit, *Filler*, *Stone Matrix Asphalt*

ABSTRACT

The increasing population has resulted in the development of road traffic volumes in Indonesia which always increases every year. This increase means that road durability also needs to be increased to withstand high traffic volumes. One factor to increase road durability is road pavement materials. The main ingredients for road pavement are aggregate, asphalt and filler. In the Riau Islands area there is a material that can be used as a filler, namely bauxite dust. The aim of this research is to determine the effect of bauxite dust as a filler substitute on the structural strength, volumetric characteristics and durability of stone matrix asphalt mixtures.

The research began with physical testing of aggregate and asphalt materials, then determined the KAO value using stability, flow, VITM, VMA, VCA, draindown and IRS parameters. Next, tests were carried out in the form of marshall, ITS, TSR, IRS, IDP, IDK, VCA, draindown, and cantabro loss with bauxite dust filler substitution of 0%, 25%, 50%, 75%, and 100%. The standards used in this research refer to the Bina Marga Specifications (2018) Revision 2 and AASHTO.

The research results show that the best bauxite dust substitution percentage is 100%. The structural strength parameters are based on stability, flow, MQ and ITS values, resulting in a mixture that is stiff, able to withstand loads and has resistance to fatigue cracks. The volumetric parameters based on VITM, VFWA, VMA, VCA, and density, produce a mixture that is hollow, has a good asphalt blanket, and has good stone-on-stone contact. The durability parameters based on IRS, IDP, IDK, draindown, cantabro, and TSR, produce a mixture that is resistant to wear, homogeneous, and has resistance to water, weather, and temperature.

Keywords: Bauxite Dust, Filler, Stone Matrix Asphalt

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Populasi penduduk yang semakin meningkat menimbulkan perkembangan volume lalu lintas jalan di Indonesia setiap tahunnya selalu meningkat. Peningkatan volume lalu lintas tersebut dapat mengakibatkan daya tahan jalan juga membutuhkan peningkatan untuk menahan beban volume lalu lintas yang tinggi. Salah satu faktor untuk meningkatkan daya tahan jalan yaitu bahan perkerasan jalan.

Perkerasan jalan merupakan campuran antara agregat dan bahan pengikat yang digunakan untuk melayani beban lalu lintas. Bahan utama campuran penyusun perkerasan jalan adalah agregat, aspal, dan bahan pengisi (*filler*). Aspal merupakan aspek terpenting dalam penyusun perkerasan jalan. Campuran aspal yang mempunyai kadar aspal yang relatif tinggi dan dapat memenuhi sifat rongga yang terisi aspal sehingga daya tahan aspal meningkat adalah *stone matrix asphalt*. *Stone matrix asphalt* dapat diterapkan di Indonesia yang memiliki iklim tropis dan memiliki volume lalu lintas yang tinggi.

Stone matrix asphalt merupakan jenis campuran beraspal panas yang dapat digunakan sebagai lapis permukaan dengan beberapa karakteristik lapisan yang dapat memberikan keuntungan bagi pengendara karena mempunyai ketahanan gelincir (*skid resistant*) yang cukup tinggi. Bahan penyusun *filler* pada campuran *stone matrix asphalt* umumnya dihasilkan dari mesin pemecah batu semakin lama semakin terbatas dan mahal, salah satu alternatif adalah menggunakan material yang berasal dari daerah sendiri sehingga dapat meminimalisir biaya transportasi.

Pada daerah Kepulauan Riau terdapat material yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan *filler* yaitu debu bauksit. Bauksit pada daerah Kepulauan Riau memiliki ketersediaan yang cukup banyak karena pada salah satu daerah yang berada di Kepulauan Riau yaitu Pulau Bintan dengan luas sekitar 110 ribu hektar mengandung hampir 70%-80% bauksit. Salah satu penelitian yang menggunakan

bauksit adalah Lisantono (2018) melakukan penelitian tentang batu bauksit pulau bintang sebagai pengganti agregat kasar pada beton geopolimer, yang mana dari penelitian ini menunjukkan semakin meningkatnya kadar agregat bauksit maka kuat tekan beton geopolimer juga akan semakin meningkat. Pada penelitian yang dilakukan oleh Xiong (2021) tentang kinerja kekesatan campuran aspal yang terdiri dari bauksit terkalsinasi dan agregat batu kapur yang mana dari penelitian ini menunjukkan uji PSV dengan bauksit terkalsinasi lebih baik daripada batu kapur, sementara itu pada proporsi campuran 25%-50% dapat meningkatkan daya tahan dan kinerja kekesatan untuk perkerasan jalan.

Pada penelitian ini menggunakan debu bauksit sebagai substitusi *filler* pada campuran *Stone Matrix Asphalt*. Bauksit merupakan material yang sangat mudah dijumpai terutama pada wilayah Kepulauan Riau, penggunaan debu bauksit juga belum banyak digunakan pada konstruksi. Penelitian ini akan menggunakan campuran *stone matrix asphalt* dengan debu bauksit sebagai bahan substitusi nya, serta untuk mengetahui apakah penggunaan debu bauksit layak pada campuran aspal *stone matrix asphalt*.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* terhadap kekuatan struktur campuran *stone matrix asphalt* ?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* terhadap karakteristik volumetrik campuran *stone matrix asphalt* ?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* terhadap durabilitas campuran *stone matrix asphalt* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* terhadap kekuatan struktur campuran *stone matrix asphalt*.

2. Mengetahui pengaruh penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* terhadap karakteristik volumetrik campuran *stone matrix asphalt*.
3. Mengetahui pengaruh penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* terhadap durabilitas campuran *stone matrix asphalt*.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Memberikan pengetahuan dalam hal substitusi yang menggunakan debu bauksit sebagai pengganti *filler*, khususnya metode campuran *stone matrix asphalt*.
2. Mengetahui kelebihan-kelebihan yang dapat dihasilkan dari substitusi campuran dalam hal ini debu bauksit pengganti *filler* dan campurannya *stone matrix asphalt*.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian dilakukan agar dapat terarah dan tepat sasaran, adalah sebagai berikut :

1. Peraturan yang digunakan adalah *AASHTO* dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.
2. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal Pertamina Pen 60/70.
3. Agregat kasar diperoleh dari yang ada di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
4. Agregat halus diperoleh dari yang ada di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
5. Pengganti *filler* debu bauksit diperoleh dari Kota Batam, Provinsi Kepulauan Riau.
6. Variasi substitusi debu bauksit yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.
7. Serat Selulosa yang digunakan adalah pabrikasi VIATOP⁶⁶.
8. Bahan Pengisi yang digunakan adalah debu batu.

9. Tinjauan pengujian terhadap kekuatan struktur berdasarkan stabilitas, *flow*, *MQ*, dan *ITS*.
10. Tinjauan pengujian terhadap karakteristik volumetrik campuran aspal berdasarkan *density*, *VITM*, *VFWA*, *VMA*, dan *VCA*.
11. Tinjauan pengujian terhadap durabilitas campuran aspal berdasarkan *IRS*, *IDP*, *IDK*, *TSR*, *draindown*, dan *cantabro Loss*
12. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
13. Penelitian ini tidak menguji kandungan unsur mineral yang terkandung dalam debu bauksit.
14. Pada penelitian ini tidak menguji stabilitas dinamis.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Campuran Aspal dengan Berbagai Alternatif *Filler* Pengganti

Filler atau bahan pengisi adalah agregat yang umumnya lolos saringan no.200 dan berfungsi mengisi rongga antara partikel agregat kasar dalam rangka mengurangi besarnya rongga, meningkatkan kerapatan dan stabilitas dari massa tersebut. *Filler* dapat membuat rongga udara lebih kecil dan kerapatan massanya lebih besar.

Penelitian yang dilakukan Hidayati (2018) tentang penggunaan debu sekam padi sebagai *filler* pada campuran aspal *stone matrix asphalt*, untuk mengetahui pengaruh pada campuran dengan metode pengujian *marshall*, *immersion*, *ITS*, *cantabro*, serta *poisson ratio*. Debu sekam padi sebagai pengganti *filler* dapat meningkatkan kemampuan campuran hingga kadar debu sekam padi 50% dan menurunnya kemampuannya ketika kadar debu sekam padi sebagai *filler* pengganti berlebih.

Pada Penelitian yang dilakukan Bancin (2021) tentang pengaruh penggunaan tanah merah sebagai *filler* pada campuran AC-BC untuk mengetahui pengaruh dalam campuran terhadap sifat karakteristik parameter *marshall*. Tanah merah sebagai pengganti *filler* menghasilkan bertambahnya penggunaan kadar *filler* maka semakin berpengaruh terhadap campuran aspal, nilai stabilitas yang didapatkan mencapai spesifikasi yang sudah ditetapkan yaitu Spesifikasi Bina Marga 2010 Divisi 6 Revisi III. Penggunaan debu tanah merah yang lolos saringan 200 sebagai *filler* pengganti debu batu pada campuran aspal beton AC-BC yang menggunakan jenis aspal penetrasi 60/70 dapat memenuhi syarat spesifikasi Umum Bina Marga 2010.

Penelitian yang dilakukan Chasanah dan Sukmo (2023) tentang pengaruh bubuk talk sebagai *filler* pada campuran AC-WC, untuk mengetahui pengaruh pada campuran dengan metode pengujian *marshall*, *ITS*, dan *Cantabro*. Hasil

pengujian *Marshall* menunjukkan perubahan karakteristik *Marshall* cukup signifikan yaitu kemampuan campuran menahan beban semakin meningkat dan kelelahan semakin meningkat. Kemampuan menahan gaya tarik (*Indirect Tensile Strength*) campuran AC-WC seiring peningkatan proporsi *filler* bubuk talk meningkat hingga kadar 50%, setelah itu mengalami penurunan pada kadar substitusi 75% dan 100%. Pada nilai *Cantabro* mengalami penurunan akibat bubuk talk sebagai *filler* pengganti.

Penelitian yang dilakukan Aditya (2021) tentang pengaruh pemanfaatan tras sebagai bahan pengisi pengganti terhadap campuran *Split Mastic Asphalt*, untuk mengetahui pengaruh pada campuran dengan metode pengujian *Marshall*, *IRS*, *ITS*, dan *Cantabro*. Pada pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa campuran ini mampu menghadapi beban lalu lintas dengan baik serta mempertahankan kelenturan. Pada pengujian *ITS* campuran tersebut memiliki kemampuan untuk menahan kuat tarik tak langsung, pada pengujian *Cantabro* campuran mampu menahan disintegrasi akibat benturan. Nilai durabilitas pada pengujian *IRS* memenuhi semua persyaratan Bina Marga 2018 $\geq 90\%$.

Penelitian yang dilakukan Rahayu dan Fauziah (2018) tentang kinerja campuran *Split Mastic Asphalt* dengan *filler* serbuk batu bata akibat lama rendaman air laut, untuk mengetahui pengaruh pada campuran dengan metode pengujian *Marshall*, *Immersion*, *ITS*, *Cantabro*, dan *Permeability*. Penggunaan bahan pengisi serbuk batu bata pada kadar 50% merupakan kadar optimal pada campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan perendaman air laut.

Penelitian yang dilakukan Hidayat dan Kushari (2019) tentang penggunaan abu ampas tebu sebagai *filler* pada campuran *Stone Matrix Asphalt*, untuk mengetahui pengaruh pada campuran dengan metode pengujian *Marshall*, *IRS*, *ITS*, dan *Cantabro*. Berdasarkan pengujian didapatkan kadar *filler* abu ampas tebu 50%, karena menghasilkan campuran stabilitas lebih tinggi daripada campuran tanpa *filler* abu ampas tebu dan nilai *flow* meningkat menjadikan campuran ini lebih tahan terhadap retak.

Penelitian yang dilakukan Yuniarti (2019) tentang penggunaan limbah kaca sebagai *filler* pada campuran AC-BC, untuk mengetahui pengaruh pada campuran

dengan metode pengujian *Marshall*, *Immersion*, *ITS*, dan *Cantabro*. Berdasarkan pengujian menunjukkan kadar limbah kaca optimum pada kadar 75% terhadap berat total *filler*, dikarenakan stabilitas dan kekakuan meningkat sehingga campuran memiliki kemampuan menahan pembebanan.

Penelitian yang dilakukan Gunawan (2021) tentang penggunaan batu gamping sebagai *filler* pada campuran AC-BC, untuk mengetahui pengaruh pada campuran dengan metode pengujian *Marshall*. Berdasarkan pengujian didapatkan hasil yang memenuhi persyaratan sehingga dapat dijadikan acuan dalam pembuatan *Job Mix Formula* sebagai pengaplikasian di lapangan.

Penelitian yang dilakukan Alpius dan Mangontan R (2021) tentang penggunaan limbah gypsum sebagai substitusi *filler* pada campuran *Stone Matrix Asphalt*, untuk mengetahui pengaruh pada campuran dengan metode pengujian *Marshall* dan *Immersion*. Berdasarkan pengujian seluruh kadar proporsi limbah gypsum memperoleh waktu stabilitas *marshall* memenuhi persyaratan batas yaitu $\geq 90\%$ sehingga campuran tahan terhadap perendaman dalam air.

Penelitian yang dilakukan Rahman (2023) tentang pengaruh substitusi *fly ash* sebagai *filler* pada campuran *Superpave*, untuk mengetahui pengaruh pada campuran dengan metode pengujian *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro*, dan *WTM*. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa persentasi substitusi *fly ash* terbaik sebesar 100% baik pada campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70.

2.2 Pemanfaatan Bauksit Pada Perkerasan Jalan

Bauksit merupakan hasil proses pelapukan dari batuan granit yang merupakan batuan dasar dari pulau Bintan dan sekitarnya. Wilayah Pulau Bintan yang memiliki luas sekitar 110 ribu hektar mengandung hampir 70%-80% bauksit. Dengan tingginya pembangunan infrastruktur jalan, maka permintaan agregat halus juga akan meningkat. Dengan memanfaatkan bauksit sebagai *filler* akan memberikan manfaat dikarenakan tidak perlunya pengambilan *filler* dari luar daerah. Debu bauksit juga memiliki sifat *pozzolan* yaitu mengandung senyawa silika dan alumina, yang tidak mempunyai sifat semen, akan tetapi dalam bentuk halusnya dan dengan adanya air dapat menjadi suatu massa padat yang tidak larut

dalam air. Sehingga sangat populer digunakan sebagai bahan tambah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis beton semen.

Zulkhairi dan Hardiyatmo (2012) melakukan penelitian tentang kajian karakteristik tanah bauksit sebagai bahan konstruksi jalan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa campuran bauksit dengan berbagai kadar semen dan kapur padam memiliki pengaruh yang signifikan terhadap beberapa karakteristik penting perkerasan jalan. Kadar semen sebesar 6%, 8%, dan 10% dapat meningkatkan nilai *CBR* rendaman, kekuatan tekan bebas (*UCS*), dan durabilitas campuran secara signifikan. Sementara itu, stabilisasi dengan kadar kapur padam 2,5%, 4,5%, dan 6,5% juga memberikan peningkatan pada beberapa parameter tersebut. Sebelum distabilisasi, tanah bauksit dapat digunakan sebagai *subgrade* dan *subbase* dengan syarat tertentu. Selain itu, penggunaan lapis pondasi berbahan tanah bauksit-semen dengan lebar jalan 4 meter, panjang 1000 meter, dan tebal 20 cm menunjukkan efisiensi nilai ekonomis yang signifikan dibandingkan dengan lapis pondasi agregat kelas A. Hal ini mengindikasikan potensi penggunaan tanah bauksit dalam berbagai aplikasi konstruksi jalan, termasuk sebagai bahan kelas C dan waterbound macadam pada lapis pondasi jalan tanpa penutup aspal, terutama setelah mengalami proses stabilisasi dengan semen.

2.3 Pemanfaatan Bauksit Pada Campuran Beton

Beton merupakan bahan bangunan yang pada umumnya terbuat dari bahan semen, air, agregat halus dan agregat kasar. Produksi semen merupakan salah satu penyumbang dalam pemanasan *global (global warming)*. Salah satu upaya untuk mengurangi pemanasan global adalah mengurangi penggunaan semen dalam beton. Untuk mengurangi limbah industri, perlu diupayakan pemanfaatan limbah sebagai bahan yang bermanfaat. Salah satu limbah yang mengandung alumina adalah batu bauksit yang merupakan ampas lumpur merah dari sisa pembuatan biji bauksit menjadi Al_2O_3 (alumina).

Lisantono (2018) melakukan Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi potensi penggunaan residu bauksit sebagai basis agregat kasar dalam pembuatan beton geopolimer, mengingat kandungan larutan alkali aluminosilikat yang dimiliki oleh residu bauksit sebagai hasil dari proses pemrosesan bijih bauksit.

Dalam penelitian ini, *fly ash* digunakan sebagai bahan dasar utama dalam pembuatan beton geopolimer, dengan variasi persentase aktivator dan *fly ash* sebesar 30%, 40%, dan 50% terhadap massa total beton geopolimer. Selain itu, batu bauksit dieksplorasi sebagai pengganti agregat kasar dalam beton geopolimer, dengan variasi persentase agregat sebesar 70%, 60%, dan 50%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa peningkatan persentase agregat dalam beton geopolimer berdampak pada peningkatan kuat tekan beton geopolimer. Penelitian ini mengungkap bahwa campuran dengan 70% agregat (dengan komposisi batu bauksit 65% dan pasir 35%) dan 30% *fly ash* serta aktivator menunjukkan kuat tekan maksimal, dengan nilai 49,342 MPa dan modulus elastisitas 34.743 MPa pada umur 28 hari.

2.4 Penggunaan Bauksit Pada Campuran Aspal

Penelitian yang dilakukan oleh Xiong (2021) menggunakan bauksit hasil pemanasan (kalsinasi), bauksit terkalsinasi akan digunakan untuk meningkatkan kinerja kekesatan pada perkerasan jalan. Pada penelitian ini dihasilkan nilai *Polished Stone Value (PSV)* menunjukkan bahwa penggunaan bauksit terkalsinasi lebih baik daripada batu gamping, sementara itu dengan proporsi campuran 25%-50% dari berat agregat pada campuran aspal menunjukkan kinerja kekesatan perkerasan aspal meningkat secara signifikan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan bauksit terkalsinasi dapat meningkatkan daya tahan dan kinerja kekesatan untuk perkerasan aspal.

2.5 Penelitian Terkait Substitusi *Filler* Terhadap Campuran Aspal

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

Tabel 2.1 Penelitian Terkait Substitusi *Filler* Terhadap Campuran Aspal

No	Aspek	Peneliti		
		Hidayati (2018)	Chasanah dan Sukmo (2023)	Penulis
1	Judul	Pengaruh Debu Sekam Padi Sebagai <i>Filler</i> Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> (SMA)	Pengaruh Bubuk Talk Sebagai Bahan <i>Filler</i> Pengganti pada Campuran AC-WC	Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Karakteristik Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>
2	Jenis Campuran	<i>Stone Matrix Asphalt</i>	AC-WC	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
3	Bahan Yang Digunakan	Debu Sekam Padi	Bubuk Talk	Debu Bauksit
4	Pengujian	<i>Marshall, Immersion, ITS, Cantabro,</i> serta <i>Poisson Ratio.</i>	<i>Marshall, ITS, dan Cantabro</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, TSR, IDP, IDK, VCA, Draindown dan Cantabro</i>

Sumber : Hidayati (2018), Chasanah dan Sukmo (2023)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Hidayati (2018)	Chasanah dan Sukmo (2023)	Penulis
5	Hasil	<p>Hasil penelitian ini mengindikasikan bahwa terjadi peningkatan nilai stabilitas campuran SMA 12,5 mm seiring dengan peningkatan kadar <i>filler</i> pengganti aspal (ASP) hingga mencapai kadar 50%, yang mencapai nilai 49,382%. Namun, nilai stabilitas tersebut menurun pada kadar ASP 75%, dengan nilai 15,025%. Selain itu, terdapat peningkatan signifikan pada nilai <i>flow</i> sebesar 36,129% seiring dengan peningkatan kadar <i>filler</i>. Meskipun demikian, nilai <i>MQ</i> cenderung mengikuti pola yang sama dengan stabilitas,</p>	<p>Hasil pengujian <i>marshall</i> menunjukkan bahwa campuran mengalami perubahan karakteristik <i>marshall</i> cukup signifikan yaitu pada kemampuan campuran menahan beban semakin meningkat dan kelelahan semakin meningkat. Hal ini dapat dilihat pada nilai stabilitas mengalami peningkatan, <i>flow</i> mengalami peningkatan, nilai <i>MQ</i> mengalami kenaikan, <i>VITM</i> mengalami peningkatan, <i>density</i> mengalami peningkatan, <i>VFWA</i> mengalami penurunan dan <i>VMA</i> mengalami penurunan. Kemampuan menahan gaya tarik (<i>Indirect Tensile Strength</i>) campuran AC-WC seiring peningkatan proporsi <i>filler</i> bubuk talk meningkat</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentasi substitusi debu bauksit terbaik sebesar 100%. Pada parameter kekuatan struktur berdasarkan nilai stabilitas, <i>flow</i>, <i>MQ</i>, dan <i>ITS</i>, menghasilkan campuran yang kaku, mampu menahan beban dan memiliki ketahanan terhadap <i>fatigue crack</i>. Pada parameter volumetrik berdasarkan <i>VITM</i>, <i>VFWA</i>, <i>VMA</i>, <i>VCA</i>, dan <i>density</i>, menghasilkan campuran yang berongga, selimut aspal yang baik, dan memiliki <i>stone-on-stone contact</i> yang baik.</p>

Sumber : Hidayati (2018), Chasanah dan Sukmo (2023)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Hidayati (2018)	Chasanah dan Sukmo (2023)	Penulis
5	Hasil	dengan peningkatan hingga kadar ASP 50% dan penurunan pada kadar ASP 75%. Namun, perlu diperhatikan bahwa nilai <i>IRS</i> pada kadar <i>filler</i> pengganti ASP 0% kurang dari 90%, yakni sebesar 86,997%, sehingga tidak memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga (2010). namun pada kadar ASP 25%, 50% dan 75% memenuhi spesifikasi Bina Marga (2010) yaitu 93,755%, 90,449% dan 93,901%. Nilai <i>ITS</i> mengalami kenaikan sebesar 11,270% pada kadar <i>filler</i> pengganti ASP 25% dari kondisi awal campuran, lalu mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar ASP. Nilai <i>cantabro loss</i> pada kadar <i>filler</i> pengganti ASP 0%, 25% dan 50% memenuhi syarat Bina Marga (2010) $\leq 20\%$ yaitu sebesar 4,964%, 7,592% dan 10,730%, namun pada kadar ASP 75% melebihi syarat yaitu sebesar 45,98%. Selain itu, angka <i>poisson</i> mengalami kenaikan sebesar 37,187% seiring bertambah kadar <i>filler</i> pengganti ASP.	hingga pada kadar <i>filler</i> pengganti 50%, setelah itu nilai <i>ITS</i> menurun seiring bertambahnya kadar <i>filler</i> pengganti 75%, dan 100%. Nilai <i>cantabro</i> pada campuran AC-WC yang menggunakan bubuk talk sebagai <i>filler</i> pengganti mengalami penurunan, dengan semakin banyaknya persentasi pengganti <i>filler</i> bubuk talk.	Pada parameter durabilitas berdasarkan <i>IRS</i> , <i>IDP</i> , <i>IDK</i> , <i>draindown</i> , <i>cantabro</i> , dan <i>TSR</i> , menghasilkan campuran yang memiliki ketahanan terhadap aus, homogen, dan memiliki ketahanan terhadap air, cuaca, serta suhu.

Sumber : Hidayati (2018), Chasanah dan Sukmo (2023)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Aditya (2021)	Rahayu dan Fauziah (2018)	Penulis
1	Judul	Pengaruh Pemanfaatan Tras Sebagai Bahan Pengisi Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran <i>Split Mastic Asphalt (SMA)</i>	Kinerja Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> Dengan <i>Filler</i> Sebuk Batu Bata Akibat Lama Rendaman Air Laut	Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Karakteristik Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>
2	Jenis Campuran	<i>Split Mastic Asphalt</i>	<i>Split Mastic Asphalt</i>	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
3	Bahan Yang Digunakan	batu tras Rembang	Serbuk Batu Bata	Debu Bauksit
4	Pengujian	<i>Marshall, Index of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, dan Cantabro</i>	KAO, <i>Marshall test, Immersion, Indirect Tensile Strength, Cantabro, dan Permeability</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, TSR, IDP, IDK, VCA, Draindown dan Cantabro</i>

Sumber : Aditya (2021), Rahayu dan Fauziah (2018)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Aditya (2021)	Rahayu dan Fauziah (2018)	Penulis
5	Hasil	<p>Penelitian ini menunjukkan penggunaan substitusi batu trass Rembang sebagai <i>filler</i> pengganti pada campuran <i>split mastic asphalt</i>, dengan berbagai variasi substitusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan batu trass Rembang sebagai <i>filler</i> mampu memenuhi persyaratan yang ditetapkan dan dapat digunakan sebagai pengganti <i>filler</i> Clereng. Pengujian karakteristik <i>marshall</i> menunjukkan bahwa campuran ini mampu menghadapi beban lalu lintas dengan baik serta mempertahankan kelenturan.</p>	<p>Hasil pengujian menunjukkan peningkatan nilai stabilitas, <i>MQ</i>, <i>IRS</i> dan <i>ITS</i> yang optimum pada kadar penggantian <i>filler</i> 50%, namun nilai <i>flow</i> menunjukkan penurunan optimal pada variasi tersebut. Begitu pula dengan nilai <i>VITM</i> dan <i>VMA</i> meningkat, namun nilai <i>VFWA</i> dan <i>density</i> mengalami penurunan dengan puncak optimum pada kadar <i>filler</i> 50%. Pada simulasi perendaman air laut, nilai stabilitas paling besar mengalami penurunan pada kandungan <i>filler</i> 50%. 12,54% pada perendaman 48 jam dan 22,51% pada perendaman 96 jam. Penurunan nilai <i>flow</i> terbesar terjadi pada kadar <i>filler</i> 100% sebesar 6,03% pada perendaman 48 jam dan 10,64% pada perendaman 96 jam. Penurunan nilai <i>MQ</i> terbesar terjadi</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentasi substitusi debu bauksit terbaik sebesar 100%. Pada parameter kekuatan struktur berdasarkan nilai stabilitas, <i>flow</i>, <i>MQ</i>, dan <i>ITS</i>, menghasilkan campuran yang kaku,</p>

Sumber : Aditya (2021), Rahayu dan Fauziah (2018)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Aditya (2021)	Rahayu dan Fauziah (2018)	Penulis
5	Hasil	<p>Sementara itu, uji <i>indirect tensile strength</i> menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki kemampuan untuk menahan kuat tarik tak langsung, menambah bukti akan potensi aplikatifnya dalam konstruksi perkerasan jalan. Pada uji <i>cantabro</i> campuran mampu menahan disintegrasi akibat benturan. Nilai durabilitas pada uji <i>IRS</i> memenuhi semua persyaratan Bina marga 2018 $\geq 90\%$.</p>	<p>pada kadar <i>filler</i> 50% sebesar 8,29% pada perendaman 48 jam dan 5,88% pada perendaman 96 jam. Pada uji <i>cantabro</i> terjadi peningkatan penurunan berat. Pada 75% dan Kadar <i>filler</i> 100%, mempunyai penurunan bobot melebihi spesifikasi Bina Marga yaitu maksimal sebesar 20%. Permeabilitas menggunakan bahan pengisi serbuk batu bata menunjukkan indikator <i>poor drainage</i>. Yang direkomendasikan dari penelitian bahwa kadar bahan pengisi serbuk bata 50% merupakan kadar optimal pada campuran <i>SMA 0/11</i> dengan perendaman air laut.</p>	<p>mampu menahan beban dan memiliki ketahanan terhadap <i>fatigue crack</i>. Pada parameter volumetrik berdasarkan <i>VITM, VFWA, VMA, VCA</i>, dan <i>density</i>, menghasilkan campuran yang berongga, selimut aspal yang baik, dan memiliki <i>stone-on-stone contact</i> yang baik. Pada parameter durabilitas berdasarkan <i>IRS, IDP, IDK, draindown, cantabro</i>, dan <i>TSR</i>, menghasilkan campuran yang memiliki ketahanan terhadap aus, homogen, dan memiliki ketahanan terhadap air, cuaca, serta suhu.</p>

Sumber : Aditya (2021), Rahayu dan Fauziah (2018)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Hidayat dan Kushari (2019)	Yuniarti (2019)	Penulis
1	Judul	Analisis Karakteristik Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> Dengan Abu Ampas Tebu Sebagai <i>Filler</i> Pengganti	Penggunaan Limbah Kaca Sebagai <i>Filler</i> pada Campuran Perkerasan Aspal Panas	Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Karakteristik Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>
2	Jenis Campuran	<i>Stone Matrix Asphalt</i>	AC-BC	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
3	Bahan Yang Digunakan	Abu Ampas Tebu	Limbah Kaca	Debu Bauksit
4	Pengujian	<i>Marshall, IRS, ITS, dan Cantabro</i>	<i>Marshall, Immersion, ITS, dan Cantabro Loss</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, TSR, IDP, IDK, VCA, Draindown dan Cantabro</i>

Sumber : Hidayat dan Kushari (2019), Yuniarti (2019)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Hidayat dan Kushari (2019)	Yuniarti (2019)	Penulis
5	Hasil	Dari hasil penelitian ini didapatkan peningkatan pada nilai stabilitas campuran SMA seiring bertambahnya kadar <i>filler</i> pengganti abu ampas tebu hingga kadar 25% sebesar 39,73% yaitu sebesar 1199,484 kg, lalu turun mulai pada kadar abu ampas tebu 50% dan 75% sampai nilai stabilitas 901,116 kg. Peningkatan nilai <i>flow</i> terjadi pada kadar abu ampas tebu 50% dan 75%. Nilai <i>MQ</i> cenderung sama seperti stabilitas. Nilai <i>IRS</i> pada kadar <i>filler</i> pengganti 0%, 25%, dan 50% yaitu 95,051%, 97,318%, dan 97,794% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga (2010) lebih dari 90%, sedangkan pada kadar abu ampas tebu 75% sebesar 88,280% belum memenuhi standar dari Bina Marga. Nilai <i>ITS</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan limbah kaca dengan proporsi 75% terhadap total berat <i>filler</i> meningkatkan stabilitas dan kekakuan campuran sehingga lebih mampu untuk menerima pembebanan. Campuran dengan proporsi 75% <i>filler</i> limbah kaca menghasilkan nilai <i>VIM</i> dan <i>VMA</i> lebih kecil serta nilai <i>VFB</i> lebih besar yang mengindikasikan bahwa campuran memiliki daya ikat	Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentasi substitusi debu bauksit terbaik sebesar 100%. Pada parameter kekuatan struktur berdasarkan nilai stabilitas, <i>flow</i> , <i>MQ</i> , dan <i>ITS</i> , menghasilkan campuran yang kaku, mampu menahan beban dan memiliki ketahanan terhadap <i>fatigue crack</i> . Pada parameter volumetrik berdasarkan <i>VITM</i> , <i>VFWA</i> , <i>VMA</i> , <i>VCA</i> , dan <i>density</i> , menghasilkan campuran yang berongga,

Sumber : Hidayat dan Kushari (2019), Yuniarti (2019)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Hidayat dan Kushari (2019)	Yuniarti (2019)	Penulis
5	Hasil	<p>mengalami kadar 50% dengan hasil 16,887 kg/cm². Nilai <i>cantabro</i> pada kadar <i>filler</i> pengganti abu ampas tebu mengalami kenaikan seiring penambahan kadar <i>filler</i> dengan nilai paling besar pada kadar abu ampas tebu 75% sebesar 14,280%, namun tetap memenuhi standar persyaratan Bina Marga yaitu < 20%. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan campuran dengan kadar <i>filler</i> abu ampas tebu 25% lebih kuat daripada campuran tanpa abu ampas tebu dalam menahan beban karena stabilitas yang tinggi namun dengan <i>flow</i> yang rendah campuran menjadi kurang plastis dan mudah retak (<i>cracking</i>). Sedangkan campuran dengan <i>filler</i> abu ampas tebu 50% nilai stabilitas lebih tinggi dari pada campuran tanpa <i>filler</i> abu ampas tebu dan nilai <i>flow</i> meningkat menjadikan campuran ini lebih tahan terhadap retak (<i>cracking</i>).</p>	<p>dan sifat saling mengunci yang kuat sehingga menghasilkan rongga lebih kecil serta selimut aspal lebih tebal. Berdasarkan hasil uji <i>marshall immersion</i> dan <i>cantabro loss</i>, campuran dengan proporsi tersebut lebih tahan terhadap rendaman air sehingga memiliki durabilitas lebih tinggi serta lebih tahan terhadap potensi disintegrasi.</p>	<p>selimut aspal yang baik, dan memiliki <i>stone-on-stone contact</i> yang baik. Pada parameter durabilitas berdasarkan <i>IRS</i>, <i>IDP</i>, <i>IDK</i>, <i>draindown</i>, <i>cantabro</i>, dan <i>TSR</i>, menghasilkan campuran yang memiliki ketahanan terhadap aus, homogen, dan memiliki ketahanan terhadap air, cuaca, serta suhu.</p>

Sumber : Hidayat dan Kushari (2019), Yuniarti (2019)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Gunawan (2021)	Alpius dan Mangontan R (2021)	Penulis
1	Judul	Pengaruh Penggunaan Batu Gamping Desa Tabarenah Sebagai <i>Filler</i> Pada Campuran Aspal AC-BC (<i>Asphalt Concrete Binder Course</i>)	Pengaruh Pemanfaatan Limbah Gypsum Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Pada <i>Stone Matrix Asphalt</i>	Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Karakteristik Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>
2	Jenis Campuran	AC-BC	<i>Stone Matrix Asphalt</i>	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
3	Bahan Yang Digunakan	Batu Gamping	Limbah Gypsum	Debu Bauksit
4	Pengujian	<i>Marshall</i>	<i>Marshall</i> dan <i>Immersion</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, TSR, IDP, IDK, VCA, Draindown</i> dan <i>Cantabro</i>

Sumber : Gunawan (2021), Alpius dan Mangontan R (2021)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Gunawan (2021)	Alpius dan Mangontan R (2021)	Penulis
5	Hasil	<p>Hasil pengujian kadar aspal optimum diperoleh kadar aspal optimum 5.5%, stabilitas 1270 kg, <i>Marshall Quotient (MQ)</i> 320 kg/mm, <i>VMA</i> 22,00%, <i>VIM</i> 4,50 %, <i>Flow</i> 3,90 mm, <i>VFB</i> 93,00%%, <i>Kepadatan</i> 2,270 t/m³, Hasil ini memenuhi persyaratan yang disyaratkan sehingga dapat dijadikan acuan dalam pembuatan <i>job mix formula</i> sebagai pelaksana/aplikasi di lapangan.</p>	<p>Hasil dari penelitian yang dilakukan di Laboratorium Jalan dan Aspal Fakultas Teknik, Jurusan Sipil Universitas Kristen Indonesia Paulus Makassar melalui <i>Marshall</i> uji perendaman diperoleh campuran <i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i> dengan proporsi limbah gypsum sebagai substitusi bahan pengisi semen yaitu 100%:0%, 75%:25%, 50%:50%, 25%: 75%, 0%: 100% memenuhi persyaratan yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Spesifikasi Umum 2018. Uji hasil untuk campuran <i>marshall Immersion, Stone Matrix Asphalt (SMA)</i> kasar seluruhnya proporsi limbah gypsum untuk memperoleh Waktu Stabilitas Marshall memenuhi persyaratan batas, yaitu $\geq 90\%$ sehingga campuran tahan terhadap perendaman dalam air.</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentasi substitusi debu bauksit terbaik sebesar 100%. Pada parameter kekuatan struktur berdasarkan nilai stabilitas, <i>flow</i>, <i>MQ</i>, dan <i>ITS</i>, menghasilkan campuran yang kaku, mampu menahan beban dan memiliki ketahanan terhadap <i>fatigue crack</i>.</p>

Sumber : Gunawan (2021), Alpius dan Mangontan R (2021)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Bancin (2021)	Rahman (2023)	Penulis
1	Judul	Pengaruh Penggunaan Tanah Merah Sebagai <i>Filler</i> Pada Campuran Aspal AC-BC Terhadap Nilai <i>Marshall</i>	Pengaruh Substitusi <i>Fly Ash</i> Sebagai <i>Filler</i> Terhadap Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> Dengan Bahan-Ikat PEN 60/70 dan PG-70	Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi <i>Filler</i> Terhadap Karakteristik Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i>
2	Jenis Campuran	AC-BC	<i>Superpave</i>	<i>Stone Matrix Asphalt</i>
3	Bahan Yang Digunakan	Tanah Merah	<i>Fly Ash</i>	Debu Bauksit
4	Pengujian	Karakteristik <i>Marshall</i>	<i>Marshall Standard, Index of Retained Strength (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR), Cantabro Loss (CL), dan Wheel Tracking Machine (WTM)</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, TSR, IDP, IDK, VCA, Draindown dan Cantabro</i>

Sumber : Bancin (2021) dan Rahman (2023)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Bancin (2021)	Rahman (2023)	Penulis
5	Hasil	<p>Hasil pengujian <i>marshall</i> menunjukkan bahwa penggunaan <i>filler</i> tanah merah dengan variasi 2% menghasilkan nilai stabilitas rata-rata sebesar 1325 kg dan kelelahan sebesar 3,40 mm. Sementara itu, penggunaan <i>filler</i> tanah merah dengan variasi 4% menghasilkan nilai stabilitas rata-rata sebesar 1265 kg dan kelelahan sebesar 3,55 mm. Hasil pengujian ini menegaskan bahwa penggunaan tanah merah sebagai <i>filler</i> pada campuran aspal memiliki potensi sebagai pengisi rongga dalam campuran lapisan aspal AC-BC.</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentasi substitusi <i>fly ash</i> terbaik sebesar 100% baik pada campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70. Pada sifat volumetrik substitusi <i>fly ash</i> mampu menurunkan nilai <i>VITM</i>, <i>Flow</i> dan <i>density</i> seiring bertambahnya kadar substitusi dan meningkatkan nilai <i>VMA</i>, dan <i>VFWA</i>. Penggunaan <i>fly ash</i> mampu meningkatkan kinerja stabilitas <i>marshall</i> dan meningkatkan kekuatan tarik tidak langsung yang diperoleh dari pengujian <i>ITS</i>, dalam hal ini penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 terbukti mampu meningkatkan kinerja <i>ITS</i> dan parameter <i>marshall</i>. Pada pengujian <i>immersion</i> campuran dengan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentasi substitusi debu bauksit terbaik sebesar 100%. Pada parameter kekuatan struktur berdasarkan nilai stabilitas, <i>flow</i>, <i>MQ</i>, dan <i>ITS</i>, menghasilkan campuran yang kaku, mampu menahan beban dan memiliki ketahanan terhadap <i>fatigue crack</i>.</p>

Sumber : Bancin (2021) dan Rahman (2023)

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

No	Aspek	Peneliti		
		Bancin (2021)	Rahman (2023)	Penulis
5	Hasil	Dengan demikian, tanah merah dapat menjadi alternatif yang layak untuk digunakan dalam meningkatkan kualitas campuran aspal dengan memperhatikan variasi persentase yang tepat.	<i>fly ash</i> juga mampu meningkatkan ketahanan benda uji lebih baik ditunjukkan dengan nilai <i>stiffness modulus</i> tinggi dan ketahanan terhadap keausan yang disimulasikan dengan pengujian <i>cantabro test</i> , serta penggunaan bahan ikat <i>Starbit</i> PG-70 juga memiliki peran untuk meningkatkan ketahanan benda uji terhadap keausan dibandingkan campuran dengan bahan ikat Pen 60/70. Pada pengujian <i>Wheel Tracking</i> , <i>fly ash</i> mampu meningkatkan kinerja stabilitas dinamis dan mengurangi efek deformasi, penggunaan bahan ikat <i>Starbit</i> PG-70 terbukti mampu memperlambat laju efek deformasi dibandingkan Pen 60/70.	<i>VITM</i> , <i>VFWA</i> , <i>VMA</i> , <i>VCA</i> , dan <i>density</i> , menghasilkan campuran yang berongga, Pada parameter volumetrik berdasarkan selimut aspal yang baik, dan memiliki <i>stone-on-stone contact</i> yang baik. Pada parameter durabilitas berdasarkan <i>IRS</i> , <i>IDP</i> , <i>IDK</i> , <i>draindown</i> , <i>cantabro</i> , dan <i>TSR</i> , menghasilkan campuran yang memiliki ketahanan terhadap aus, homogen, dan memiliki ketahanan terhadap air, cuaca, serta suhu.

Sumber : Bancin (2021) dan Rahman (2023)

2.6 Posisi Penelitian

Pada penelitian ini penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* belum pernah dilakukan penelitian untuk jenis *stone matrix asphalt*. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh kekuatan struktur, karakteristik volumetrik, dan durabilitas debu bauksit sebagai substitusi *filler* pada campuran *stone matrix asphalt*. Pada penelitian ini menggunakan debu bauksit dengan variasi substitusi 25%, 50%, 75%, dan 100%, yang bertujuan untuk mengetahui kadar substitusi *filler* yang menghasilkan kinerja campuran terbaik pada *stone matrix asphalt*.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Fungsi dari perkerasan jalan menurut Sukirman (2003) adalah untuk menerima dan menyebarkan beban lalu lintas ke lapisan bawahnya. Perkerasan jalan merupakan bagian penting dalam infrastruktur transportasi yang menghubungkan wilayah dan memfasilitasi pergerakan kendaraan serta orang. Bahan penyusun suatu campuran terdiri dari agregat dan bahan pengikat, perkerasan jalan menjadi fondasi yang menopang beban lalu lintas dengan kekuatan, kekakuan, dan kestabilan yang sesuai. Proses pencampuran antara agregat dan bahan pengikat ini tidak hanya berfokus pada kekuatan struktural, akan tetapi juga mempertimbangkan aspek ekonomis, keawetan, kemudahan, dan keamanan bagi pengendara.

Pada penelitian ini menggunakan jenis perkerasan lentur (*flexible pavement*) yaitu perkerasan yang menggunakan bahan ikat aspal, yang sifatnya lentur terutama pada saat panas. Pelaksanaan pengerjaan perkerasan lentur dihamparkan pada suhu sekitar 100 °C. Penyebaran beban lalu lintas ke tanah dasar yang dipadatkan melalui beberapa lapisan sebagai berikut :

1. Lapisan pondasi bawah (*sub base course*), merupakan lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Lapisan ini berfungsi sebagai berikut.
 - a. Menyebarkan beban roda ketanah dasar.
 - b. Mencegah partikel halus tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.
 - c. Sebagai lapis peresapan agar air tidak berkumpul di pondasi.
2. Lapis pondasi atas (*base course*), merupakan lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi bawah dan lapis permukaan. Lapis ini berfungsi sebagai berikut.
 - a. Bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya.

- b. Lapis peresapan untuk lapis pondasi bawah.
 - c. Bantalan terhadap lapisan permukaan.
3. Lapis permukaan (*surface course*), merupakan lapis perkerasan yang terletak paling atas. Lapis ini berfungsi sebagai berikut.
- a. Sebagai lapis aus (*wearing course*) akibat gaya gesekan roda kendaraan dan pengaruh cuaca.
 - b. Lapisan yang menyebarkan beban ke lapisan dibawahnya (Sukirman,1999).

3.2 Bauksit

Bauksit merupakan tanah residual dari endapan lempung di daerah tropis dan subtropis seperti banyak dijumpai di Indonesia ini. Bauksit dan limbahnya dikonversikan menjadi material *pozzolan* melalui proses kalsinasi, sangat populer digunakan sebagai bahan tambah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis beton semen menurut Zulkhairi dan Hardiyatmo (2012). Bauksit merupakan hasil proses pelapukan dari batuan granit yang merupakan batuan dasar dari pulau bintan dan pulau-pulau sekitarnya. Menurut Bemmelen (1949) dan Rohmana (2007) dalam Zulkhairi dan Hardiyatmo (2012), berasal dari batuan *hornfels* yaitu jenis batuan yang berwarna hitam afaitik. Dimana batuan ini terbreksikan yaitu tersusun atas butiran-butiran fragmen dengan diameter lebih besar dari 2 mm dan membentuk sudut-sudut fragmen yang angular. Lisantono (2018) melakukan penelitian kandungan bauksit dengan hasil pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Kandungan Bauksit

Komposisi	Satuan	Persentase (%)
Silika total	%	18,77
Alumunium	Mg/kg	275502
Besi	Mg/kg	69619
Kalsium	Mg/kg	42043
Magnesium	Mg/kg	2893
Kalium	Mg/kg	229
Natrium	Mg/kg	262
Kadar air	%	2,68
Kadar lengas	%	0,76

Sumber : Lisantono (2018)

3.3 Stone Matrix Asphalt

Stone matrix asphalt merupakan jenis campuran beraspal panas yang dapat digunakan sebagai lapis permukaan dengan beberapa karakteristik lapisan yang dapat memberikan beberapa keuntungan bagi pengendara karena mempunyai ketahanan gelincir (*skid resistance*) yang cukup tinggi. Jenis campuran ini menggunakan gradasi agregat seragam sehingga memiliki ketahanan terhadap deformasi maka lebih tepat untuk beban kendaraan berat. Persyaratan campuran *stone matrix asphalt* dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Persyaratan Campuran Stone Matrix Asphalt

Sifat-sifat campuran		Persyaratan	
		SMA	SMA Mod
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (<i>VIM</i>), %	Min.	3,0	
	Maks.	5,0	
Rongga dalam agregat (<i>VMA</i>), %	Min.	17	
Rasio VCA_{MIX}/VCA_{DRC}		< 1	
<i>Draindown</i> pada temperatur produksi, % berat dalam campuran (waktu 1 jam)	Maks.	0,3	
Stabilitas <i>Marshall</i> , kg	Min.	600	750
Pelelehan, mm	Min.	2	
	Maks.	4,5	
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90	
Stabilitas dinamis, lintasan/mm	Min.	2500	3000

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4 Bahan Penyusun Perkerasan Jalan

Secara umum material bahan penyusun perkerasan lentur adalah agregat, aspal, dan *filler*, bahan tambah lainnya menyesuaikan dengan jenis campuran penelitian. Oleh karena itu, sebelum material tersebut digunakan sebagai bahan dasar penyusun perkerasan lentur, maka sifat-sifat dari material tersebut harus diketahui terlebih dahulu, karena sifat material tersebut mempengaruhi campuran perkerasan jalan.

3.4.1 Agregat

Agregat merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan. Bahan-bahan agregat digunakan berfungsi untuk menahan beban lalu lintas, oleh sebab itu agregat merupakan bahan penyusun yang penting dalam sebuah konstruksi perkerasan jalan. Agregat dapat dibedakan menjadi 2 yaitu :

1. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat yang tertahan ayakan No. 4, agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah. Penggunaan agregat kasar menjadikan perkerasan lebih stabil dan mempunyai ketahanan gelincir (*skid resistance*) yang tinggi sehingga menjamin keamanan berkendara. Berikut ini merupakan persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Persyaratan Agregat Kasar Pada Campuran *Stone Matrix Asphalt*

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

Catatan :

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

Sumber : Bina Marga (2020)

2. Agregat Halus

Agregat halus dapat bersumber dari bahan mana pun, harus terdiri penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 4. Fungsi utama agregat halus adalah menyediakan stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari perkerasan melalui keadaan saling mengunci dan gesekan antar

butiran. Berikut ini merupakan persyaratan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Persyaratan Agregat Halus Pada Campuran *Stone Matrix Asphalt*

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Material lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10 %
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45 %
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4.2 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi adalah debu mineral tembus ayakan No. 200. Persyaratan harus sesuai dengan SNI 03-6723-2002, bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136-2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 tidak kurang dari 75% terhadap beratnya. Fungsi *filler* terhadap campuran perkerasan beton aspal adalah sebagai berikut :

1. Sebagai bahan pengisi rongga antar butir agregat.
2. Meningkatkan daya ikat aspal beton.
3. Memperbaiki stabilitas campuran.
4. Memperkecil penurunan atau kelelahan plastis (*flow*)

3.4.3 Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya, merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil saringan dengan menggunakan 1 set saringan, yaitu dengan melewati sejumlah material melalui serangkaian saringan dari dengan bukaan paling besar diletakkan teratas dan yang paling halus terbawah sebelum pan. Gradasi berdasarkan agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Berikut ini merupakan persyaratan gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Gradasi Agregat Gabungan Campuran Stone Matrix Asphalt

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

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4.4 Aspal

Aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat *termoplastis*. Aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali jika temperatur turun. Aspal yang digunakan pada penelitian adalah aspal dengan pen 60/70. Berikut ini merupakan persyaratan aspal keras AC 60/70 dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Persyaratan Aspal Keras AC 60/70

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

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4.5 Aditif

Aditif adalah bahan tambah yang diberikan pada campuran panas agregat aspal yang berfungsi sebagai bahan stabilisasi aspal. Pada campuran *Stone Matrix*

Asphalt biasanya menggunakan bahan tambah aditif berupa serat selulosa untuk mencegah penguraian pada pencampuran, pengangkutan, penghamparan, dan pemadatan. Berikut ini merupakan persyaratan serat selulosa dapat dilihat pada Tabel 3.7.

Tabel 3.7 Persyaratan Serat Selulosa

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

Sumber : Bina Marga (2020)

3.5 Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan Jalan

Menurut Sukirman (2016) terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran adalah stabilitas, keawetan, kelenturan, ketahanan terhadap kelelahan, kekesatan, kedap air, dan mudah dilaksanakan.

3.5.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan menerima beban lalu lintas tanpa terjadinya deformasi seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*. Faktor-faktor yang membentuk stabilitas adalah:

1. Gesekan internal

Gesekan internal berasal dari kekasaran permukaan butir agregat, luas bidang kontak antar butir, bentuk butir, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan tebal film aspal. Stabilitas terbentuk dari gesekan internal yang terjadi di antara butir agregat yang saling mengunci, rongga antar butir diisi oleh agregat berukuran lebih kecil, dan pemilihan agregat bergradasi baik atau rapat akan

memperkecil rongga antar agregat sehingga kepadatan dapat menghasilkan stabilitas yang diharapkan, dan

2. Kohesi

Kohesi adalah gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara kontak antar butir agregat. Daya kohesi terutama ditentukan dari aspal.

3.5.2 Keawetan (*Durability*)

Keawetan adalah kemampuan campuran dalam menerima beban lalu lintas serta keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Faktor yang mempengaruhi daya tahan adalah sebagai berikut.

1. Nilai selimut aspal (*VFWA*) yang tebal akan membungkus agregat secara homogen sehingga beton aspal akan menjadi lebih kedap air dan memiliki kemampuan menahan keausan. Akan tetapi semakin tebal selimut aspal mengakibatkan campuran mudah *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin, dan
2. Meningkatnya nilai rongga yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas campuran menurun dan membuat campuran menjadi tidak kedap air. Semakin tinggi nilai *VMA* menyebabkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara sehingga campuran menjadi getas dan menurunkan keawetan.

3.5.3 Kelenturan (*Flexibility*)

Kelenturan pada lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti perubahan atau deformasi akibat terjadinya beban lalu lintas yang berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume. Kelenturan dapat ditingkatkan dengan menggunakan agregat bergradasi terbuka dan kadar aspal yang tinggi.

3.5.4 Ketahanan Terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan adalah kemampuan campuran menerima lendutan berulang akibat repetisi beban lalu lintas, tanpa terjadinya kelelahan berupa aluran dan atau retak. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan kadar aspal yang tinggi.

3.5.5 Kekesatan (*Skid Resistance*)

Kekesatan adalah kemampuan aspal beton memberikan gaya gesek pada roda kendaraan sehingga kendaraan tidak tergelincir ataupun slip terutama pada saat kondisi permukaan aspal yang basah, untuk mendapatkan kekesatan jalan sama dengan untuk mendapatkan stabilitas yang tinggi. Faktor yang mempengaruhi kekesatan adalah sebagai berikut.

1. Kekasaran permukaan butir agregat,
2. Luas bidang antar butir,
3. Bentuk butir,
4. Gradasi agregat,
5. Kepadatan campuran, dan
6. Tebal film aspal.

3.5.6 Kedap Air (*Impermeability*)

Kedap air adalah kemampuan beton aspal untuk tidak dapat dengan mudah dilalui oleh air atau udara. Air dan udara dapat mengakibatkan percepatan oksidasi pada campuran dan pengelupasan selimut aspal dari permukaan agregat. Jumlah rongga yang tersisa setelah campuran dipadatkan dapat menjadi indikator kekedapan campuran, tingkat kekedapan campuran berbanding terbalik dengan nilai durabilitasnya.

3.5.7 Kemudahan Pelaksanaan (*Workability*)

Workability adalah kemampuan campuran untuk mudah dihamparkan dan dipadatkan, tingkat kemudahan dalam pelaksanaan menentukan tingkat efisiensi pekerjaan. Faktor yang mempengaruhi tingkat kemudahan dalam proses penghamparan dan pemadatan adalah viskositas aspal, kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur, dan gradasi serta kondisi agregat.

3.6 Parameter Pengujian *Marshall*

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

3.6.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan campuran beton aspal untuk menahan beban sampai campuran mengalami kelelahan plastis. Meningkatnya stabilitas bersamaan dengan meningkatnya kadar aspal, sampai batas tertentu (optimum) dan turun setelah melampaui batas optimum. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi juga kurang baik mengingat perkerasan akan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan Persamaan 3.1, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.

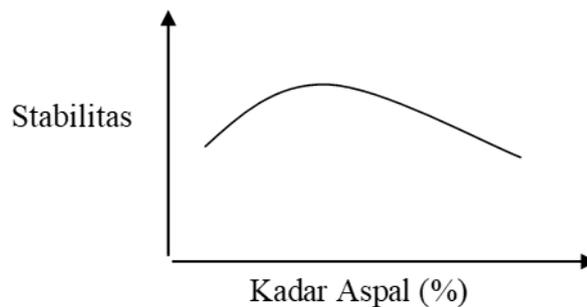
$$q = p \times s \quad (3.1)$$

keterangan :

q = angka stabilitas,

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

s = angka koreksi tebal benda uji.



Gambar 3.1 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

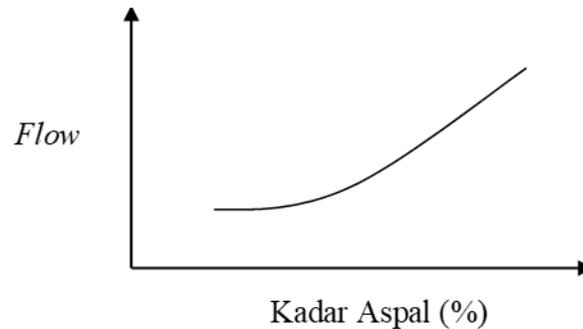
(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan merupakan keadaan dimana campuran aspal mengalami perubahan bentuk akibat beban yang diterimanya. Nilai kelelahan didapatkan dari pembacaan arloji *flow* saat *marshall test* berlangsung dalam satuan milimeter (mm).

Nilai kelelahan banyak dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat, dan pemadatan. Nilai kelelahan meningkat seiring dengan peningkatan

aspal, sehingga mengurangi gesekan antar agregat yang disebabkan selimut aspal yang lebih tebal. Adapun grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai kelelahan dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow*

(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.3 *VITM* (*Void in the Total Mix*)

VITM adalah persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Nilai *VITM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.

$$n = 100 - \left(100 - \frac{g}{h}\right) \quad (3.2)$$

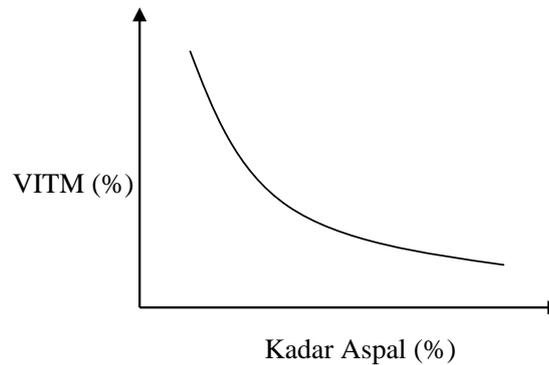
$$h = 100 - \left[\frac{100}{\left(\frac{\% \text{ Agregat}}{\text{BJ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{\text{BJ Aspal}}\right)} \right] \quad (3.3)$$

keterangan :

n = nilai *VITM*,

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

h = berat jenis maksimum teoritis campuran.



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

3.6.4 VFWA (*Void Filled With Asphalt*)

VFWA yaitu persentase rongga dalam campuran yang terisi aspal yang nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu, dimana rongga telah penuh (optimum). Semakin besar nilai VFWA, maka semakin banyak aspal yang terisi di dalam rongga, sehingga kededapan campuran terhadap air dan udara semakin besar juga. Sebaliknya semakin kecil nilai VFWA, maka kededapan perkerasan terhadap air dan udara akan semakin kecil juga, sehingga aspal akan mudah teroksidasi sehingga keawetan akan berkurang.

Nilai VFWA dapat diperoleh dari Persamaan 3.4 sampai Persamaan 3.8, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai VFWA dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.

1. Persentase aspal terhadap campuran

$$b = \frac{a}{100 + a} \times 100 \quad (3.4)$$

keterangan :

a = persentase aspal terhadap batuan, dan

b = persentase aspal terhadap campuran.

2. Persentase aspal terhadap agregat

$$m = 100 \times \left(\frac{i}{1} \right) \quad (3.5)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ \text{ Aspal}} \quad (3.6)$$

$$l = 100 - j \quad (3.7)$$

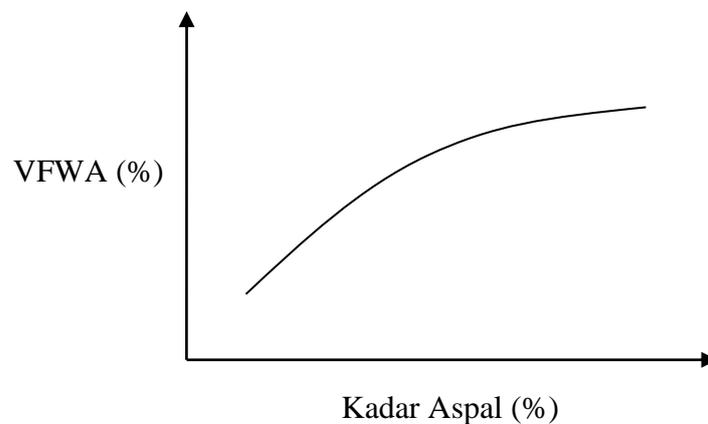
$$j = \left(\frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Aspal}} \right) \quad (3.8)$$

keterangan :

m = $VFWA$ (%),

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

b = persentase aspal terhadap campuran.



Gambar 3.4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai $VFWA$

(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.5 VMA (Void in Mineral Agregate)

Nilai VMA adalah rongga udara antar butiran agregat dalam campuran agregat aspal padat, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif dinyatakan dalam persen terhadap campuran. Nilai rongga dalam mineral agregat pada umumnya mengalami penurunan hingga maksimum kemudian meningkat seiring bertambahnya kadar aspal.

Nilai VMA dapat diperoleh dari Persamaan 3.9 dan Persamaan 3.10, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai VMA dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

$$l = 100 - j \quad (3.9)$$

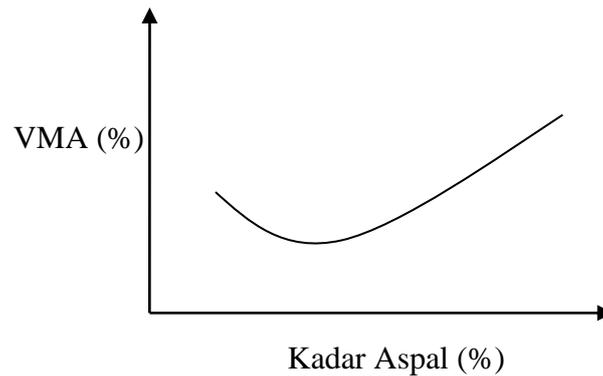
$$j = \left(\frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Aspal}} \right) \quad (3.10)$$

keterangan :

l = nilai *VMA* (%),

b = persentase aspal terhadap campuran (%), dan

g = berat isi sampel (gr/cc).



Gambar 3.5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA*

(Sumber : Sukirman, 1992)

3.6.6 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan menunjukkan besarnya kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan. Semakin meningkatnya kadar aspal, jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir semakin besar, sehingga campuran menjadi semakin rapat dan padat. Nilai *density* dapat diperoleh dari Persamaan 3.11 dan Persamaan 3.12, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.11)$$

$$f = d - e \quad (3.12)$$

keterangan :

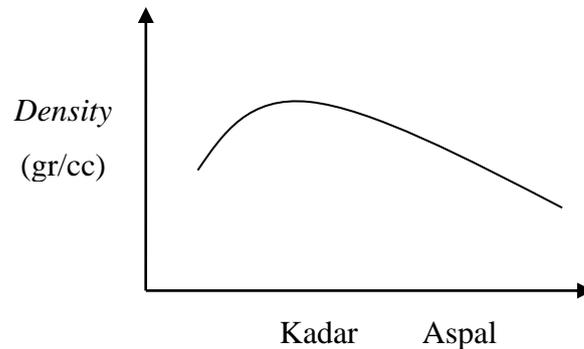
g = nilai *density* (gr/cc),

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

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

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume / isi (cm³).



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

3.6.7 Marshall Quotient

Marshall Quotient (MQ) yaitu perbandingan antara stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.13, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.

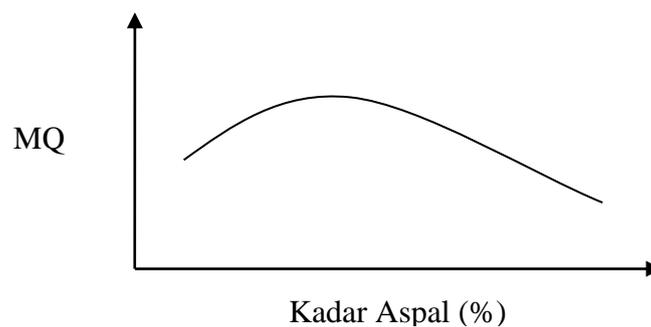
$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.13)$$

keterangan :

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

q = nilai stabilitas (kg), dan

r = nilai *flow* (mm).



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

3.7 Void in Coarse Aggregate (VCA)

Kondisi *stone-on-stone contact* pada campuran *Stone Matrix Asphalt* didefinisikan sebagai volume rongga pada partikel agregat kasar, termasuk di dalamnya berupa *filler*, agregat halus, rongga udara, aspal, dan serat selulosa (apabila digunakan), disingkat sebagai *Void in Coarse Aggregate (VCA)*. Campuran ini harus memenuhi persyaratan nilai VCA yang ditetapkan AASHTO R 46-08 (2012), yang dinotasikan dalam Persamaan 3.14.

$$VCA_{MIX} < VCA_{DRC} \text{ atau } VCA_{MIX}/VCA_{DRC} < 1 \quad (3.14)$$

dengan:

VCA_{MIX} = rongga diantara partikel agregat kasar pada campuran yang telah dipadatkan, dan

VCA_{DRC} = rongga diantara partikel agregat kasar pada campuran kondisi *dry-rodded* sesuai AASHTO T 19M/T19-14.

Fraksi agregat kasar pada campuran *stone matrix asphalt* ditentukan berdasarkan penggunaan *nominal-maximum aggregate size*. AASHTO R46-08 (2012) mengatur tentang definisi butiran agregat kasar sebagai porsi fraksi agregat dalam campuran agregat yang tertahan pada saringan no. 4 (4,75 mm) untuk campuran *stone matrix asphalt* dengan ukuran butiran maximum 1/2 inchi (12,5 mm) dan 3/4 inchi (19,0 mm).

Penentuan VCA_{DRC} dengan pemadatan pada fraksi campuran agregat kasar menggunakan teknik *dry-rodded* sesuai dengan AASHTO T 19m/T 19 -14. Pemadatan ini dilakukan dalam suatu silinder takar menggunakan pemadat (*tamping rod*) dengan ukuran sesuai dengan ketentuan AASHTO T 19M/T 19-14. Dengan mengetahui berat satuan atau kepadatan air pada suhu tertentu saat diukur dalam silinder, sehingga dapat dihitung volume silinder dengan Persamaan 3.15.

$$V_S = (W_{S+W} - W_S) / Y_w \quad (3.15)$$

dengan :

V_S = volume silinder takaran (m^3),

W_s = berat silinder takaran (kg),

W_{s+w} = berat silinder takaran + air (kg), dan

Y_w = kepadatan atau berat satuan air pada suhu tertentu (kg/m^3).

Untuk mengetahui berat satuan air pada suhu tertentu dapat dilakukan interpolasi berdasarkan Tabel 3.8 sebagai berikut.

Tabel 3.8 Kepadatan Air Sesuai Temperatur Saat Pengukuran

Temperatur		Kepadatan Air (Y_w)	
(°C)	(°F)	kg/m^3	lb/ft^3
15,6	60	999,01	62,366
18,3	65	999,54	62,336
21,1	70	997,97	62,301
23,0	73,4	997,54	62,274
23,9	75	997,32	62,261
26,7	80	996,59	62,216
29,4	85	995,83	62,166

Sumber : AASHTO (2018)

VCA_{DRC} dapat dihitung dengan Persamaan 3.16 :

$$VCA_{DRC} = \frac{G_{CA}Y_w - Y_s}{G_{CA}Y_w} \times 100 \quad (3.16)$$

dengan :

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

Y_s = berat satuan fraksi agregat kasar dalam kondisi *dry-rodded* (kg/m^3), dan

Y_w = berat satuan air (kg/m^3), tergantung temperature pengukuran.

VCA_{MIX} dapat dihitung dengan Persamaan 3.17 :

$$VCA_{MIX} = 100 - (G_{mb}/G_{CA}).P_{CA} \quad (3.17)$$

dengan :

G_{mb} = berat jenis *bulk* campuran aspal yang telah dipadatkan,

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

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

3.8 Pengujian *Draindown*

Campuran *stone matrix asphalt* memiliki kadar aspal yang tinggi, sehingga berpotensi terjadinya pengaliran aspal yang dapat mempengaruhi kualitas campuran *stone matrix asphalt*. *Draindown* dilakukan untuk mengetahui pengaliran yang terjadi dengan menggunakan wadah piring aluminium untuk menampung kelelehan bahan perekat selama pengujian. Nilai *draindown* merupakan rata-rata dari setiap pengujian campuran, yang dinyatakan dalam persentase (%). Nilai *draindown* dihitung dengan Persamaan 3.18.

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

dengan :

- Draindown* = persentase agregat dan aspal yang tertinggal (%),
- A = berat akhir piring penampung (gr),
- B = berat awal piring penampung (gr), dan
- C = berat awal jumlah campuran yang diuji (gr).

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *draindown* untuk jenis campuran *stone matrix asphalt* tidak boleh melebihi 0,3% dari keseluruhan berat campuran tersebut.

3.9 Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*

Immersion test atau *IRS* merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pada *Immersion test* perendaman benda uji dilakukan dengan 2 kondisi berbeda yaitu dalam *waterbath* pada suhu 60° C selama 30 menit (stabilitas standar) dan direndam pada suhu 60° C selama 24 jam (stabilitas rendaman).

Pada pengujian *Immersion Test* atau *Index or Retained Sterngth (IRS)*, yang dimana *IRS* tersebut merupakan nilai stabilitas *marshall* sisa untuk mengukur daya tahan terhadap pengerusakan oleh air. Seperti tercantum pada Persamaan 3.19 di bawah ini.

$$\text{Index of retained strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.19)$$

keterangan :

S_1 = rata-rata nilai stabilitas *marshall* setelah perendaman selama 30 menit, dan

S_2 = rata-rata nilai stabilitas *marshall* setelah perendaman selama 24 jam.

3.10 Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama merupakan jumlah kelandaian yang berurut dari kurva durabilitas. Indeks Durabilitas Pertama dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.20 berikut.

$$\text{IDP (r)} = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{S_i - (S_{i+1})}{(t_{i+1}) - t_i} \times 100 \quad (3.20)$$

dengan :

r = indeks penurunan stabilitas (%),

S_i = persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%),

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

T_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

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

3.11 Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua merupakan luas kehilangan kekuatan rata-rata antara durabilitas dengan garis $S_0 = 100\%$. Nilai IDK didapatkan dengan perhitungan yang menggunakan Persamaan 3.21 sebagai berikut.

$$\text{IDK (a)} = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - (S_{i+1})) [2t_n + (t_i + (t_{i+1}))] \quad (3.21)$$

dengan :

a = kehilangan kekuatan rerata satu hari (%),

t_n = total waktu perendaman (jam),

S_i = persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%),

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

T_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Indeks durabilitas ini menggambarkan kekuatan satu hari, nilai “a” yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan apabila bernilai negatif mengindikasikan adanya penambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai $a < 100$. Oleh karena itu, memungkinkan untuk dapat menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a). Dapat dihitung dengan Persamaan 3.22 berikut.

$$S_a = (100-a) \quad (3.22)$$

Nilai Indeks Durabilitas Kedua juga dapat dinyatakan dalam bentuk nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan dalam (kg) dengan Persamaan 3.23 dan Persamaan 3.24.

$$A = \frac{a}{100} \times S_o \quad (3.23)$$

$$SA = (S_o - A) \quad (3.24)$$

dengan :

A = nilai absolut kehilangan kekuatan selama satu hari (kg),

S_o = nilai absolut kekuatan awal (kg), dan

SA = nilai absolut kekuatan sisa satu hari (kg).

3.12 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect Tensile Strength adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Pengujian hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan hanyalah pada pengujian kuat tarik tak langsung tidak menggunakan *proving ring* sebagai beban tetapi menggunakan *strip loading* selebar 0,5 inch. Alasan-alasan utama kemudahan dalam pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* yaitu sebagai berikut.

1. Pengujian ini relatif sederhana.

2. Tipe sampel dan peralatan yang digunakan sama dengan sampel dan peralatan untuk pengujian lainnya.
3. Kerusakan tidak dipengaruhi oleh kondisi permukaan.

Indirect Tensile Strength (ITS) adalah kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban seperti pada Persamaan 3.25.

$$ITS = \frac{P \text{ runtuh}}{h} \times A_0 \quad (3.25)$$

keterangan :

ITS = kuat tarik tidak langsung (kg/cm²),

P runtuh = beban puncak (kg),

h = tinggi sampel (cm), dan

A₀ = konstanta.

3.13 Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Nilai *TSR* diperoleh dari perbandingan antara nilai daya tahan Tarik campuran setelah direndam selama 24 jam pada *waterbath* dengan suhu 60°C dengan nilai daya tahan tarik tanpa rendaman yang kemudian dikalikan dengan 100. Sehingga didapatkan Persamaan 3.26 sebagai berikut.

$$TSR = (T_2/T_1) \times 100 \quad (3.26)$$

keterangan :

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

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

3.14 Pengujian *Cantabro loss*

Pengujian *cantabro loss* bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *los angeles*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang-ulang yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Benda uji yang didiamkan selama 48 jam pada

suhu ruang dan minimal 6 (enam) jam sebelum pengujian suhu harus dijaga berada pada suhu ruang. Sebelum benda uji dimasukkan ke dalam drum mesin *los angeles* terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi (M_o). Selanjutnya benda uji dimasukkan ke drum mesin *los angeles* tanpa bola baja. Mesin *los angeles* kemudian dijalankan dengan kecepatan antara 30-33 rpm sebanyak 300 putaran. Setelah selesai benda uji dikeluarkan dan ditimbang dengan berat setelah abrasi (M_i), Kehilangan berat dapat dihitung dengan Persamaan 3.27 sebagai berikut.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.27)$$

dengan :

- M_o = berat sebelum diabrasi (*gr*),
 M_i = berat setelah diabrasi (*gr*), dan
 L = persentase kehilangan berat (%).

3.15 Analisis Statistik

Analisis statistik pada penelitian ini menggunakan *ANOVA*. *ANOVA* adalah singkatan dari *Analysis of Variance* yang merupakan sebuah analisis statistik yang digunakan untuk menguji hipotesis komparatif rata-rata sampel bila datanya berbentuk interval atau ratio.

Pada penelitian ini akan menggunakan analisis varians klasifikasi tunggal atau biasa disebut *one way ANOVA*. Berikut langkah-langkah yang diperlukan untuk pengujian hipotesis dengan *one way ANOVA* yaitu sebagai berikut.

1. Menghitung jumlah kuadrat total (JK_{tot}) dengan menggunakan Persamaan 3.28.

$$JK_{tot} = \sum X_{tot}^2 - \frac{(\sum X_{tot})^2}{N} \quad (3.28)$$

dengan:

N = Jumlah seluruh anggota sampel

2. Menghitung jumlah kuadrat antar kelompok (JK_{ant}) dengan menggunakan Persamaan 3.29.

$$JK_{ant} = \sum \frac{(\sum x_{kel})^2}{n_{kel}} - \frac{(\sum x_{tot})^2}{N} \quad (3.29)$$

3. Menghitung jumlah kuadrat dalam kelompok (JK_{dal}) dengan menggunakan Persamaan 3.30.

$$JK_{dal} = JK_{tot} - JK_{ant} \quad (3.30)$$

4. Menghitung *Mean* kuadrat antar kelompok (MK_{ant}) dengan menggunakan Persamaan 3.31.

$$MK_{ant} = \frac{JK_{ant}}{m-1} \quad (3.31)$$

5. Menghitung *Mean* kuadrat dalam kelompok (MK_{dal}) dengan menggunakan Persamaan 3.32.

$$MK_{dal} = \frac{JK_{dal}}{N-m} \quad (3.32)$$

6. Menghitung F hitung (F_{hit}) dengan menggunakan Persamaan 3.33.

$$F_{hit} = \frac{MK_{ant}}{MK_{dal}} \quad (3.33)$$

7. Membandingkan harga F hitung dengan F Tabel dengan dk pembilang ($m-1$) dan dk penyebut ($N-1$). Harga F hasil perhitungan tersebut selanjutnya disebut F hitung (F_h), yang berdistribusi F dengan dk pembilang ($m-1$) dan dk penyebut ($N-1$) tertentu. Ketentuan pengujian hipotesis: bila harga F hitung lebih kecil atau sama dengan harga F Tabel ($F_h \leq F_t$) maka H_0 diterima dan H_1 ditolak, sebaliknya bila $F_h > F_t$, maka H_1 diterima dan H_0 ditolak.

Membuat kesimpulan pengujian hipotesis: H_0 diterima atau H_0 ditolak

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian adalah metode eksperimental, yaitu metode yang melakukan serangkaian kegiatan percobaan untuk mendapatkan data. Data yang didapat akan diolah dahulu untuk mendapatkan hasil penelitian, selanjutnya data yang didapat dibandingkan dengan persyaratan atau standar spesifikasi yang digunakan. Standar spesifikasi dan prosedur penelitian yang digunakan mengacu kepada peraturan *America Association of State Highway and Transport (AASHTO)* dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.

4.2 Metode Pengambilan Sampel

Metode pengambilan sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah *non-probability sampling*, yaitu jenis sampel tidak dipilih secara acak. *Non-probability sampling* yang digunakan adalah *purposive sampling*, yaitu sampel yang diambil berdasarkan tujuan yang ditentukan dari awal penelitian. Pada penelitian ini menggunakan *filler* debu bauksit yang didapatkan dari Kota Batam, aspal yang digunakan adalah Pertamina Pen 60/70.

4.3 Metode Pengambilan Data

Pengambilan data pada penelitian ini digolongkan dalam jenis data primer yang didapatkan selama pengujian berlangsung. Oleh karena itu diperlukan pengelompokan benda uji untuk mendapatkan data berupa nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *density*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *VCA*, nilai *ITS*, nilai *IDK*, nilai *IDP*, nilai *IRS*, nilai *TSR*, *draindown* dan nilai *cantabro*.

4.4 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tahapan penelitian adalah sebagai berikut.

4.4.1 Persiapan dan Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material penelitian dilakukan untuk mengetahui layak atau tidaknya dari suatu material yang didasarkan pada spesifikasi yang digunakan. Spesifikasi nilai yang digunakan mengacu pada *AASHTO* dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Material yang dilakukan pemeriksaan untuk campuran *stone matrix asphalt* adalah agregat, aspal, dan *filler*. Untuk pemeriksaan serat selulosa tidak diuji dikarenakan menggunakan serat selulosa pabrik. Pengujian untuk agregat dan aspal adalah sebagai.

1. Pengujian Agregat

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

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis semu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), dan angka penyerapan air.

- b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 1970:2016

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis semu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), dan angka penyerapan air.

- c. Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal mengacu pada SNI 2439:2011

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelekatan agregat terhadap aspal.

- d. Pengujian *sand equivalent* mengacu pada SNI 03-4428-1997

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur atau debu maupun bahan lempung pada agregat halus.

- e. Pengujian abrasi pada mesin *los angeles* mengacu pada SNI 2417:2008

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

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

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

2. Pengujian Aspal

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

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

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

b. Pengujian daktilitas mengacu pada SNI 2432:2011

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

c. Pengujian penetrasi mengacu pada SNI 2456:2011

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

d. Pengujian kelarutan pada *Trichlor Ethylen (TCE)* mengacu pada *AASHTO T44-14*

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

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

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

f. Pengujian titik lembek mengacu pada SNI 2434:2011

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

3. Pengujian *Filler*

Filler adalah bahan berbutir halus yang mempunyai fungsi sebagai pengisi pada pembuatan campuran aspal, *filler* didefinisikan sebagai fraksi debu

mineral lolos saringan No. 200 (0,074 mm). Pengujian *filler* harus memenuhi persyaratan SNI 03-6723-2002.

4.4.2 Persiapan Alat

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

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

- c. Perlengkapan penunjang lain selama proses penelitian seperti kompor, *thermometer*, spatula, wajan, gelas ukur, nampan, bak plastik, kain lap, jangka sorong, dan lainnya.

11 Alat pengujian VCA_{DRC}

- a. Timbangan berkapasitas > 5 kg dengan ketelitian 1 gr.
- b. Silinder takaran dengan diameter 150 mm dengan tinggi 159 mm.
- c. *Tamping rod* ber diameter 16 mm dengan panjang 600 mm.
- d. Oven untuk memanaskan agregat serta *thermometer*.
- e. Alat penunjang lainnya seperti sendok pengaduk, spatula, nampan, sarung tangan anti panas, dan lain-lain.

12 Alat pengujian *draindown*

- a. Timbangan benda uji.
- b. Oven untuk memanaskan benda uji.
- c. Keranjang kawat berbentuk silinder berdiameter 108 mm dan 165 mm, ukuran lubang jaring-jaring kawat sebesar 3,65 mm (1/4 inchi).
- d. Piring aluminium kecil sebagai alas penampung lelehan *mastic* atau aspal.

4.4.3 Perencanaan Campuran

Pembuatan campuran benda uji bergradasi *stone matrix asphalt* didasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 sebagai berikut.

1. Menentukan komposisi agregat.
2. Menentukan variasi kadar aspal pada campuran dengan menggunakan perhitungan Pb.
3. Melakukan pembuatan benda uji dengan 2 x 50 tumbukan menggunakan alat pemadat *marshall*.
4. Menentukan nilai KAO berdasarkan parameter berikut.
 - a. *VITM* dengan syarat minimum 3% dan maksimum 5%,
 - b. *VMA* dengan syarat minimum 17%,
 - c. Stabilitas *marshall* campuran dengan syarat minimum 600 kg,
 - d. *Flow* campuran dengan syarat minimum 2 mm dan maksimum 4,5 mm,
 - e. *Draindown* dengan syarat maksimum 0,3%,
 - f. *IRS* dengan syarat minimum 90%, dan

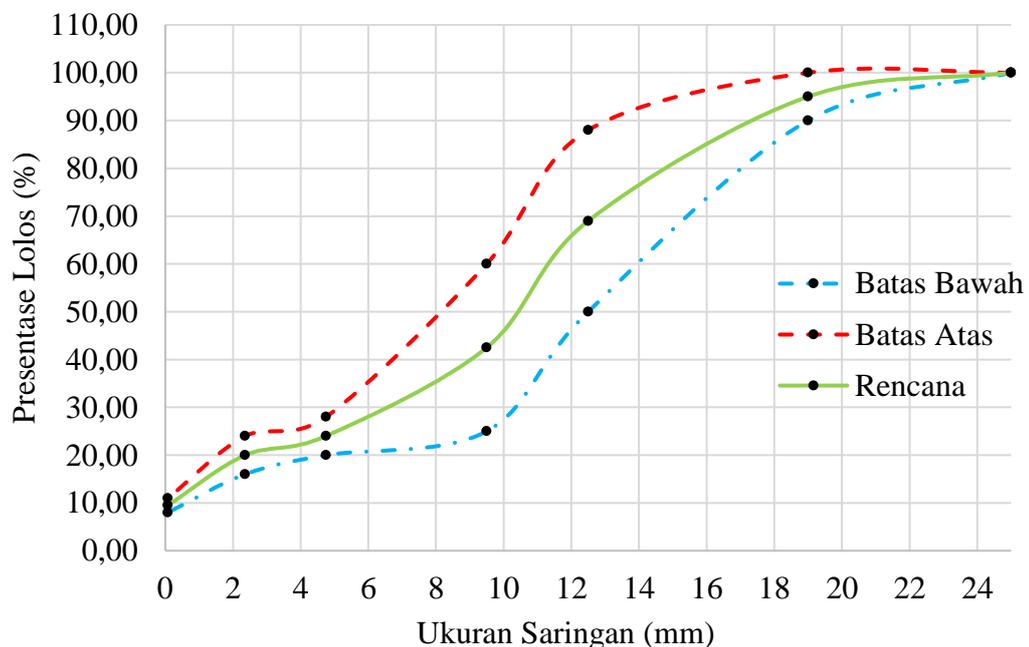
g. VCA dengan syarat maksimum 1.

Penggunaan gradasi agregat dari campuran *stone matrix asphalt* 25 mm merupakan jenis gradasi seragam, dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Gradasi Campuran *Stone Matrix Asphalt* 25 mm

Ukuran Ayakan		Spesifikasi (%)		Jumlah Persen (%)	
Inchi	(mm)	Min	Maks	Lolos	Tertahan
1"	25	100	100	100	0
3/4"	19	90	100	95	5
1/2"	12.5	50	88	69	31
3/8"	9.5	25	60	42,5	57,5
No. 4	4.75	20	28	24	76
No. 8	2.36	16	24	20	80
No. 200	0.075	8	11	9,5	90,5
Pan		0	0	0	100

Berdasarkan Tabel 4.1 maka membentuk sebuah grafik gradasi campuran *stone matrix asphalt* 25 mm yang dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



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

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

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

keterangan :

P_b = kadar aspal,

CA = persen agregat tertahan saringan No. 4,

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

Filler = persen agregat lolos saringan No. 200, dan

K = konstanta 1-2.

Berdasarkan Tabel 4.1, maka didapatkan CA 76%, FA 14,5%, Filler 9,5%, dan K menggunakan 1. Maka dapat dicari kadar aspal optimum rencana dengan menggunakan Persamaan 4.1, didapatkan perhitungan $P_b = 0,035 (76) + 0,045 (14,5) + 0,18 (9,5) + 1 = 6,02\%$ dibulatkan menjadi 6%. Pada penggunaan nilai KAO, variasi kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% terhadap berat total campuran seberat 1200 gr. Kadar bahan tambah pada setiap benda uji adalah 0,3% dari berat total campuran benda uji, yaitu sebanyak 3,6 gr. Sedangkan total kebutuhan agregat tiap campuran berdasarkan berat total campuran yang dikurangi berat total aspal yang dibutuhkan. Adapun kebutuhan kadar substitusi filler 0% untuk tiap-tiap kadar aspal dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1"	25	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19	90,00	100,00	95,00	5,00	57,00	57,00
1/2	12,5	50,00	88,00	69,00	26,00	296,40	353,40
3/8	9,5	25,00	60,00	42,50	26,50	302,10	655,50
# 4	4,75	20,00	28,00	24,00	18,50	210,90	866,40

Lanjutan Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
# 8	2,36	16,00	24,00	20,00	4,00	45,60	912,00
# 200	0,075	8,00	11,00	9,50	10,50	119,70	1031,70
Pan		0,00	0,00	0,00	9,50	108,30	1140,00

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%

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

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%

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

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1"	25	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00

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

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4	19	90,00	100,00	95,00	5,00	56,10	56,10
1/2	12.5	50,00	88,00	69,00	26,00	291,72	347,82
3/8	9.5	25,00	60,00	42,50	26,50	297,33	645,15
# 4	4.75	20,00	28,00	24,00	18,50	207,57	852,72
# 8	2.36	16,00	24,00	20,00	4,00	44,88	897,60
# 200	0.075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,81	1015,41
Pan		0.00	0,00	0,00	9,50	106,59	1122,00

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat (%)		Berat Tertahan (Gr)	
Inchi	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1"	25	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
3/4	19	90,00	100,00	95,00	5,00	55,80	55,80
1/2	12.5	50,00	88,00	69,00	26,00	290,16	345,96
3/8	9.5	25,00	60,00	42,50	26,50	295,74	641,70
# 4	4.75	20,00	28,00	24,00	18,50	206,46	848,16
# 8	2.36	16,00	24,00	20,00	4,00	44,64	892,80
# 200	0.075	8,00	11,00	9,50	10,50	117,18	1009,98
Pan		0.00	0,00	0,00	9,50	106,02	1116,00

Untuk kadar substitusi yang dipakai pada *filler* yaitu menggunakan variasi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Jumlah benda uji yang digunakan untuk memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO

Kadar Aspal (%)	Pengujian		
	<i>Marshall</i>	<i>IRS</i>	<i>Draindown</i>
5	3	3	3
5,5	3	3	3
6	3	3	3
6,5	3	3	3
7	3	3	3

Lanjutan Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO

Kadar Aspal (%)	Pengujian		
	<i>Marshall</i>	<i>IRS</i>	<i>Draindown</i>
Jumlah Benda Uji	15	15	15
Total Keseluruhan	45		

Setelah didapatkan nilai KAO maka dilakukan pengujian pada variasi kadar substitusi *filler* debu bauksit. Jumlah benda uji untuk variasi kadar substitusi *filler* debu bauksit pada KAO dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Substitusi *Filler* Debu Bauksit pada KAO

Pengujian	Kadar <i>Filler</i> Debu Bauksit (%)				
	0	25	50	75	100
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3
<i>IRS</i>	3	3	3	3	3
<i>ITS</i>	3	3	3	3	3
<i>TSR</i>	3	3	3	3	3
<i>Contabro</i>	3	3	3	3	3
<i>Draindown</i>	3	3	3	3	3
Jumlah Benda Uji	18	18	18	18	18
Total Keseluruhan	90				

Berdasarkan Tabel 4.7 dan Tabel 4.8, maka total benda uji dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah 135 buah benda uji.

4.4.4 Pembuatan Campuran Benda Uji

Proses pembuatan campuran benda uji dilakukan setelah melakukan perencanaan campuran dengan melakukan penyaringan agregat untuk memisahkan distribusi butir sesuai dengan nomor saringan yang digunakan. Setiap agregat yang tertahan pada nomor saringan kemudian ditimbang. Langkah-langkah pembuatan campuran benda uji adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Memanaskan aspal pada suhu tertentu, pada penelitian ini menggunakan aspal AC Pen 60/70 yang dipanaskan mencapai suhu 160°C.

3. Memanaskan agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan serat selulosa sampai suhu 170°C, kemudian mencampurkan kadar aspal sesuai dengan persentase yang telah direncanakan dan mengaduk sampai homogen.
4. Membersihkan cetakan benda uji dan mengolesi bagian dalam cetakan dengan menggunakan oli.
5. Meletakkan kertas yang telah dicetak sesuai dengan ukuran cetakan pada bagian bawah. Kemudian memasukkan campuran benda uji yang telah tercampur merata sebanyak 1/3 bagian dari volume cetakan dan ditusuk-tusuk menggunakan spatula sebanyak 25 kali. Dengan cara yang sama, benda uji dimasukkan sampai cetakan penuh kemudian meletakkan kertas di bagian atas.
6. Meletakkan cetakan yang telah berisi benda uji diatas mesin pemadat. Kemudian menyeting mesin pemadat sebanyak 50 kali tumbukan di setiap sisi.
7. Setelah selesai pemadatan, benda uji dikeluarkan dari mesin pemadat dan didiamkan agar tidak terlalu panas.
8. Mengeluarkan benda uji dari cetakan menggunakan *ejector hydarulic pump*, kemudian mendiamkan benda uji tersebut dan mengambil kertas pada kedua sisi.

4.4.5 Pengujian *Marshall*

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

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

5. Mengelap benda uji yang telah ditimbang dalam air dengan menggunakan kain lap sampai mencapai kondisi SSD, kemudian menimbang benda uji sehingga diperoleh berat dalam keadaan SSD.
6. Memasukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit.
7. Memeriksa mesin *marshall test* beserta dial pelengkapanya dan menyiapkan *breaking head* yang telah diolesi dengan oli.
8. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head*, kemudian memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
9. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
- 10 Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
- 11 Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

4.4.6 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

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

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

4.4.7 Pengujian *Tensile Strength Rasio (TSR)*

Langkah-langkah pengujian *TSR* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

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

4.4.8 Pengujian *Indeks of Retained Strength (IRS)*

Pengujian *IRS* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan benda uji yang akan digunakan.
2. Membersihkan benda uji dari kotoran yang masih menempel dari proses pembuatan sampel.
3. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi dengan menggunakan kaliper kemudian menimbang benda uji dalam keadaan kering udara.
4. Merendam benda uji di dalam air pada suhu ruang selama 20 sampai 24 jam untuk mendapatkan kejenuhan, kemudian menimbang benda uji di dalam air dan mencatat hasilnya.
5. Mengelap benda uji yang telah ditimbang dalam air dengan menggunakan kain lap sampai mencapai kondisi SSD, kemudian menimbang benda uji sehingga diperoleh berat dalam keadaan SSD.
6. Memasukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam.
7. Memeriksa mesin *marshall test* beserta dial pelengkapanya dan menyiapkan *breaking head* yang telah diolesi dengan oli.
8. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head*, kemudian memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
9. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
- 12 Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
- 13 Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

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

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

1. Benda uji campuran fraksi agregat kasar yang telah dipanaskan (kering), dituang ke dalam silinder takaran hingga mencapai 1/3 tinggi wadah. Pemadatan dilakukan dengan menusuk-nusuk campuran tersebut menggunakan *tamping-rod* sebanyak 25 kali secara merata di seluruh permukaan lapis

pertama tersebut. Penusukan dengan *tamping-rod* agar jangan sampai mengenai dasar silinder takaran.

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

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

4.4.10 Pengujian *Draindown*

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

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

4.4.11 Pengujian *Cantabro loss*

Pengujian *cantabro loss* dapat dilakukan sebagai berikut.

1. Mempersiapkan bahan.

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

4.5 Analisis Data

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

4.5.1 Analisis Karakteristik *Marshall Test*

Parameter hasil pengujian *marshall* diperoleh data sebagai berikut.

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

Karakteristik *marshall test* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.2 berikut.

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

dengan :

A = berat piknometer dengan penutup (gr),

B = berat piknometer berisi air (gr),

C = berat piknometer berisi aspal, dan

D = berat piknometer berisi air dan aspal.

2. Berat jenis agregat

Berat jenis agregat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.3 berikut.

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

dengan :

A = persentase agregat kasar (%),

B = persentase agregat halus (%),

F1 = berat jenis agregat kasar, dan

F2 = berat jenis agregat halus.

3. Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1.
4. Nilai *flow* diperoleh dari hasil pembacaan dial *flow*.
5. Nilai *VITM* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.2 dan 3.3.
6. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.5 sampai 3.8.
7. Nilai *VMA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.9 dan 3.10.
8. Nilai *density* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.11 dan 3.12.
9. Nilai *MQ* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.13.

4.5.2 Analisis Pengujian *VCA*

Nilai pengujian *VCA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.14 sampai Persamaan 3.17.

4.5.3 Analisis Pengujian *Draindown*

Nilai pengujian *draindown* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.18.

4.5.4 Analisis Pengujian *IRS*

Nilai pengujian *IRS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.19.

4.5.5 Analisis Nilai IDP

Nilai nilai IDP dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.20.

4.5.6 Analisis nilai IDK

Nilai nilai IDK dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.21.

4.5.7 Analisis Pengujian *ITS*

Nilai pengujian *ITS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.25.

4.5.8 Analisis Nilai *TSR*

Nilai nilai *TSR* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.26.

4.5.9 Analisis Pengujian *Cantabro Loss*

Nilai pengujian *cantabro loss* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.27.

4.5.10 Analisis Statistik ANOVA Satu Arah

Analisis statistik bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat adanya pengaruh substitusi *filler* debu bauksit pada campuran *stone matrix asphalt* 25 mm. Data-data seperti karakteristik *marshall*, *VCA*, *draindown*, *IRS*, *IDP*, *IDK*, *ITS*, *TSR*, *cantabro* nanti akan dianalisis dengan statistik *Anova* guna menyimpulkan hasil penelitian. Metode ini digunakan karena terdapat satu variabel bebas yaitu debu bauksit yang terbagi menjadi beberapa kelompok variasi substitusi *filler* debu bauksit. Secara umum analisis statistik ANOVA adalah sebagai berikut.

1. Merumuskan hipotesis (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) untuk melihat pengaruh masing-masing faktor variabel. Rumusan hipotesis dapat dilihat pada Persamaan 4.4 dan 4.5 berikut ini.

$$H_0 \quad : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k \quad (4.4)$$

$$H_1 \quad : \mu_1 \neq \mu_2 = \dots \neq \mu_k \quad (4.5)$$

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

Jika nilai signifikan atau *P-Value* $> 0,05$; maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

Jika nilai signifikan atau *P-Value* $\leq 0,05$; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

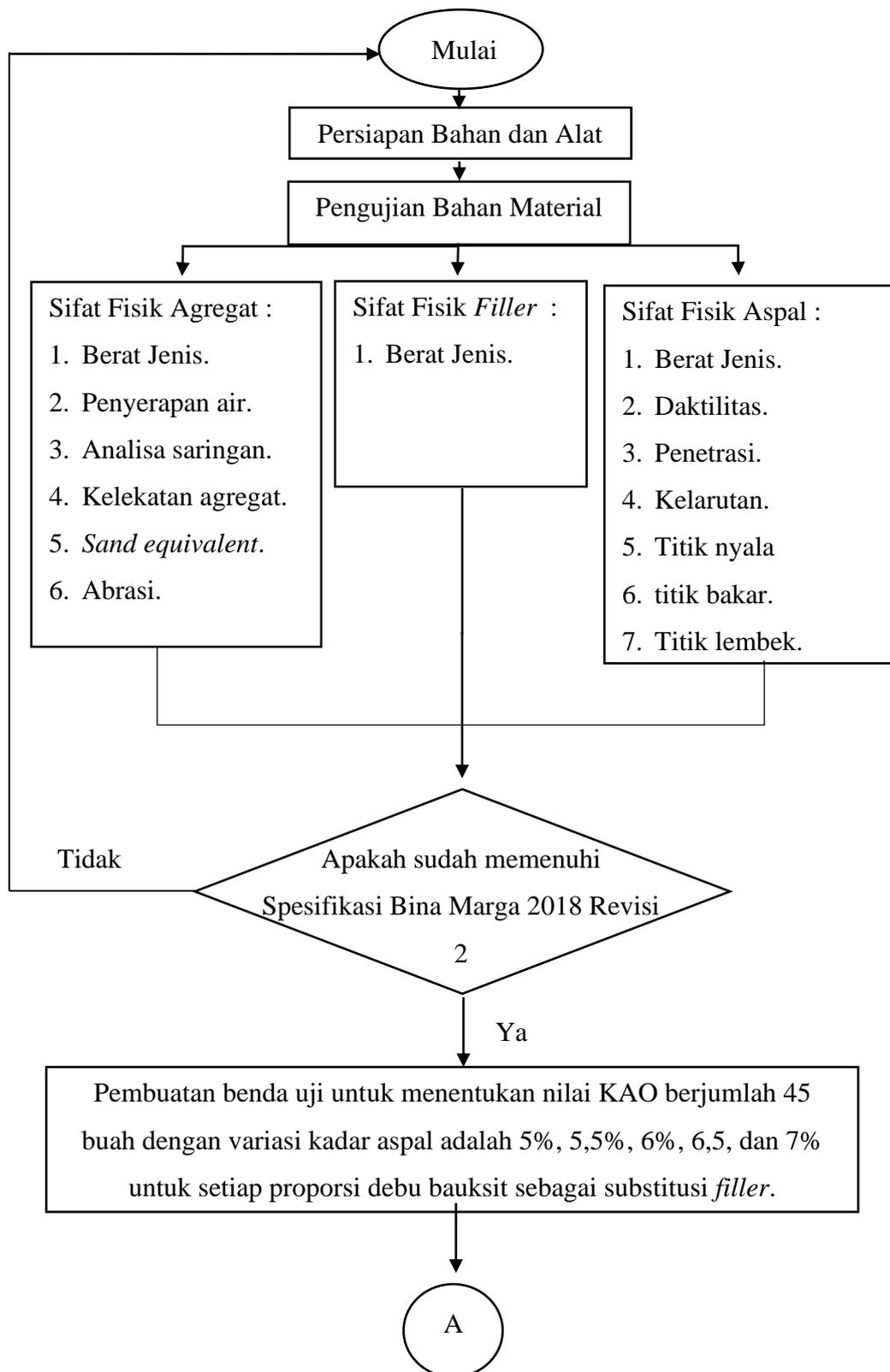
3. Perumusan keputusan H_0 dan H_1

H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan pengaruh debu bauksit terhadap karakteristik campuran SMA.

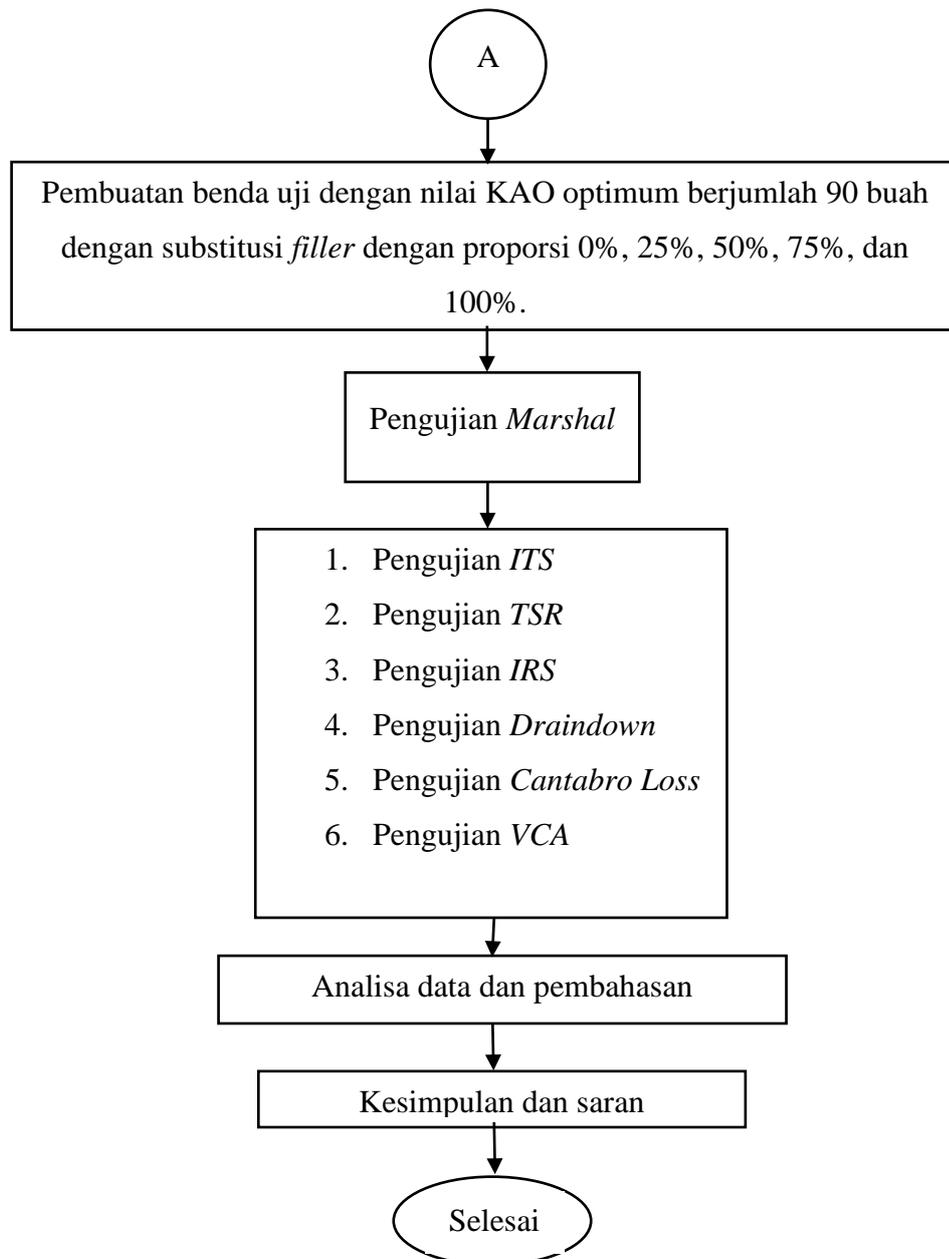
H_1 : Ada perbedaan signifikan pengaruh debu bauksit terhadap karakteristik campuran SMA.

4.6 Bagan Alir Penelitian

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



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Campuran

Berdasarkan rangkaian pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil dari setiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini menggunakan aspal Pen 60/70, data hasil pengujian ini berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Rekapitulasi hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,047	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60-70	65,50	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	165	Memenuhi
4	Titik Lembek (°C)	≥ 48	48	Memenuhi
5	Titik Nyala (°C)	≥ 232	270	Memenuhi
6	Titik Bakar (°C)	≥ 232	290	Memenuhi
7	Kelarutan pada TCE (%)	≥ 99	99,43	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini menggunakan agregat yang berasal dari Sungai Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Data hasil pengujian ini berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, rekapitulasi hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai Tabel 5.4 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,61
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 2	1,88
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	96,5
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≤ 40	12,9

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,55
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 2	1,49
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50	91,30

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

No	Jenis Pengujian	Hasil
1	Berat Jenis (Debu Batu)	2,541
2	Berat Jenis (Debu Bauksit)	2,510

5.1.3 Hasil Pengujian Campuran untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai KAO pada campuran *stone matrix asphalt* 25 mm yang menggunakan Pen 60/70. Hasil pengujian yang didapat adalah data nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, *VMA*, *VITM*, *IRS*, *draindown*, dan *VCA*.

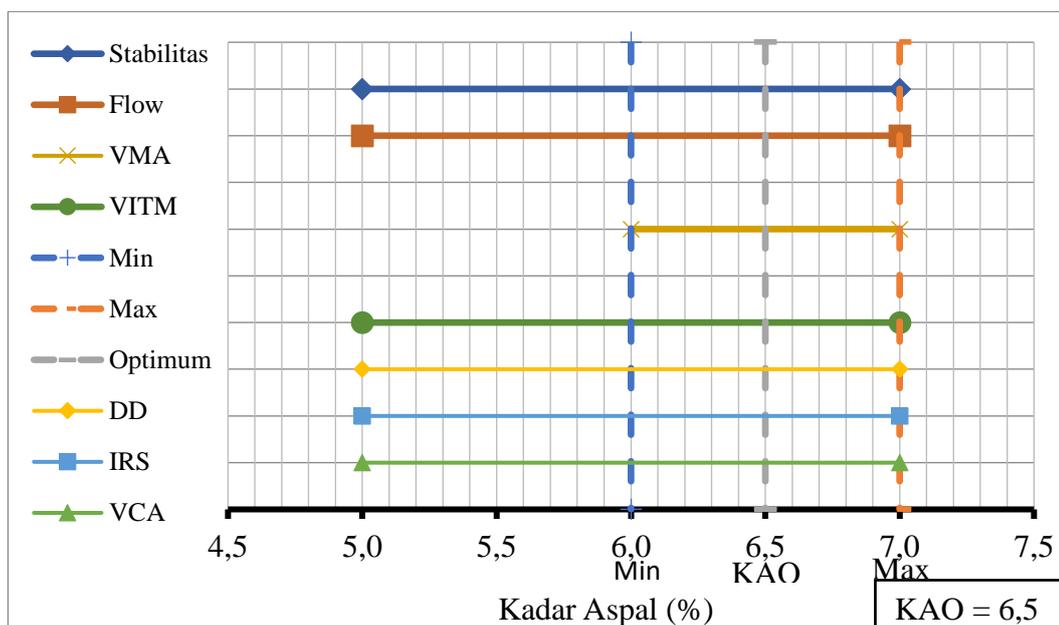
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Untuk Menentukan KAO

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
Stabilitas (kg)	785,11	802,59	844,87	853,64	820,59	> 600
<i>Flow</i> (mm)	2,13	2,23	2,90	3,13	3,32	2-4,5

Lanjutan Tabel 5.5 Hasil Pengujian Untuk Menentukan KAO

Pengujian	5	5,5	6	6,5	7	Spesifikasi
VITM (%)	4,72	4,39	3,79	3,34	3,03	3-5
VMA (%)	15,72	16,45	16,94	17,56	18,28	> 17
Draindown (%)	0,07	0,09	0,12	0,16	0,21	<0,3
IRS (%)	90,13	92,64	93,87	95,75	97,98	>90
VCA	0,802	0,804	0,806	0,807	0,810	<1

Berdasarkan pengujian yang dilakukan di laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran *stone matrix asphalt* 25 mm dengan dilakukan perhitungan secara grafis, nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.

Gambar 5.1 Penentuan KAO dengan Substitusi *Filler* Debu Bauksit 0%

Berdasarkan Gambar 5.1, maka Kadar Aspal Optimum yang digunakan untuk variasi substitusi *filler* adalah 6,5%. Pada variasi Kadar Aspal Optimum 6,5% didapatkan berat agregat yang lolos saringan no. 200 sehingga didapatkan berat *filler* yang akan digunakan. Pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan *filler* debu batu dan *filler* pengganti yaitu debu bauksit. Berat *filler* ditentukan

berdasarkan berat volume dari masing-masing *filler*, untuk menentukan berat volume perlu diketahui berat jenis dari masing-masing *filler* karena debu bauksit sebagai *filler* pengganti yang memiliki berat jenis berbeda dengan debu batu.

Setelah dilakukan pengujian berat jenis, maka didapatkan masing-masing *filler* yaitu debu batu sebesar 2,541 gr/cm³ dan berat jenis debu bauksit sebesar 2,510 gr/cm³. Pengujian berat jenis dilakukan agar didapatkan berat volume yang sama berdasarkan perbandingan volume. Berat untuk masing-masing *filler* dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Berat Debu Batu dan Debu Bauksit

Kadar Variasi Substitusi <i>Filler</i> (%)	Berat Debu Batu (gr)	Berat Debu Bauksit (gr)
0	106,59	0,00
25	79,94	26,32
50	53,30	52,64
75	26,65	78,96
100	0,00	105,28

Berikut ini adalah gambar debu bauksit yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut.



Gambar 5.2 Debu Bauksit

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran pada Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian campuran *stone matrix asphalt* 25 mm pada Kadar Aspal Optimum dengan substitusi debu Bauksit sebagai pengganti *filler* dengan

pengujian *marshall*, *VCA*, *draindown*, *IRS*, *IDP*, *IDK*, *ITS*, *TSR*, dan *cantabro loss* dapat dilihat pada Tabel 5.7 sampai Tabel 5.15.

1. Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Marshall*

Tabel 5.7 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi <i>Filler</i> (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
0	853,636	3,133	272,631	3,345	80,987	17,557	2,290
25	895,750	2,900	308,805	3,611	79,694	17,780	2,283
50	911,712	2,825	322,760	3,831	78,673	17,965	2,277
75	922,976	2,750	336,795	3,999	77,923	18,104	2,273
100	1017,577	2,675	380,476	4,121	77,370	18,205	2,269
Spesifikasi	> 600	2-4,5	> 250	3-5	> 65	> 17	

2. Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Void Coarse Aggregate* (*VCA*)

Tabel 5.8 Rekapitulasi Pengujian Nilai *VCA* pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi Debu Bauksit (%)	VCA_{MIX}/VCA_{DRC}
0	0,807
25	0,812
50	0,818
75	0,819
100	0,824

3. Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Draindown*

Tabel 5.9 Rekapitulasi Pengujian *Draindown* pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi Debu Bauksit (%)	<i>Draindown</i> (%)
0	0,16
25	0,13
50	0,11
75	0,08
100	0,07

4. Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Pengujian *IRS* pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi Debu Bauksit (%)	<i>IRS</i> (%)
0	95,75
25	96,51
50	98,11
75	98,43
100	98,70

5. Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Tabel 5.11 Rekapitulasi Pengujian IDP pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi Debu Bauksit (%)	IDP (%)
0	0,185
25	0,152
50	0,082
75	0,068
100	0,056

6. Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Tabel 5.12 Rekapitulasi Pengujian IDK pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi Debu Bauksit (%)	IDK (%)
0	2,126
25	1,745
50	0,945
75	0,783
100	0,648

7. Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Index Tensile Strength* (ITS)

Tabel 5.13 Rekapitulasi Pengujian ITS pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi Debu Bauksit (%)	ITS (kPa)
0	765,603
25	814,634
50	848,624
75	916,688
100	1007,119

8. Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Tensile Strength Ratio* (TSR)

Tabel 5.14 Rekapitulasi Nilai TSR pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi Debu Bauksit (%)	TSR (%)
0	90,689
25	93,504

Lanjutan Tabel 5.14 Rekapitulasi Nilai *TSR* pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi Debu Bauksit (%)	<i>TSR</i> (%)
50	94,691
75	95,731
100	96,562

9. Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* pada Pengujian *Cantabro Loss*

Tabel 5.15 Rekapitulasi Pengujian *Cantabro Loss* pada KAO Setiap Kadar Substitusi Debu Bauksit

Kadar Substitusi Debu Bauksit (%)	Kehilangan Berat (%)
0	18,41
25	15,21
50	13,84
75	12,82
100	11,38

Data hasil karakteristik *marshall*, *VCA*, *draindown*, *IRS*, *IDP*, *IDK*, *ITS*, *TSR*, dan *cantabro loss* pada campuran *stone matrix asphalt* 25 mm dengan penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* dianalisis dengan *ANOVA*. Hasil analisis menggunakan statistik *ANOVA* dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 sebagai berikut.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Data Uji Statistika *ANOVA* untuk Pengaruh *Filler* Debu Bauksit Terhadap Karakteristik *Marshall*

Parameter	Nilai Signifikan	Keterangan	Hasil Analisis
Stabilitas	0,001	H ₁ diterima	Signifikan
<i>Flow</i>	0,001	H ₁ diterima	Signifikan
<i>VITM</i>	0,026	H ₁ diterima	Signifikan
<i>VFWA</i>	0,026	H ₁ diterima	Signifikan
<i>VMA</i>	0,030	H ₁ diterima	Signifikan

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Data Uji Statistika ANOVA untuk Pengaruh Filler Debu Bauksit Terhadap Karakteristik Marshall

Parameter	Nilai Signifikan	Keterangan	Hasil Analisis
<i>MQ</i>	0,001	H ₁ diterima	Signifikan
<i>Density</i>	0,011	H ₁ diterima	Signifikan

Tabel 5.17 Rekapitulasi Data Uji Statistika ANOVA untuk Pengaruh Filler Debu Bauksit Terhadap IRS, IDP, IDK, ITS, TSR, VCA, Cantabro, dan Draindown

Parameter	Nilai Signifikan	Keterangan	Hasil Analisis
<i>IRS</i>	0,621	H ₀ diterima	Tidak signifikan
<i>IDP</i>	0,558	H ₀ diterima	Tidak signifikan
<i>IDK</i>	0,397	H ₀ diterima	Tidak signifikan
<i>ITS</i>	0,008	H ₁ diterima	Signifikan
<i>TSR</i>	0,476	H ₀ diterima	Tidak signifikan
<i>VCA</i>	0,874	H ₀ diterima	Tidak signifikan
<i>Cantabro</i>	0,001	H ₁ diterima	Signifikan
<i>Draindown</i>	0,001	H ₁ diterima	Signifikan

5.2 Pembahasan

Berikut merupakan pembahasan hasil pengujian yang sudah dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia sebagai berikut.

5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian dalam penelitian ini menggunakan aspal dengan jenis Pertamina Pen 60/70, pengujian ini mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2. Berikut merupakan hasil pengujian karakteristik aspal yang dapat dilihat pada Tabel 5.1.

1. Berat Jenis Aspal

Nilai berat jenis aspal didapatkan dari perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama dengan temperatur tertentu. Pada

pengujian ini didapatkan hasil berat jenis aspal sebesar 1,047, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $> 1,00$.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai penetrasi pada aspal sehingga dapat diketahui mutu dan tingkat kekerasan aspal. Hasil pengujian penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 didapatkan nilai penetrasi sebesar 65,50 mm, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu 60 mm sampai dengan 70 mm.

3. Daktilitas Aspal

Pengujian daktilitas bertujuan untuk mengetahui keelastisitasan aspal dan sifat kohesi pada aspal. Hasil pengujian daktilitas sebesar 165 cm, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu ≥ 100 cm.

4. Titik Nyala Aspal dan Titik Bakar Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui pada suhu berapa aspal mulai menyala dan aspal mulai memercikkan api. Hasil pengujian ini diperoleh titik nyala pada aspal sebesar 270°C , hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

Nilai titik bakar aspal yaitu nilai yang menunjukkan batas temperatur ketika aspal mulai menimbulkan api yang terlihat menyala ± 5 detik pada permukaan aspal. Hasil pengujian ini diperoleh titik bakar sebesar 290°C , hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\geq 232^{\circ}\text{C}$.

5. Titik Lembek Aspal

Pengujian bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap temperatur, pada pengujian ini didapatkan nilai sebesar 48°C , hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\geq 48^{\circ}\text{C}$.

6. Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral lain yang ada dalam aspal. Mineral lain yang terkandung dalam aspal dapat mengganggu ikatan aspal antar agregat. Semakin besar nilai persentase kelarutannya berarti kandungan mineral lainnya dalam aspal semakin kecil. Pada pengujian ini

didapatkan hasil sebesar 99,43%, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\geq 99\%$.

5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat kasar. Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng, Kulon Progo, berikut karakteristik dari agregat kasar.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat volume agregat dan volume air pada *temperature* tertentu. Nilai berat jenis agregat dalam suatu campuran menentukan banyaknya pori, jika material agregat memiliki nilai berat jenis yang besar maka memiliki pori yang kecil sehingga menyebabkan kebutuhan aspal akan semakin sedikit begitu juga sebaliknya. Hasil dari pengujian agregat kasar sebesar 2,61, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\geq 2,5$.

2. Penyerapan Air oleh Agregat Kasar

Penyerapan agregat terhadap air bertujuan untuk mengetahui kemampuan agregat untuk menyerap air yang masuk melalui pori atau rongga yang terdapat dalam agregat, dalam kondisi kering sampai dengan kondisi jenuh. Agregat dengan kadar pori yang besar memiliki penyerapan yang besar dan lebih banyak membutuhkan aspal untuk mengisi pori agregat begitu juga sebaliknya. Hasil dari pengujian sebesar 1,88%, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\leq 2\%$.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian kelekatan Agregat terhadap aspal bertujuan untuk menentukan persentase luas permukaan agregat yang terselimuti aspal terhadap permukaan agregat. Hasil dari pengujian agregat kasar sebesar 96,5%, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\geq 95\%$.

4. Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan dengan mesin Los Angeles bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap penghancuran (degradasi). Hasil dari

pengujian sebesar sebesar 12,9%, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\leq 40\%$.

5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat halus. Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari Clereng, Kulon Progo, berikut karakteristik dari agregat halus.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis adalah perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis agregat halus Clereng, Kulon Progo adalah sebesar 2,55, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\geq 2,5$.

2. Penyerapan Air oleh Agregat Halus

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan suatu bahan untuk menyerap air, rongga atau pori pada agregat. Agregat yang memiliki rongga/pori yang besar akan lebih banyak membutuhkan aspal karena nilai penyerapannya semakin besar. Hasil pengujian penyerapan agregat halus Clereng, Kulon Progo terhadap air adalah sebesar 1,49%, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\leq 2\%$.

3. *Sand Equivalent*

Pengujian *sand equivalent* menunjukkan tingkat kebersihan agregat terhadap debu, lumpur atau kotoran lainnya. Hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng adalah sebesar 91,30%, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu $\geq 50\%$. Hal ini menunjukkan bahwa agregat halus Clereng cukup bersih dan terbebas dari kandungan debu, lumpur, atau kotoran lainnya yang dapat mengganggu kelekatan aspal terhadap agregat.

5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Pengisi (*Filler*)

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

1. Pengujian Berat Jenis Debu Batu

Berat jenis adalah perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis *filler* debu batu adalah sebesar 2,541.

2. Pengujian Berat Jenis Debu Bauksit

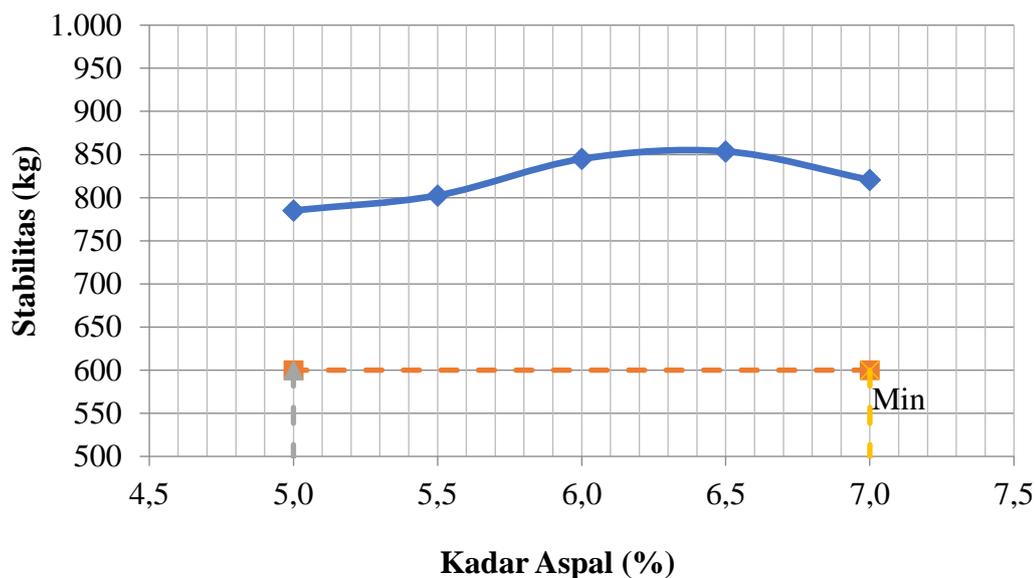
Berat jenis adalah perbandingan antara berat satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis *filler* debu bauksit adalah sebesar 2,510.

Dalam menentukan berat volume perlu diketahui berat jenis pada masing-masing *filler*. Hal ini guna mengetahui perbandingan volume antar *filler* sehingga dapat melingkupi volume yang sama karena berat jenis debu bauksit sebagai *filler* pengganti lebih kecil dari berat jenis *filler* debu batu.

5.2.5 Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Campuran untuk Menentukan KAO

1. Analisis Pengaruh Nilai Stabilitas untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Stabilitas adalah kemampuan campuran beton aspal untuk menahan beban sampai campuran mengalami kelelahan plastis. Grafik hasil nilai stabilitas akibat meningkatnya kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut.

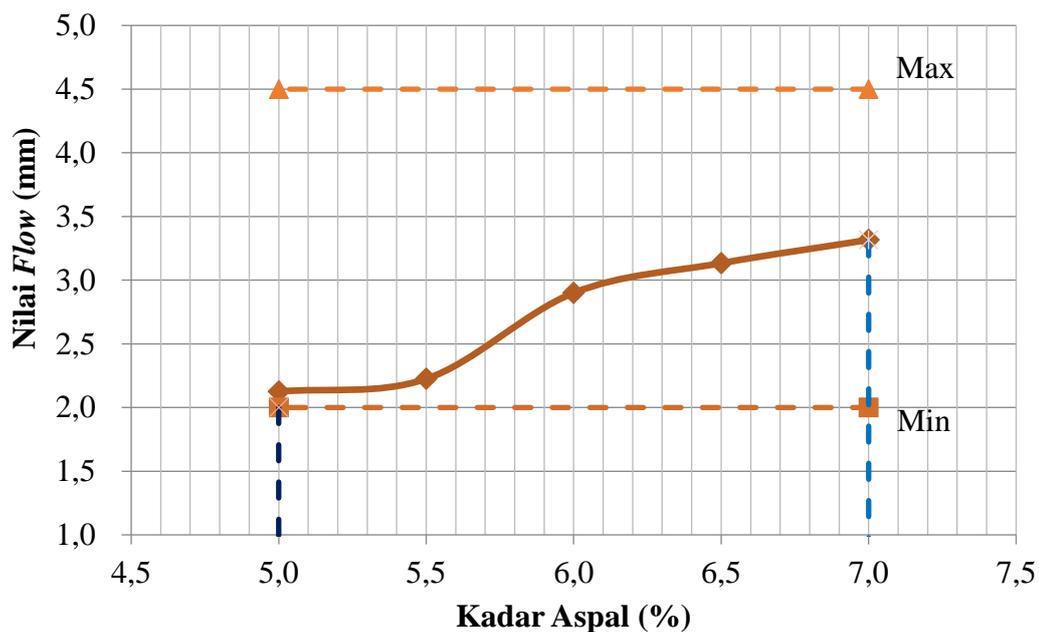


Gambar 5.3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.3 dapat dilihat titik optimum berada di kadar aspal 6,5% lalu mengalami penurunan. Hasil yang didapatkan sejalan dengan Sukirman (1992) bahwa meningkatnya stabilitas bersamaan dengan meningkatnya kadar aspal, sampai batas optimum dan turun setelah melampaui batas optimum. Hal ini terjadi akibat semakin banyaknya kadar aspal yang menyebabkan selimut aspal menjadi tebal sehingga mengakibatkan gesekan antar butiran berkurang dan aspal dari pengikat berubah menjadi pelicin antar agregat.

2. Analisis Pengaruh Nilai *flow* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kelelahan (*flow*) merupakan keadaan dimana campuran aspal mengalami perubahan bentuk akibat beban yang diterimanya. Grafik hasil nilai *flow* akibat meningkatnya kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



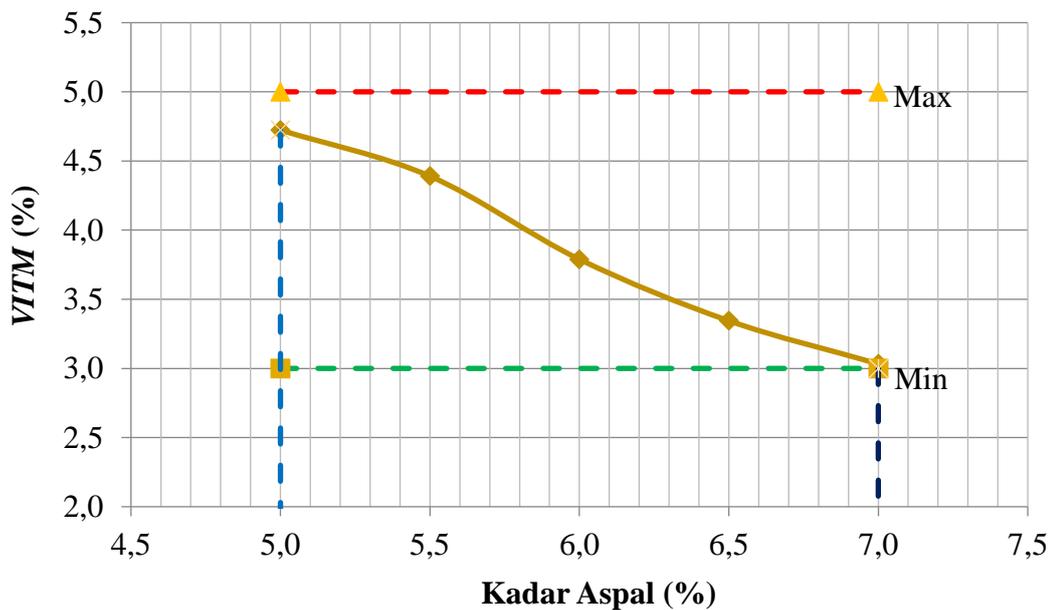
Gambar 5.4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow*

Berdasarkan Gambar 5.4 dapat dilihat nilai *flow* mengalami kenaikan setiap penambahan kadar aspal. Hasil yang didapatkan sejalan dengan Sukirman (1992) bahwa semakin bertambahnya kadar aspal akan meningkatkan nilai *flow* pada campuran. Nilai *flow* yang meningkat menyebabkan campuran semakin

bersifat plastis, sehingga campuran akan mengalami deformasi atau perubahan bentuk saat terkena beban.

3. Analisis Pengaruh Nilai *VITM* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

VITM adalah persentase volume rongga di antara butir-butir agregat yang diselimuti aspal atau volume rongga dalam beton aspal padat. Grafik hasil nilai *VITM* akibat meningkatnya kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.



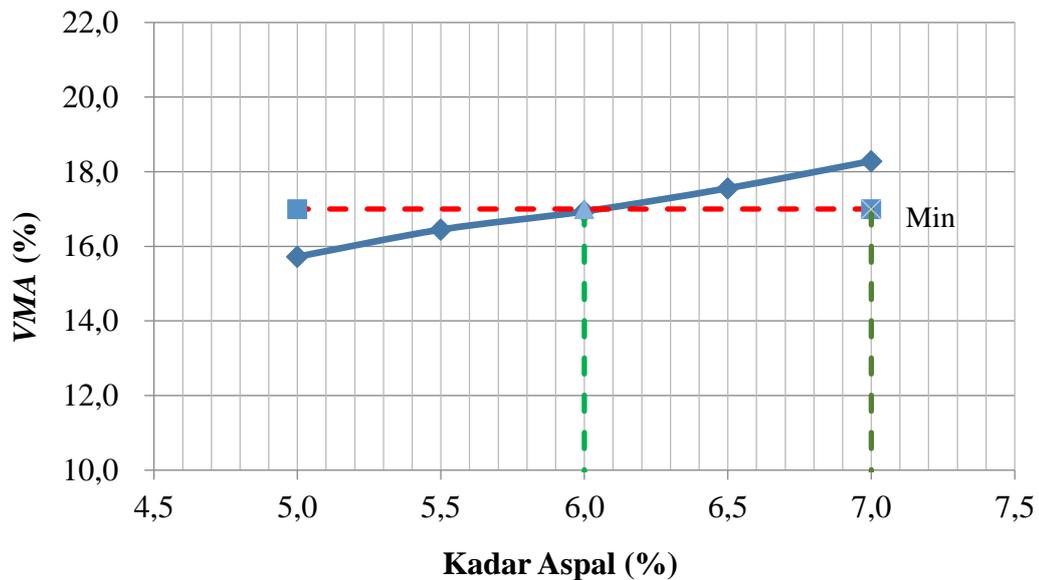
Gambar 5.5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VITM*

Berdasarkan Gambar 5.5 dapat dilihat nilai *VITM* mengalami penurunan setiap penambahan kadar aspal. Hasil yang didapatkan sejalan dengan Sukirman (1992) bahwa dengan bertambahnya kadar aspal akan menurunkan nilai *VITM* pada campuran. Hal ini menyebabkan campuran menjadi kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran yang menyebabkan oksidasi dan aspal menjadi rapuh.

4. Analisis Pengaruh Nilai *VMA* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

VMA adalah banyaknya rongga di antara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat, dinyatakan dalam persentase terhadap volume *bulk* beton aspal padat. Fungsi *VMA* dalam campuran sebagai ruang untuk menampung aspal dan rongga udara yang dibutuhkan dalam campuran. Pada Spesifikasi Bina

Marga Revisi 2 Tahun 2018 disyaratkan untuk campuran *stone matrix asphalt* > 17%. Grafik hasil nilai *VMA* akibat meningkatnya kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.

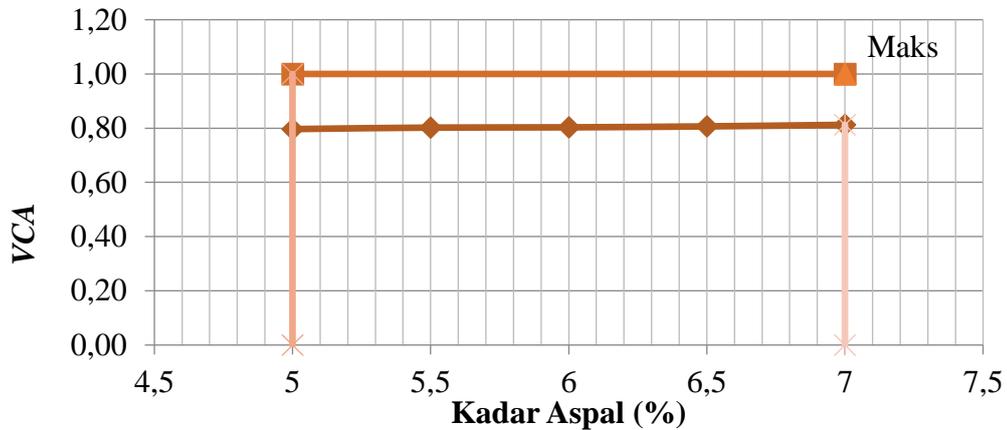


Gambar 5.6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA*

Berdasarkan Gambar 5.6 dapat dilihat nilai *VMA* mengalami kenaikan setiap penambahan kadar aspal. Hasil yang didapatkan sejalan dengan Sukirman (1992) bahwa dengan bertambahnya kadar aspal akan menaikkan nilai *VMA* pada campuran. Hal ini disebabkan semakin tebal aspal yang menyelimuti agregat sehingga jarak rongga antara agregat semakin besar. *VMA* dan kadar aspal yang tinggi dapat mengakibatkan lapis perkerasan menjadi lentur.

5. Analisis Pengaruh Nilai *VCA* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

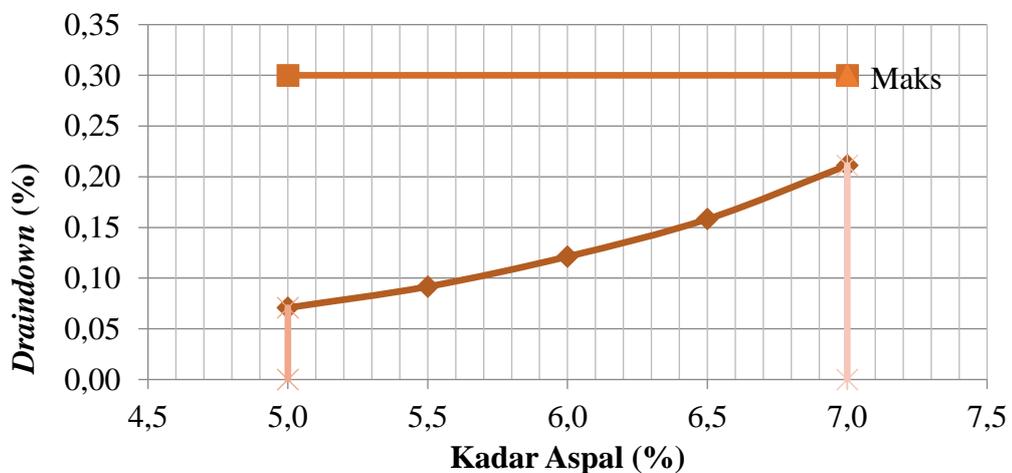
VCA adalah Kondisi *stone-on-stone contact* pada campuran *stone matrix asphalt* didefinisikan sebagai volume rongga pada partikel agregat kasar, termasuk di dalamnya berupa *filler*, agregat halus, rongga udara, aspal, dan serat selulosa (apabila digunakan). Campuran ini harus memenuhi persyaratan nilai *VCA* yang ditetapkan *AASHTO* yaitu $VCA_{MIX} < VCA_{DRC}$ atau $VCA_{MIX}/VCA_{DRC} < 1$. Grafik hasil nilai *VCA* akibat meningkatnya kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



Gambar 5.7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai VCA

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat dilihat nilai *VCA* mengalami kenaikan setiap penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan meningkatnya kadar aspal pada campuran dan semakin tebalnya aspal yang menyelimuti agregat sehingga jarak rongga antara agregat semakin besar, sehingga akan mengurangi *stone-on-stone contact* pada campuran *stone matrix asphalt*.

6. Analisis Pengaruh Nilai *Draindown* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum *Draindown* pada campuran *stone matrix asphalt* dilakukan pengujian dikarenakan memiliki kadar aspal yang tinggi, sehingga berpotensi terjadinya pengaliran aspal yang dapat mempengaruhi kualitas campuran. Grafik hasil nilai *draindown* akibat meningkatnya kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.

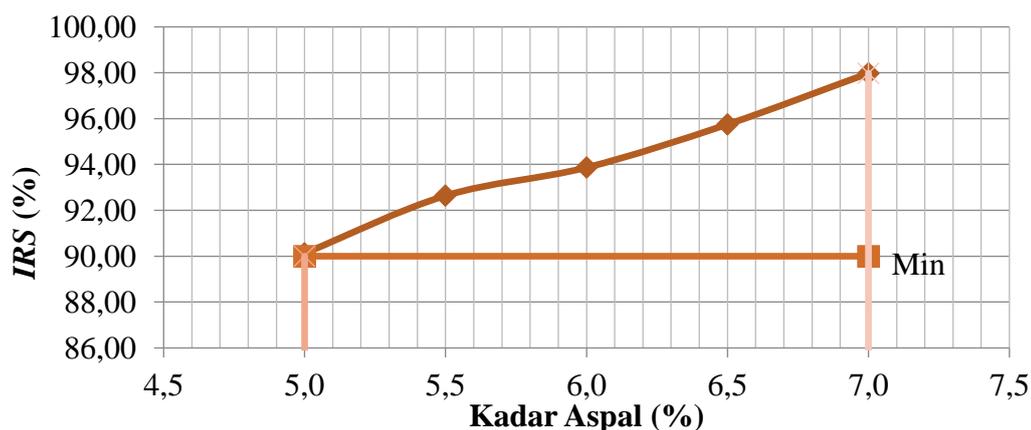


Gambar 5.8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Draindown

Berdasarkan Gambar 5.8 dapat dilihat nilai *draindown* mengalami peningkatan setiap penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan meningkatnya kadar aspal pada campuran sehingga aspal mengalami pengaliran, akan tetapi nilai *draindown* memenuhi Spesifikasi Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 disyaratkan untuk campuran *stone matrix asphalt* $< 0,3\%$.

7. Analisis Pengaruh Nilai *IRS* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Nilai *IRS* diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam pada *waterbath* dengan suhu 60°C dengan nilai stabilitas 0,5 jam rendaman. Pada Spesifikasi Bina Marga Revisi 2 Tahun 2018 disyaratkan untuk campuran *stone matrix asphalt* $> 90\%$. Grafik hasil nilai *IRS* akibat meningkatnya kadar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.



Gambar 5.9 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *IRS*

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat dilihat nilai *IRS* mengalami peningkatan setiap penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan campuran memiliki nilai *VITM* yang mengalami penurunan dan nilai *VMA* yang mengalami peningkatan, sehingga campuran yang dihasilkan dapat menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air, dan perubahan suhu.

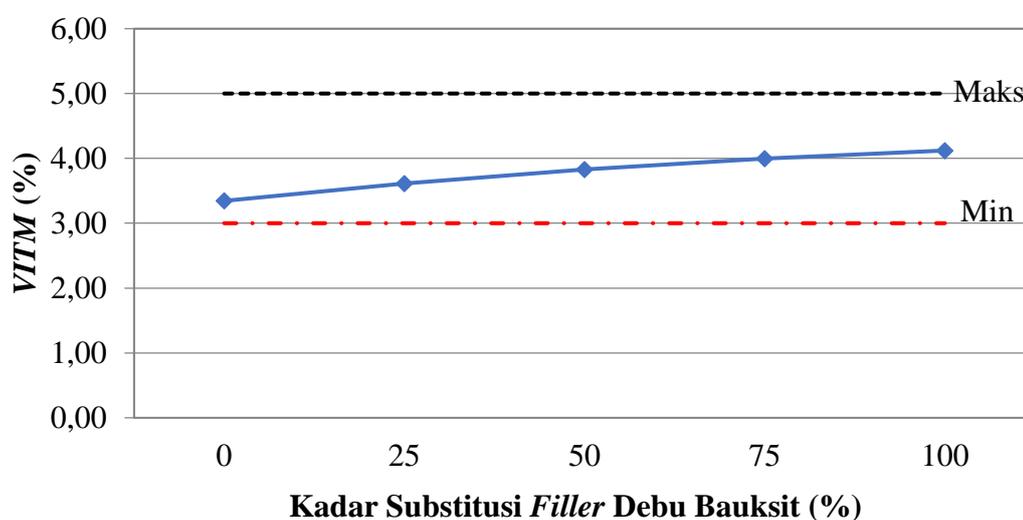
5.2.6 Karakteristik *Marshall* pada KAO Campuran dengan Substitusi *Filler* Debu Bauksit

Berdasarkan hasil pengujian *marshall* pada campuran *stone matrix asphalt* 25 mm dengan substitusi debu bauksit. Berdasarkan pengujian berat jenis, nilai berat jenis debu bauksit lebih kecil daripada nilai berat jenis debu batu Clereng,

maka hal ini akan berpengaruh terhadap campuran aspal. Berikut adalah hasil pengujian pengaruh penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* dengan nilai KAO sebesar 6,5% sebagai berikut.

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

Grafik hasil nilai *VITM* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



Gambar 5.10 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VITM*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai *VITM* semakin meningkat, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai *VITM*. Hal ini mengindikasikan peningkatan nilai *VITM* pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit berpengaruh. Hal ini dikarenakan berat jenis *filler* debu bauksit lebih kecil, sehingga pada berat yang sama campuran *filler* debu bauksit memiliki volume yang lebih besar dan debu bauksit yang lebih kasar menyebabkan aspal menjadi tidak plastis dan mengurangi kemampuan aspal dalam mengisi rongga pada campuran, sehingga menghasilkan campuran yang memiliki rongga udara yang besar. Pada campuran yang memiliki rongga udara

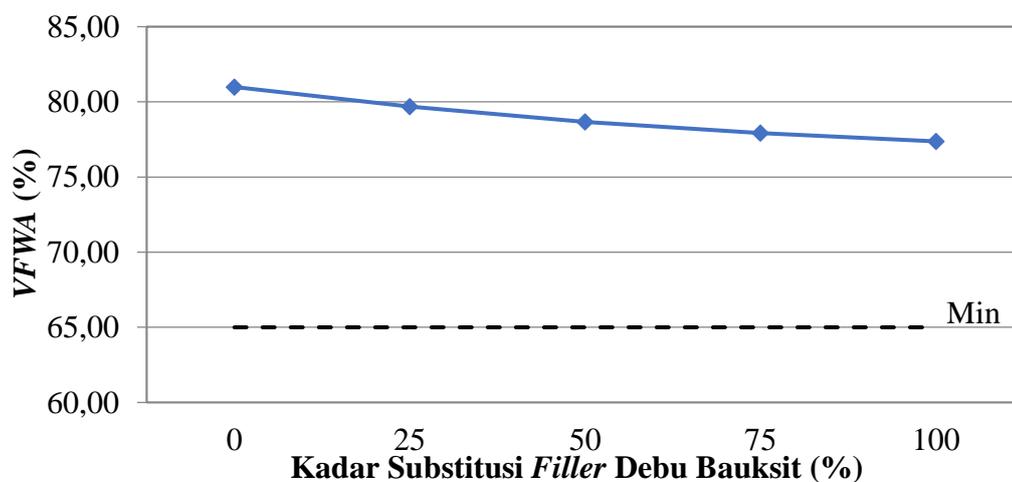
besar menyebabkan campuran menjadi *porous*, dimana air dan udara akan mudah masuk sehingga memberikan pengaruh terhadap keawetan campuran.

Penelitian ini sejalan dengan Chasanah dan Sukmo (2023) dalam penelitiannya bahwa penambahan bubuk talk menghasilkan nilai *VITM* yang meningkat hal ini menyebabkan rongga udara pada campuran *AC-WC* tidak banyak terisi oleh butir *filler* sehingga meningkatkan nilai *VITM* dan menyebabkan semakin besar rongga pada campuran sehingga bersifat *porous* (mudah meresapkan air). Hasil yang didapat berbeda dengan Penelitian Hidayat dan Kushari (2019) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa nilai *VITM* mengalami penurunan, hal ini disebabkan semakin terisinya rongga yang tersisa pada campuran setelah dipadatkan oleh *filler* abu ampas tebu dan bertambahnya kadar aspal.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *VITM* untuk campuran *stone matrix asphalt* memiliki nilai antara 3% sampai 5% sehingga nilai *VITM* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

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

Grafik hasil nilai *VFWA* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



Gambar 5.11 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *VFWA*

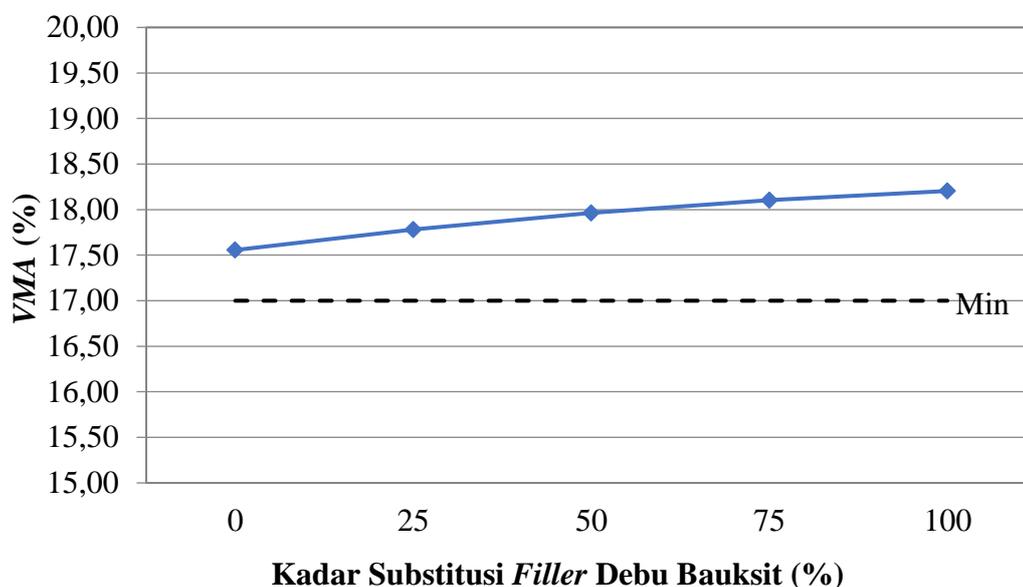
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.11 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai *VFWA* mengalami penurunan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai *VFWA*. Hal ini mengindikasikan penurunan nilai *VFWA* pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit berpengaruh. Hal ini disebabkan setiap penambahan substitusi *filler* debu bauksit membuat aspal menjadi tidak plastis. Berdasarkan hasil yang didapatkan nilai *VFWA* pada kadar substitusi *filler* debu bauksit 100% memiliki nilai di atas minimum yang disyaratkan, maka dapat diindikasikan bahwa debu bauksit mampu menyerap aspal dan *film* aspal yang tebal, membuat campuran memiliki ketahanan terhadap pengaruh udara dan air sehingga campuran menjadi lebih awet.

Penelitian ini sejalan dengan Chasanah dan Sukmo (2023) dalam penelitiannya bahwa penambahan bubuk talk menghasilkan nilai *VFWA* yang mengalami penurunan hal ini disebabkan fungsi aspal selain sebagai bahan ikat juga sekaligus sebagai pengisi rongga dalam campuran, semakin nilai *VFWA* penurunan dapat menurunkan kekedapan campuran terhadap air dan bisa membuat campuran mudah mengeras dan tidak awet. Hasil yang didapat berbeda dengan Penelitian Hidayati (2018) dalam penelitiannya bahwa penggunaan *filler* debu sekam padi mengalami peningkatan nilai *VFWA* seiring meningkatnya kadar substitusi *filler* abu sekam padi, hal ini disebabkan semakin besar aspal dan *filler* abu sekam padi mengisi rongga campuran yang membuat kekedapan campuran semakin meningkat.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *VFWA* yaitu > 65% sehingga nilai *VFWA* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

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

Grafik hasil nilai *VMA* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap VMA

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai VMA mengalami peningkatan, pada analisis ANOVA didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai VMA. Hal ini mengindikasikan peningkatan nilai VMA pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit berpengaruh. Nilai VMA merupakan persen rongga udara yang ada di antara partikel-partikel agregat didalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan, peningkatan nilai VMA dikarenakan penurunan nilai VFWA dan meningkatnya nilai VITM. Nilai VMA yang mengalami peningkatan mengindikasikan bahwa jarak antar agregat semakin menjauh. Hal ini dapat disebabkan makin besarnya nilai pori campuran atau makin tebalnya *film* aspal pada agregat. Nilai VMA yang tinggi menjadi indikator durabilitas atau memberi pengaruh terhadap keawetan dari campuran.

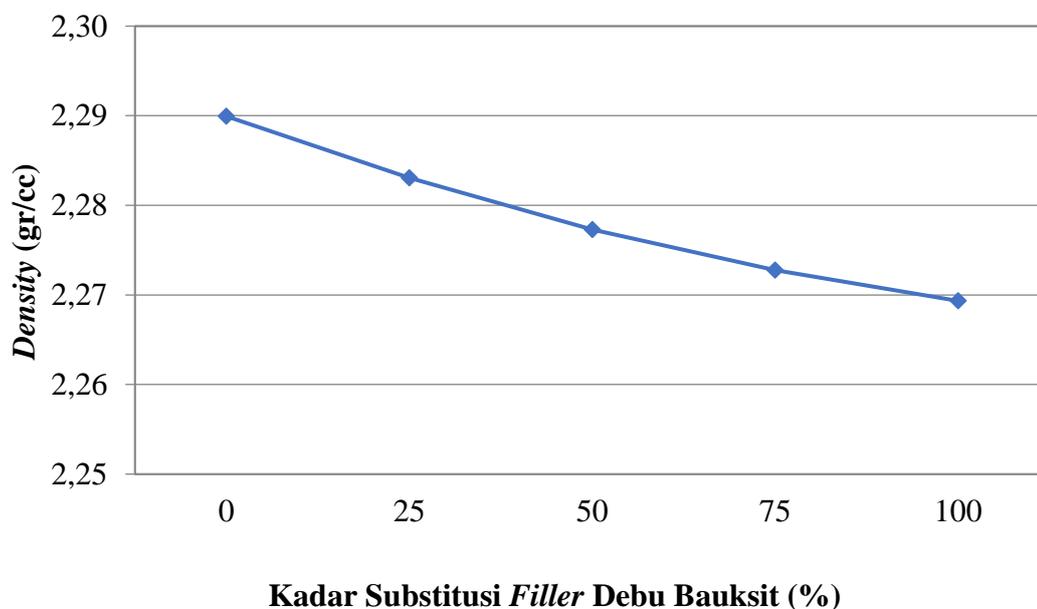
Penelitian ini sejalan dengan Rahman (2023) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan *filler fly ash* menghasilkan nilai VMA yang meningkat hal ini disebabkan kurangnya kepadatan campuran akibat menurunnya *workability* yang disebabkan karena penambahan *filler fly ash*. Hasil ini sejalan dengan Alpius dan Mangontan R (2021) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa *filler* limbah gypsum semakin besar kadar *filler* limbah

gypsum yang digunakan maka meningkatkan nilai *VMA*, sehingga semakin besar pula rongga pada agregat yang diisi aspal, karena aspal yang fungsinya selain sebagai penyelimut juga berfungsi untuk mengisi rongga-rongga antar agregat dan pada bagian dalam agregat.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *VMA* yaitu $> 17\%$ sehingga nilai *VMA* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

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

Grafik hasil nilai *density* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



Gambar 5.13 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *Density*

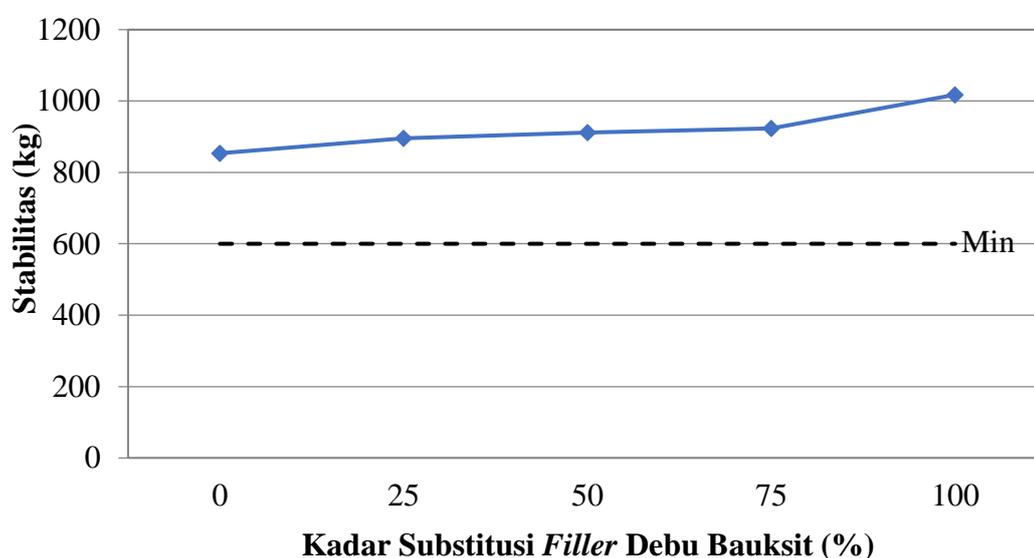
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai *density* mengalami penurunan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai *density*. Hal ini mengindikasikan penurunan nilai *density* campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit terhadap nilai *density* berpengaruh. Hal ini disebabkan dari menurunnya nilai *VFWA* dan meningkatnya nilai *VITM* pada campuran. Penurunan ini diakibatkan juga oleh perbedaan berat jenis dari kedua macam *filler* yang digunakan. Berat jenis *filler* debu bauksit lebih kecil daripada berat

jenis *filler* debu batu Clereng, sehingga dengan berat jenis yang lebih kecil menyebabkan volume yang lebih besar pada berat yang sama. Nilai *density* merupakan perbandingan antara massa dan volume, sehingga abu bauksit dengan berat jenis yang lebih kecil akan memiliki volume yang lebih besar sehingga menghasilkan nilai *density* yang lebih kecil. Hal ini menunjukkan kerapatan pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit lebih rendah dibandingkan tanpa substitusi.

Penelitian ini sejalan dengan Hidayat dan Kushari (2019) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa *filler* abu ampas tebu mengalami penurunan terhadap nilai *density*, hal ini disebabkan butir-butir abu ampas tebu yang sangat halus bercampur dengan aspal sehingga menyebabkan *mastic* lebih rendah.

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

Grafik hasil nilai stabilitas akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.



Gambar 5.14 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Stabilitas

Pada Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai stabilitas mengalami peningkatan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai stabilitas. Hal ini

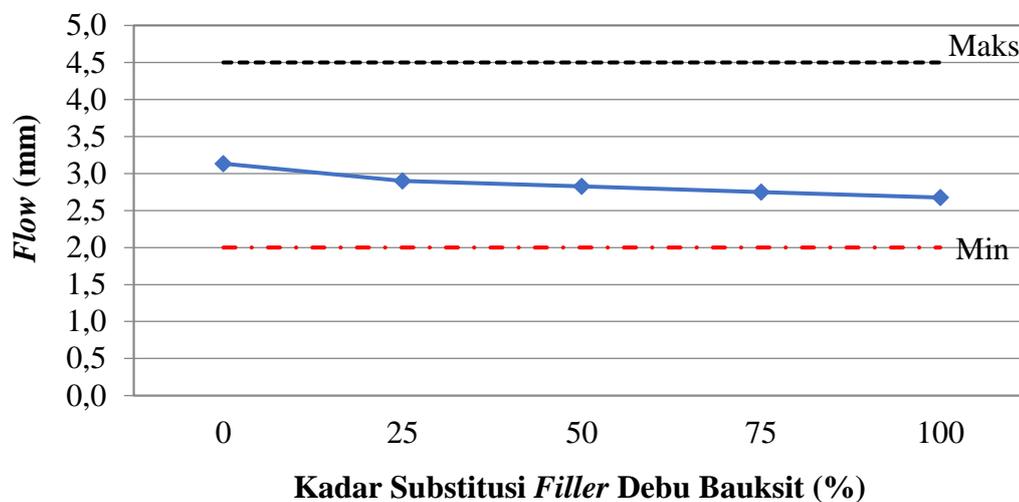
mengindikasikan peningkatan nilai stabilitas campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit terhadap nilai stabilitas berpengaruh. Peningkatan nilai stabilitas disebabkan debu bauksit dapat meningkatkan kekentalan dan kohesi aspal dikarenakan debu bauksit memiliki sifat *pozzolan*, sehingga semakin besar kadar substitusi debu bauksit kekentalan dan kohesi aspal semakin meningkat yang membuat campuran menjadi kaku dan keras. Hal ini mengindikasikan bahwa kemampuan campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit mampu menahan deformasi yang terjadi akibat beban di atasnya. Penggunaan debu bauksit yang memiliki sifat *pozzolan* memiliki kesamaan pada *filler fly ash*, sebagaimana yang disimpulkan oleh Fauziah, dkk (2012) secara kimiawi *fly ash* memiliki sifat *pozzolan* yang mengandung silika, besi oksida, aluminium oksida, kalsium oksida, magnesium oksida dan sulfat, yang apabila ditambahkan aspal akan membentuk reaksi senyawa yang membuat campuran menjadi kaku dan keras.

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Lisantono (2018) tentang batu bauksit sebagai pengganti agregat kasar pada campuran beton bahwa penggunaan batu bauksit dapat membuat ikatan yang baik antara batu bauksit dengan mortar sehingga meningkatkan nilai kuat tekan pada campuran beton, pengujian kimia menunjukkan bahwa bauksit memiliki kandungan silika, alumina, besi, kalsium, magnesium, dan natrium. Hasil penelitian ini sejalan dengan Hidayat dan Kushari (2019) bahwa pada penggunaan *filler* abu ampas tebu pada kadar 25% mengalami peningkatan nilai stabilitas, dikarenakan *filler* abu ampas tebu membuat campuran menjadi kohesi sehingga meningkatkan nilai stabilitasnya.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai minimum stabilitas untuk campuran *stone matrix asphalt* yaitu > 600 kg sehingga nilai stabilitas pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

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

Grafik hasil nilai *flow* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut.



Gambar 5.15 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi Filler Terhadap Nilai Flow

Berdasarkan Gambar 5.15 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar debu bauksit menghasilkan nilai *flow* yang semakin menurun, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai *flow*. Hal ini mengindikasikan penurunan nilai *flow* campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit terhadap nilai *flow* berpengaruh. Hal ini mengindikasikan bahwa nilai *flow* yang rendah dapat mengakibatkan campuran menjadi tidak mudah mengalami deformasi akibat terkena beban. Hal ini dapat disebabkan debu bauksit yang menyerap aspal sehingga campuran memiliki rongga yang besar hal ini dapat dilihat pada nilai *VITM* yang mengalami peningkatan dan nilai *VMA* yang juga mengalami peningkatan, penurunan nilai *flow* dapat diindikasikan juga karena debu bauksit memiliki sifat *pozzolan* serta memiliki kandungan silika, alumina, besi, kalsium, magnesium, dan natrium.

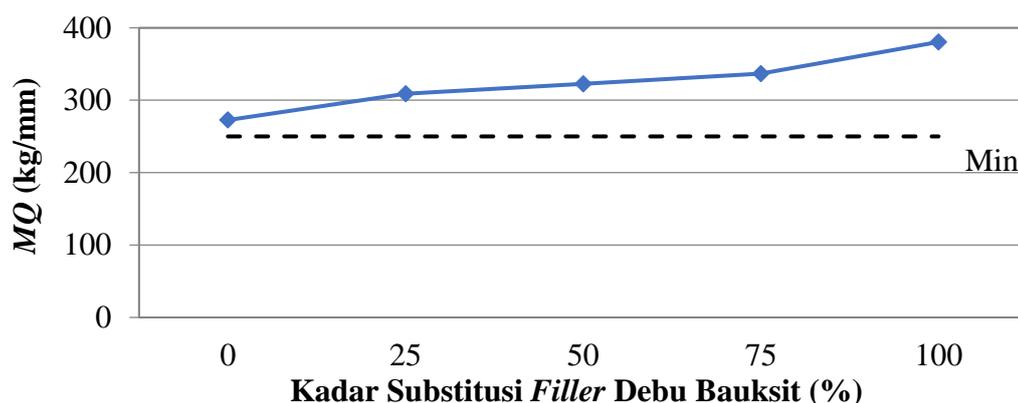
Penelitian ini sejalan dengan Fauziah, dkk (2012) dalam penelitian *fly ash* yang memiliki sifat *pozzolan*, dan memiliki kandungan yang terdiri dari silika, besi oksida, dan aluminium oksida yang ditambahkan pada aspal akan bereaksi dan membentuk senyawa yang membuat campuran menjadi keras dan kaku yang ditandai dengan semakin menurunnya nilai *flow* campuran.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *flow* untuk campuran *stone matrix asphalt* memiliki nilai antara 2,0 mm sampai 4,5 mm

sehingga nilai *flow* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

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

Grafik hasil nilai *MQ* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut.



Gambar 5.16 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Nilai *MQ*

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa semakin besar persentase substitusi *filler* debu bauksit ke dalam campuran aspal menghasilkan nilai *MQ* yang meningkat, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai *MQ*. Hal ini mengindikasikan peningkatan nilai *MQ* campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit terhadap nilai *MQ* berpengaruh. Hal ini disebabkan perbandingan antara nilai stabilitas yang tinggi dan nilai *flow* yang rendah sehingga menghasilkan nilai *MQ* yang tinggi. Hasil ini menunjukkan juga bahwa penggunaan substitusi *filler* debu bauksit menyebabkan aspal menjadi kental dan meningkatkan kekakuan pada campuran, sehingga nilai *MQ* yang tinggi membuat campuran tidak akan mudah berdeformasi ketika menerima beban.

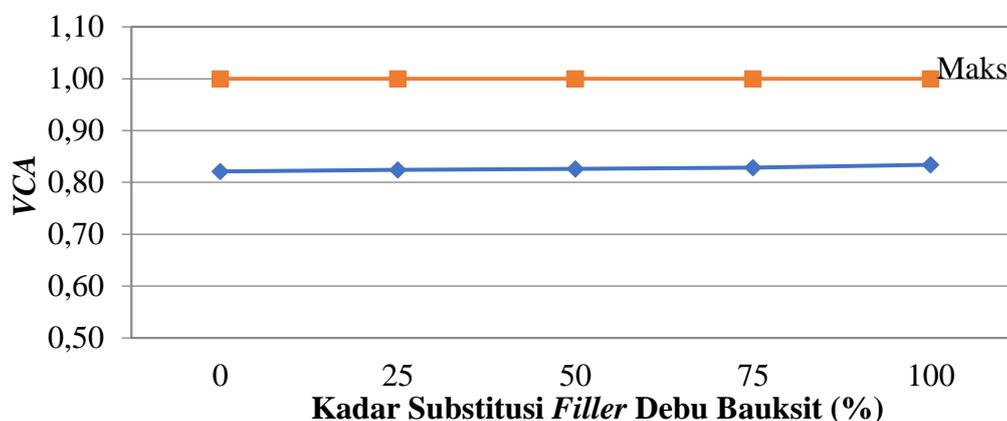
Penelitian ini sejalan dengan Rahman (2023), dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan *filler fly ash* menghasilkan nilai *MQ* yang meningkat disebabkan oleh penambahan *filler fly ash* kedalam campuran yang menyebabkan peningkatan viskositas stabilitas dan kekakuan campuran, yang

ditunjukkan pada peningkatan nilai MQ sejalan dengan peningkatan kadar substitusi *filler fly ash*.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai MQ yaitu > 250 kg/mm sehingga nilai MQ pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

5.2.7 Karakteristik Pengujian *Void Coarse Aggregate (VCA)* pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit

Grafik hasil nilai VCA akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut.



Gambar 5.17 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap VCA

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.17 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai VCA pada saat penambahan substitusi *filler* debu bauksit mengalami peningkatan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit tidak signifikan terhadap nilai VCA . Hal ini mengindikasikan peningkatan nilai VCA pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit tidak berpengaruh. Hal ini disebabkan meningkatnya nilai $VITM$ dan nilai VMA serta penurunannya nilai $VFWA$, sehingga jarak rongga antara agregat mengalami peningkatan. Sehingga akan mengurangi *stone-on-stone contact* pada campuran *stone matrix asphalt*. Akan tetapi hasil memiliki nilai rasio antara $VCA_{mix}/VCA_{DRC} < 1,0$, hal ini dapat dipengaruhi oleh gradasi yang digunakan, sehingga mengindikasikan bahwa substitusi *filler* debu bauksit membuat *stone-on-stone*

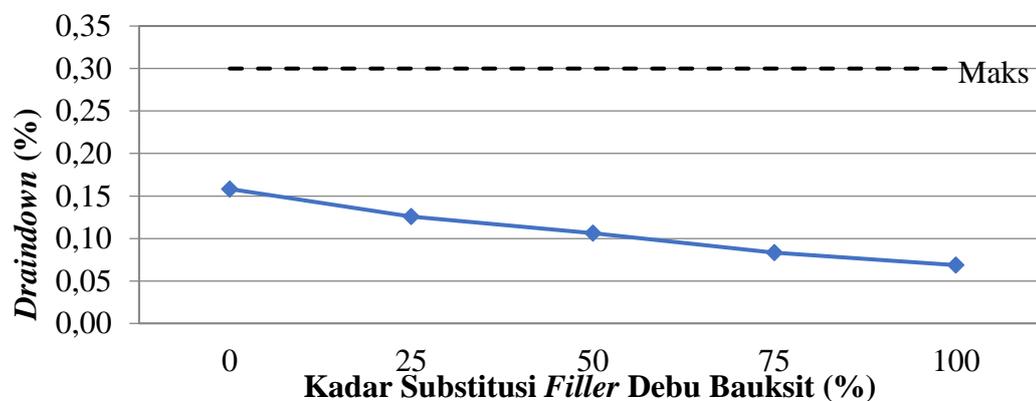
contact yang baik. Dengan dihasilkannya *stone-on-stone contact* yang baik akan membuat campuran tidak mudah mengalami deformasi saat terkena beban.

Brown dan Haddock (1997) menyimpulkan bahwa nilai VCA_{MIX} harus lebih kecil atau sama dengan VCA_{DRC} untuk memastikan adanya *stone-on-stone contact* dalam campuran, hal ini dikarenakan campuran *stone matrix asphalt* harus memiliki kemampuan menahan lalu lintas yang padat tanpa adanya *rutting*, untuk mendapatkan kemampuan ini berasal dari *stone-on-stone contact*.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai rasio $VCA_{mix}/VCA_{DRC} < 1,0$ sehingga nilai VCA pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

5.2.8 Karakteristik Pengujian *Draindown* pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit

Grafik hasil nilai *draindown* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



Gambar 5.18 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *Draindown*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai *draindown* pada saat penambahan substitusi *filler* debu bauksit mengalami penurunan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai *draindown*. Hal ini mengindikasikan penurunan nilai *draindown* pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit berpengaruh. Hal ini disebabkan *filler* debu bauksit dapat meningkatkan kekentalan dan kohesi aspal dikarenakan debu bauksit memiliki sifat *pozzolan*,

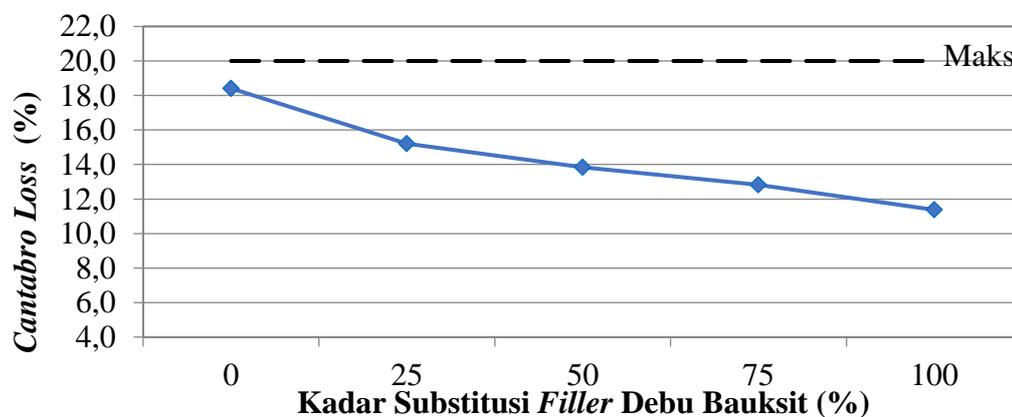
maka semakin besar kadar substitusi debu bauksit kekentalan dan kohesi aspal semakin meningkat. Sehingga semakin besar kadar substitusi debu bauksit membuat tingkat pemisahan aspal dalam campuran semakin kecil dan campuran bersifat homogen.

Hal ini sejalan dengan Syammaun, dkk (2020) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan *filler* tempurung kelapa menurunkan nilai *draindown*, hal ini menyebabkan tingkat pemisahan aspal dalam campuran semakin kecil.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *draindown* yaitu <0,3% sehingga nilai *draindown* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

5.2.9 Karakteristik Pengujian *Cantabro Loss* pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit

Nilai *cantabro loss* menggambarkan ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *los angeles*. Pelaksanaan pengujian ini benda uji dimasukkan ke dalam mesin *los angeles* untuk mengetahui tingkat keausannya. *cantabro loss* memberikan gambaran sejauh mana ketahanan perkerasan aspal menahan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan. Grafik hasil nilai *cantabro loss* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



Gambar 5.19 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *Cantabro Loss*

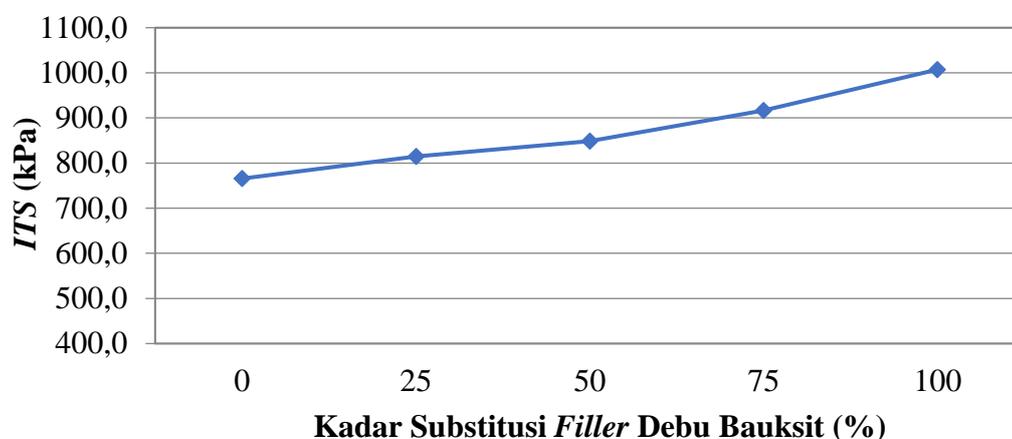
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai *cantabro loss* mengalami penurunan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai *cantabro loss*. Hal ini mengindikasikan penurunan nilai *cantabro loss* pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit berpengaruh. Hal ini disebabkan debu bauksit memiliki sifat *pozzolan* sehingga ikatan antar agregat dan aspal menjadi lebih baik. Nilai *cantabro loss* yang memenuhi sejalan dengan hasil dari nilai *VCA*, mengindikasikan bahwa campuran memiliki *stone-on-stone contact* yang baik. Hal ini membuat campuran menjadi lebih tahan terhadap beban lalu lintas yang berulang yang akan menyebabkan campuran menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan.

Penelitian ini sejalan dengan Rahman (2023) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan *filler fly ash* mempengaruhi nilai *cantabro loss* yang menurun, dikarenakan substitusi *filler fly ash* mampu menciptakan *interlocking* antara material yang lebih baik sehingga mampu mempertahankan kondisi awal terhadap efek benturan yang diterima, kemampuan *interlocking* ini merupakan dampak dari substitusi *fly ash* yang mampu mengisi rongga pada campuran. Hasil penelitian ini sejalan dengan Yuniarti (2019) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penambahan *filler* limbah kaca mempengaruhi nilai *cantabro loss* yang menurun hingga pada kadar substitusi 75%, semakin kecil nilai *cantabro loss*, maka menghasilkan campuran yang memiliki daya tahan terhadap disintegrasi.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *cantabro loss* yaitu <20 % sehingga nilai *cantabro loss* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

5.2.10 Karakteristik Pengujian *Index Tensile Strength (ITS)* pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit

Indirect Tensile Strength (ITS) adalah pengujian yang berguna untuk mengetahui nilai gaya tarik tidak langsung pada campuran aspal akibat beban lalu lintas. Grafik hasil nilai *ITS* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.



Gambar 5.20 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap ITS

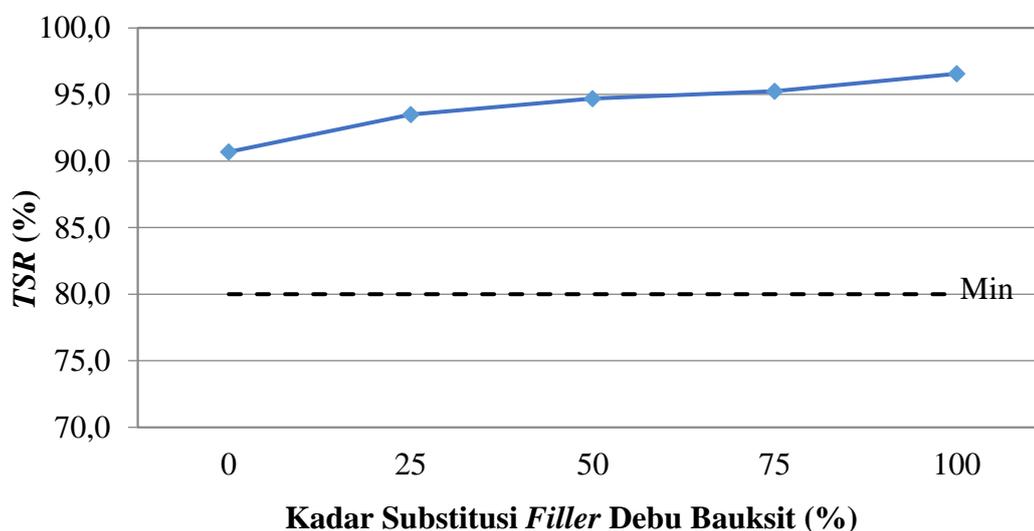
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.20 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai ITS menghasilkan nilai yang meningkat, pada analisis ANOVA didapatkan bahwa *filler* debu bauksit signifikan terhadap nilai ITS. Hal ini mengindikasikan peningkatan nilai ITS pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit berpengaruh. Hal ini debu bauksit memiliki sifat *pozzolan* sehingga ikatan antar agregat dan aspal menjadi lebih baik. Nilai ITS mengalami peningkatan sejalan dengan nilai *cantabro loss* yang mengalami penurunan mengindikasikan bahwa penambahan *filler* abu bauksit memberi pengaruh terhadap ikatan antar agregat dan aspal yang lebih baik. Tingginya nilai ITS dapat memberikan kemampuan campuran untuk menahan kuat tarik yang disebabkan oleh beban kendaraan yang berefek kepada ketahanan yang lebih terhadap kerusakan berupa *fatigue crack*.

Hal ini sejalan dengan Chasanah dan Sukmo (2023) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa penggunaan *filler* bubuk talk meningkatkan nilai ITS hingga pada kadar *filler* bubuk talk 50%, yang mengindikasikan tingginya nilai ITS menunjukkan semakin kecil keretakan yang terjadi pada campuran. Hasil penelitian ini sejalan dengan Yuniarti (2019) dalam penelitiannya bahwa penggunaan *filler* limbah kaca meningkatkan nilai ITS atau beban terbesar yang dapat dipikul campuran sampai batas keruntuhan dihasilkan pada campuran dengan kadar 75% *filler* limbah kaca, peningkatan ini juga sejalan dengan

peningkatan nilai *cantabro loss* sehingga menghasilkan campuran memiliki daya tahan terhadap disintegrasi.

5.2.11 Karakteristik Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit

Nilai *TSR* diperoleh dari perbandingan kekuatan daya tahan tarik pada bahan uji dengan perendaman selama 24 jam pada *waterbath* dengan suhu 60°C terhadap bahan uji tanpa rendaman. Nilai ini didapat dari perbandingan hasil daya tahan tarik yang kemudian diubah kedalam bentuk persen. Grafik hasil nilai *TSR* akibat pengaruh substitusi *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



Gambar 5.21 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *TSR*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.21 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai *TSR* mengalami peningkatan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit tidak signifikan terhadap nilai *TSR*. Hal ini mengindikasikan peningkatan nilai *TSR* pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit tidak berpengaruh. Hal ini disebabkan *film* aspal yang tebal serta mampu mengisi rongga dalam hal ini sejalan dengan nilai *VFWA* memiliki nilai diatas minimum yang disyaratkan dan nilai *cantabro loss* yang mengalami penurunan, sehingga mengindikasikan bahwa campuran ikatan antar agregat yang baik dan *film* aspal yang tebal. Sehingga menghasilkan campuran yang mampu

awet dalam mempertahankan kemampuan kuat tariknya yang disimulasikan dalam perendaman.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah, dkk (2012) menyatakan bahwa *fly ash* mampu mengisi rongga pada campuran sehingga peningkatan viskositas dan kohesi aspal mampu memberikan efek yang signifikan dalam mempertahankan stabilitasnya terhadap gangguan air, sehingga kekedapan terhadap campuran dan keawetan meningkat.

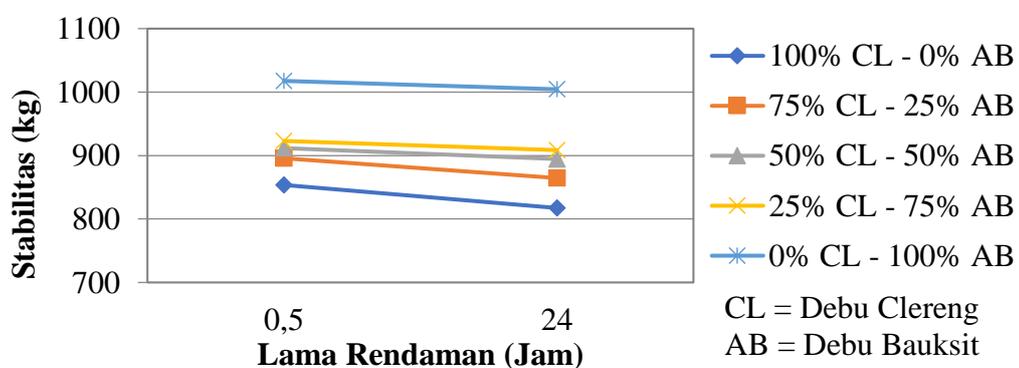
Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *TSR* yaitu $> 80\%$ sehingga nilai *TSR* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

5.2.12 Karakteristik Pengujian Perendaman *Marshall (Immersion Test)* pada KAO Campuran dengan Substitusi Debu Bauksit

Pengujian rendaman (*Immersion Test*) bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca

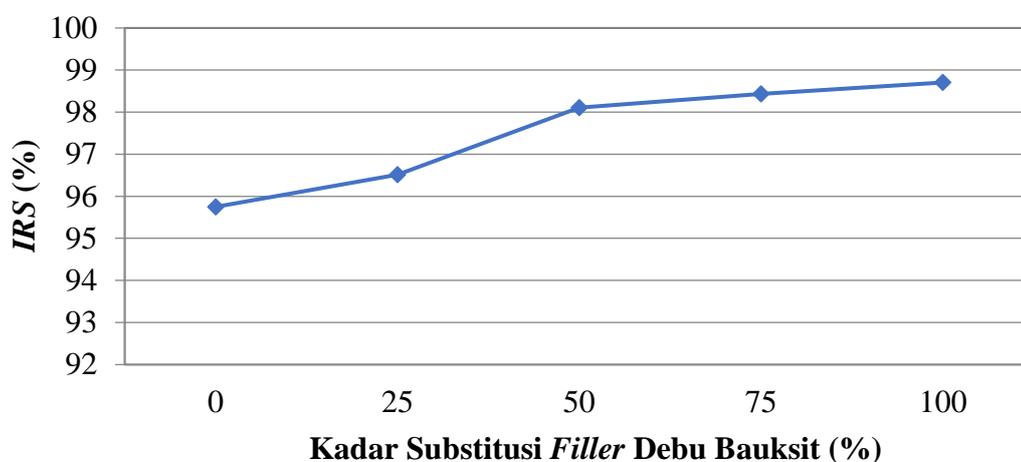
1. *Index of Retained Strength (IRS)*

Index of Retained Strength (IRS) adalah angka untuk mengevaluasi keawetan suatu campuran dan mengetahui nilai Indeks durabilitas pertama (IDP) dan indeks durabilitas kedua (IDK) dengan membandingkan nilai stabilitas benda uji yang direndam dengan air selama 0,5 jam terhadap perendaman 24 jam serta perendaman 0,5 jam terhadap 48 jam pada suhu 60°C . Nilai stabilitas rendaman 0,5 jam dan rendaman 24 jam dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut.



Gambar 5.22 Grafik Hubungan antara Rendaman dan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.22 dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada rendaman 24 jam lebih rendah dibandingkan dengan rendaman 0,5 jam. Hal ini disebabkan proses perendaman yang mencapai 24 jam sehingga air masuk ke dalam pori-pori campuran sehingga mengurangi ikatan adhesi antara aspal dan agregat. Grafik nilai *IRS* akibat pengaruh variasi substitusi debu bauksit dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut.



Gambar 5.23 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap *IRS*

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.23 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai *IRS* mengalami peningkatan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit tidak signifikan terhadap nilai *IRS*. Hal ini mengindikasikan peningkatan nilai *IRS* pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit tidak berpengaruh. Hal ini disebabkan *film* aspal yang tebal dalam hal ini sejalan dengan nilai *VFWA* memiliki nilai diatas minimum yang disyaratkan dan kemampuan ikatan antara aspal dan agregat yang baik, sehingga kemampuan campuran menjadi awet akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca.

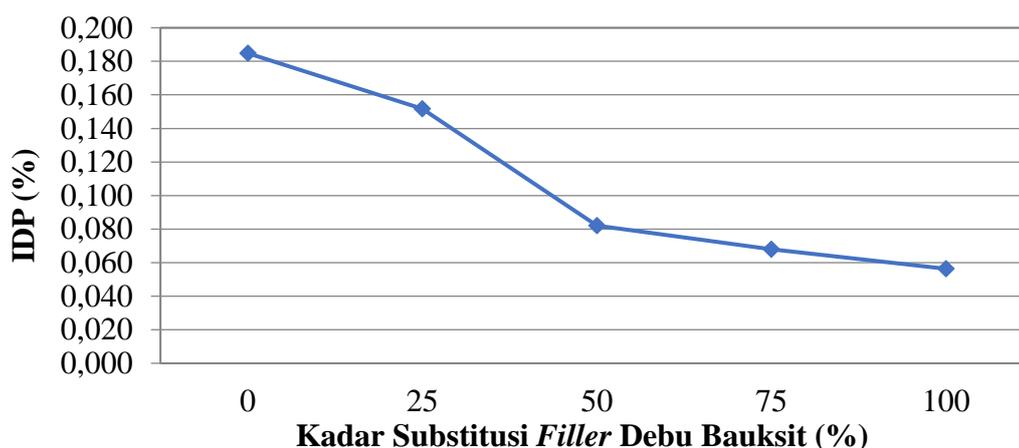
Hal ini sejalan dengan penelitian Hidayat dan Kushari (2019) dalam penelitiannya menggunakan abu ampas tebu mengalami peningkatan hingga pada kadar 50%, dikarenakan abu ampas tebu memiliki kandungan silika sehingga dapat meningkatkan durabilitas campuran. Hal ini sejalan dengan

Fauziah (2012) menyatakan bahwa *fly ash* mampu mengisi rongga pada campuran sehingga peningkatan viskositas dan kohesi aspal mampu memberikan efek yang signifikan dalam mempertahankan stabilitasnya terhadap gangguan air, sehingga kekedapan terhadap campuran dan keawetan meningkat.

Berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, nilai *IRS* yaitu > 90% sehingga nilai *IRS* pada campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi campuran *filler* debu bauksit telah memenuhi persyaratan.

2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) menunjukkan hilangnya persentase kekuatan selama perendaman, berikut adalah grafik hasil dari IDP dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut.



Gambar 5.24 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap IDP

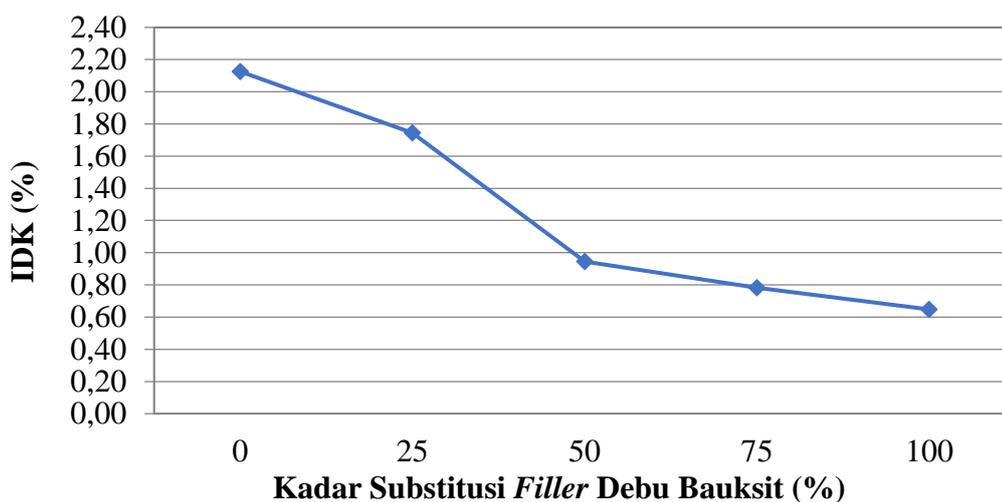
Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.24 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai IDP mengalami penurunan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit tidak signifikan terhadap nilai IDP. Hal ini mengindikasikan penurunan nilai IDP pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit tidak berpengaruh. Hal ini menunjukkan bahwa substitusi *filler* debu bauksit dapat mengurangi penurunan stabilitas akibat rendaman, penurunan yang relatif kecil disebabkan *film* aspal yang tebal dalam hal ini sejalan dengan nilai *VFWA* memiliki nilai diatas minimum yang

disyaratkan dan kemampuan ikatan antara aspal dan agregat yang baik. Sehingga dengan substitusi *filler* debu bauksit campuran memiliki ketahanan durabilitas yang cukup baik.

Hidayat dan Kushari (2019), Rahman (2023), dan Fauziah dkk (2012) dalam penelitiannya tidak memerlukan nilai IDP sebagai salah satu parameter nya sehingga tidak dapat membandingkan penelitian ini dan sebelumnya.

3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua merupakan indikator lain yang dapat digunakan untuk melihat tingkat durabilitas campuran selain nilai *IRS* dan IDP. Berikut adalah grafik hasil dari IDK dapat dilihat pada Gambar 5.25 berikut.



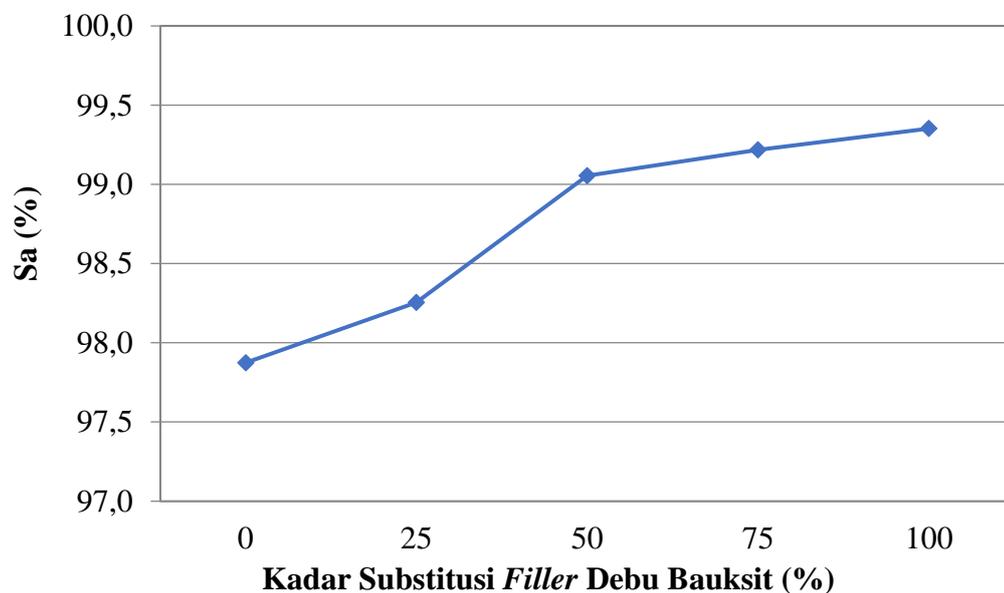
Gambar 5.25 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap IDK

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.25 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai IDK mengalami penurunan, pada analisis *ANOVA* didapatkan bahwa *filler* debu bauksit tidak signifikan terhadap nilai IDK. Hal ini mengindikasikan penurunan nilai IDK pada campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit tidak berpengaruh. Nilai IDK digunakan dalam proses perendaman memperoleh persentase kehilangan kekuatan rata-rata. Semakin kecil nilai IDK yang diperoleh, maka semakin kecil juga kehilangannya, nilai IDK memperoleh nilai positif yang dapat diartikan bahwa campuran melalui proses kehilangan kekuatan. Penurunan yang relatif kecil

disebabkan *film* aspal yang tebal dalam hal ini sejalan dengan nilai *VFWA* memiliki nilai diatas minimum yang disyaratkan dan kemampuan ikatan antara aspal dan agregat yang baik.

Hidayat dan Kushari (2019), Rahman (2023), dan Fauziah dkk (2012) dalam penelitiannya tidak memerlukan nilai *IDK* sebagai salah satu parameter nya sehingga tidak dapat membandingkan penelitian ini dan sebelumnya.

Nilai *IDK* dapat dinyatakan dalam bentuk persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (*Sa*) dapat dilihat pada Gambar 5.26 berikut.



Gambar 5.26 Grafik Pengaruh Debu Bauksit Sebagai Substitusi Filler Terhadap Nilai Kekuatan Sisa Satu Hari (*Sa*)

Berdasarkan hasil pengujian pada Gambar 5.26 dapat dilihat bahwa dengan substitusi *filler* debu bauksit nilai *Sa* mengalami peningkatan. Hal ini menunjukkan nilai kekuatan sisa satu hari yang cukup baik, sehingga menghasilkan campuran dengan substitusi *filler* debu bauksit memiliki durabilitas yang baik.

5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan Filler Debu Bauksit

Rekapitulasi hasil pengujian pada campuran dengan menggunakan *filler* debu bauksit dapat dilihat pada Tabel 5.18.

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* Debu Bauksit

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Kekuatan Struktur	Stabilitas (kg)	853,636	895,750	911,712	922,976	1017,577	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai stabilitas mengalami peningkatan signifikan. Sehingga campuran memiliki ketahanan terhadap deformasi.
	<i>Flow</i> (mm)	3,133	2,900	2,825	2,750	2,675	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>flow</i> mengalami penurunan signifikan. Sehingga campuran menjadi lebih kaku.
	<i>MQ</i> (kg/mm)	272,631	308,805	322,760	336,795	380,476	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>MQ</i> mengalami peningkatan signifikan. Sehingga campuran menjadi tidak mudah berdeformasi ketika menerima beban.
	<i>ITS</i> (kPa)	765,603	814,634	848,624	916,688	1007,119	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>ITS</i> mengalami peningkatan signifikan. Sehingga campuran memiliki ketahanan terhadap <i>fatigue crack</i> .

Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* Debu Bauksit

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Volumetrik	<i>VITM</i> (%)	3,345	3,611	3,831	3,999	4,121	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>VITM</i> mengalami peningkatan signifikan. Sehingga menyebabkan campuran menjadi <i>porous</i> .
	<i>VFWA</i> (%)	80,987	79,694	78,673	77,923	77,370	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>VFWA</i> mengalami penurunan signifikan. Akan tetapi campuran memiliki <i>film</i> aspal yang tebal, sehingga campuran memiliki ketahanan terhadap udara dan air serta campuran menjadi lebih awet.
	<i>VMA</i> (%)	17,557	17,780	17,965	18,104	18,205	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>VMA</i> mengalami peningkatan signifikan. Sehingga campuran memiliki jarak antar agregat semakin menjauh.

Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* Debu Bauksit

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Volumetrik	<i>VCA</i>	0,807	0,811	0,815	0,819	0,821	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>VCA</i> mengalami peningkatan tidak signifikan. Nilai <i>VCA</i> <1,0 mengindikasikan <i>stone-on-stone</i> yang baik, sehingga menghasilkan campuran tidak mudah mengalami deformasi.
	<i>Density</i> (gr/cc)	2,290	2,283	2,277	2,273	2,269	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>density</i> mengalami penurunan signifikan. Sehingga campuran memiliki kerapatan lebih rendah dibandingkan tanpa substitusi.
Durabilitas	<i>IRS</i> (%)	95,75	96,51	98,11	98,43	98,70	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>IRS</i> mengalami peningkatan tidak signifikan. Sehingga menghasilkan campuran menjadi awet.

Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* Debu Bauksit

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Durabilitas	IDP (%)	0,185	0,152	0,082	0,068	0,056	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai IDP mengalami penurunan tidak signifikan. Penurunan hilangnya persentase kekuatan selama perendaman, maka campuran memiliki kemampuan mempertahankan ikatan antara aspal dan agregat yang baik.
	IDK (%)	2,126	1,745	0,945	0,783	0,648	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai IDK mengalami penurunan tidak signifikan. Penurunan kehilangan kekuatan rerata satu hari, maka campuran memiliki kemampuan mempertahankan ikatan antara aspal dan agregat yang baik.

Lanjutan Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian pada Campuran dengan Menggunakan *Filler* Debu Bauksit

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Debu Bauksit (%)					Keterangan
		0	25	50	75	100	
Durabilitas	<i>Draindown</i> (%)	0,16	0,13	0,11	0,08	0,07	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>draindown</i> mengalami penurunan signifikan. Sehingga pemisahan aspal dalam campuran semakin kecil dan campuran bersifat homogen.
	<i>Cantabro Loss</i> (%)	18,41	15,21	13,84	12,82	11,38	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>cantabro loss</i> mengalami penurunan signifikan. Sehingga campuran memiliki ketahanan terhadap aus.
	<i>TSR</i> (%)	90,689	93,504	94,691	95,247	96,562	Semakin besar substitusi <i>filler</i> debu bauksit maka nilai <i>TSR</i> mengalami peningkatan tidak signifikan. Sehingga menghasilkan campuran yang mampu awet dalam mempertahankan kemampuan kuat tariknya yang disimulasikan dalam perendaman.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran *stone matrix asphalt* dengan variasi substitusi *filler* debu bauksit sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* berpengaruh terhadap kekuatan struktur, dikarenakan pada substitusi debu bauksit 100% menghasilkan campuran yang kaku, mampu menahan beban dan memiliki ketahanan terhadap *fatigue crack*.
2. Penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* berpengaruh terhadap karakteristik volumetrik campuran, dikarenakan pada substitusi debu bauksit 100% menghasilkan campuran yang berongga, selimut aspal yang baik, dan memiliki *stone-on-stone contact* yang baik.
3. Penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* berpengaruh terhadap durabilitas campuran, dikarenakan pada substitusi debu bauksit 100% menghasilkan campuran yang memiliki ketahanan terhadap aus, homogen, dan memiliki ketahanan terhadap air, cuaca, serta suhu.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan debu bauksit sebagai variasi substitusi *filler*, maka penulis memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, adapun saran dari peneliti sebagai berikut.

1. Adanya pengujian terhadap kandungan senyawa dan analisis ukuran butiran dari *filler* debu bauksit untuk mengetahui pengaruh reaksi senyawa ketika dicampur dengan campuran *stone matrix asphalt*.
2. Penggunaan debu bauksit dapat menggantikan 100% debu batu pada campuran, karena menghasilkan campuran yang memiliki ketahanan terhadap deformasi dan memiliki durabilitas yang baik.

3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait penggunaan debu bauksit sebagai substitusi *filler* pada campuran lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya R. 2021. Pemanfaatan Tras Sebagai Bahan Pengisi Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran Split Mastic Asphalt. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Alpius, Soean K. S.W., dan Mangontan R. 2020. Karakteristik Stone Matrix Asphalt Menggunakan Batu Kali Tdebu Kabupaten Toraja Utara. *Annual Conference on Computer Science and Engineering Technology (AC2SET)*. Orlando. 23 September 2020.
- American Association of State Highway and Transportation Official. 1997. *Standard Test Method for Solubility of Asphalt Trichloroethylene*. ASTM designation: D 2042. Philadelphia.
- American Association of State Highway and Transportation Official. 2018. *Standard Method of Test for Bulk Density ("Unit Weight") and Void in Aggregate*. ASTM designation: C 29/C 29m-09. Philadelphia.
- American Association of State Highway and Transportation Official. 2018. *Determination of Drained Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures*. ASTM designation: T 305-14. Philadelphia.
- Bancin E. D. L., Lubis K., Mahda N. 2021. Pengaruh Tanah Merah Sebagai Filler Pada Campuran Aspal AC-BC Terhadap Nilai Marshall. *Journal of Civil Engineering, Building and Transportation (JCEBT)*. Medan. 9 April 2021.
- Bemmelen V. R.W dan Rohmana. 1949. *The Geology of Indonesia*. Martinus Nyhoff, Netherland: The Haque.
- Brown E.R., dan Haddock J.E. 1997. *A Method to Ensure Stone-To-Stone Contact in Stone Matrix Asphalt Paving Mixtures*. Auburn University, Auburn.
- Chasanah F dan Sukmo. T.A. 2023. Pengaruh Bubuk Talk Sebagai Bahan Filler Pengganti Pada Campuran AC-WC. *Asian Journal of Innovation and Entrepreneurship*. Yogyakarta. 03 September 2023: Volume 07, Issue 03.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2020. *Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2 Divisi 6*. Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Fauziah, Sukarno, Syaifurrohman, Marzuko, dan Denny. 2012. Studi Eksperimental Penggunaan Fly Ash Sebagai Additive Terhadap Kinerja Beton Aspal Sebagai Upaya Pemanfaatan Material Limbah. *Jurnal Rekayasa Sipil Vol.2 No.1_Studi Eksperimental*.

- Hidayati E. T. 2018. Pengaruh Debu Sekam Padi Sebagai Filler Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hidayat R dan Kushati R. 2019. Analisis Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt Dengan Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Pengganti. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Gunawan R dan Sari A. W.F. 2021. Pengaruh Penggunaan Batu Gamping Desa Tabarenah Sebagai Filler Pada Campuran Aspal AC-BC. *Jurnal Statika*. Bengkulu. 13 Desember 2021: Volume 7, No.2, 1-12.
- Rahayu H. M. 2018. Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt Dengan Filler Serbuk Batu Bata Akibat Lama Rendaman Air Laut. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rahman I. Y. 2023. Pengaruh Substitusi Fly Ash Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran Superpave Dengan Baham-Ikat PEN 60/70 dan Starbit PG-70. *Tesis*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Lisantono A, dkk. 2018. Pemanfaatan Batu Bauksit Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton Geopolimer Berbasis Fly Ash. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 12*. Batam. 18-19 September 2018.
- Standar Nasional Indonesia. 1997. *Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. *Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Beraspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Daktilitas Aspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Dengan Alat Cleveland Open Cup*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Titik Lembek Aspal Dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Penetrasi Aspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2012. *Metode Pengujian Untuk Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2015. *Spesifikasi Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2016. *Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2016. *Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova. Bandung.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Sukirman, S. 2016. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Syammaun T., Rani H.A., dan Amalia P. 2020. Pengaruh Substitusi Styrofoam Pada Campuran Aspal Porus Dan Serbuk Arang Tempurung Kelapa Sebagai Filler. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 14*. Bandung. 6-7 Oktober 2020.
- Xiong, R. et al. 2021. Investigasi Kinerja Kekesatan Campuran Aspal Yang Terdiri Dari Bauksit Terkalsinasi dan Agregat Batu Kapur. *Constuction and Building Materials 41*. Shandong. 21 September 2021.

- Yuniarti R. dkk. 2019. Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Filler Pada Campuran Perkerasan Aspal Panas. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*. Bandung. 24 Desember 2019: Volume 26, No.3, 265-275.
- Zulhairi dan Hardiyatmo, H.C. 2012. Kajian Karakteristik Tanah Bauksit Sebagai Bahan Konstruksi Jalan Di Pulau Bintan Provinsi Kepulauan Riau. *Tesis*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Gajah Mada. Yogyakarta.

LAMPIRAN



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 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)	23,65	20,25
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	46,48	42,81
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,83	22,56
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	24,8	21,3
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,15	1,05
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,54	42,85
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	21,74	21,55
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,09	1,01
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,06	1,040
10	Rata-rata BJ Aspal	1,047	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalak Jalak Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti

Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 2 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBOK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 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	5 °C	11.00 WIB	
	Selesai	48 °C	11.14 WIB	

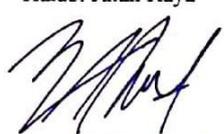
HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	103 detik	103 detik		
3	15 °C	209 detik	209 detik		
4	20 °C	301 detik	301 detik		
5	25 °C	386 detik	386 detik		
6	30 °C	464 detik	464 detik		
7	35 °C	664 detik	664 detik		
8	40 °C	666 detik	666 detik		
9	45 °C	766 detik	766 detik		
10	50 °C	823 detik	792 detik	48°C	48°C
11	55 °C				
12	60 °C				

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


Hanif Novri yuda
NIM : 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

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

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

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

- 1 Sumber Material : Pertamina 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	09.00 WIB	
	Selesai pemanasan	130 °C	09.15 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	130 °C	09.15 WIB	
	Selesai	27 °C	10.20 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	10.20 WIB	
	Selesai	325 °C	11.00 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	270 °C	290 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	270 °C	290 °C	

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

Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 4 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

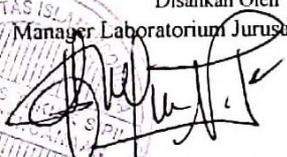
RUJUKAN; AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

- 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	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	62	61	x		
2	70	64	x	x	
3	63	65	x x x	x x x	
4	64	70	x	x	
5	68	68			
Rata2	65,4	65,6			
Rata2	65,5				

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

Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 5 Pemeriksaan 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 Dhuji 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	63,510 gr	63,590 gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	65,220 gr	65,440 gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,710 gr	1,850 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,588 gr	0,580 gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,589 gr	0,600 gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,001 gr	0,020 gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,058 %	1,081 %	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,942 %	98,919 %	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,430		%

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Berhan Kushan, 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


Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Lampiran 6 Pemeriksaan 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	165 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	165 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	165 cm	

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

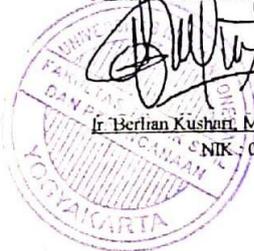
Irf Berlian Kushuri, M.Eng, IPM., ASEAN Eng
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti

Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115





FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

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

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1631,64	1627,16	1629,40
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000,92	1000,24	1000,58
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1590,57	1589,13	1589,85
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,522	2,535	2,528
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,587	2,595	2,591
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,697	2,699	2,698
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	2,582	2,393	2,488
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,610	2,617	2,613



Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti

Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

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

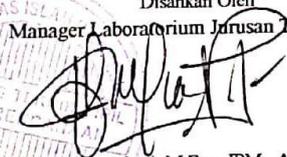
Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

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

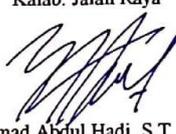
Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



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



Hanif Novria Yuda
NIM : 20 511 115



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

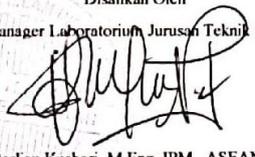
Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

PEMERIKSAAN 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	1	2	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00		
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00		
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	4659,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4659,00	3775,00	
13	KEAUSAN $100x = \frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		6,820	18,974	
17	Rata-rata Keausan (%)		12,90		

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

Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

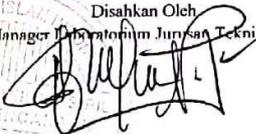
Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

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

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	501,85	501,05	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	692,85	668,40	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	995,24	972,01	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	494,55	490,75	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,503	2,499	2,501
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,530	2,546	2,538
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,574	2,622	2,598
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	1,102	1,885	1,493
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,538	2,561	2,549

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kaluh, Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti


Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 11 Pemeriksaan Sand Equivalent

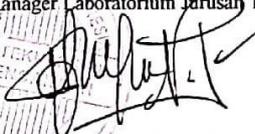
PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

RUJUKAN : SNI 3423-2008

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

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata	
		1	2		
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl ₂ selama (± 10.1 menit).	Mulai	13.25	13.25	
		Selesai	13.35	13.35	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan CaCl ₂)	Mulai	13.40	13.40	
		Selesai	13.55	13.55	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi	5,80	5,65	5,73	
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)	5,15	5,30	5,23	
6	$Sand\ Equivalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ %$	88,79	93,81	91,30	
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE	11,21	6,19	8,70	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

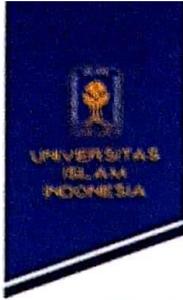

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


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

Yogyakarta, 2023
Peneliti


Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

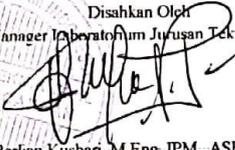
Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis Filler Debu

PEMERIKSAAN BERAT JENIS FILLER DEBU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

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

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	20,40	23,78	
2	Berat Vicnometer + Air gr	42,91	46,97	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,51	23,19	
4	Berat Vicnometer + Filler gr	28,50	30,36	
5	Berat Filler (4-1) gr	8,100	6,580	7,34
6	Berat Vicnometer + Filler + Aquadest gr	47,810	50,970	49,39
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,310	20,610	19,96
8	Volume Filler (3-7) gr	3,200	2,580	2,89
9	Berat Jenis Filler = Berat/Vol (5/8)	2,531	2,550	2,54

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlin 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


Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

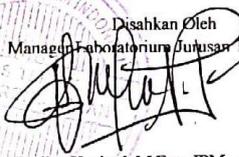
Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Fly Ash*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS FILLER BAUKSIT

RUJUKAN : SNI 2441-2011

- 1 Jenis Material : *Filler Bauksit*
- 2 Sumber Material :
- 3 Diuji Pada : 2023

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	24,28	24,08	
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,39	47,25	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,11	23,17	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	27,82	29,32	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	3,540	5,240	4,39
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	48,940	48,860	48,90
7	Berat Aquadest (6-4) gr	21,120	19,540	20,33
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	0,990	3,630	2,31
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	3,576	1,444	2,51

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti


Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

Contoh 14 Sifat Campuran Aspal Dengan Metode Marshall

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70

Tanggal Pengujian : Oktober 2023
Tipe Campuran : Stone Matrix Asphalt (SMA)
Bahan Ikat : Pen 60/70

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	n VTM (%)	o	p	Koreksi Tebal	q Stab. (kg)	r Flow (mm)	
5a	74,71	5,26	5,00	1194,04	1207,71	689,22	518,49	2,303	2,418	10,994	84,241	4,765	15,76	4,76	50	994,26	0,7786	774,16	2,15	
5b	75,41	5,26	5,00	1195,51	1210,88	692,20	518,68	2,305	2,418	11,004	84,314	4,682	15,69	4,68	52	1034,03	0,7699	796,07	2,10	
5c																				
								2,304					15,72	4,72				785,11	2,13	
5,5a																				
5,5b	73,96	5,82	5,50	1193,26	1210,68	691,24	519,44	2,297	2,402	12,064	83,590	4,347	16,41	4,35	50	994,26	0,7920	787,45	2,15	
5,5c	73,20	5,82	5,50	1191,95	1211,37	692,03	519,34	2,295	2,402	12,053	83,514	4,433	16,49	4,43	51	1014,15	0,8063	817,72	2,30	
								2,296					16,45	4,39				802,59	2,23	
6a	73,11	6,38	6,00	1197,85	1211,25	689,15	522,10	2,294	2,385	13,144	83,042	3,814	16,96	3,81	51	1014,15	0,8079	819,37	2,85	
6b	71,11	6,38	6,00	1194,12	1206,56	686,36	520,20	2,296	2,385	13,151	83,086	3,764	16,91	3,76	52	1034,03	0,8417	870,38	2,95	
6c																				
								2,295					16,94	3,79				844,87	2,90	
6,5a	72,74	6,95	6,50	1188,87	1204,51	682,36	522,15	2,277	2,369	14,131	81,973	3,896	18,03	3,90	51	1014,15	0,813	824,75	3,05	
6,5b	74,27	6,95	6,50	1189,45	1201,21	682,66	518,55	2,294	2,369	14,236	82,583	3,181	17,42	3,18	54	1073,80	0,786	844,21	3,25	
6,5c	72,56	6,95	6,50	1185,09	1201,66	686,21	515,45	2,299	2,369	14,269	82,775	2,956	17,23	2,96	55	1093,69	0,816	891,95	3,1	
								2,290					17,56	3,34				853,64	3,13	
7a	71,28	7,53	7,00	1187,28	1198,26	675,37	522,89	2,271	2,353	15,176	81,311	3,513	18,69	3,51	51	1014,15	0,8348	846,61	3,45	
7b	71,80	7,53	7,00	1189,69	1199,83	682,33	517,50	2,299	2,353	15,365	82,324	2,311	17,68	2,31	50	994,26	0,8250	820,26	3,15	
7c	71,33	7,53	7,00	1190,01	1201,07	678,27	522,80	2,276	2,353	15,214	81,512	3,275	18,49	3,27	48	954,49	0,8328	794,90	3,35	
								2,282					18,28	3,03				820,59	3,32	



Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
[Signature]
Ir. Berhan Kusnari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
[Signature]
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Desember 2023
Peneliti
[Signature]
Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



Lampiran 15 Sifat Campuran Aspal Dengan Metode IRS

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

HASIL PENGUJIAN IRS UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70

Tanggal Pengujian : Oktober 2023
Tipe Campuran : Stone Matrix Asphalt (SMA)
Bahan Ikat : Pen 60/70

Persen Aspal		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Arloji Stability			Flow (mm)		Stability (kg)			Angka Koreksi			
		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2	MIN	Tebal Sampel		Koreksi	
		MIN	MAX	MIN	MAX													
5,0%	1	74,25	75,19	74,69	74,71	0,78	43	19,89	855,06	250	2,53	665,77	707,61	600	74,6	76,2	0,78	0,76
	2	75,24	75,13	75,86	75,41	0,77	49	19,89	974,37	250		750,15			74,6	76,2	0,78	0,76
	3	73,27	73,58	74,55	73,80	0,79	45	19,89	894,83	260		706,92			74,6	76,2	0,78	0,76
5,5%	1	74,95	73,17	74,42	74,18	0,79	46	19,89	914,72	380	3,87	720,68	743,50	600	73	74,6	0,81	0,78
	2	74,13	73,58	74,17	73,96	0,79	47	19,89	934,60	390		740,21			73	74,6	0,81	0,78
	3	72,16	72,48	74,95	73,197	0,81	48	19,89	954,49	390		769,62			73	74,6	0,81	0,78
6,0%	1	73,10	73,06	73,17	73,11	0,81	45	19,89	894,83	425	4,22	722,97	793,06	600	73	74,6	0,81	0,78
	2	70,15	71,10	71,68	70,98	0,85	47	19,89	934,60	410		791,55			69,9	71,4	0,89	0,83
	3	72,35	72,17	71,98	72,17	0,82	53	19,89	1053,92	430		864,65			71,4	73	0,83	0,81
6,5%	1	70,00	69,01	69,29	69,43	0,91	45	19,89	894,83	250	2,53	813,11	817,35	600	69,9	71,4	0,89	0,83
	2	72,21	71,59	72,90	72,23	0,82	51	19,89	1014,15	250		831,18			71,4	73	0,83	0,81
	3	69,92	69,75	70,55	70,07	0,88	46	19,89	914,72	260		807,76			69,9	71,4	0,89	0,83
7,0%	1	71,11	71,59	71,14	71,28	0,83	49	19,89	974,37	470	4,70	813,41	804,00	600	69,9	71,4	0,89	0,83
	2	71,27	72,22	71,91	71,80	0,83	50	19,89	994,26	465		820,26			71,4	73	0,83	0,81
	3	71,44	71,08	71,47	71,33	0,83	47	19,89	934,60	475		778,34			69,9	71,4	0,89	0,83



Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Desember 2023
Peneliti

Hunif Novia Yuda
Hunif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

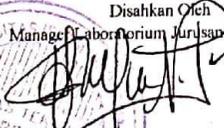
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uil.ac.id

Lampiran 16 Sifat Campuran Void Course Aggregate (VCA)

PEMERIKSAAN KADAR ASPAL DARI VOID COURSE AGGREGATE (VCA)

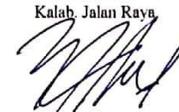
Kadar Aspal	Benda Uji	Berat (gram)			Volume Silinder (cm ³)	V (cm ³)	γ _s (gram/cm ³)	γ _w (gram/cm ³)	G _{CA} (gram/cm ³)	VCA _{DRC} (%)	Gmb	GCA	PCA (%)	VCAMIX (%)	VCAMIX /VCADR C	Spesifikasi
		Wadah + Camp. Agg	Wadah	B. Wadah + Air												
5,00%	1	7937.4	3476.5	6400.1	2868.5	2930.8	1,522	0,9975	2,60	41,248	2,30292	2,60	76	32,60725	0,791	OK
	2	7959.26	3572.6	6390	2868,5	2824.3	1,553	0,9975	2,60	40,048	2,30491	2,60	76	32,549	0,813	OK
	3															OK
	Rata-Rata										40,648	Rata-Rata		32,57813	0,802	OK
5,50%	1															
	2	7959.26	3572.6	6395.5	2868.5	2829.9	1,550	0,9975	2,60	40,164	2,30	2,60	76	32,77445	0,816	OK
	3	7902.99	3478.2	6390.1	2868,5	2919.1	1,516	0,9975	2,60	41,489	2,30	2,60	76	32,83532	0,791	OK
	Rata-Rata										40,827	Rata-Rata		32,80489	0,804	
6,00%	1	7937.4	3476.5	6400.1	2868.5	2930.8	1,522	0,9975	2,60	41,248	2,29429	2,60	76	32,85968	0,797	OK
	2	7959.26	3572.6	6400.2	2868.5	2834.6	1,548	0,9975	2,60	40,264	2,2955	2,60	76	32,82429	0,815	OK
	3															
	Rata-Rata										40,756	Rata-Rata		32,84198	0,806	OK
6,50%	1	7937.4	3476.5	6385	2868.5	2915.7	1,530	0,9975	2,60	40,943	2,277	2,597	76,000	33,369	0,815	OK
	2	7959.26	3572.6	6390	2868.5	2824.3	1,553	0,9975	2,60	40,048	2,294	2,597	76,000	32,874	0,821	OK
	3	7902.99	3478.2	6400.1	2868.5	2929.1	1,511	0,9975	2,60	41,689	2,299	2,597	76,000	32,718	0,785	OK
	Rata-Rata										40,893	Rata-Rata		32,98713	0,807	OK
7,00%	1	7937.4	3476.5	6395	2868.5	2925.7	1,525	0,9975	2,60	41,145	2,2706	2,60	76	33,55268	0,815	OK
	2	7959.26	3572.6	6400	2868.5	2834.4	1,548	0,9975	2,60	40,260	2,2989	2,60	76	32,72431	0,813	OK
	3	7902.99	3478.2	6400.1	2868.5	2929.1	1,511	0,9975	2,60	41,689	2,2762	2,60	76	33,38842	0,801	OK
	Rata-Rata										41,031	Rata-Rata		33,22181	0,810	OK

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



Hanil Novia Yuda
NIM: 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 17 Sifat Campuran *Draindown*

PENGUJIAN DRAINDOWN

Kadar Aspal (%)	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
5,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1530,14	1537,21	1532,55
	2	Berat Benda Uji	1184,13	1192,13	1185,54
	3	Berat Awal Piring Penampung	346,01	345,08	347,01
	4	Berat Akhir Piring Penampung	346,79	345,81	348,02
	5	Draindown	0,066%	0,06%	0,09%
	6	Rata-Rata Draindown		0,07	
5,5%	1	Berat Piring + Benda Uji	1535,56	1536,47	1533,87
	2	Berat Benda Uji	1190,28	1191,32	1187,82
	3	Berat Awal Piring Penampung	345,28	345,15	346,05
	4	Berat Akhir Piring Penampung	346,55	346,02	347,18
	5	Draindown	0,107%	0,07%	0,10%
	6	Rata-Rata Draindown		0,092	
6,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1506,33	1508,22	1505,47
	2	Berat Benda Uji	1200,85	1202,95	1200,69
	3	Berat Awal Piring Penampung	305,48	305,27	304,78
	4	Berat Akhir Piring Penampung	306,91	306,96	306,03
	5	Draindown	0,12%	0,14%	0,10%
	6	Rata-Rata Draindown		0,121	
6,5%	1	Berat Piring + Benda Uji	1545,21	1544,18	1544,95
	2	Berat Benda Uji	1186,47	1185,74	1186,64
	3	Berat Awal Piring Penampung	358,74	358,44	358,31
	4	Berat Akhir Piring Penampung	360,39	360,35	360,38
	5	Draindown	0,14%	0,16%	0,17%
	6	Rata-Rata Draindown		0,158	
7,0%	1	Berat Piring + Benda Uji	1445,15	1447,15	1489,71
	2	Berat Benda Uji	1203,63	1202,64	1244,47
	3	Berat Awal Piring Penampung	241,52	244,51	245,24
	4	Berat Akhir Piring Penampung	244,09	247,02	247,87
	5	Draindown	0,21%	0,21%	0,21%
	6	Rata-Rata Draindown		0,211	

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

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti
Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



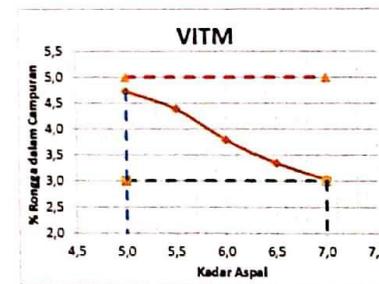
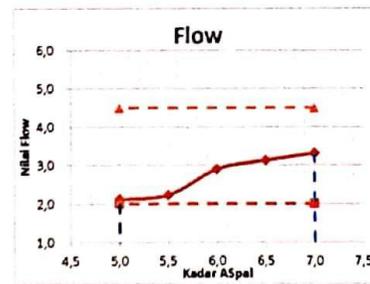
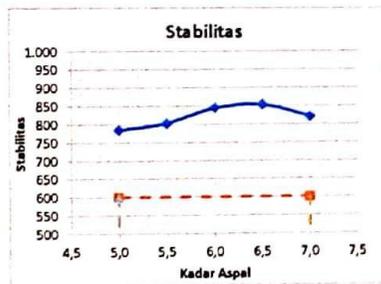
**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

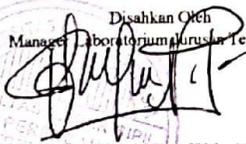
Lampiran 18 Rekapitulasi Pehitungan KAO

REKAPITULASI PERHITUNGAN KAO

SPESIFIKASI Stone Matrix Asphalt (SMA)	Kadar Aspal (%)	Stabilitas 0 Jam (kg)	Flow (mm)	VITM (%)	VMA (%)	Draindown (%)	Stabilitas 24 Jam (kg)	IRS (%)	VCA
	5	785.11	2.13	4.72	15.72	0.07	707.61	90.13	0.799
	5.5	802.59	2.23	4.39	16.45	0.09	743.50	92.64	0.804
	6	844.87	2.90	3.79	16.94	0.12	793.06	93.87	0.805
	6.5	853.64	3.13	3.34	17.56	0.16	817.35	95.75	0.807
	7	820.59	3.32	3.03	18.28	0.21	804.00	97.98	0.812
BINA MARGA 2018		> 600	2-4,5	3 - 5	> 17	<0,3	> 600	>90	<1



Disahkan Oleh
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Ir. Berlian Kushan, 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



Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115

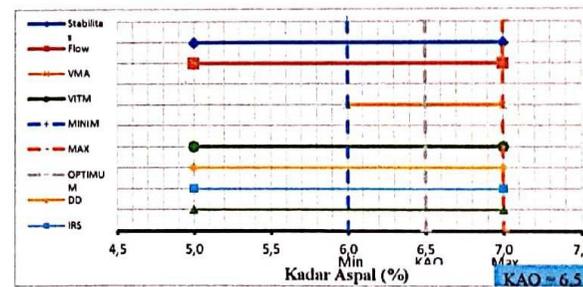
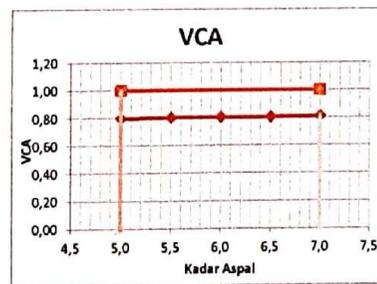
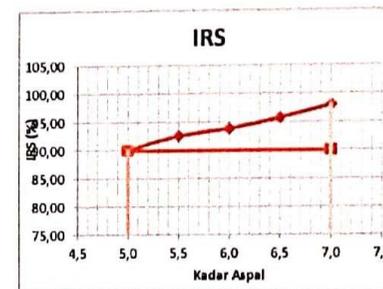
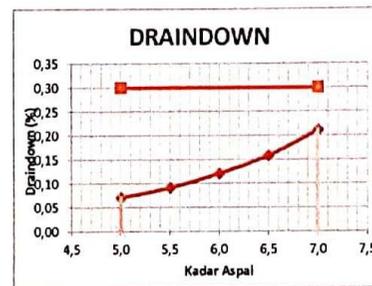
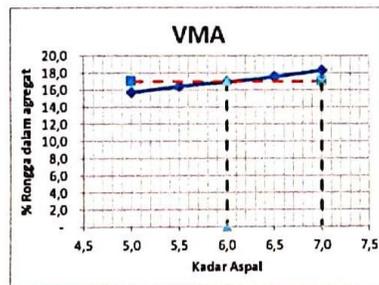


**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moch. Wafar
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalirejo km. 14.5 Yogyakarta 55284
T (0274) 894444 ext 3200, 3201
F (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 18 Rekapitulasi Pehitungan KAO

REKAPITULASI PERHITUNGAN KAO



Disahkan Oleh
 Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
 Kepala Jurusan

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

Yogyakarta, 2023
 Peneliti

 Hanif Novia yuda
 NIM : 20 511 115



UNIVERSITAS
ISLAM
INDONESIA

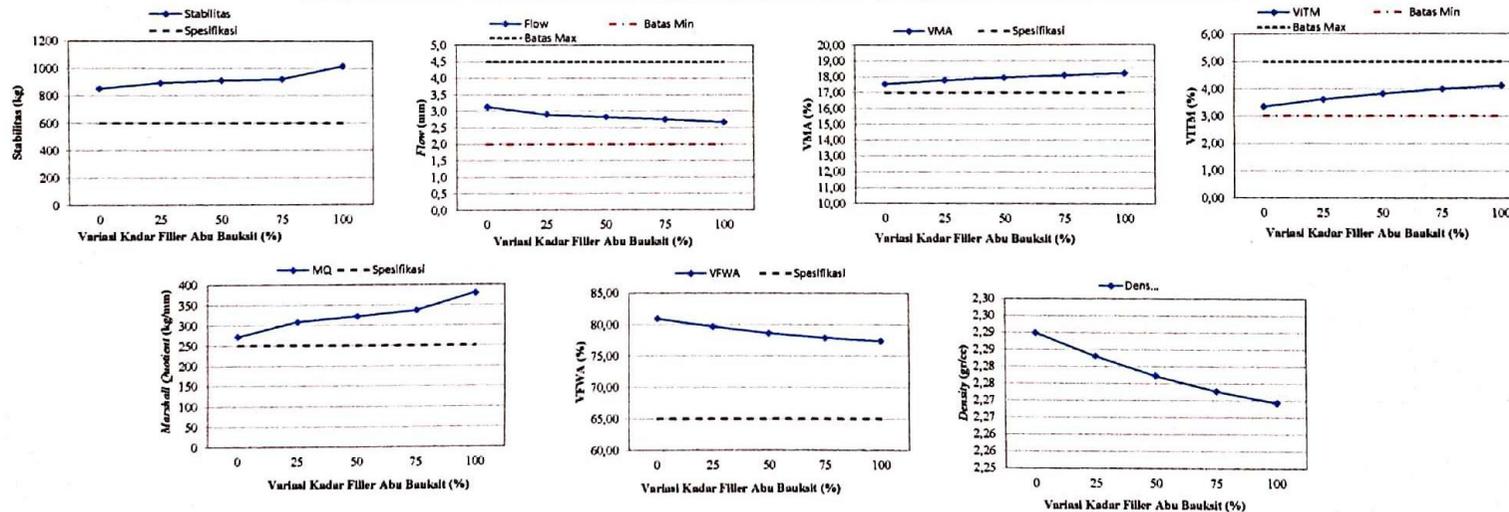
Lampiran 20 Rekapitulasi Perhitungan KAO

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

REKAPITULASI PERHITUNGAN MARHSALL

SPESIFIKASI Stone Matrix Asphalt (SMA)	Kadar Substitusi (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFVA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
	0	853,636	3,133	272,631	3,345	80,987	17,557	2,290
	25	895,750	2,900	308,805	3,611	79,694	17,780	2,283
	50	911,712	2,825	322,760	3,831	78,673	17,965	2,277
	75	922,976	2,750	336,795	3,999	77,923	18,104	2,273
	100	1017,577	2,675	380,476	4,121	77,370	18,205	2,269
BINA MARGA 2018 Revisi 2		> 600	2-4,5	>250	3 - 5	>65	> 17	



Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
[Signature]
Ic. Berlian Kusbari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01/511 0101

Mengetahui
Kalah Jalan Raya
[Signature]
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2023
Peneliti
[Signature]
Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



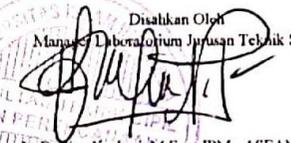
Lampiran 19 Sifat Campuran Metode Marshall

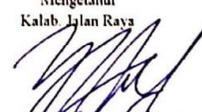
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VIM (%)	o	p	Koreksi Tebal	q Stab. (kg)	r Flow (mm)	MQ	
																					(kg/mm)	
0	a	72,74	6,95	6,50	1188,87	1204,51	682,36	522,15	2,277	2,369	14,131	81,973	3,896	18,03	78,39	3,90	51	1014,15	0,813	824,75	3,05	270,41
	b	74,27	6,95	6,50	1189,45	1201,21	682,66	518,55	2,284	2,369	14,236	82,583	3,181	17,42	81,73	3,18	54	1073,80	0,786	844,21	3,25	259,76
	c	72,56	6,95	6,50	1185,09	1201,66	686,21	515,45	2,299	2,369	14,269	82,775	2,956	17,23	82,84	2,96	55	1093,69	0,816	891,95	3,1	287,72
													17,557	80,987	3,345		853,636	3,133		272,631		
25	a																					
	b	68,17	6,95	6,50	1188,26	1206,48	686,51	519,97	2,285	2,369	14,183	82,298	3,519	17,70	80,12	3,52	52	1034,03	0,893	923,73	3	313,13
	c	73,10	6,95	6,50	1185,11	1205,31	685,73	519,58	2,281	2,369	14,156	82,142	3,703	17,86	79,27	3,70	54	1073,80	0,808	867,77	3	304,48
													17,780	79,694	3,611		895,750	2,900		308,805		
50	a	68,00	6,95	6,50	1179,91	1207,95	690,02	517,93	2,278	2,368	14,139	82,065	3,796	17,93	78,83	3,80	51	1014,15	0,898	910,20	2,85	319,37
	b	71,00	6,95	6,50	1185,26	1205,85	685,19	520,66	2,276	2,368	14,128	82,005	3,867	18,00	78,51	3,87	55	1093,69	0,835	913,23	2,8	326,15
	c																					
													17,965	78,673	3,831		911,712	2,825	0,00	322,760		
75	a	74,63	6,95	6,50	1195,95	1215,18	687,75	527,43	2,268	2,367	14,073	81,706	4,221	18,29	76,92	4,22	59	1173,23	0,780	914,63	2,9	315,39
	b																					
	c	73,13	6,95	6,50	1197,89	1214,02	688,18	525,84	2,278	2,367	14,138	82,086	3,776	17,91	78,92	3,78	58	1153,34	0,808	931,32	2,6	358,20
													18,104	77,923	3,999		922,976	2,75	0,00	336,795		
100	a																					
	b	71,45	6,95	6,50	1180,34	1195,98	674,99	520,99	2,266	2,367	14,061	81,659	4,280	18,34	76,66	4,28	61	1213,00	0,829	1006,03	2,7	372,60
	c	66,93	6,95	6,50	1181,40	1194,14	674,41	519,73	2,273	2,367	14,108	81,931	3,962	18,07	78,08	3,96	56	1113,57	0,924	1029,13	2,65	388,35
													18,205	77,370	4,121		1017,577	2,675	0,00	380,476		

Disahkan Oleh
Mansur Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti


Hanif Novia Yuda
NIM : 20 511 115



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Lampiran 21 Sifat Campuran Aspal Dengan Metode ITS

HASIL PENGUJIAN ITS

Kadar Aspal	Substitusi	Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inch)				A0	Ariaji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 JAM			
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Mear	Kalibrasi	Adjuri	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	MIN	
6,5%	0,0%	1	71,90	71,63	71,44	71,66	0,83	4,05	4,03	4,00	4,03	0,15	44	19,89	874,95	328,13	304,81	600	71,4	73	0,83	0,81	3,8	3,9	0,164	0,16	695,74	765,60	600
		2	72,58	71,86	72,59	72,34	0,82	3,98	3,99	3,97	3,98	0,16	31	19,89	616,44	228,79			71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	835,47		
		3	65,00	69,79	66,30	67,03	0,92	3,95	3,92	3,85	3,91	0,16	43	19,89	855,06	357,51			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152			
	25,0%	1	72,10	73,30	73,90	73,10	0,81	4,01	4,09	4,01	4,04	0,15	49	19,89	974,37	357,17	359,40	600	73	74,6	0,81	0,78	4	4,1	0,156	0,152	740,46	814,63	600
		2	66,70	67,20	68,40	67,43	0,91	3,93	3,96	3,95	3,95	0,16	47	19,89	934,60	386,49			66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	888,80		
		3	73,20	73,10	73,30	73,20	0,81	4,01	4,02	4,02	4,02	0,16	46	19,89	914,72	334,53			73	74,6	0,81	0,78	4	4,1	0,156	0,152			
	50,0%	1	71,50	74,70	72,22	72,81	0,81	4,02	4,01	4,01	4,01	0,16	54	19,89	1073,80	395,71	396,82	600	71,4	73	0,83	0,81	4	4,1	0,156	0,152	828,63	848,62	600
		2	71,30	72,40	71,20	71,63	0,83	3,90	3,92	3,90	3,91	0,16	53	19,89	1053,92	395,39			71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	864,63		
		3	72,60	72,22	72,50	72,44	0,82	3,95	3,92	3,96	3,94	0,16	54	19,89	1073,80	397,94			71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	852,61		
	75,0%	1	69,70	70,20	69,20	69,70	0,89	4,02	4,00	4,01	4,01	0,16	55	19,89	1093,69	441,53	419,53	600	68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	966,61	916,69	600
		2	69,00	67,00	66,70	67,57	0,91	4,05	4,03	4,00	4,03	0,15	50	19,89	994,26	409,66			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	921,19		
		3	71,40	73,20	71,70	72,10	0,82	4,03	3,99	4,01	4,01	0,16	55	19,89	1093,69	407,42			71,4	73	0,83	0,81	4	4,1	0,156	0,152	862,26		
100,0%	1	71,70	71,30	72,00	71,67	0,83	3,93	3,91	3,93	3,92	0,16	65	19,89	1292,54	484,67	466,57	600	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	1054,94	1007,12	600	
	2	69,50	70,90	70,90	70,43	0,87	3,93	3,90	3,95	3,93	0,16	61	19,89	1213,00	477,95			69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	1057,65			
	3	75,50	75,20	75,70	75,47	0,77	3,90	3,90	3,90	3,90	0,16	63	19,89	1252,77	437,08			74,6	76,2	0,78	0,76	3,9	4	0,16	0,156	908,76			

Disahkan Oleh
Manager Otoritas Jurusan Teknik Sipil

I. Berlian Kusuma, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalpa Jalan Raya

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

Yogyakarta, Desember 2023
Peneliti

Hani Novia yuda
NIM : 20 511 115



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Lampiran 22 Sifat Campuran Aspal Dengan Metode TSR

HASIL PENGUJIAN TSR

Kadar Aspal	Substitusi	Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inch)				A0	Ariofli Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi				ITS 24 JAM Kpa									
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Mens	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi		awal	rata2	MIN			
		MIN	MAX	MIN	MAX		MIN	MAX	MIN	MAX		MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX		
6,5%	0,0%	1	66,20	66,80	66,00	66,33	0,94	3,96	3,90	3,94	3,93	0,159	34	19,89	676,10	287,32	264,26	600	65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,1600	0,1560	673,97	694,32	600		
		2	72,20	71,10	70,70	71,33	0,85	4,10	4,20	4,05	4,12	0,21	24	19,89	477,24	184,66			69,9	73	0,89	0,81	4,1	4,2	0,152	0,49					
		3	67,23	69,85	68,25	68,44	0,89	3,98	4,05	4,02	4,02	0,16	40	19,89	795,41	321,11			68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	714,67				
	25,0%	1	71,70	72,22	72,22	72,03	0,82	3,90	4,00	3,95	3,95	0,158	46	19,89	914,72	341,03	339,73	600	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,160	0,156	733,42	761,71	600		
		2	70,50	70,01	68,20	69,57	0,89	3,94	3,90	3,96	3,93	0,159	44	19,89	874,95	353,22			68,3	69,9	0,89	0,89	3,9	4	0,160	0,156	790,01				
		3	71,50	73,60	71,80	72,30	0,82	3,90	3,98	4,01	3,96	0,157	44	19,89	874,95	324,94			71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,160	0,156					
	50,0%	1	73,50	74,70	72,22	73,47	0,80	4,02	4,01	4,01	4,01	0,16	52	19,89	1034,03	375,76	375,79	600	73	74,6	0,81	0,78	4	4,1	0,156	0,152	779,71	803,57	600		
		2	71,30	72,40	71,20	71,63	0,83	3,96	3,95	3,90	3,94	0,16	51	19,89	1014,15	380,47			71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	825,75				
		3	72,60	72,22	72,50	72,44	0,82	3,95	3,92	3,96	3,94	0,16	51	19,89	1014,15	375,83			71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	805,24				
	75,0%	1	69,70	70,20	69,20	69,70	0,89	4,02	4,01	4,04	4,02	0,16	52	19,89	1034,03	418,61	402,69	600	66,7	69,9	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	913,32	877,56	600		
		2	69,00	67,00	66,70	67,57	0,92	4,05	4,03	4,00	4,03	0,15	49	19,89	974,37	406,25			66,7	69,9	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	913,34				
		3	72,60	72,22	72,50	72,44	0,82	4,01	4,03	4,01	4,02	0,16	52	19,89	1034,03	383,20			71,4	73	0,83	0,81	4	4,1	0,156	0,152	805,81				
100,0%	1	71,70	71,30	72,00	71,67	0,83	3,92	3,93	3,93	3,93	0,16	63	19,89	1252,77	469,76	453,55	600	71,4	73	0,83	0,81	3,9	4	0,16	0,156	1021,63	972,50	600			
	2	69,50	70,90	70,90	70,43	0,87	3,95	3,95	3,98	3,96	0,16	60	19,89	1193,11	470,12			69,9	71,4	0,89	0,83	3,9	4	0,16	0,156	1031,59					
	3	75,50	74,20	74,70	74,80	0,78	3,95	4,00	4,00	3,98	0,16	60	19,89	1193,11	420,78			74,6	76,2	0,78	0,76	3,9	4	0,16	0,156	864,27					

Diajukan Oleh
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
[Signature]
Ir. Berliha Sushari, M.Eng. IPM, ASEAN Eng.
NIB : D1 511 0101

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

Yogyakarta, Desember 2023
Peneliti
[Signature]
Hana Novia Mula
NIM : 20 511 115



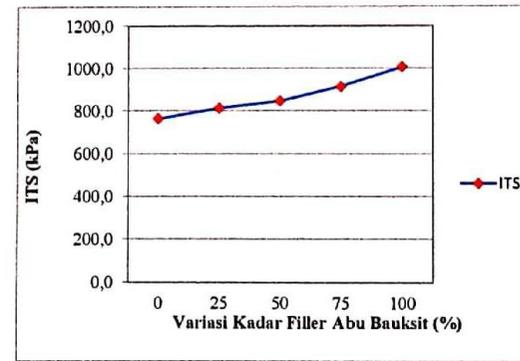
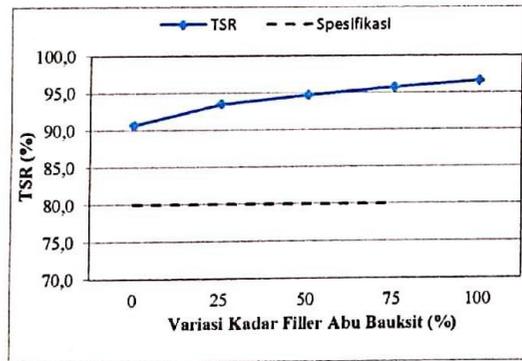
**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Lampiran 23 Rekapitulasi Sifat Campuran Aspal Dengan Metode ITS dan TSR

REAKAPITULASI PENGUJIAN ITS DAN TSR

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	ITS	ITS 24 Jam	TSR (%)
0	6,5	765,603	694,319	90,689
25		814,634	761,712	93,504
50		848,624	803,569	94,691
75		916,688	877,556	95,731
100		1007,119	972,495	96,562



Yogyakarta, Desember 2023

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

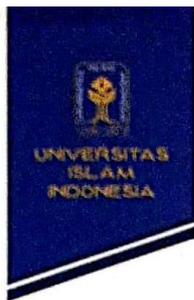
[Signature]
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Peneliti

[Signature]
Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

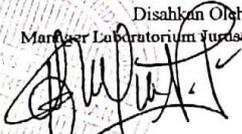
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 24 Hasil Uji Cantabro Loss

HASIL PENGIUJIAN CANTABRO LOSS

Substitusi	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1175,15	1179,00	1180,51
	2	Berat Sesudah Abrasi	991,59	945,50	946,58
	3	Persentase Kehilangan Berat	15,62	19,80	19,82
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	18,41		
25%	1	Berat Sebelum Abrasi	1173,08	1179,81	1175,21
	2	Berat Sesudah Abrasi	994,60	998,62	998,29
	3	Persentase Kehilangan Berat	15,21	15,36	15,05
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	15,21		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1181,80	1192,48	1189,56
	2	Berat Sesudah Abrasi	1020,20	1028,29	1022,21
	3	Persentase Kehilangan Berat	13,67	13,77	14,07
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	13,84		
75%	1	Berat Sebelum Abrasi	1197,39	1190,25	1192,54
	2	Berat Sesudah Abrasi	1043,67	1039,19	1038,21
	3	Persentase Kehilangan Berat	12,84	12,69	12,94
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	12,82		
100%	1	Berat Sebelum Abrasi	1187,40	1189,52	1185,25
	2	Berat Sesudah Abrasi	1054,96	1049,43	1052,51
	3	Persentase Kehilangan Berat	11,15	11,78	11,20
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	11,38		

Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil


Ir. Bernan 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


Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



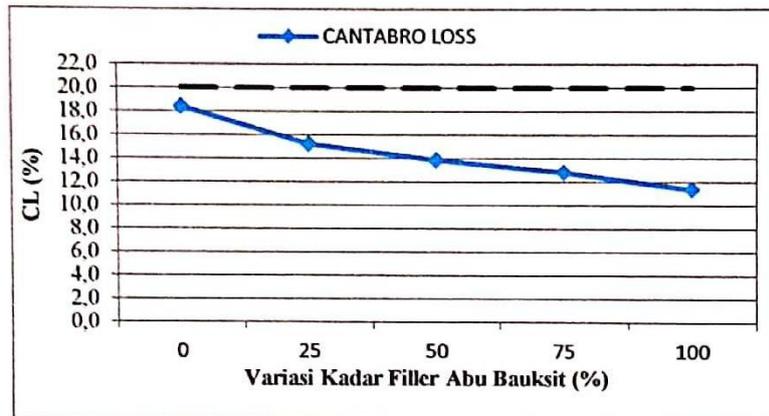
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 25 Rekapitulasi Hasil Uji Cantabro Loss

REKAPITULASI CANTABRO LOSS

Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL
0	6,5	18,41
25		15,21
50		13,84
75		12,82
100		11,38



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

Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 26 Hasil Uji Draindown

PENGUJIAN DRAINDOWN

Kadar Substitusi (%)	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
0,00%	1	Berat Piring + Benda Uji	1545,21	1544,18	1544,95
	2	Berat Benda Uji	1186,47	1185,74	1186,64
	3	Berat Awal Piring Penampung	358,74	358,44	358,31
	4	Berat Akhir Piring Penampung	360,39	360,35	360,38
	5	Draindown	0,14%	0,16%	0,17%
	6	Rata-Rata Draindown		0,16%	
25,00%	1	Berat Piring + Benda Uji	1530,24	1538,41	1530,24
	2	Berat Benda Uji	1184,13	1192,39	1183,19
	3	Berat Awal Piring Penampung	346,11	346,02	347,05
	4	Berat Akhir Piring Penampung	347,57	347,71	348,38
	5	Draindown	0,12%	0,14%	0,11%
	6	Rata-Rata Draindown		0,13%	
50,00%	1	Berat Piring + Benda Uji	1501,83	1504,34	1504,21
	2	Berat Benda Uji	1197,31	1199,62	1199,55
	3	Berat Awal Piring Penampung	304,52	304,72	304,66
	4	Berat Akhir Piring Penampung	305,83	305,91	305,98
	5	Draindown	0,11%	0,10%	0,11%
	6	Rata-Rata Draindown		0,11%	
75,00%	1	Berat Piring + Benda Uji	1392,72	1381,44	1394,80
	2	Berat Benda Uji	1184,91	1171,27	1186,58
	3	Berat Awal Piring Penampung	207,81	210,17	208,22
	4	Berat Akhir Piring Penampung	208,87	211,14	209,14
	5	Draindown	0,09%	0,08%	0,08%
	6	Rata-Rata Draindown		0,08%	
100,00%	1	Berat Piring + Benda Uji	1435,13	1438,44	1439,97
	2	Berat Benda Uji	1193,83	1195,14	1194,93
	3	Berat Awal Piring Penampung	241,30	243,30	245,04
	4	Berat Akhir Piring Penampung	241,92	244,12	246,06
	5	Draindown	0,05%	0,07%	0,09%
	6	Rata-Rata Draindown		0,07%	



Disahkan Oleh
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

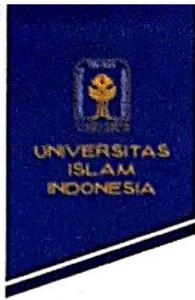
Ir. Bertian Kusnari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti

Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



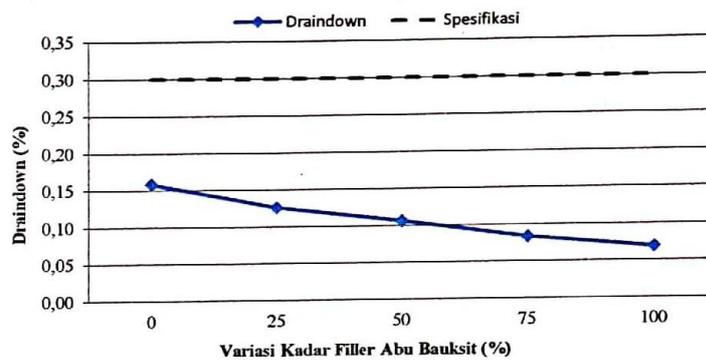
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 27 Rekapitulasi Hasil Uji *Draindown*

REKAPITULASI PENGUJIAN *DRAINDOWN*

Variasi Substitusi (%)	Draindown (%)
0	0,16
25	0,13
50	0,11
75	0,08
100	0,07



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

Hanif Novia vuda
NIM : 20 511 115



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 28 Hasil Pengujian Void Course Aggregate (VCA)

PEMERIKSAAN VOID COURSE AGGREGATE (VCA)

Kadar Aspal	Benda Uji	Berat (gram)			Volume Silinder (cm ³)	V (cm ³)	γ _s (gram/cm ³)	γ _w (gram/cm ³)	G _{CA} (gram/cm ³)	VCA _{PRC} (%)	G _{mb}	GCA	PCA (%)	VCAMIX (%)	VCAMIX /VCADR C	Spesifikasi
		Wadah + Camp. Ang	Wadah	B. Wadah + Air												
0,00	1,00	7937,40	3476,50	6385,00	2868,48	2915,67	1,53	1,00	2,60	40,94	2,28	2,60	76,00	33,37	0,82	OK
	2,00	7959,26	3572,60	6390,00	2868,48	2824,35	1,55	1,00	2,60	40,05	2,29	2,60	76,00	32,87	0,82	OK
	3,00	7902,99	3478,20	6400,10	2868,48	2929,11	1,51	1,00	2,60	41,69	2,30	2,60	76,00	32,72	0,78	OK
	Rata-Rata										40,89	Rata-Rata		32,99	0,807	OK
25,00%	1															
	2	7959,26	3572,6	6390	2868,48	2824,35	1,55	1,00	2,60	40,03	2,29	2,60	76,00	33,11	0,827	OK
	3	7902,99	3478,2	6400,1	2868,48	2929,11	1,51	1,00	2,60	41,67	2,28	2,60	76,00	33,2326	0,797	OK
	Rata-Rata										40,85	Rata-Rata		33,17	0,812	OK
50,00%	1	7937,4	3476,5	6395	2868,48	2925,70	1,52	1,00	2,60	41,11	2,28	2,60	76,00	33,29	0,81	OK
	2	7959,06	3572,2	6405	2868,48	2839,79	1,54	1,00	2,60	40,34	2,28	2,60	76,00	33,34	0,83	OK
	3															
	Rata-Rata										40,72	Rata-Rata		33,32	0,818	OK
75,00%	1	7937,4	3476,5	6370	2868,48	2900,64	1,54	1,00	2,59	40,59	2,27	2,59	76,00	33,59	0,83	OK
	2															
	3	7902,99	3478,2	6370	2868,48	2898,93	1,53	1,00	2,59	41,03	2,28	2,59	76,00	33,28	0,81	OK
	Rata-Rata										40,8	Rata-Rata		33,4	0,819	OK
100,00%	1															
	2	7959,26	3572,6	6385	2868,5	2819,3	1,556	0,9975	2,59	39,872	2,26557	2,59	76	33,624	0,843	OK
	3	7902,99	3478,2	6395	2868,5	2924,0	1,513	0,9975	2,59	41,521	2,2731	2,59	76	33,404	0,805	OK
	Rata-Rata										40,697	Rata-Rata		33,514	0,824	OK

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2023
Peneliti

Lanif Novia yuda
NIM : 20 511 115



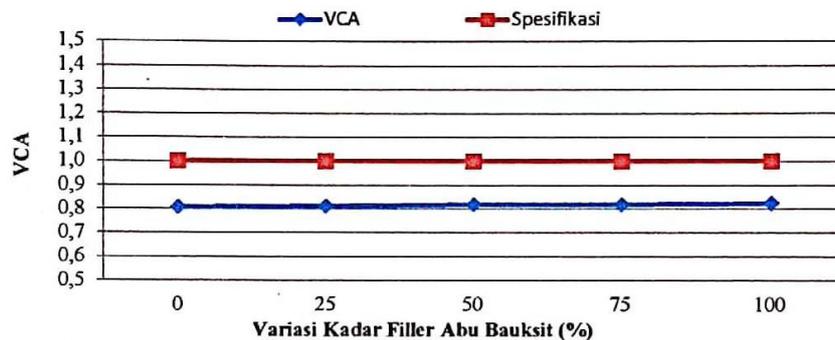
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 29 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Void Course Aggregate* (VCA)

REKAPITULASI PENGUJIAN VCA

Variasi Substitusi(%)	VCAmix	VCA _{dr}	VCA _{mix} /VCA _{dr}	Spesifikasi
0	32,99	40,89	0,807	OK
25	33,17	40,85	0,812	OK
50	33,32	40,72	0,818	OK
75	33,43	40,81	0,819	OK
100	33,51	40,70	0,824	OK



Variasi Substitusi(%)	VCA _{mix}				
0	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
50	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
75	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
100	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

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

Hanif Novia yuda
NIM : 20 511 115

Lampiran 30. Hasil Analisis ANOVA Terhadap Karakteristik Marshall

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Stabilitas	Between Groups	40287.585	4	10071.896	24.163	<,001
	Within Groups	4168.249	10	416.825		
	Total	44455.834	14			
Flow	Between Groups	.371	4	.093	12.520	<,001
	Within Groups	.074	10	.007		
	Total	.446	14			
MQ	Between Groups	18672.145	4	4668.036	31.140	<,001
	Within Groups	1499.048	10	149.905		
	Total	20171.193	14			
VITM	Between Groups	1.151	4	.288	4.424	.026
	Within Groups	.650	10	.065		
	Total	1.801	14			
VFWA	Between Groups	25.000	4	6.250	4.417	.026
	Within Groups	14.151	10	1.415		
	Total	39.151	14			
VMA	Between Groups	.796	4	.199	4.204	.030
	Within Groups	.473	10	.047		
	Total	1.269	14			
Density	Between Groups	.001	4	.000	5.754	.011
	Within Groups	.000	10	.000		
	Total	.001	14			

**Lampiran 31. Hasil Analisis ANOVA Terhadap IRS, IDP, IDK, ITS, TSR,
VCA, Cantabro Loss, dan Draindown**

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VCA	Between Groups	.000	4	.000	.297	.874
	Within Groups	.002	10	.000		
	Total	.003	14			
Draindown	Between Groups	.014	4	.003	18.714	<.001
	Within Groups	.002	10	.000		
	Total	.016	14			
Cantabro	Between Groups	86.033	4	21.508	17.752	<.001
	Within Groups	12.116	10	1.212		
	Total	98.149	14			
IRS	Between Groups	19.105	4	4.776	.681	.621
	Within Groups	70.092	10	7.009		
	Total	89.197	14			
IDP	Between Groups	.029	4	.007	.789	.558
	Within Groups	.091	10	.009		
	Total	.120	14			
IDK	Between Groups	4.414	4	1.104	1.128	.397
	Within Groups	9.787	10	.979		
	Total	14.201	14			
ITS	Between Groups	11.033	4	2.758	6.408	.008
	Within Groups	4.304	10	.430		
	Total	15.338	14			
TSR	Between Groups	50.128	4	12.532	.948	.476
	Within Groups	132.238	10	13.224		
	Total	182.365	14			