

TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI *FILLER* ABU BAUKSIT TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED ASPHALT (HRA)* DENGAN METODE PENCAMPURAN KONVENSIONAL DAN METODE PENCAMPURAN BERTAHAP (*THE EFFECT OF BAUXITE ASH FILLER SUBSTITUTION ON THE CHARACTERISTICS OF HOT ROLLED ASPHALT (HRA) MIXTURES USING CONVENTIONAL MIXING METHODS AND STAGED MIXING METHOD*)

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



**Muhammad Nabil Atthaullah
20511177**

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

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

PENGARUH SUBSTITUSI *FILLER* ABU BAUKSIT TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED ASPHALT (HRA)* DENGAN METODE PENCAMPURAN KONVENSIONAL DAN METODE PENCAMPURAN BERTAHAP (*THE EFFECT OF BAUXITE ASH FILLER SUBSTITUTION ON THE CHARACTERISTICS OF HOT ROLLED ASPHALT (HRA) MIXTURES USING CONVENTIONAL MIXING METHODS AND STAGED MIXING METHOD*)

disusun Oleh :

Muhammad Nabil Attthaullah

20511177

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

Di Uji Tanggal 3 Desember 2024

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing I

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

NIK: 955110103

Penguji I

**Ir. Berlian Kushari, S.T.,
M.Eng., IPM, ASEAN Eng.**

NIK: 015110101

Penguji II

Prayogo Afang Pravitno, S.T., M.Sc.

NIK: 20511303

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



Yunalia Muntaz, S.T., M.T., Ph.D.(Eng.), IPM

NIK: 095110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil 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,

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Nabil Atthaullah

(20511177)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillahirabbil ‘alamin puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan saya kenikmatan berupa rahmat dan hidayahnya sehingga saya bisa menyusun laporan tugas akhir yang berjudul *Pengaruh Substitusi Filler Abu Bauksit Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt (HRA) dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap*. Laporan tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus di diselesaikan guna untuk menyelesaikan studi sarjana tingkat satu di program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

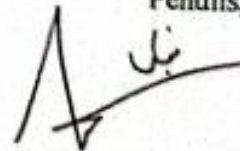
Dalam penyusunan tugas akhir banyak rintangan dan hambatan yang dilalui oleh penulis, namun kritikan, nasehat dan semangat yang di dapatkan dari berbagai pihak diberikan kepada penulis sehingga laporan tugas akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih yang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

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan bimbingan, pembelajaran, ilmu yang baru dan nasihat baik serta motivasi yang membangkitkan semangat penulis selama penyusunan tugas akhir sehingga menghasilkan yang terbaik.
2. Bapak Ir.Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM, ASEAN Eng. dan bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji tugas akhir yang telah memberikan saran, pembelajaran, ilmu yang baru dan nasihat baik serta motivasi hingga akhir.
3. Ibu Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D.(Eng)., IPM selaku kepala Prodi Teknik Sipil yang telah membantu untuk kelancaran dalam masalah akademik selama ini.

4. Kedua orang tuaku, Ayahanda Alm Andykhatria, S.T., M.M. dan Ibunda Ermasudiarti, S.Sos yang selalu mendoakan dan mendukung saya dari awal hingga tulisan ini selesai.
5. Ketiga Adikku, Siti Salwa Almayra, Muhammad Al khaliq Atthaullah dan Siti Hanifa Almayra yang selalu mendukung.
6. Keluarga besar yang selalu memberikan dukungan dan doa.
7. Keluarga Besar Pondok pesantren Darul 'Ulum Jombang dan Keluarga Besar Pondok pesantren Sunan Pandanaran Komplek 4 Yogyakarta berkat do'a, tirakat dan riyadhoh nya saya bisa menjadi seperti ini.
8. Teman-teman yang selalu memberikan dukungan dan motivasi selama penyusunan laporan Tugas Akhir, Roby Octavian, Hanif Novia yuda, Ageng Febrian Setya Permana, Ridwan Ikrar Legawa, Naufal Isa Haidar, Michael Ibe Niatda Dakhi, Rifat Hidayat, Ahmad Fahmi Aziz, Muhammad Algifari, Habib Amir khoiruddin, Zaki Abrar, Enzo Diaz Lahdiata, Andriansyah Nurrizki Kurniawan Putra, Muhammad Irfandi, Mahayani Farhatul Aulia, Devi Ekawati, Fadilah Nurcahyani dan sahabat – sahabat lainnya, Terima kasih atas semua atas motivasi nya terutama ketika alm. Ayah saya sudah tidak ada, kalian lah yang membuat saya bangkit kembali.

Yogyakarta, 3 Desember 2024

Penulis,



Muhammad Nabil Atthaullah
(20511177)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
DAFTAR NOTASI	xvii
DAFTAR SINGKATAN	xix
ABSTRAK	xxi
<i>ABSTRACT</i>	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSAKA	6
2.1 Penggunaan substitusi <i>Filler</i> pada campuran aspal	6
2.2 Penggunaan bauksit dalam dunia Konstruksi	7
2.3 Penggunaan campuran <i>HRA (Hot Rolled Asphalt)</i> dalam dunia konstruksi	8
2.4 Penggunaan metode pencampuran dua tahap dalam perkerasan jalan	9
2.5 Penelitian terkait substitusi <i>Filler</i> pada campuran aspal	10
BAB III LANDASAN TEORI	40
3.1 Umum	40
3.2 Bauksit	41
3.3 <i>Hot Rolled Asphalt</i>	42

3.4	Karakteristik Material Penyusun <i>Hot Rolled Asphalt</i>	42
3.4.1	Agregat	42
3.4.2	Bahan pengisi (<i>Filler</i>)	44
3.4.3	Gradasi dan Spesifikasi Agregat <i>Hot Rolled Asphlat (HRA)</i>	44
3.4.4	Aspal	45
3.5	Metode bertahap	46
3.6	Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan Jalan	47
3.6.1	Stabilitas (<i>stability</i>)	47
3.6.2	Daya tahan (<i>durability</i>)	47
3.6.3	Kelenturan (<i>flexibility</i>)	48
3.6.4	Ketahanan terhadap kelelahan (<i>fatigue resistance</i>)	48
3.6.5	Kekesatan/ ketahanan terhadap gaya geser (<i>skid resistance</i>)	48
3.7	Parameter Pengujian <i>Marshall</i>	49
3.7.1	Pengujian Stabilitas	49
3.7.2	Kepadatan (<i>Density</i>)	50
3.7.3	Kelelehan (<i>Flow</i>)	50
3.7.4	Pengujian Jenis Volume Pori	51
3.8	Pengujian <i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	55
3.9	Indeks Durabilitas Pertama	55
3.10	Indeks Durabilitas Kedua	56
3.11	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength Test (ITS)</i>	56
3.12	Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	57
3.13	<i>Cantabro Loss</i>	57
BAB IV METODE PENELITIAN		59
4.1	Metode penelitian	59
4.2	Metode Pengambilan Sample	59
4.3	Metode Pengambilan Data	59
4.4	Tahapan Penelitian	59
4.4.1	Persiapan material	60
4.4.2	Persiapan Alat	62
4.4.3	Persiapan Campuran	63

4.4.4	Pembuatan Pembuatan Sample	70
4.4.5	Pengujian <i>Marshall</i>	72
4.4.6	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	73
4.4.7	Pengujian <i>Indeks of Retained Strength (IRS)</i>	73
4.4.8	Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	73
4.5	Analisis Data	75
4.5.1	Analisis Karakteristik <i>Marshall Test</i>	75
4.5.2	Analisis Pengujian <i>IRS</i>	76
4.5.3	Analisis Pengujian <i>IDP</i>	76
4.5.4	Analisis Nilai <i>IDK</i>	76
4.5.5	Analisis Nilai <i>ITS</i>	76
4.5.6	Analisis Nilai <i>TSR</i>	76
4.5.7	Analisis Nilai <i>Cantabro Loss</i>	76
4.6	Bagan Alir Penelitian	76
BAB V <u>HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</u>		79
5.1	Hasil pengujian bahan dan campuran	79
5.1.1	Hasil pengujian karakteristik Aspal	79
5.1.2	Hasil pengujian karakteristik Aspal	79
5.1.3	Hasil pengujian untuk pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)	80
5.1.4	Hasil pengujian pada Kadar Aspal Optimum	82
5.2	Pembahasan	86
5.2.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	86
5.2.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	88
5.2.3	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	89
5.2.4	Hasil Pengujian Karakteristik Bahan pengisi (<i>filler</i>)	89
5.2.5	Pembahasan Kadar Aspal untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	90
5.2.6	Pembahasan Substitusi <i>Filler</i> Abu bauksit Pada KAO Campuran Dengan Menggunakan Metode Campuran Konvensional Dan Bertahap.	95

5.3	Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit Dengan Menggunakan Metode Bertahap Dan Metode Konvensional	114
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		127
6.1	Kesimpulan	127
6.2	Saran	128
DAFTAR PUSTAKA		129
LAMPIRAN		133

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait Penggunaan Substitusi <i>Filler</i> Pada Campuran Aspal	11
Tabel 2. 2 Penelitian Terkait Penggunaan Bauksit Dalam Dunia Konstruksi	19
Tabel 2. 3 Penggunaan Campuran <i>HRA (Hot Rolled Asphalt)</i> dalam Perkerasan Jalan	26
Tabel 2. 4 Penggunaan Metode Pencampuran Dua Tahap dalam Perkerasan Jalan	34
Tabel 3. 1 Komposisi utama Bauksit	41
Tabel 3. 2 Persyaratan Agregat Kasar	43
Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Halus	43
Tabel 3. 4 Batasan Gradasi Agregat Campuran <i>HRA</i> Tipe C Designation 30/14 Tebal 40 Mm	44
Tabel 3. 5 Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Lataston	45
Tabel 3. 6 Persyaratan Aspal Keras Tipe 1 Aspal Pen. 60/70	46
Tabel 4. 1 Batasan Gradasi Agregat Campuran <i>HRA</i> Tipe C Designation 30/14 Tebal 40 Mm	63
Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada kadar aspal 6 %	65
Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat pada kadar aspal 6.5 %	65
Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada kadar aspal 7 %	65
Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat pada kadar aspal 7.5 %	66
Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat pada kadar aspal 8 %	66
Tabel 4. 7 Kebutuhan Agregat pada Variasi Substitusi <i>Filler</i> 0%	67
Tabel 4. 8 Kebutuhan Agregat pada Variasi Substitusi <i>Filler</i> 25%	68
Tabel 4. 9 Kebutuhan Agregat pada Variasi Substitusi <i>Filler</i> 50%	68
Tabel 4. 10 Kebutuhan Agregat pada Variasi Substitusi <i>Filler</i> 75%	69
Tabel 4. 11 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh KAO	69
Tabel 4. 12 Jumlah Benda Uji Untuk Substitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit pada KAO	70
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pen 60/70	79
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	80

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus Clereng	80
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis Filler	80
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)	81
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> pada Metode Pencampuran Konvensional	82
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> pada Metode Pencampuran Bertahap	83
Tabel 5. 8 Hasil pengujian <i>Index of Retained Strength (IRS)</i> , Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua Konvensional	83
Tabel 5. 9 Hasil pengujian <i>Index of Retained Strength (IRS)</i> , Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua Bertahap	83
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> pada Metode Pencampuran Konvensional	84
Tabel 5. 11 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> pada Metode Pencampuran pada Metode Pencampuran Bertahap	84
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> Normal pada Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pecampuran Bertahap	85
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> Rendaman pada Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pecampuran Bertahap	85
Tabel 5. 14 Hasil Nilai Tahanan <i>Cantabro Loss</i> pada Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Bertahap	85
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi <i>Filler</i> Abu Bauskit dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional	115

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Tempat Pengambilan Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	2
Gambar 3. 1 Ilustrasi Proses Metode Pencampuran Konvensional Dan Metode Pencampuran Dua Bertahap	47
Gambar 3. 2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai Stabilitas	49
Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai <i>Flow</i>	51
Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i>	52
Gambar 3. 5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i>	53
Gambar 3. 6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i>	54
Gambar 3. 7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i>	55
Gambar 4. 1 Batasan Gradasi Agregat Campuran <i>HRA</i> Tipe C Designation 30/14 Tebal 40 Mm	64
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	77
Gambar 5. 1 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)	81
Gambar 5. 2 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas	91
Gambar 5. 3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>Flow</i>	91
Gambar 5. 4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>VITM</i>	92
Gambar 5. 5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>VMA</i>	93
Gambar 5. 6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>VFWA</i>	93
Gambar 5. 7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>MQ</i>	94
Gambar 5. 8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai <i>IRS</i>	95
Gambar 5. 9 Grafik Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai <i>Void in Total Mix (VITM)</i>	96
Gambar 5. 10 Grafik Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai <i>Void in Mineral Aggregate (VMA)</i>	97
Gambar 5. 11 Grafik Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai <i>Void Filled With Asphalt (VFWA)</i>	98
Gambar 5. 12 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Stabilitas	100

Gambar 5. 13 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai <i>Flow</i>	101
Gambar 5. 14 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai <i>Marshall Quotient (MQ)</i>	102
Gambar 5. 15 Perbandingan Nilai <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> Normal dengan rendaman Metode Konvensional.	104
Gambar 5. 16 Perbandingan Nilai <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> Normal dengan Rendaman Metode Bertahap.	104
Gambar 5. 17 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> .	104
Gambar 5. 18 Perbandingan Nilai Stabilitas Normal dengan Nilai Stabilitas Rendaman Metode Konvensional	106
Gambar 5. 19 Perbandingan Nilai Stabilitas Normal dengan Nilai Stabilitas Rendaman Metode Bertahap	106
Gambar 5. 20 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai <i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	107
Gambar 5. 21 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Pertama	108
Gambar 5. 22 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua	110
Gambar 5. 23 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> .	112
Gambar 5. 24 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai <i>Cantabro Loss</i> Normal	113
Gambar 5. 25 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai <i>Cantabro Loss</i> Rendaman	113
Gambar 5. 26 Rekapitulasi Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai <i>Cantabro Loss</i>	113
Gambar 5. 27 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Tahanan <i>Cantabro Loss</i>	114

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	134
Lampiran 2 Hasil Pemeriksaan Penetrasi Aspal	135
Lampiran 3 Hasil Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	136
Lampiran 4 Hasil Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	137
Lampiran 5 Hasil Pemeriksaan Daktilitas Aspal	138
Lampiran 6 Hasil Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam <i>CCL4/TCE</i>	139
Lampiran 7 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat kasar	140
Lampiran 8 Hasil Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal	141
Lampiran 9 Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar	142
Lampiran 10 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	143
Lampiran 11 Hasil Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	144
Lampiran 12 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> abu batu	145
Lampiran 13 Hasil Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Abu Bauksit	146
Lampiran 14 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Konvensional	147
Lampiran 15 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Bertahap	148
Lampiran 16 Rekapitulasi Hasil <i>Marshall</i> Konvensional dan Bertahap	149
Lampiran 17 Hasil Pengujian <i>IRS</i> Konvensional	150
Lampiran 18 Hasil Pengujian <i>IRS</i> Bertahap	151
Lampiran 19 Rekapitulasi Pengujian <i>IRS</i>	152
Lampiran 20 Hasil Pengujian <i>ITS</i> Konvensional	153
Lampiran 21 Hasil Pengujian <i>ITS</i> Bertahap	154
Lampiran 22 Hasil Pengujian <i>TSR</i> Konvensional	155
Lampiran 23 Hasil Pengujian <i>TSR</i> Bertahap	156
Lampiran 24 Rekapitulasi Hasil pengujian <i>ITS</i> dan <i>TSR</i>	157
Lampiran 25 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> Normal Konvensional	158
Lampiran 26 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> Normal Bertahap	159
Lampiran 27 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> Rendaman Konvensional	160

Lampiran 28 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> Rendaman Bertahap	161
Lampiran 29 Rekaputasi Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	162

DAFTAR NOTASI

A	= Persen kadar Substitusi (%)
a	= Berat Jenis Abu bauksit (gr/cm^3)
a	= Total kehilangan kekuatan rerata satu hari (%)
b	= Berat Jenis Abu Batu (gr/cm^3)
Ba	= berat beton aspal padat di dalam air (gram),
Bk	= berat kering beton aspal padat (gram),
Bssd	= berat kering permukaan dari beton aspal dipadatkan (gram),
c	= berat benda uji sebelum direndam (gr),
d	= berat benda uji dalam keadaan jenuh / SSD (gr),
d	= Diameter benda uji (mm)
e	= berat dalam air (gr), dan
f	= volume / isi (cm^3).
g	= nilai density (gr/cc),
Gmb	= berat jenis bulk dari beton aspal padat,
Gmm	= berat jenis maksimum campuran beton aspal belum dipadatkan,
Ga	= berat jenis aspal,
h	= Tinggi benda uji (mm)
L	= persentasi kehilangan berat (%)
mo	= Berat sebelum abrasi (gr)
mi	= Berat sesudah abrasi (gr)
p	= pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan
P	= Nilai Stabilitas (N),
q	= angka stabilitas,
r	= angka koreksi tebal benda uji.
r	= Indeks penurunan stabilitas (%)
Pa	= kadar aspal terhadap berat beton aspal padat (%),

P_s = kadar agregat terhadap berat beton aspal padat (%),
 S_1 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit,
 S_2 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam.
 s_i = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%)
 S_{i+1} = Persentase kekuatan sisa pada waktu $t_i + 1$, dan
 T_1 = rata-rata nilai *ITS* tanpa rendaman (kg), dan
 T_2 = rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg).
 T_{i,t_i+1} = Periode perendaman (dari awal pengujian)
 t_n = total waktu rendaman (jam)

DAFTAR SINGKATAN

<i>AASHTO</i>	= <i>America Association of State Highway and Transport</i>
<i>BS</i>	= <i>British Standard</i>
<i>HRA</i>	= <i>Hot Rolled Asphalt</i>
<i>IDP</i>	= Indeks Durabilitas Pertama
<i>IDK</i>	= Indeks Durabilitas Kedua
<i>ITS</i>	= <i>Indirect Tensile Strength</i>
<i>IRS</i>	= <i>Index of Retained Strength</i>
<i>KAO</i>	= Kadar Aspal Optimum
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>SNI</i>	= 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>

ABSTRAK

Perkerasan jalan mengalami perkembangan yang sangat pesat seiring dengan berkembangnya teknologi. Perkembangan inilah yang menyebabkan munculnya metode – metode pencampuran baru salah satunya adalah metode bertahap. Selain dengan menggunakan metode yang berbeda dalam pecampuran, bahan pengganti bisa digunakan alternatif pilihan suatu campuran pekerasan jalan. Pada daerah Kepulauan Riau terdapat material yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti *filler* yaitu abu bauksit. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui apakah abu bauksit sebagai bahan pengganti *filler* mempengaruhi karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap pengujian laboratorium. Tahapan pertama yakni dengan menguji sifat material agregat dan aspal. Tahap ke kedua menentukan kadar aspal optimum pada campuran *Hot rolled Asphalt* dengan variasi kadar aspal sebesar 6%, 6.5%, 7%, 7.5%, 8%. Tahap selanjutnya dilakukan beberapa pengujian berdasarkan pembagian parameter yakni berdasarkan volumetrik, kekuatan dan durabilitas. Dimana pengujian tersebut terdiri dari *VITM*, *VMA*, *VFWA*, Stabilitas, *flow*, *MQ*, *IRS*, *IDP*, *IDK*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro Loss* dengan menggunakan bahan pengganti pada *filler* abu bauksit dengan kadar variasi 0%, 25%, 50% dan 75% dengan menggunakan metode pencampuran konvensional dan bertahap.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa pada campuran *HRA* dengan bahan pengganti *filler* abu bauksit menggunakan metode konvensional dan bertahap, pada parameter volumetrik penggunaan metode bertahap dengan substitusi *filler* abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap volumetrik campuran daripada metode konvensional dimana untuk nilai volumetrik bertahap jauh lebih kecil daripada metode konvensional, dikarenakan mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, selain itu aspal mampu mengisi rongga – rongga pada campuran dengan lebih optimal. Pada parameter kekuatan penggunaan metode bertahap dengan substitusi *filler* abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, hal ini ditunjukkan dengan nilai Stabilitas, *flow*, *MQ* dan *ITS* lebih tinggi daripada metode konvensional. Hal ini membuat campuran mampu menahan beban lebih baik, kaku dan tidak mudah mengalami keretakan. Pada parameter durabilitas penggunaan metode bertahap dengan substitusi *filler* abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap durabilitas campuran daripada metode konvensional, Hal ini ditunjukkan dengan nilai pada pengujian durabilitas pada metode bertahap lebih baik daripada metode konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa campuran mampu memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu maupun cuaca dengan lebih baik serta tahan terhadap keausan.

Kata Kunci : eksperimental, *HRA*, pecampuran bertahap, *filler*, abu bauksit

ABSTRACT

Paving road experience very rapid development along with The development technology . Development this is what causes emergence methods – methods mixing just one of them is method gradually . Besides with use different methods in mixing , ingredients replacement Can used alternative choice a mixture hardening road . In the area The Riau Islands have materials that can be used utilized as material replacement filler that is ash bauxite . Purpose study This is For know whether ash bauxite as material replacement filler influence characteristics Mix Hot Rolled Asphalt with use method mixing conventional and methods mixing gradually .

In Research This done a number of stage testing laboratory . Stages First namely with test properties of aggregate and asphalt materials . stage to second determine level optimum asphalt in the mixture Hot Rolled Asphalt with variation level asphalt by 6%, 6.5%, 7%, 7.5%, 8%. Stage furthermore done a number of testing based on parameter division namely based on volumetric , strength and durability . where testing the consists of from VITM, VMA, VFWA, Stability , flow, MQ, IRS , IDP, IDK, ITS , TSR , Cantabro Loss with use material substitute for filler ash bauxite with level variations of 0%, 25%, 50% and 75% with use method mixing conventional and gradual .

Research results show that in the mixture HRA with bauxite ash filler substitute using conventional and gradual methods, in volumetric parameters the use of gradual methods with bauxite ash filler substitution has a better effect on the volumetric mixture than the conventional method where the gradual volumetric value is much smaller than the conventional method , because it is able to fill the cavity well so that the cavity becomes smaller, in addition, asphalt is able to fill the cavities in the mixture more optimally. In the strength parameters, the use of gradual methods with bauxite ash filler substitution has a better effect on the strength of the mixture than the conventional method, This is indicated by the Stability, flow, MQ and ITS values being higher than conventional methods. This makes the mixture able to withstand loads better, stiffer and less prone to cracking. In the durability parameters The use of a gradual method with bauxite ash filler substitution has a better effect on the durability of the mixture than the conventional method. This is indicated by the value of the durability test in the gradual method being better than the conventional method. This shows that the mixture is able to have better resistance to changes in temperature and weather and is resistant to wear.

Keywords: *experimental, HRA , sequential mixing method, filler, bauxite ash*

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Sukirman (1999) sejarah perkerasan jalan berkembang bersamaan dengan hasrat manusia dalam mencari kebutuhan hidup dalam bersosialisasi antar sesama. Perkembangan perkerasan ini juga dirasakan di negara Indonesia yang berkembang dari waktu ke waktu.

Perkembangan perkerasan jalan yang ada di Indonesia sendiri menggunakan 2 tipe perkerasan yakni perkerasan lentur (*flexible pavement*) dan perkerasan kaku (*rigid pavement*). Namun, dalam hal ini difokuskan pada perkerasan lentur (*flexible pavement*). Perkerasan lentur (*flexible pavement*) merupakan campuran antara bahan ikat berupa aspal dengan bahan – bahan lain berupa agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) yang bertujuan untuk menahan beban yang dilalui di atasnya. Dalam perkerasan lentur (*flexible pavement*) ada berbagai campuran yang bisa di gunakan salah satunya adalah campuran yang mempunyai sifat elastis yang tinggi dan mengandung lebih banyak agregat halus sekitar 50% lebih banyak dibanding campuran aspal yang lain sehingga bahan pengisi (*filler*) sangat menentukan kekuatan campuran, campuran ini disebut juga campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)*.

Hot Rolled Asphalt (HRA) merupakan campuran yang memiliki gradasi yang senjang. Disebut demikian karena *Hot Rolled Asphalt (HRA)* mengandalkan kekuatan dari bahan pengikat, agregat halus, agregat kasar dan bahan pengisi. *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dominan di isi oleh agregat halus dengan persentase $\pm 50\%$. Di Indonesia sendiri campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* bisa digunakan dalam mengatasi keretakan di jalan. Selain campuran metode penggunaan *Hot Rolled Asphalt (HRA)* sendiri bisa digunakan dengan metode – metode campuran seperti metode campuran bertahap.

Metode bertahap menurut Kok dan Kuloglu (2011) adalah merupakan upaya untuk meningkatkan kinerja campuran beton aspal dengan mengubah tahapan pencampuran aspal dengan agregat. Tahapan ini di dasarkan pada tahapan awal seperti *pre-coating* antara agregat kasar dengan kadar aspal optimumnya, kemudian mencampurkan dengan *filler*, dan tahap terakhir yaitu mencampurkan dengan agregat halus. Metode bertahap ini menekankan pada salah satu tahapan yakni pada tahapan pencampuran *filler* dimana bahan pengisi (*filler*) memiliki peranan penting yakni menutup rongga – rongga yang ada pada agregat kasar sehingga rongga yang dihasilkan semakin kecil. Sehingga bahan pengisi (*filler*) memiliki peranan penting dalam metode bertahap ini.

Pada daerah Kepulauan Riau bertepatan pada wilayah kabupaten karimun terdapat material yang bisa dimanfaatkan sebagai bahan pengisi (*filler*) yakni abu bauksit. Bauksit khususnya pada kawasan Kabupaten Karimun tergolong memiliki tambang bauksit yang lumayan banyak yakni memiliki luasan sekitar 350,9 ha. Untuk tepat pengambilan bahan pengisi (*filler*) bisa dilihat pada Gambar 1.1 berikut :



Gambar 1. 1 Tempat Pengambilan Bahan Pengisi (*Filler*)

Salah satu penelitian tentang bauksit adalah Lianasari (2013) melakukan penelitian tentang batu bauksit pulau bintang sebagai pengganti agregat kasar pada beton, yang mana dari penelitian ini menunjukkan kuat tekan optimum dan memiliki daya serap air yang tinggi namun masih memenuhi persyaratan SNI. Selain itu pada penelitian lainnya yang dilakukan oleh Zhang dan Poh (2021) dengan melakukan penelitian ” *Effect of bauxite aggregate in cement composites on mechanical properties and resistance against high-velocity projectile impact*” dimana pada penelitian ini didapatkan hasil bahwa pasir bauksit dan agregat kasar bermanfaat untuk meningkatkan ketahanan terhadap benturan.

Penelitian ini menggunakan abu bauksit sebagai substitusi *filler* terhadap campuran *Hot Rolled Asphalt*. Selain menggunakan abu bauksit sebagai substitusi *filler*, Penelitian ini juga menggunakan metode bertahap sebagai metode utama dalam penelitian ini. Dengan mudah di temukan material di wilayah Kepulauan Riau, Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis apakah dengan campuran bertahap pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dan menggunakan substitusi *filler* berupa abu bauksit bisa digunakan atau tidak.

1.2 Rumusan Masalah

Pada tugas akhir ini, Pemasalahan yang akan di bahas adalah sebagai berikut

1. Bagaimana pengaruh substitusi *filler* abu bauksit terhadap kekuatan campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap ?
2. Bagaimana pengaruh substitusi *filler* abu bauksit terhadap parameter volometrik (VITM,VFWA,VMA) campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap ?
3. Bagaimana pengaruh substitusi *filler* abu bauksit terhadap Parameter *durability* campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap ?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut

1. Menganalisis apakah pengaruh substitusi *filler* abu bauksit terhadap kekuatan campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan metode pencampuran bertahap lebih efisien dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.
2. Menganalisis pengaruh substitusi *filler* abu bauksit terhadap nilai *Void In Total Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, dan *Void in Mineral Aggregate (VMA)* pada campuran *Hot Rolled Asphalt*
3. Menganalisis pengaruh substitusi *filler* abu bauksit terhadap nilai *durability* pada campuran *Hot Rolled Asphalt*

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang akan di beri dari penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Memanfaatkan material abu bauksit sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran *Hot Rolled Asphalt*
2. Memberi pengetahuan terkait abu bauksit sebagai pengganti bahan pengisi *filler*
3. Memberikan pengetahuan terkait apakah substitusi bahan pengisi *filler* dengan menggunakan abu bauksit bisa berpengaruh pada campuran *Hot Rolled Asphalt*

1.5 Batasan Penelitian

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

- 1 Peraturan yang digunakan adalah *British Standard (BS)*, dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 tahun 2020.
- 2 Bahan ikat yang digunakan adalah aspal Pertamina Pen 60/70.
- 3 Agregat kasar diperoleh dari yang ada di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- 4 Agregat halus diperoleh dari yang ada di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam

Indonesia.

- 5 Pengganti *filler* abu bauksit diperoleh dari Kota karimun, Provinsi Kepulauan Riau.
- 6 Variasi substitusi *filler* yang digunakan adalah 0%, 25%, 50%, 75%,
- 7 Bahan pengisi (*filler*) yang di gunakan adalah abu dari batuan bauksit
- 8 Tinjauan pengujian terhadap kekuatan struktur berdasarkan Stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient*, *ITS*
- 9 Tinjauan pengujian terhadap parameter volumetrik berdasarkan nilai, *Void In Total Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, dan *Void in Mineral Aggregate (VMA)*.
- 10 Tinjauan pengujian terhadap durabilitas campuran aspal berdasarkan *IRS*, *TSR*, *Catanbro Loss*
- 11 Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia.
- 12 Penelitian ini tidak menguji kandungan unsur mineral yang terkandung dalam bauksit.
- 13 Penelitian ini menggunakan dua metode pencampuran, yaitu metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap.

BAB II TINJAUAN PUSAKA

2.1 Penggunaan substitusi *filler* pada campuran aspal

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

Penelitian yang dilakukan Aditya (2021) tentang pengaruh pemanfaatan tras sebagai bahan pengisi pengganti terhadap karakteristik campuran *split mastic asphalt* (SMA). Pada penelitian itu menghasilkan, Bahwa penggunaan substitusi batu trass Rembang pada semua variasi substitusi sebagai *filler* pengganti pada campuran *Split Mastic Asphalt* memenuhi persyaratan dan dapat digunakan sebagai bahan pengganti *filler* Clereng. Hasil uji karakteristik *Marshall* menunjukkan bahwa campuran dapat menahan beban lalu lintas dan kelenturan. Uji *Indirect Tensile Strength* menunjukkan bahwa campuran mampu menahan kuat tarik tak langsung. Pada uji *Cantabro* campuran mampu menahan disintegrasi akibat benturan. Nilai durabilitas pada uji *IRS* memenuhi semua persyaratan Bina marga 2018 $\geq 90\%$.

Selain itu ada juga penelitian yang dilakukan Nugraha (2019) tentang karakteristik *Marshall* pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) dengan menggunakan *filler* limbah beton. Dalam penelitian itu menghasilkan, bahwa campuran mengalami perubahan karakteristik *Marshall* cukup signifikan yaitu pada kemampuan campuran menahan beban semakin meningkat dan kelelahan semakin menurun. Hal ini dapat dilihat pada nilai stabilitas mengalami peningkatan, *flow* mengalami penurunan, nilai *MQ* mengalami kenaikan, *VITM* mengalami penurunan, *Density* mengalami peningkatan, *VFWA* mengalami peningkatan dan *VMA* mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa keawetan (*durability*) semakin meningkat.

Kemampuan menahan gaya tarik (*Indirect Tensile Strength*) campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* seiring peningkatan proporsi *filler* Limbah Beton.

Dalam penelitian lain yang dilakukan oleh Hidayat (2018) yaitu pengaruh abu sekam padi sebagai *filler* pengganti terhadap karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA)*. Dalam penelitian tersebut menghasilkan, peningkatan nilai stabilitas campuran *SMA* 12,5 mm seiring bertambahnya kadar *filler* pengganti ASP. Nilai *IRS* pada kadar *filler* pengganti ASP 0% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga (2010), namun pada kadar ASP 25%, 50% dan 75% memenuhi spesifikasi Bina Marga (2010). Nilai *ITS* mengalami kenaikan lalu mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar ASP. Nilai *Cantabro Loss* pada kadar *filler* pengganti ASP 0%, 25% dan 50% memenuhi syarat Bina Marga (2010) $\leq 20\%$ namun pada kadar ASP 75% melebihi syarat yaitu sebesar 45,98%. Selain itu, angka *Poisson* mengalami kenaikan sebesar seiring bertambah kadar *filler* pengganti ASP.

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

2.2 Penggunaan bauksit dalam dunia Konstruksi

Pemanfaatan batuan abu bauksit sebagai substitusi *filler* masih tergolong jarang di ranah konstruksi. Di Kabupaten Karimun sendiri memiliki tambang batuan bauksit yang tergolong banyak yaitu sekitar 375,0 ha. Batuan bauksit sendiri adalah batuan yang berasal dari batuan awal yang terdiri dari aluminium, sedikit besi dan sedikit kuarsa yang mengalami pelakukan, pelarutan hingga mengendap menjadi batuan bauksit tersebut.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Zhang dan poh (2021) yaitu *Effect of bauxite aggregate in cement composites on mechanical properties and resistance against high-velocity projectile impact*. Dalam penelitian itu menghasilkan, bahwa pasir bauksit dan agregat kasar bermanfaat untuk meningkatkan ketahanan terhadap

benturan. Peneliti meneliti ketahanan terhadap benturan pada semen jika di benturkan dengan kecepatan tertentu.

Pada penelitian yang lain yaitu dilakukan oleh Lianasari (2013) penelitian berjudul batu bauksit pulau bintang sebagai pengganti agregat kasar pada beton. Penelitian tersebut menunjukkan kuat tekan optimum dan memiliki daya serap air yang tinggi namun masih memenuhi persyaratan SNI.

Selain itu ada juga penelitian yang dilakukan oleh Rabihati,dkk (2020) yaitu pemanfaatan limbah bauksit (*tailing bauxite*) sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas pada beton. Dalam penelitian tersebut menghasilkan Hasil pengujian kuat tekan rata-rata usia 7 hari tertinggi terdapat pada beton normal dengan kuat tekan rata- rata 21.58 Mpa. Kuat tekan rata-rata usia 28 hari tertinggi terdapat pada beton limbah bauksit 7.5% dengan kuat tekan rata-rata 32.07 Mpa. Kuat tarik belah usia 7 hari tertinggi terdapat pada beton limbah bauksit 7.5% dengan kuat tarik belah 2.90 Mpa. Kuat tarik belah usia 28 hari tertinggi terdapat pada beton limbah bauksit 7.5% dengan kuat tarik belah 3.26 Mpa. Modulus elastisitas rata-rata tertinggi terdapat pada beton limbah bauksit 7.5% dengan hasil 26607.03 Mpa,

Studi penelitian pemanfaatan bauksit juga diteliti sebelumnya yakni oleh Yudha (2024) dengan menggunakan bauksit pada campuran *Stone Matrix Asphalt*

2.3 Penggunaan campuran *HRA (Hot Rolled Asphalt)* dalam Perkerasan jalan

Hot Rolled Asphalt (HRA), adalah campuran yang mempunyai gradasi senjang (*gap graded*). Bahan penyusun campuran *HRA* terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal dengan pemakaian agregat kasar antara 30% s.d 40%, dan memerlukan bahan ikat sampai dengan 5%>.

Pada penelitian yang di lakukan oleh Pratama dan Fauziah (2017) yaitu perbandingan kinerja campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dengan bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal retona blend 55 dengan variasi durasi rendaman air laut. Dalam penelitian tersebut menghasilkan, bahwa Pada semua variasi durasi rendaman air laut,

nilai *ITS* campuran *HRA* dengan bahan ikat retona cenderung lebih tinggi dibanding dengan campuran dengan aspal Pen 60/70. Kedua campuran menunjukkan penurunan nilai *ITS* disetiap bertambahnya durasi rendaman air laut. Campuran dengan retona memiliki nilai *ITS* yang lebih baik dari Pen 60/70. Meski demikian, penurunan nilai *ITS* yang terjadi pada campuran dengan retona lebih besar, yaitu 10,83% sedangkan campuran dengan Pen 60/70 sebesar 6,45% setelah perendaman 192 jam.

Selain itu ada juga penelitian dari Riyanto dan Pramesti (2022) yaitu pemanfaatan limbah plastik dengan teknologi daur ulang pada *Hot Rolled Asphalt* ditinjau dari aspek properties *Marshall*, nilai ketidakrataan, dan durabilitas. Pada penelitian tersebut menghasilkan, campuran *HRA* dengan penambahan limbah plastik dapat meningkatkan kekuatan dan mengurangi nilai ketidakrataan pada lapis perkerasan, serta mengurangi jumlah limbah plastik yang ada di Indonesia.

Selain itu ada juga penelitian dari Nugroho (2018) yaitu perbandingan karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* berbahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan starbit e-55 dengan substitusi *filler* abu ampas tebu. Pada penelitian ini didapatkan campuran *HRA* berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal starbit E-55 dengan *filler* abu ampas tebu sebagai pengganti mengalami perubahan karakteristik *Marshall* yaitu pada kemampuan campuran menahan beban menurun dan kelelahan meningkat. Keawetan campuran *HRA* berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal starbit E-55 yang diukur ketahananya dalam mempertahankan stabilitas setelah mengalami rendaman yang diukur dengan nilai *Index of Retained Strength* mengalami penurunan seiring dengan penggantian *filler* abu ampas tebu. Hal ini menunjukan bahwa keawetan (*durability*) semakin menurun. Kemampuan menahan gaya tarik (*Indirect Tensile Strength*) campuran *HRA* berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dengan *filler* abu ampas tebu sebagai pengganti *filler* abu batu mengalami penurunan.

2.4 Penggunaan metode pencampuran Bertahap dalam perkerasan jalan

Metode pencampuran bertahap adalah metode pencampuran bertahap yang dimana pada Tahapan ini di dasarkan pada tahapan awal seperti *pre-coating* antara

agregat kasar dengan kadar aspal optimumnya, kemudian mencampurkan dengan filler, dan tahap terakhir yaitu mencampurkan dengan agregat halus.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021) yaitu pengaruh metode pencampuran dua tahap terhadap karakteristik campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal *Crumb Rubber*. Pada penelitian ini menghasilkan metode pencampuran dua tahap dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk meningkatkan mutu dan kinerja campuran SMA 12,5 mm bahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal *Crumb Rubber* pada setiap pengujian. Dalam pengujian karakteristik *Marshall Test*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, dan *Tensile Strength Ratio* dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai yang lebih tinggi dari penggunaan metode pencampuran konvensional, dan pada pengujian karakteristik *Cantabro* penggunaan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai yang lebih rendah dari metode pencampuran konvensional.

Studi tentang kinerja metode bertahap juga pernah diteliti sebelumnya yakni Kok dan Kologlu (2011) tentang kinerja metode bertahap pada campuran *Hot Mix Asphalt*, Hesami (2015) Penggunaan metode bertahap terhadap kemudahan dan performan campuran perkerasan, Wahyudi (2019) penggunaan metode bertahap pada campuran superpave dan aspal porus, Fauziah, M. (2020) Metode pencampuran bertahap untuk mendukung perkerasan yang hijau dan lestari. Iqbal dan fauziah (2023) dengan menggunakan limbah ban karet pada campuran *Hot Rolled Sheet*, Mentari (2023) penggunaan bahan *additive* karet alam pada campuran aspal porus, fauziah dkk (2023) penggunaan metode bertahap pada campuran AC-WC, *Split Mastic Asphalt* dan *Hot Rolled Asphalt*, Ichwan (2023) penggunaan metode bertahap pada campuran AC - WC , Firdaus (2023) penggunaan metode bertahap pada campuran *Hot Rolled Asphalt*

2.5 Penelitian terkait substitusi *Filler* pada campuran aspal

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

Tabel 2. 1 Penelitian Terkait Penggunaan Subtitusi *Filler* Pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penelitian			
		Aditya (2021)	Nugraha(2019)	Hidayat (2018)	Penulis (2024)
1	Judul	pengaruh pemanfaatan tras sebagai bahan pengisi pengganti terhadap karakteristik campuran <i>split mastic asphalt</i> (SMA)	karakteristik <i>Marshall</i> pada campuran <i>asphalt concrete wearing course</i> (ac-wc) dengan menggunakan <i>filler</i> limbah beton	pengaruh abu sekam padi sebagai <i>filler</i> pengganti terhadap karakteristik campuran stone matrix asphalt	Pengaruh subtitusi <i>filler</i> abu bauksit terhadap karakteristik campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap
2	Jenis campuran	<i>split mastic asphalt</i> (SMA)	<i>Asphalt Concrete Wearing Course</i> (AC-WC)	campuran <i>SMA (stone matrix asphalt)</i>	Campuran <i>HRA (Hot Rolled Asphalt)</i>

Sumber: Aditya (2021), Nugraha (2019), Hidayat (2018) dan Penulis (2024)

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

No	Aspek	Penelitian			
		Aditya (2021)	Nugraha(2019)	Hidayat (2018)	Penulis (2024)
3	Bahan yang di gunakan	batu trass Rembang	Limbah beton	Abu sekam padi	Abu bauksit
4	Pengujian	<i>Marshall</i> Standard, <i>Tensile Strength (ITS)</i> , <i>Cantabro Loss</i> , <i>IRS</i>	<i>Marshall</i> Standar, <i>Marshall Immersion</i> , <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	<i>Marshall</i> Standard, <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>Cantabro</i> , <i>poisson ratio</i>	<i>Marshall</i> Standard, <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , dan <i>Cantabro Loss</i>
5	Hasil penelitian	penggunaan substitusi batu trass Rembang pada semua variasi substitusi sebagai <i>filler</i> pengganti pada campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> memenuhi syarat	campuran mengalami perubahan karakteristik <i>Marshall</i> cukup signifikan yaitu pada kemampuan campuran menahan beban semakin meningkat dan kelelahan semakin menurun. Hal ini dapat	peningkatan nilai stabilitas campuran <i>SMA</i> 12,5 mm seiring bertambahnya kadar <i>filler</i> pengganti ASP. Nilai <i>IRS</i> pada kadar <i>filler</i> pengganti ASP 0% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga (2010), namun pada kadar ASP 25%, 50% dan	Penggunaan metode bertahap dengan subtitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, Berdasarkan nilai di atas pada parameter kekuatan

Sumber: Aditya (2021), Nugraha (2019), Hidayat (2018) dan Penulis (2024)

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

No	Aspek	Penelitian			
		Aditya (2021)	Nugraha(2019)	Hidayat (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian	dan dapat digunakan sebagai bahan pengganti <i>filler</i> Clereng. Hasil uji karakteristik <i>Marshall</i> menunjukkan bahwa campuran dapat menahan beban lalu lintas dan kelenturan. Uji <i>Indirect Tensile Strength</i> menunjukkan bahwa campuran mampu	dilihat pada nilai stabilitas mengalami peningkatan, <i>flow</i> mengalami penurunan, nilai <i>MQ</i> mengalami kenaikan, <i>VITM</i> mengalami penurun, <i>Density</i> mengalami peningkatan, <i>VFWA</i> mengalami peningkatan dan <i>VMA</i> mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa keawetan (<i>durability</i>) semakin meningkat.	75% memenuhi spesifikasi Bina Mrga (2010). Nilai <i>ITS</i> mengalami kenaikan 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% namun pada kadar ASP 75% melebihi syarat yaitu sebesar 45,98%. Selain itu, angka <i>poisson</i> mengalami kenaikan sebesar seiring bertambah kadar <i>filler</i> pengganti ASP.	penggunaan metode bertahap dengan subtitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, hal ini ditunjukkan dengan nilai Stabilitas, <i>Flow</i> , <i>MQ</i> dan <i>ITS</i> lebih tinggi daripada metode konvensional. Hal ini membuat campuran mampu menahan beban lebih baik, kaku dan tidak mudah mengalami keretakan.

Sumber: Aditya (2021), Nugraha (2019), Hidayat (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan Substitusi *Filler* Pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penelitian			
		Aditya (2021)	Nugraha(2019)	Hidayat (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian	menahan kuat tarik tak langsung. 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%.	. Kemampuan menahan gaya tarik (<i>Indirect Tensile Strength</i>) campuran <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i> (AC-WC) seiring peningkatan proporsi <i>filler</i> Limbah Beton.		Penggunaan metode bertahap dengan substitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap volumetrik campuran daripada metode konvensional, dimana untuk nilai volumetrik bertahap jauh lebih kecil daripada metode konvensional, dikarenakan mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, Berdasarkan nilai - nilai di atas dari segi parameter

Sumber: Aditya (2021), Nugraha (2019), Hidayat (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan Substitusi *Filler* Pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penelitian			
		Aditya (2021)	Nugraha(2019)	Hidayat (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				volumetrik campuran <i>Hot Rolled Asphalt</i> dengan menggunakan bahan substitusi berupa abu bauksit pada metode bertahap mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, selain itu aspal mampu mengisi rongga – rongga pada campuran dengan lebih optimal daripada metode konvensional.

Sumber: Aditya (2021), Nugraha (2019), Hidayat (2018) dan Penulis (2024)

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

No	Aspek	Penelitian			
		Aditya (2021)	Nugraha(2019)	Hidayat (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				Penggunaan metode bertahap dengan subtitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap durabilitas campuran daripada metode konvensional. Berdasarkan nilai di atas Pada parameter durabilitas penggunaan metode bertahap dengan subtitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap durabilitas campuran daripada metode

Sumber: Aditya (2021), Nugraha (2019), Hidayat (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan Substitusi *Filler* Pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penelitian			
		Aditya (2021)	Nugraha(2019)	Hidayat (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				konvensional, Hal ini ditunjukkan dengan nilai pada pengujian durabilitas pada metode bertahap lebih baik daripada metode konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa campuran mampu memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu maupun cuaca dengan lebih baik serta tahan terhadap keausan. Namun mengalami penurunan pada nilai <i>TSR</i> pada metode

Sumber: Aditya (2021), Nugraha (2019), Hidayat (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Penelitian Terkait Penggunaan Substitusi *Filler* Pada Campuran Aspal

No	Aspek	Penelitian			
		Aditya (2021)	Nugraha(2019)	Hidayat (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				bertahap hal ini disebabkan nilai indeks penetrasi pada campuran menyebabkan campuran dengan metode bertahap rentan terhadap perubahan suhu.

Sumber: Aditya (2021), Nugraha (2019), Hidayat (2018) dan Penulis (2024)

Tabel 2. 2 Penelitian Terkait Penggunaan Bauksit Dalam Dunia Konstruksi

No	Aspek	Penelitian			
		Zhang dan poh (2021)	Lianasari (2013)	Rabihati,dkk (2020)	Penulis (2024)
1	Judul	<i>Effect of bauxite aggregate in cement composites on mechanical properties and resistance against high-velocity projectile impact</i>	batu bauksit pulau bintan sebagai pengganti agregat kasar pada beton,	pemanfaatan limbah bauksit (<i>tailing bauxite</i>) sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas pada beton.	Pengaruh substitusi <i>filler</i> abu bauksit terhadap karakteristik campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap
2	Jenis campuran	Campuran beton	Campuran beton	Campuran beton	Campuran <i>HRA (Hot Rolled Asphalt)</i>

Sumber: Zhang dan poh (2021), Lianasari (2013), Rabihati,dkk (2020) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Bauksit Dalam Dunia Konstruksi

No	Aspek	Penelitian			
		Zhang dan poh (2021)	Lianasari (2013)	Rabihati,dkk (2020)	Penulis (2024)
3	Bahan yang di gunakan	bauksit	bauksit	limbah bauksit (<i>tailing bauxite</i>)	Abu bauksit
4	Pengujian	uji umur <i>HVPI</i>	uji karakteristik batu bauksit, kuat tekan, dan modulus elastisitas pada beton	pengujian karakteristik bahan uji, pengujian slump, dan pengujian kuat tekan, kuat tarik belah, dan modulus elastisitas,	<i>Marshall Standard, IRS, ITS, TSR, dan Cantabro Loss</i>
5	Hasil penelitian	Dalam penelitian itu menghasilkan, bahwa pasir bauksit dan agregat kasar bermanfaat untuk meningkatkan	penelitian ini menunjukkan kuat tekan optimum dan memiliki daya serap air yang tinggi namun masih memenuhi	Dalam penelitian tersebut menghasilkan berupa pengujian kuat tekan rata-rata usia 7 hari tertinggi terdapat pada beton normal dengan kuat tekan	Penggunaan metode bertahap dengan substitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, Berdasarkan nilai di atas pada parameter

Sumber: Zhang dan poh (2021), Lianasari (2013), Rabihati,dkk (2020) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Bauksit Dalam Dunia Konstruksi

No	Aspek	Penelitian			
		Zhang dan poh (2021)	Lianasari (2013)	Rabihati,dkk (2020)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian	ketahanan terhadap benturan. Peneliti meneliti ketahanan terhadap benturan pada semen jika di benturkan dengan kecepatan tertentu.	persyaratan SNI	rata - rata 21.58 MPa. Kuat tekan rata-rata usia 28 hari tertinggi terdapat pada beton limbah bauksit 7.5% dengan kuat tekan rata-rata 32.07 MPa. Kuat tarik belah usia 7 hari tertinggi terdapat pada beton limbah bauksit 7.5% dengan kuat tarik belah 2.90 MPa. Kuat tarik belah usia 28 hari tertinggi terdapat pada beton limbah bauksit 7.5% dengan kuat tarik	parameter kekuatan penggunaan metode bertahap dengan substitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, hal ini ditunjukkan dengan nilai Stabilitas, <i>flow</i> , <i>MQ</i> dan <i>ITS</i> lebih tinggi daripada metode konvensional. Hal ini membuat campuran mampu menahan beban lebih baik, kaku dan tidak mudah mengalami keretakan.

Sumber: Zhang dan poh (2021), Lianasari (2013), Rabihati,dkk (2020) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Bauksit Dalam Dunia Konstruksi

No	Aspek	Penelitian			
		Zhang dan poh (2021)	Lianasari (2013)	Rabihati,dkk (2020)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian			belah 3.26 MPa. Modulus elastisitas rata-rata tertinggi terdapat pada beton limbah bauksit 7.5% dengan hasil 26607.03 MPa, dimana peneliti menggunakan metode eksperimental dengan mengganti bahan campuran beton yaitu pasir dengan limbah bauksit (<i>tailing bauxite</i>) dengan persentase penggunaan limbah bauksit (<i>tailing bauxite</i>) 2.5%, 5%, dan 7,5%.	Penggunaan metode bertahap dengan substitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap volumetrik campuran daripada metode konvensional, dimana untuk nilai volumetrik bertahap jauh lebih kecil daripada metode konvensional, dikarenakan mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, Berdasarkan nilai - nilai di atas dari segi

Sumber: Zhang dan poh (2021), Lianasari (2013), Rabihati,dkk (2020) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Bauksit Dalam Dunia Konstruksi

No	Aspek	Penelitian			
		Zhang dan poh (2021)	Lianasari (2013)	Rabihati,dkk (2020)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				parameter volumetrik campuran <i>Hot Rolled Asphalt</i> dengan menggunakan bahan subtitusi berupa abu bauksit pada metode bertahap mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, selain itu aspal mampu mengisi rongga – rongga pada campuran dengan lebih optimal daripada metode konvensional. Penggunaan metode bertahap dengan subtitusi <i>filler</i> abu bauksit

Sumber: Zhang dan poh (2021), Lianasari (2013), Rabihati,dkk (2020) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Bauksit Dalam Dunia Konstruksi

No	Aspek	Penelitian			
		Zhang dan poh (2021)	Lianasari (2013)	Rabihati,dkk (2020)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				berpengaruh lebih baik terhadap durabilitas campuran daripada metode konvensional. Berdasarkan nilai di atas Pada parameter durabilitas penggunaan metode bertahap dengan substitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap durabilitas campuran daripada metode konvensional, Hal ini ditunjukkan dengan nilai pada pengujian durabilitas pada metode bertahap lebih

Sumber: Zhang dan poh (2021), Lianasari (2013), Rabihati,dkk (2020) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.2 Penelitian Terkait Penggunaan Bauksit Dalam Dunia Konstruksi

No	Aspek	Penelitian			
		Zhang dan poh (2021)	Lianasari (2013)	Rabihati,dkk (2020)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				baik daripada metode konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa campuran mampu memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu maupun cuaca dengan lebih baik serta tahan terhadap keausan. Namun mengalami penurunan pada nilai <i>TSR</i> pada metode bertahap hal ini disebabkan nilai indeks penetrasi pada campuran menyebabkan campuran dengan metode bertahap rentan terhadap perubahan suhu.

Sumber: Zhang dan poh (2021), Lianasari (2013), Rabihati,dkk (2020) dan Penulis (2024)

Tabel 2. 3 Penggunaan Campuran *HRA (Hot Rolled Asphalt)* dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Pratama dan Fauziah (2017)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Nugroho (2018)	Penulis (2024)
1	Judul	perbandingan kinerja campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> dengan bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal retona blend 55 dengan variasi durasi rendaman air laut	pemanfaatan limbah plastik dengan teknologi daur ulang pada <i>Hot Rolled Asphalt</i> ditinjau dari aspek properties <i>Marshall</i> , nilai ketidakrataan, dan durabilitas.	perbandingan karakteristik campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> berbahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan starbit e-55 dengan substitusi <i>filler</i> abu ampas tebu	Pengaruh substitusi filler abu bauksit terhadap karakteristik campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap
2	Jenis campuran	campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>

Sumber: Pratama dan Fauziah (2017), Riyanto dan Pramesti (2022),Nugroho (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan tabel 2.3 Penggunaan Campuran *HRA* (*Hot Rolled Asphalt*) dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Pratama dan Fauziah (2017)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Nugroho (2018)	Penulis (2024)
3	Bahan yang di gunakan	bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal retona blend 55	Limbah plastik	abu ampas tebu	Abu Bauksit
4	Pengujian	Pengujian <i>Marshall Standard</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , Permeabilitas,	Pengujian <i>Marshall</i> ,	<i>Marshall Standard</i> , <i>Marshall Immersion</i> , <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	<i>Marshall Standard</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , dan <i>Cantabro Loss</i>
5	Hasil penelitian	Pada semua variasi durasi rendaman air laut, nilai <i>ITS</i> campuran <i>HRA</i> dengan bahan ikat retona cenderung lebih tinggi dibanding dengan campuran dengan aspal Pen 60/70. Kedua	campuran <i>HRA</i> dengan penambahan limbah plastik dapat meningkatkan kekuatan dan mengurangi nilai ketidakrataan pada lapis perkerasan, serta	Campuran <i>HRA</i> berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal starbit E-55 dengan <i>filler</i> abu ampas tebu sebagai pengganti mengalami perubahan	Penggunaan metode bertahap dengan substitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, Berdasarkan nilai di atas

Sumber: Pratama dan Fauziah (2017), Riyanto dan Pramesti (2022),Nugroho (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan tabel 2.3 Penggunaan Campuran *HRA (Hot Rolled Asphalt)* dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Pratama dan Fauziah (2017)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Nugroho (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian	campuran menunjukkan penurunan nilai <i>ITS</i> disetiap bertambahnya durasi rendaman air laut. Campuran dengan retona memiliki nilai <i>ITS</i> yang lebih baik dari Pen 60/70. Meski demikian, penurunan nilai <i>ITS</i> yang terjadi pada campuran dengan retona lebih besar, yaitu 10,83% sedangkan campuran dengan Pen 60/70 sebesar 6,45%	mengurangi jumlah limbah plastik yang ada di Indonesia.	karakteristik marshall yaitu pada kemampuan campuran menahan beban menurun dan kelelahan meningkat. Keawetan campuran <i>HRA</i> berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal starbit E-55 yang diukur ketahananya dalam mempertahankan stabilitas setelah mengalami	pada parameter kekuatan penggunaan metode bertahap dengan substitusi filler abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, hal ini ditunjukan dengan nilai Stabilitas, <i>flow</i> , <i>MQ</i> dan <i>ITS</i> lebih tinggi daripada metode konvensional. Hal ini membuat campuran mampu menahan beban lebih baik, kaku dan tidak

Sumber: Pratama dan Fauziah (2017), Riyanto dan Pramesti (2022),Nugroho (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan tabel 2.3 Penggunaan Campuran *HRA (Hot Rolled Asphalt)* dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Pratama dan Fauziah (2017)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Nugroho (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian	setelah perendaman 192 jam.		Rendaman yang diukur dengan nilai <i>Index of Retained Strength</i> mengalami penurunan seiring dengan penggantian <i>filler</i> abu ampas tebu. Hal ini menunjukkan bahwa keawetan (<i>durability</i>) semakin menurun. Kemampuan	mudah mengalami keretakan. Penggunaan metode bertahap dengan substitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap volumetrik campuran daripada metode konvensional, dimana untuk nilai volumetrik bertahap jauh lebih kecil daripada metode konvensional, dikarenakan mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, Berdasarkan

Sumber: Pratama dan Fauziah (2017), Riyanto dan Pramesti (2022),Nugroho (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan tabel 2.3 Penggunaan Campuran *HRA (Hot Rolled Asphalt)* dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Pratama dan Fauziah (2017)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Nugroho (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian			menahan gaya tarik (<i>Indirect Tensile Strength</i>) campuran <i>HRA</i> berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-55	nilai - nilai di atas dari segi parameter volumetrik campuran <i>Hot Rolled Asphalt</i> dengan menggunakan bahan substitusi berupa abu bauksit pada metode bertahap mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, selain itu aspal mampu mengisi rongga – rongga pada campuran dengan lebih optimal daripada metode konvensional.

Sumber: Pratama dan Fauziah (2017), Riyanto dan Pramesti (2022),Nugroho (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan tabel 2.3 Penggunaan Campuran *HRA (Hot Rolled Asphalt)* dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Pratama dan Fauziah (2017)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Nugroho (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				Penggunaan metode bertahap dengan subtitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap durabilitas campuran daripada metode konvensional. Berdasarkan nilai di atas Pada parameter durabilitas penggunaan metode bertahap dengan subtitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap durabilitas campuran daripada metode konvensional, Hal ini

Sumber: Pratama dan Fauziah (2017), Riyanto dan Pramesti (2022),Nugroho (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan tabel 2.3 Penggunaan Campuran *HRA (Hot Rolled Asphalt)* dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Pratama dan Fauziah (2017)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Nugroho (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				ditunjukkan dengan nilai pada pengujian durabilitas pada metode bertahap lebih baik daripada metode konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa campuran mampu memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu maupun cuaca dengan lebih baik serta tahan terhadap keausan. Namun mengalami penurunan pada nilai <i>TSR</i> pada metode bertahap hal ini disebabkan nilai indeks

Sumber: Pratama dan Fauziah (2017), Riyanto dan Pramesti (2022),Nugroho (2018) dan Penulis (2024)

Lanjutan tabel 2.3 Penggunaan Campuran *HRA (Hot Rolled Asphalt)* dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Pratama dan Fauziah (2017)	Riyanto dan Pramesti (2022)	Nugroho (2018)	Penulis (2024)
5	Hasil penelitian				penetrasi pada campuran menyebabkan campuran dengan metode bertahap rentan terhadap perubahan suhu.

Sumber: Pratama dan Fauziah (2017), Riyanto dan Pramesti (2022),Nugroho (2018) dan Penulis (2024)

Tabel 2. 4 Penggunaan Metode Pencampuran Bertahap dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Hidayat (2021)	Iqbal dan fauziah (2023)	Fauziah dkk (2023)	Penulis (2024)
1	Judul	pengaruh metode pencampuran dua tahap terhadap karakteristik campuran <i>stone matrix asphalt</i> dengan bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal <i>Crumb Rubber</i> .	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Sheet</i> dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap	Pengaruh Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik <i>Ac-Bc, Split Mastic Asphalt</i> , dan <i>Hot Rolled Asphalt</i> .	Pengaruh substitusi filler abu bauksit terhadap karakteristik campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap
2	Jenis campuran	<i>Stone Matrix Asphalt</i>	<i>Hot Rolled Sheet</i>	<i>Ac-Bc, Split Mastic Asphalt</i> , dan <i>Hot Rolled Asphalt</i>	<i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>
3	Bahan yang di gunakan	Aspal Pen 60/70 dan aspal <i>Crumb Rubber</i>	Limbah ban karet	Abu batu Clereng	Abu bauksit

Sumber: Hidayat (2021), Iqbal dan Fauziah (2023), Fauziah dkk (2023) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.4 Penggunaan Metode Pencampuran Bertahap dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Hidayat (2021)	Iqbal dan fauziah (2023)	Fauziah dkk (2023)	Penulis (2024)
4	Pengujian	Marshall Quotient, IRS, ITS, TSR dan, Cantabro Test	Marshall Standard, IRS, ITS, TSR, Cantabro Loss, Asphalt Flow Down dan Nilai Stiffness Modulus	Marshall Test, Immersion Test, ITS, TSR, Cantabro Test dan Stiffness modulus test	Marshall Standard, IRS, ITS, TSR, dan Cantabro Loss
5	Hasil Pengujian	Metode pencampuran dua tahap dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk meningkatkan mutu dan kinerja campuran SMA 12,5 mm bahan ikat aspal Pen 60/70 dan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran HRS-WC dengan penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki karakteristik Marshall pada sifat volumetriknya. Sedangkan pada sifat	penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan karakteristik volumetrik yang lebih baik pada semua tipe campuran HRA, SMA, dan AC-BC	Campuran HRA dengan bahan pengganti filler abu bauksit menggunakan metode konvensional dan bertahap, pada parameter volumetrik penggunaan metode bertahap dengan substitusi filler abu

Sumber: Hidayat (2021), Iqbal dan Fauziah (2023), Fauziah dkk (2023) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.4 Penggunaan Metode Pencampuran Bertahap dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Hidayat (2021)	Iqbal dan fauziah (2023)	Fauziah dkk (2023)	Penulis (2024)
5	Hasil Pengujian	aspal <i>Crumb Rubber</i> pada setiap pengujian. Dalam pengujian karakteristik <i>Marshall Test</i> , <i>Immersion Test</i> , <i>Indirect Tensile Strength</i> , dan <i>Tensile Strength Ratio</i> dengan menggunakan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai yang lebih	mekanismenya dengan penambahan serbuk ban karet sebesar 2% mampu memperbaiki kinerja stabilitas. Pada karakteristik <i>ITS</i> dengan penambahan serbuk ban karet 2% dan 4% mampu memperbaiki kinerja campuran, sedangkan pada karakteristik <i>TSR</i> hanya pada kadar penambahan 2% saja. Karakteristik <i>IRS</i> , <i>CL</i> , <i>Smix</i> , dan <i>AFD</i>	yang diuji, dibuktikan dengan rendahnya kandungan rongga dan tingginya kepadatan campuran yang dihasilkan, dibandingkan dengan campuran yang disiapkan dengan cara konvensional. Kinerja struktural yang lebih baik juga diperoleh dengan	bauksit berpengaruh lebih baik terhadap volumetrik campuran daripada metode konvensional dimana untuk nilai volumetrik bertahap jauh lebih kecil daripada metode konvensional, dikarenakan mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, selain itu aspal mampu mengisi rongga – rongga pada campuran

Sumber: Hidayat (2021), Iqbal dan Fauziah (2023), Fauziah dkk (2023) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.4 Penggunaan Metode Pencampuran Bertahap dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Hidayat (2021)	Iqbal dan fauziah (2023)	Fauziah dkk (2023)	Penulis (2024)
5	Hasil Pengujian	lebih tinggi dari penggunaan metode pencampuran konvensional, dan pada pengujian karakteristik <i>Cantabro</i> penggunaan metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai yang lebih rendah dari metode pencampuran konvensional.	dengan penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran. Penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Secara umum penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran bertahap lebih efektif	pencampuran bertahap, ditunjukkan dengan nilai stabilitas, modulus kekakuan dan kuat tarik campuran yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional pada semua jenis campuran. Semua jenis campuran yang dibuat dengan metode	dengan lebih optimal. Pada parameter kekuatan penggunaan metode bertahap dengan substitusi <i>filler</i> abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, hal ini ditunjukkan dengan nilai Stabilitas, <i>Flow</i> , <i>MQ</i> dan <i>ITS</i> lebih tinggi daripada metode konvensional. Hal ini membuat campuran

Sumber: Hidayat (2021), Iqbal dan Fauziah (2023), Fauziah dkk (2023) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.4 Penggunaan Metode Pencampuran Bertahap dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Hidayat (2021)	Iqbal dan fauziah (2023)	Fauziah dkk (2023)	Penulis (2024)
5	Hasil Pengujian		meningkatkan kinerja campuran HRS-WC.	pencampuran bertahap juga memiliki durabilitas yang lebih baik, yang ditunjukkan dengan <i>nilai IRS, TSR, IDP</i> dan <i>IDK</i> yang lebih tinggi, serta nilai <i>CL</i> yang lebih rendah, dibandingkan dengan campuran yang dibuat dengan cara konvensional.	Mampu menahan beban lebih baik, kaku dan tidak mudah mengalami keretakan. Pada parameter durabilitas penggunaan metode bertahap dengan substitusi filler abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap durabilitas campuran daripada metode konvensional, Hal ini ditunjukkan dengan nilai pada pengujian durabilitas pada metode

Sumber: Hidayat (2021), Iqbal dan Fauziah (2023), Fauziah dkk (2023) dan Penulis (2024)

Lanjutan Tabel 2.4 Penggunaan Metode Pencampuran Bertahap dalam Perkerasan Jalan

No	Aspek	Penelitian			
		Hidayat (2021)	Iqbal dan fauziah (2023)	Fauziah dkk (2023)	Penulis (2024)
5	Hasil Pengujian				bertahap lebih baik daripada metode konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa campuran mampu memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu maupun cuaca dengan lebih baik serta tahan terhadap keausan.

Sumber: Hidayat (2021), Iqbal dan Fauziah (2023), Fauziah dkk (2023) dan Penulis (2024)

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Struktur pekerasan jalan merupakan lapisan pekerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang dimana berfungsi sebagai pemberi akses layanan masyarakat berupa transportasi. Fungsi dari Pekerasan jalan menurut Sukirman (2003) adalah sebagai penerima beban lalu lintas yang dilimpahkan melalui roda kendaraan. Oleh karena itu struktur pekerasan perlu memiliki stabilitas yang tinggi, kokoh selama masa pelayanan jalan dan tahan terhadap pengaruh lingkungan atau cuaca. Kelelahan (*fatigue resistance*), kerusakan pekerasan akibat berkurangnya kekokohan jalan seperti retak (*cracking*), lendutan sepanjang lintasan kendaraan (*rutting*), bergelombang, dan atau berlubang, tidak dikehendaki terjadi pada pekerasan jalan.

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

3.2 Bauksit

Bauksit merupakan batuan yang terbentuk dari endapan mineral khususnya mineral batuan alumina. Bauksit biasanya ditemukan di lapisan atas dikawasan – kawasan tropis maupun subtropis. Bauksit dan limbahnya dikonversikan menjadi material *pozzolan* melalui proses kalsinasi, sangat populer digunakan sebagai bahan tambah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis beton semen menurut Ismanto dan Rozak (2001) dalam Zulkhairi dan Hardiyatmo (2012). Bauksit merupakan hasil proses pelapukan dari batuan granit yang merupakan batuan dasar dari pulau bintang dan pulau-pulau sekitarnya. Komposisi utama yang terdapat pada batuan bauksit terletak dimineral logam yang terdeteksi pada saat proses penambangan, Dari yang terbesar seperti aluminium hingga yang terkecil seperti mangan, magnesium dan lain - lain. Irzon (2022) melakukan penelitian tentang komposisi utama pada bauksit dengan hasil pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Komposisi Utama Bauksit

Komposisi utama	Persentase (%)
Silika	28,05
Aluminium	35,35
Besi	12,01
Titanium	1.47
Mangan	0,01
Kalsium	0,01
Magnesium	0,07
Natrium	0,24
Kalium	0,02
Fosfor	0,08
Belarang	0,11
<i>LOI (lost in ignition)*</i>	22,46

Sumber : Irzon (2022)

Catatan :

* = hilangnya beberapa material akibat pemijaran

3.3 *Hot Rolled Asphalt*

Hot Rolled Asphalt (HRA), adalah campuran yang mempunyai gradasi senjang (*gap graded*). Bahan penyusun campuran *HRA* terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal dengan pemakaian agregat kasar antara 30% s.d 40%, dan memerlukan bahan ikat sampai dengan > 5% lebih banyak dibandingkan aspal campuran.

3.4 Karakteristik Material Penyusun *Hot Rolled Asphalt*

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

3.4.1 Agregat

Agregat menurut Sukirman (2003) didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat yang terdiri dari kombinasi antara batuan pecah, kerikil, pasir atau mineral mineral lainnya. Agregat sendiri merupakan bahan pada stuktur pekerasan jalan yang berfungsi sebagai penompang beban lalu lintas. Agregat sendiri terdiri dari 2 jenis agregat yaitu:

1. Agregat Kasar

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

Catatan :

- 1.)95/90. Menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih .

Tabel 3. 2 Persyaratan Agregat Kasar

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

Sumber : Bina Marga (2020)

2. Agregat halus

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

Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Halus

Pengujian	Metode pengujian	Nilai (%)
Nilai setara pasir	SNI 03 – 4428 – 1997	Min 50
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	SNI 03 – 6877 – 1997	Min 45
Gumpalan lempung dan butir – butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03 – 4141 – 1997	Maks 1
Agregat lolos ayakan no.200	SNI ASTM C177 : 2002	Maks 10

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4.2 Bahan pengisi (*filler*)

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

3.4.3 Gradasi dan Spesifikasi Agregat *Hot Rolled Asphalt (HRA)*

Gradasi agregat adalah susunan butiran agregat yang lolos saringan sesuai dengan nomor saringan tertentu. Dimana peninjauan ukuran butiran di dapatkan pada Pemeriksaan analisis saringan. Gradasi berdasarkan agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Berikut ini merupakan persyaratan gradasi agregat dan ketentuan sifat – sifat campuran pada *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dapat dilihat pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5.

Tabel 3. 4 Batasan Gradasi Agregat Campuran *HRA* Tipe C Designation 30/14 Tebal 40 Mm

Sieve (mm)	Percent Passing			% Retained Middle Gradation
	Upper limit	Lower Limit	Middle Limit	
20 mm	100	100	100	0
14 mm	100	85	92,5	7,5
10 mm	90	60	75	17,5
6,30 mm	-	-	-	-
2 mm	72	60	66	9
0,5 mm	45	25	35	31
0,25 mm	40	15	27,5	7,5
0,063 mm	11	7	9	18,5
PAN				9

Sumber : *British Standar :BS – 594 (2005)*

Tabel 3. 5 Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Lataston

Sifat -Sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Fondasi
Kadar aspal Efektif (%)	Min	5,9	5,5
Jumlah Tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%) ⁽⁴⁾	Min.	3,0	
	Max.	5,0	
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	17	17
Rongga terisi aspal (%)	Min.	68	
Stabilitas Marshall	Min.	600	
Marshall Quintent (Kg/mm)	Min.	250	
Stabilitas Marshall sisa Setelah perendaman selama 24 Jam, 60°C ⁽⁵⁾	Min.	90	

Sumber : Bina Marga (2020)

3.4.4 Aspal

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

Aspal yang digunakan pada penelitian adalah aspal dengan pen 60/70. Berikut ini merupakan persyaratan aspal keras AC 60/70 dapat dilihat pada Tabel 3.6.

Tabel 3.6 Persyaratan Aspal Keras Tipe 1 Aspal Pen. 60/70

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

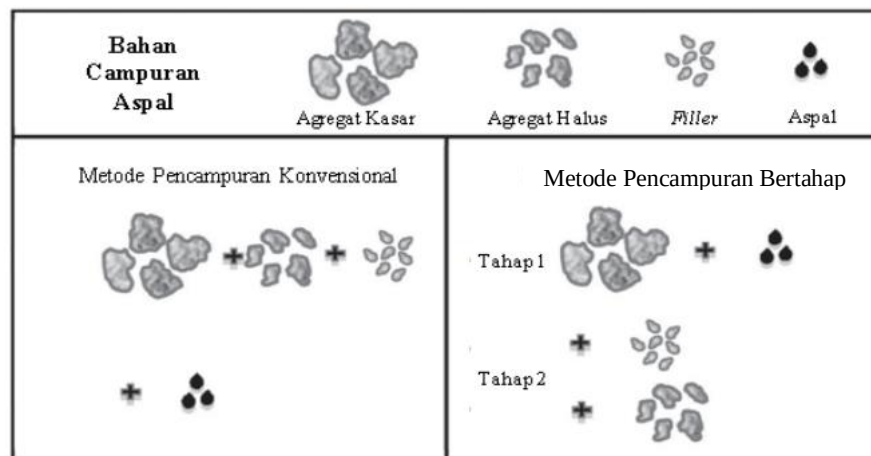
Sumber : Bina Marga (2020)

3.5 Metode bertahap

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

Campuran aspal yang dihasilkan dengan metode pencampuran bertahap menunjukkan distribusi rongga yang merata. Ini menandakan bahwa metode pencampuran dua tahap dapat lebih mudah dipadatkan. Campuran aspal yang dihasilkan dengan metode pencampuran dua tahap memiliki ketahanan yang lebih terhadap deformasi permanen dan memiliki kekuatan tarik tidak langsung yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.

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



Gambar 3. 1 Ilustrasi Proses Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

(Sumber: Hesami dkk , 2015)

3.6 Karakteristik Campuran Lapis Perkerasan Jalan

Karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* adalah sebagai berikut

3.6.1 Stabilitas (*stability*)

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

3.6.2 Daya tahan (*durability*)

Daya tahan atau *durability* adalah kemampuan aspal menerima beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dengan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim (udara, air, dan perubahan temperatur). Nilai *Void Filled With Asphalt* (VFWA) yang besar menunjukkan banyak rongga yang terisi oleh aspal, sehingga kedapannya terhadap udara dan air menjadi tinggi (baik). Sebaliknya, nilai *Void Filled With Asphalt* (VFWA) yang terlalu kecil, berarti *Void In The Total Mix* (VITM) terlalu besar, tidak saja mengakibatkan stabilitas rendah namun dapat pula menurunkan

kekedapan terhadap air dan meningkatkan oksidasi yang selanjutnya aspal akan mudah mengeras (*hardening*) dan tidak awet (durabilitas menurun).

3.6.3 Kelenturan (*flexibility*)

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

3.6.4 Ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan terhadap kelelahan atau *fatigue resistance* adalah kemampuan pekerasan dalam menahan beban kendaraan yang melintas secara berulang – ulang tanpa mengalami kerusakan berupa retak (*cracking*) dan lain sebagainya pada lapisan permukaan. Nilai *fatigue resistance* dapat ditingkatkan dengan cara sebagai berikut:

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

3.6.5 Kekesatan/ ketahanan terhadap gaya geser (*skid resistance*)

Kekesatan atau ketahanan terhadap gaya geser (*skid resistance*) adalah kemampuan untuk dapat memberikan tahanan gesek yang cukup sehingga roda kendaraan tidak tergelincir akibat pengereman tertentu dan di daerah tikungan terutama pada saat kondisi permukaan jalan dalam kondisi basah. Faktor – faktor yang mempengaruhi kekesatan adalah sebagai berikut :

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

3.7 Parameter Pengujian Marshall

Pengujian dengan menggunakan metode *marshall* adalah pengujian dengan menggunakan alat marshall pengujian ini untuk mengetahui nilai stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), kepadatan (*density*), *VITM* (*Void In The Total Mix*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VMA* (*Void In Mineral Aggregate*), dan *Marshall Quotient*.

3.7.1 Pengujian Stabilitas

Pengujian stabilitas diperlukan untuk mengukur ketahanan benda uji terhadap beban, dan flowmeter mengukur besarnya kelelahan yang terjadi akibat beban. Untuk mendapatkan suhu benda uji sesuai dengan suhu terpanas dilapangan, maka sebelum dilakukan pengujian, benda uji dipanaskan terlebih dahulu selama 30 atau 40 menit dengan temperatur 60 °C di dalam water bath (Sukirman, 2003). Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan Persamaan 3.1 nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut

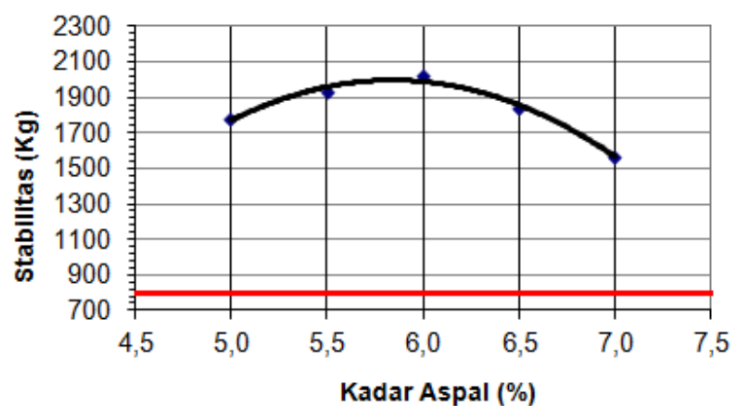
$$q = p \times r \quad (3.1)$$

keterangan :

q = angka stabilitas,

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat, dan

r = angka koreksi tebal benda uji.



Gambar 3. 2 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal Dan Nilai Stabilitas

(Sumber: Sukirman, 2003)

3.7.2 Kepadatan (*Density*)

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

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.2)$$

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

keterangan :

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

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

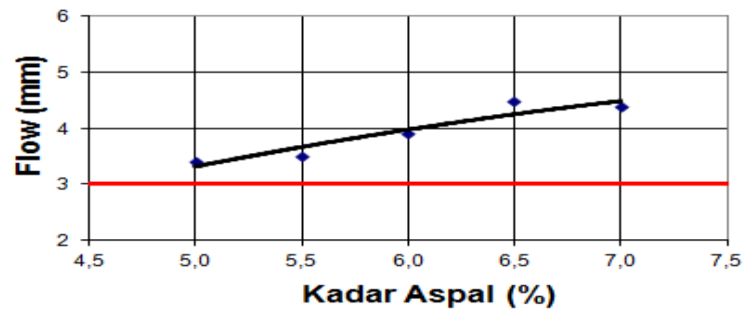
d = berat benda uji dalam keadaan jenuh / SSD (gr),

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume / isi (cm³).

3.7.3 Kelelehan (*Flow*)

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



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

(Sumber: Sukirman, 2003)

3.7.4 Pengujian Jenis Volume Pori

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

1. Volume Bulk (V_{mb})

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

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

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (3.4)$$

Keterangan :

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

B_k = berat kering beton aspal padat (gram),

B_{ssd} = berat kering permukaan dari beton aspal dipadatkan (gram),

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

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

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

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

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_s}{G_{se}} - \frac{P_b}{G_b}} \quad (3.5)$$

Keterangan :

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

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

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

G_a = berat jenis aspal,

G_{se} = berat jenis efektif dari agregat pembentuk beton aspal padat.

2. *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah rongga udara di antara agregat dalam campuran agregat dan aspal yang sudah dipadatkan termasuk rongga yang terisi aspal, dinyatakan dalam persentase rongga terhadap volume total campuran agregat dan aspal. *VMA* memperlihatkan jarak antara agregat pada kondisi tertentu. Makin besar *VMA* maka menunjukkan kerenggangan antar butir agregat. Nilai *VMA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.6, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dapat dan nilai *VMA* dapat dilihat pada gambar 3.4 berikut.

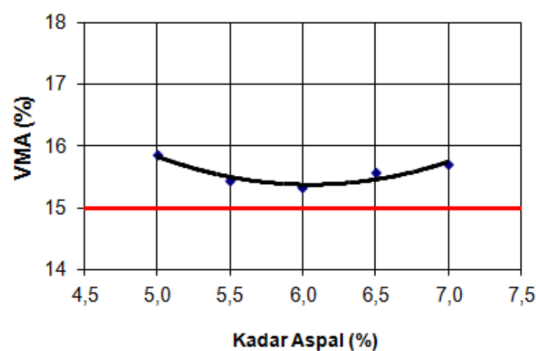
$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \quad (3.6)$$

Keterangan :

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

P_s = Persentase berat agregat terhadap berat campuran

G_{sb} = berat jenis bulk agregat.



Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai VMA

(Sumber: Sukirman, 2003)

3. *Void In Total Mix (VITM)*

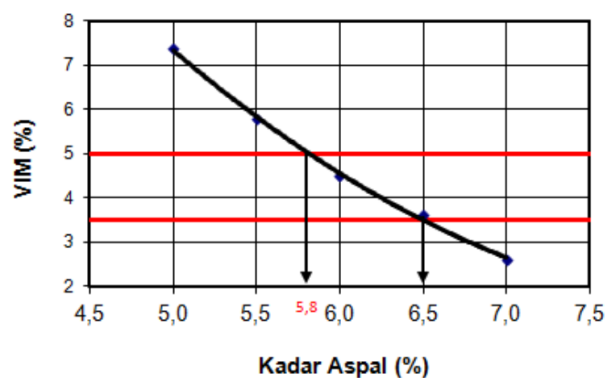
VITM adalah persentase rongga yang ada pada suatu campuran diukur terhadap volume total campuran. Besarnya dipengaruhi oleh bentuk agregat, gradasi agregat, temperatur pemadatan, energi pemadatan dan jenis aspal. Nilai *VITM* juga berpengaruh terhadap kekedapan campuran terhadap air. Nilai *VITM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.7, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dapat dan nilai *VITM* dapat dilihat pada gambar 3.5 berikut.

$$VITM = \left(100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right) \quad (3.7)$$

Keterangan :

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

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



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

(Sumber: Sukirman, 2003)

4. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

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

Persamaan 3.8, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dapat dan nilai $VITM$ dapat dilihat pada gambar 3.6 berikut.

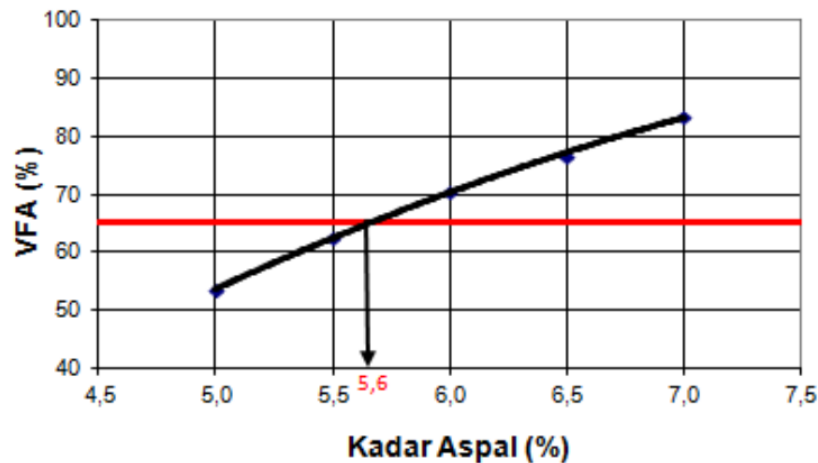
$$VFWA = \frac{100 (VMA - VITM)}{VMA} \quad (3.8)$$

Keterangan :

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

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

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



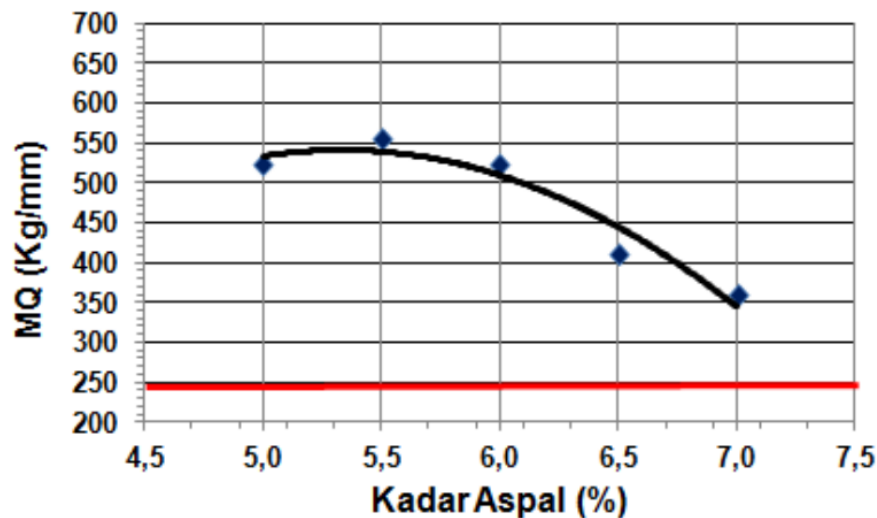
Gambar 3. 6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai VFWA

(Sumber: Sukirman, 2003)

5. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai MQ merupakan hasil bagi antara *stabilitas* dan *flow*; biasa dipakai sebagai pendekatan untuk mengukur tingkat fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Semakin rendah nilai MQ campuran semakin tinggi nilai fleksibilitasnya. Nilai MQ dapat diperoleh dari Persamaan 3.9, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dapat dan nilai MQ dapat dilihat pada gambar 3.7 berikut.

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



Gambar 3. 7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai MQ

(Sumber: Sukirman, 2003)

3.8 Pengujian *Index of Retained Strength* (IRS)

Immersion Test atau *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 3.10 di bawah ini.

$$\text{Index of retained strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.10)$$

keterangan :

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

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

3.9 Indeks Durabilitas Pertama

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

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

keterangan :

r = Indeks penurunan stabilitas (%)

si = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti (%)

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

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

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

3.10 Indeks Durabilitas Kedua

Indeks durabilitas kedua merupakan nilai luas kehilangan kekuatan rata-rata antara durabilitas dengan garis $S_0 = 100\%$. Nilai indeks durabilitas Kedua dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 3.12 berikut.

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

a = Total kehilangan kekuatan rerata satu hari (%)

tn = total waktu rendaman (jam)

si = Persentase kekuatan sisa pada waktu ti (%)

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

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

3.11 Pengujian Indirect Tensile Strength Test (ITS)

Indirect Tensile Strength Test adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik pada campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan supaya mengetahui indikasi terjadinya rekatan pada campuran aspal di lapangan. Pengujian hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan hanyalah pada pengujian kuat tarik tak langsung tidak menggunakan cincin penguji namun menggunakan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*.

Indirect Tensile Strength Test adalah kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban seperti pada Persamaan 3.13.

$$ITS = \frac{2 \times p}{\pi \times d \times h} \quad (3.13)$$

keterangan :

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

P = Nilai Stabilitas (N),

h = Tinggi benda uji (mm)

d = Diameter benda uji (mm)

3.12 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 $60^\circ C$ dengan nilai daya tahan tarik tanpa rendaman yang kemudian dikalikan dengan 100%. Sehingga didapatkan Persamaan 3.14 sebagai berikut.

$$TSR = (T2/T1) \times 100 \%$$

(3.14)

keterangan :

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

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

3.13 *Cantabro Loss*

Pengujian *cantabro loss* bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *los angeles*. Tujuan nya supaya mengetahui apakah suatu campuran mampu menahan beban yang melintas secara berulang – ulang. Pada pengujian ini benda uji didiamkankan selama 48 jam dengan suhu ruangan atau minimal selama 6 jam sebelum dilakukannya pengujian. Benda uji ditimbang terlebih dahulu sebelum dimasukkan ke dalam drum mesin *Los Angeles* untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi (Mo). Selanjutnya benda uji tersebut dimasukkan ke drum mesin *los angeles* tanpa bola baja. Kemudian mesin dinyalakan dengan kecepatan 30 sampai 33 rpm sebanyak 300 putaran. Setelah selesai, benda uji dikeluarkan dan ditimbang dengan berat setelah abrasi (Mi). untuk nilai *Cantabro Loss* dapat dilihat pada persamaan 3.15 berikut.

$$L = \frac{mo - mi}{mo} \times 100\% \quad (3.15)$$

keterangan :

L = persentasi kehilangan berat (%)
mo = Berat sebelum abrasi (gr), dan
mi = Berat sesudah abrasi (gr)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode penelitian

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

4.2 Metode Pengambilan Sample

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

4.3 Metode Pengambilan Data

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

4.4 Tahapan Penelitian

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

penelitian ini meliputi persiapan material, pemeriksaan material, persiapan alat, pembuatan benda uji, *Marshall Test*, *Indirect Tensile Strength Test (ITS)*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)* dan *Cantabro Loss*. Tahap penelitian pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut ini.

4.4.1 Persiapan material

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

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

- f. Pengujian 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 AC 60/70. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas aspal adalah sebagai berikut.

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

3. Pengujian *filler*

Filler adalah bahan berbutir halus yang mempunyai fungsi sebagai pengisi pada pembuatan campuran aspal, *Filler* didefinisikan sebagai fraksi debu mineral lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Pengujian *filler* harus memenuhi persyaratan SNI 03-6723-2002.

4.4.2 Persiapan Alat

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

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

- a. Alat ukur tekan dengan lebar 0,5 inchi.
- b. Arloji stabilitas dan *flow* dengan ketelitian 0,25 mm.
- c. Perlatan penunjang lain selama proses penelitian seperti kompor, *thermometer*, spatula, wajan, gelas ukur, nampan, bak plastik, kain lap, jangka sorong, dan lainnya.

4.4.3 Persiapan Campuran

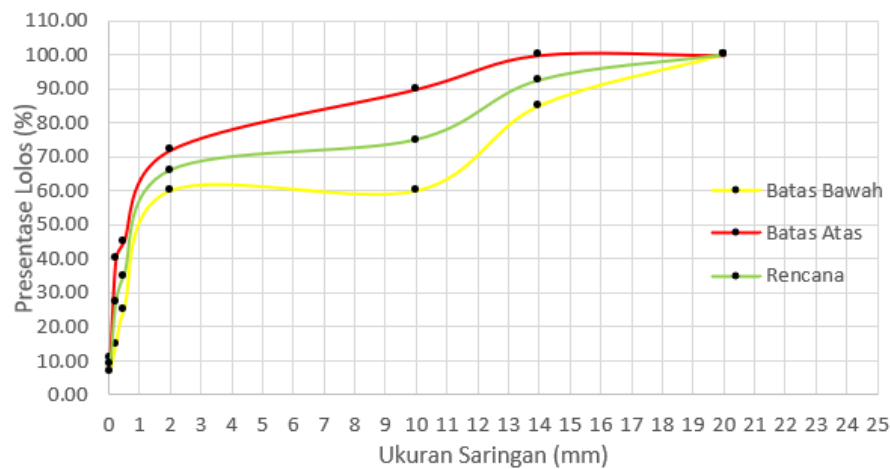
Material yang dipergunakan dalam penelitian tugas akhir ini, yaitu agregat dan aspal, diuji terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai campuran *Hot Rolled Asphalt*.

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

Tabel 4. 1 Batasan Gradasi Agregat Campuran HRA Tipe C Designation 30/14 Tebal 40 Mm

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah persen %	
		Min	Max	Lolos	Tertahan
3/4"	20 mm	100	100	100.00	0.00
1/2"	14 mm	85	100	92,50	7.50
3/8"	10 mm	60	90	75,00	25
No.10	2 mm	60	72	66,00	34
No.35	0,5 mm	25	45	35,00	65
No.60	0,25 mm	15	40	27,50	72,50
No.230	0,063 mm	7	11	9,00	91
PAN		0	0	0	100

Sumber : British Standar :BS – 594 (2005)



Gambar 4. 1 Batasan Gradasi Agregat Campuran HRA Tipe C Designation 30/14 Tebal 40 Mm

Perkiraan kadar aspal optimum (KAO) rencana dapat dicari setelah menentukan gradasi agregat campuran., Menggunakan persamaan 4.1.

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

Keterangan :

P_b = kadar aspal perkiraan,

CA = agregat kasar tertahan saringan No. 10,

FA = agregat halus lolos saringan No. 10 dan tertahan No. 230,

$Filler$ = agregat halus lolos saringan No. 230,

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

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035 (34\%) + 0,045 (57\%) + 0,18 (9\%) + 1.5\% \\ &= 6.875\% \approx 7\% \end{aligned}$$

Maka, berdasar pada nilai P_b yang didapat, pada pengujian untuk mencari kadar aspal optimum yakni 7 %, dipakai variasi kadar aspal 6 %; 6,5 %; 7%; 7,5%; 8% terhadap berat total campuran.

Kebutuhan agregat pada tiap kadar aspal dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada Tabel 4.2, hingga Tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6 %

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

Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6.5 %

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

Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7 %

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

Lanjutan Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7 %

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat %		Berat Tertahan (Gr)	
inch	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
# 60	0.25	15	40	27,50	7,50	83,70	809,10
# 230	0.063	7	11	9,00	18,50	206,46	1015,56
PAN		0	0	0	9,00	100,44	1116,00
Jumlah						1116,00	

Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7.5 %

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Persen Agregat %		Berat Tertahan (Gr)	
inch	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4	20	100	100	100,00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	92,50	7,50	83,25	83,25
3/8	10	60	90	75,00	17,50	194,25	277,50
# 10	2	60	72	66,00	9,00	99,90	377,40
# 35	0.5	25	45	35,00	31,00	344,10	721,50
# 60	0.25	15	40	27,50	7,50	83,25	804,75
# 230	0.063	7	11	9,00	18,50	205,35	1010,10
PAN		0	0	0	9,00	99,90	1110,00
Jumlah						1110,00	

Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 8 %

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

Setelah di lakukan pengujian terhadap masing – masing *filler* didapatkan berat jenis *filler* abu batu sebesar 2.54 gr/cm³ dan abu bauksit sebesar 2.51 gr/cm³. Sehingga untuk penyetaraan volume sebagai berikut.

$$\text{Berat Volume Abu bauksit} = \frac{a*(b*A)}{b} \quad 4.1$$

Keterangan:

A = Persen kadar Substitusi (%)

a = Berat Jenis Abu bauksit (gr/cm³)

b = Berat Jenis Abu Batu (gr/cm³)

setelah dilakukan penyetaraan volume didapatkan kebutuhan agregat setiap variasi substitusi *filler*. Kebutuhan agregat setiap variasi substitusi *filler* dapat dilihat pada tabel 4.7 hingga tabel 4.10 sebagai berikut

Tabel 4. 7 Kebutuhan Agregat pada Variasi Substitusi Filler 0%

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

Tabel 4. 8 Kebutuhan Agregat pada Variasi Substitusi *Filler* 25%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Berat Tertahan Abu Batu (Gr)	Berat Tertahan Abu Bauksit (Gr)	Berat Tertahan Abu Bauksit dalam Volume (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)
inch	mm	Min	Max				
3/4	20	100	100	0,00	0,00	0,00	0, 00
1/2	14	85	100	83,25	0,00	0,00	83,25
3/8	10	60	90	194,25	0,00	0,00	277,50
# 10	2	60	72	99,90	0,00	0,00	377,40
# 35	0.5	25	45	344,10	0,00	0,00	721,50
# 60	0.25	15	40	83,25	0,00	0,00	804,75
# 230	0.063	7	11	205,35	0,00	0,00	1010,10
PAN		0	0	74,93	24,98	24,68	1109,71
Jumlah							1110

Tabel 4. 9 Kebutuhan Agregat pada Variasi Substitusi *Filler* 50%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Berat Tertahan Abu Batu (Gr)	Berat Tertahan Abu Bauksit (Gr)	Berat Tertahan Abu Bauksit dalam Volume (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)
inch	mm	Min	Max				
3/4	20	100	100	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	83,25	0,00	0,00	83,25
3/8	10	60	90	194,25	0,00	0,00	277,50
# 10	2	60	72	99,90	0,00	0,00	377,40
# 35	0.5	25	45	344,10	0,00	0,00	721,50
# 60	0.25	15	40	83,25	0,00	0,00	804,75
# 230	0.063	7	11	205,35	0,00	0,00	1010,10
PAN		0	0	49,95	49,45	49,36	1109,41
Jumlah (gr)						1109	

Tabel 4. 10 Kebutuhan Agregat pada Variasi Substitusi *Filler* 75%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Berat Tertahan Abu Batu (Gr)	Berat Tertahan Abu Bauksit (Gr)	Berat Tertahan Abu Bauksit dalam Volume (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)
inch	mm	Min	Max				
3/4	20	100	100	0,00	0,00	0,00	0,00
1/2	14	85	100	83,25	0,00	0,00	83,25
3/8	10	60	90	194,25	0,00	0,00	277,50
# 10	2	60	72	99,90	0,00	0,00	377,40
# 35	0.5	25	45	344,10	0,00	0,00	721,50
# 60	0.25	15	40	83,25	0,00	0,00	804,75
# 230	0.063	7	11	205,35	0,00	0,00	1010,10
PAN		0	0	24,98	74,93	74,04	1109,12
Jumlah							1109

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

Tabel 4. 11 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh KAO

Kadar Aspal (%)	Pengujian	
	<i>Marshall</i>	<i>IRS</i>
6	3	3
6.5	3	3
7	3	3
7.5	3	3
8	3	3
Jumlah Benda Uji	30	

Setelah didapatkan nilai KAO maka dilakukan pengujian untuk setiap nilai yang didapatkan. Jumlah benda uji untuk setiap pengujian KAO dapat dilihat pada Tabel 4.12 berikut.

Tabel 4. 12 Jumlah Benda Uji Untuk Substitusi *Filler* Abu Bauksit pada KAO

Pengujian	Kadar <i>Filler</i> Abu Bauksit (%)			
	0	25	50	75
<i>Marshall</i>	3	6	6	6
<i>ITS</i>	6	6	6	6
<i>IRS</i>	3	6	6	6
<i>TSR</i>	6	6	6	6
<i>Cantabro loss</i>	6	6	6	6
Jumlah Benda Uji	24	30	30	30
Total Keseluruhan	114			

Berdasarkan Tabel 4.2 dan Tabel 4.3, maka total benda uji dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah 144 buah benda uji.

4.4.4 Pembuatan Pembuatan *Sample*

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

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

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

1. Memanaskan aspal. Untuk aspal Pen 60/70 dipanaskan hingga mencapai suhu 160°C.

2. Pada tahap pencampuran aspal panas dengan agregat panas terdapat perbedaan antara sebelum mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dan setelah mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Perbedaan kedua proses pencampuran tersebut antara lain:

a. Penentuan nilai KAO.

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

b. Campuran pada KAO.

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

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

Berikut tahapan yang digunakan untuk metode pencampuran dua tahap:

- a) Memanaskan agregat kasar yang sebelumnya telah dipisahkan dengan agregat halus dan *filler* dengan wajan yang berbeda hingga masing-masing agregat kasar, agregat halus dan *filler* mencapai suhu 170°C.
- b) Mencampurkan agregat kasar terlebih dahulu dengan aspal sesuai dengan nilai kadar aspal optimum (KAO) dan mengaduk secara merata hingga aspal menutupi seluruh permukaan agregat kasar .

- c) Agregat kasar yang telah terlapisi oleh aspal kemudian dicampurkan dengan agregat halus, *filler*, dan serat selulosa yang sebelumnya telah dipanaskan pada wajan yang berbeda. Kemudian mengaduk campuran secara merata. Peninjauan sampel yang dibuat menggunakan metode pencampuran dua tahap disusun menjadi dua kelompok. Kelompok pertama menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70.
- 3. Membersihkan cetakan benda uji mold dan mengolesi bagian dalamnya dengan minyak pelumas.
- 4. Meletakkan selembat kertas / kertas penghisap yang sudah digunting sesuai dengan ukuran cetakan dibagian bawah cetakan, kemudian memasukkan benda uji 1/3 dari volume cetakan dan dipukul menggunakan spatula sebanyak 25x (15x pukulan di pinggir, dan 10x pukulan di tengah), kemudian memasukkan benda uji hingga 2/3 dari volume cetakan dan dipukul menggunakan spatula sebanyak 25x, dengan cara tersebut memasukkan benda uji kembali hingga penuh dalam volume cetakan dan dipukul menggunakan spatula sebanyak 25x dan menaruh kertas penghisap di permukaan.
- 5. Meletakkan cetakan mold diatas dudukannya (landasan) pemadatan. Memadatkan sebanyak 50 x pukulan di sisi pertama dan menumbuk 50 x pukulan di sisi kedua.
- 6. Mendinginkan benda uji sesudah pemadatan selesai sampai mencapai suhu ruang, kemudian mengeluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan *ejector hydrolic pump* lalu mendinginkan sampel sampai mencapai suhu ruang. Setelah dingin ambil kertas penghisap di kedua sisi untuk memberikan kodefikasi terhadap sampel tersebut.

4.4.5 Pengujian *Marshall*

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

- 1. Menyiapkan alat dan benda uji yang akan digunakan.

2. Membersihkan benda uji dari kotoran yang masih menempel dari proses pembuatan sampel.
3. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi dengan menggunakan kaliper kemudian menimbang benda uji dalam keadaan kering udara.
4. Merendam benda uji di dalam air pada suhu ruang selama 20 sampai 24 jam untuk mendapatkan kejenuhan, kemudian menimbang benda uji di dalam air dan mencatat hasilnya.
5. Mengelap benda uji yang telah ditimbang dalam air dengan menggunakan kain lap sampai mencapai kondisi SSD, kemudian menimbang benda uji sehingga diperoleh berat dalam keadaan SSD.
6. Memasukkan benda uji ke dalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit.
7. Memeriksa mesin *Marshall Test* beserta dial pelengkapannya dan menyiapkan *breaking head* yang telah diolesi dengan oli.
8. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head*, kemudian memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
9. Mengatur jarum pada dial stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
10. Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
11. Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

4.4.6 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

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

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

4.4.7 Pengujian *Indeks of Retained Strength (IRS)*

Pengujian *IRS* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan benda uji yang akan digunakan.

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

4.4.8 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* dapat diperoleh dengan pembacaan dial *flow*

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

4.5.2 Analisis Pengujian *IRS*

Nilai pengujian *IRS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.10

4.5.3 Analisis Pengujian *IDP*

Nilai pengujian *IDP* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.11

4.5.4 Analisis Pengujian *IDK*

Nilai pengujian *IDK* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.12

4.5.5 Analisis Nilai *ITS*

Nilai nilai *ITS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.13

4.5.6 Analisis Nilai *TSR*

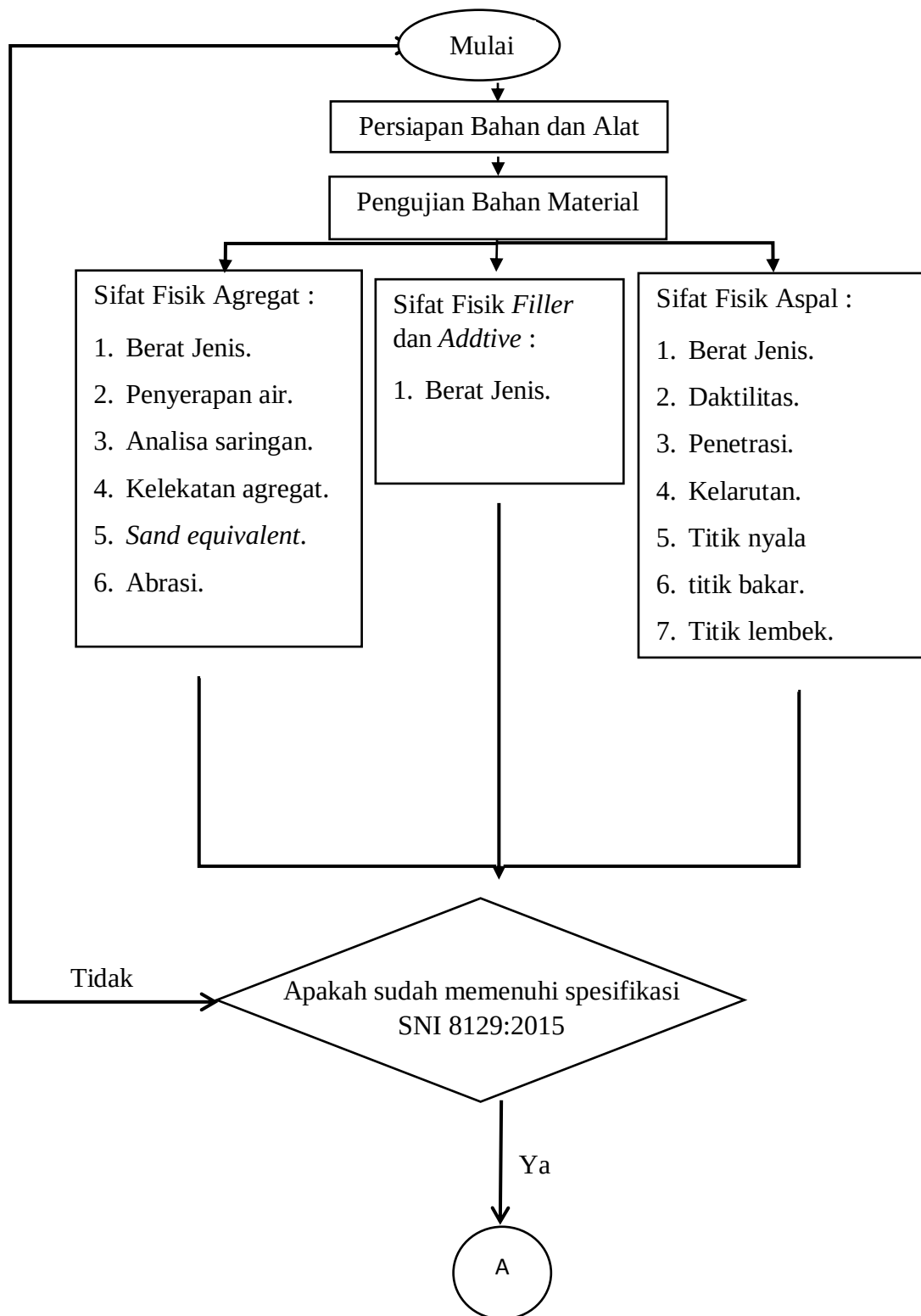
Nilai nilai *TSR* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.14

4.5.7 Analisis Nilai *Cantabro Loss*

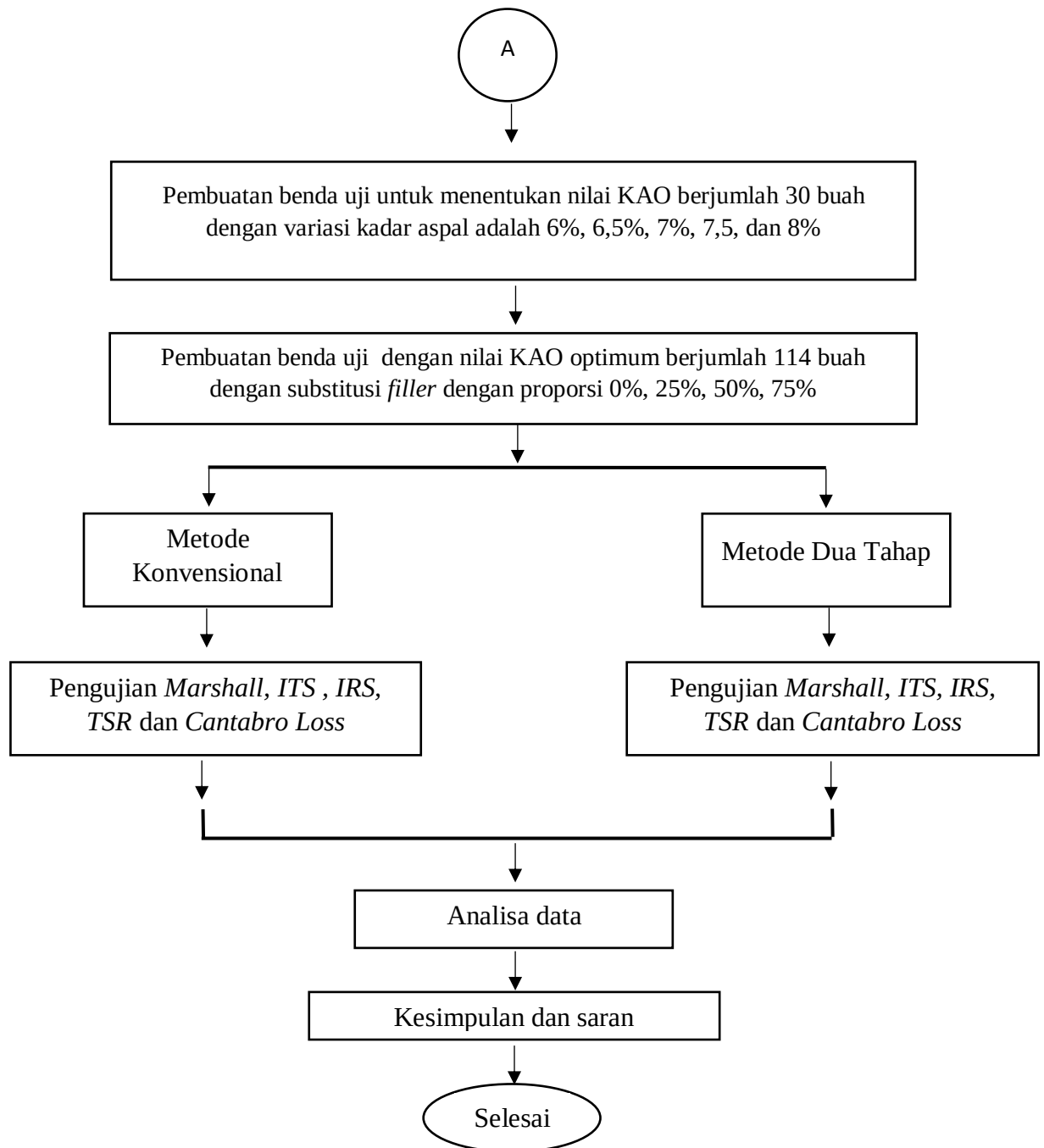
Nilai nilai *Cantabro Loss* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.15

4.6 Bagan Alir Penelitian

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



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil pengujian bahan dan campuran

Bedasarkan pengujian – 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. Pada pengujian ini aspal yang digunakan adalah aspal dengan Pen 60/70, dimana hasil yang didapatkan ini mengikuti pedoman spesifikasi Bina Marga tahun 2018 Revisi Ke 2. Rekapitulasi hasil yang didapatkan dapat dilihat pada tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1.0	1,051	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60 - 70	66,5	Memenuhi
3	Titik nyala (°C)	≥ 232	290	Memenuhi
4	Titik Bakar (°C)	≥ 232	310	Memenuhi
5	Titik lembek (°C)	≥ 48	48	Memenuhi
6	Daktilitas (cm)	≥ 100	168,8	Memenuhi
7	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,51	Memenuhi

5.1.2 Hasil pengujian karakteristik agregat

Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pada pengujian ini agregat yang digunakan berasal dari Sungai Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Data yang dihasilkan dari pengujian ini mengikuti pedoman spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi ke 2. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.2 hingga Tabel 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2.5	2,62	Memenuhi
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	≤ 2	1,83	Memenuhi
3	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi
4	Keausan agregat dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≤ 40	13,11	Memenuhi

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus Clereng

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2.5	2,54	Memenuhi
2	Penyerapan agregat terhadap air (%)	≤ 2	0,39	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50	93,35	Memenuhi

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis Filler

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis (Abu Batu)	≥ 2.5	2,54	Memenuhi
2	Berat Jenis (Abu Bauksit)	≥ 2.5	2,51	Memenuhi

5.1.3 Hasil pengujian untuk pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

Dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *Hot rolled Asphalt* ditentukan berdasarkan Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 pada bagian laston lapis aus. Hal di didasari karakteristik campuran *Hot Rolled asphalt* sendiri dimana campuran *Hot Rolled asphalt* memiliki karakteristik gradasi senjang (*gap grade*). Parameter – parameter yang di gunakan berdasarkan spesifikasi bina marga tahun 2018 revisi ke 2 adalah nilai stabilitas (*Stability*) minimum 600kg, nilai rongga pada campuran (*VITM*) minimum 3% dengan maksimum 5%, nilai rongga dalam agregat (*VMA*) minimum 17%, Nilai rongga terisi aspal minimum 68%, nilai

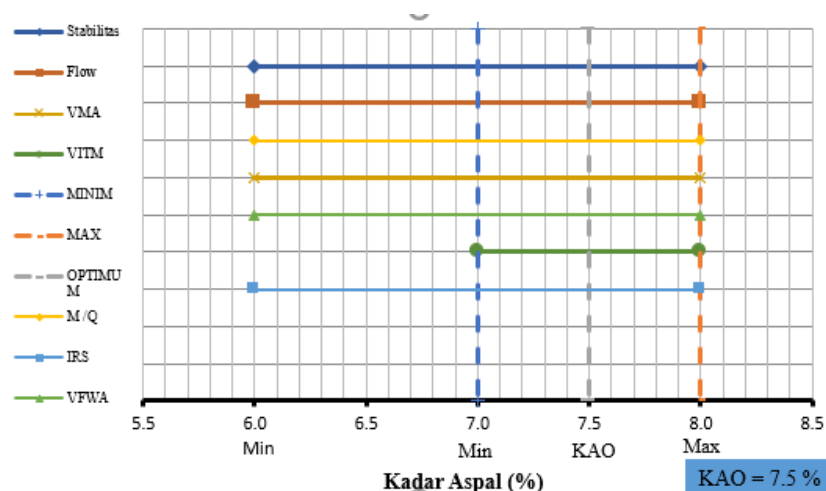
Marshall Quotient minimum 250 kg/mm, dan nilai stabilitas Marshall sisa setelah perendaman selama 24 jam dengan suhu 60°C.

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

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	MQ (Kg/mm)	IRS (%)
6	911,35	3,07	5,82	18,52	68,57	299,02	90,90
6.5	958,40	3,27	5,55	19,26	71,21	293,26	92,41
7	1057,06	3,67	4,68	19,48	75,98	288,34	93,32
7.5	1034,39	3,87	4,18	20,01	79,14	268,16	94,14
8	1010,33	4,03	3,76	20,62	81,76	251,05	95,65
Spesifikasi	>600	-	3 – 5	>17	>68	>250	90%

Berdasarkan Tabel 5.5, Hasil pengujian untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan di laboratorium jalan raya, jurusan Teknik sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* dapat dilihat pada Gambar 5.1 berikut.



Gambar 5. 1 Grafik Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan Gambar 5.1, Kadar Aspal Optimum berapa pada 7.5 % , Kadar Aspal Optimum (KAO) digunakan untuk menentukan variasi substitusi *filler*, pada penelitian ini variasi substitusi *filler* bermula pada 0%, 25%, 50% dan 75%. Kadar substitusi *filler* didapatkan berdasarkan pengujian pada kadar substitusi 50% dan 75%, pada pengujian tersebut didapatkan batas maksimum atau batas atas pada kadar substitusi 75% sehingga kadar substitusi hanya berada pada substitusi 75%. Pada penelitian ini substitusi *filler* yang digunakan adalah campuran antara abu batu dan abu bauksit sebagai pengganti *filler* pada variasi substitusi. Untuk penentuan berat volume didasarkan dari berat jenis pada masing – masing *filler*.

5.1.4 Hasil pengujian pada Kadar Aspal Optimum

Pada penelitian ini pengujian Substitusi *filler* menggunakan metode Konvensional dan metode bertahap yang meliputi pengujian *Marshall Test*, *Index of Retained Strength (IRS)*, Indeks Durabilitas Pertama (IDP), Indeks Durabilitas Kedua (IDK), *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, dan *Cantabro Loss*. Hasil pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 5.6 hingga Tabel 5.15. Untuk hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada lampiran.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian *Marshall Test* pada Metode Pencampuran Konvensional

Substitusi <i>Filler</i> (%)	Stabilitas (Kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>MQ</i> (Kg/mm)
0	1034,39	3,87	4,18	20,02	79,11	268,16
25	1169,46	3,57	3,79	19,69	80,81	329,18
50	1197,30	3,23	3,50	19,45	82,00	372,43
75	1211,88	3,15	3,32	19,29	82,79	384,67
Spesifikasi	>600	-	3 – 5	>17	>68	>250

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Marshall Test* pada Metode Pencampuran Bertahap

Substitusi <i>Filler</i> (%)	Stabilitas (Kg)	<i>Flow</i> (Mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>MQ</i> (Kg/Mm)
0	1044,62	3,85	3,94	19,82	80,17	271,33
25	1194,28	3,50	3,76	19,67	80,91	342,32
50	1255,88	3,35	3,41	19,37	82,41	374,64
75	1297,98	3,33	3,27	19,25	83,02	390,42
Spesifikasi	>600	-	3 – 5	>17	>68	>250

Tabel 5. 8 Hasil pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*, Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua Konvensional

Substitusi <i>Filler</i> (%)	Stabilitas normal (kg)	Stabilitas rendaman (kg)	<i>IRS</i> (%)	IDP (%)	IDK (%)
0	1034,39	968,58	93,64	0,277	3,181
25	1169,46	1117,29	95,54	0,194	2,230
50	1197,30	1166,27	97,41	0,113	1,296
75	1211,88	1201,81	99,17	0,036	0,416
Spesifikasi	>600	>600	>90	-	-

Tabel 5. 9 Hasil pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*, Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua Bertahap

Substitusi <i>Filler</i> (%)	Stabilitas Normal (kg)	Stabilitas Rendaman (kg)	<i>IRS</i> (%)	IDP (%)	IDK (%)
0	1044,62	979,69	93,78	0,270	3,108
25	1194,28	1131,19	94,72	0,230	2,641
50	1255,88	1206,79	96,09	0,170	1,954

Lanjutan Tabel 5. 9 Hasil pengujian *Index of Retained Strength (IRS)*, Indeks Durabilitas Pertama dan Indeks Durabilitas Kedua Bertahap

Substitusi <i>Filler</i> (%)	Stabilitas Normal (kg)	Stabilitas Rendaman (kg)	<i>IRS</i> (%)	IDP (%)	IDK (%)
75	1297,98	1291,53	99,50	0,022	0,249
Spesifikasi	>600	>600	>90	-	-

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada Metode Pencampuran Konvensional

Substitusi <i>Filler</i> (%)	ITS Normal (Kpa)	ITS Rendaman (Kpa)	TSR (%)
0	336,064	311,768	92,771
25	349,109	330,477	94,663
50	365,459	350,411	95,882
75	375,224	364,002	97,009
Spesifikasi	-	-	>80

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada Metode Pencampuran Bertahap

Substitusi <i>Filler</i> (%)	ITS Normal (Kpa)	ITS Rendaman (Kpa)	TSR (%)
0%	310,385	286,295	92,239
25%	387,360	340,418	87,881
50%	404,056	350,500	86,745
75%	405,096	364,213	89,908
Spesifikasi	-	-	>80

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Normal pada Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pecampuran Bertahap

Substitusi <i>Filler</i> (%)	Kehilangan Berat Konvensional (%)	Kehilangan Berat Bertahap (%)
0	4,94	1,48
25	3,22	1,53
50	2,50	1,54
75	4,21	2,53
Spesifikasi	< 20	< 20

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Rendaman pada Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pecampuran Bertahap

Substitusi <i>Filler</i> (%)	Kehilangan Berat Konvensional (%)	Kehilangan Berat Bertahap (%)
0	5,34	4,52
25	5,45	3,85
50	6,35	2,27
75	6,04	3,83
Spesifikasi	< 20	< 20

Tabel 5. 14 Hasil Nilai Tahanan *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Bertahap

Substitusi <i>Filler</i> (%)	Nilai Tahanan <i>Cantabro Loss</i> Konvensional (%)	Nilai Tahanan <i>Cantabro Loss</i> bertahap (%)
0	93	33
25	59	40

Lanjutan Tabel 5.14 Hasil Nilai Tahanan *Cantabro Loss* pada Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Bertahap

Subtitusi <i>Filler</i> (%)	Nilai Tahanan <i>Cantabro Loss</i> Konvensional (%)	Nilai Tahanan <i>Cantabro Loss</i> bertahap (%)
50	39	68
75	42	66
Spesifikasi	-	-

5.2 Pembahasan

Hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaann Universitas Islam Indonesia. Berikut pembahasan terkait pengujian tersebut.

5.2.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pada penelitian ini bahan ikat aspal pada campuran *Hot Rolled Asphalt* menggunakan jenis pertamina pen 60/70, pengujian karakteristik aspal mengacu pada Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2. Hal ini dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Berat jenis Aspal

Berat jenis aspal berdasarkan SNI 2441-2011 perbandingan antara berat jenis dengan berat air suling pada temperatur pengujian. Pada pengujian ini didapatkan hasil berat jenis aspal sebesar 1,051, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni $>1,00$.

2. Penetrasi Aspal

Nilai Penetrasi aspal merupakan nilai yang menentukan titik kelembutan atau tingkat kekerasan suatu aspal, hasil dari pengujian penetrasi aspal pada suhu 25°C adalah 66,5 mm, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni 60 – 70 mm.

3. Titik Nyala Aspal

Titik nyala aspal merupakan titik aspal mengalami perubahan suhu dimana tanda dari perubahan suhu adalah adanya percikan api dalam waktu singkat.

Hal ini disebabkan karena sifat *thermoplastic* aspal dimana aspal memiliki sifat yakni berubah – ubah tergantung suhu yang terjadi. Hasil dari pengujian titik nyala aspal adalah 290 °C hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni > 232 °C.

4. Titik Bakar Aspal

Titik bakar aspal merupakan titik aspal mengalami perubahan suhu dimana tanda dari perubahan suhu adalah adanya api yang menyala dalam waktu ± 5 detik. Hal ini disebabkan karena sifat *thermoplastic* aspal dimana aspal memiliki sifat yakni berubah – ubah tergantung suhu yang terjadi. Hasil dari pengujian titik nyala aspal adalah 310 °C hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni > 232 °C.

5. Titik Lembek Aspal

Titik lembek aspal merupakan titik aspal mengalami perubahan suhu dimana tanda dari perubahan suhu adalah aspal mulai menjadi lunak. Hal ini disebabkan karena sifat *thermoplastic* aspal dimana aspal memiliki sifat yakni berubah – ubah tergantung suhu yang terjadi. Hasil dari pengujian titik nyala aspal adalah 48°C hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni > 48 °C.

6. Daktilitas Aspal

Nilai daktilitas merupakan nilai yang menentukan keelastisan aspal dan sifat kohesi dari aspal. Hasil dari pengujian daktilitas aspal adalah 168,8 cm hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni > 100 cm.

7. Kelarutan dalam *Trichloroethylene* (TCE)

Nilai kelarutan dalam *TCE* merupakan nilai yang menunjukkan kemampuan aspal dalam mengikat agregat. Hasil dari pengujian kelarutan dalam *Trichloroethylene* (TCE) adalah 99,51% hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni > 99%.

5.2.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

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

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis agregat kasar merupakan perbandingan antara berat jenis agregat dalam keadaan jenuh dengan berat air suling pada temperatur pengujian. Pada pengujian data yang digunakan adalah berat jenis dalam keadaan jenuh (BJ), Berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji kering oven (BK). Pada penelitian ini didapatkan hasil berat jenis agregat kasar sebesar 2,62, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni $>2,5$.

2. Penyerapan Air pada Agregat Kasar

Penyerapan air pada agregat kasar merupakan tingkat kemampuan agregat dalam menyerap air yang masuk melalui pori – pori yang terdapat pada agregat. Pada penelitian ini didapatkan hasil penyerapan air pada agregat kasar sebesar 1,83 % , hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni $< 2 \%$.

3. Kelekatan Agregat Kasar

Nilai kelekatan agregat kasar merupakan nilai yang menentukan persentase luas permukaan agregat yang terlapisi aspal. Pada penelitian ini didapatkan hasil kelekatan agregat kasar sebesar 98 % , hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni $> 95 \%$.

4. Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*

Nilai keausan agregat kasar dengan menggunakan mesin *Los Angeles* merupakan nilai yang menentukan ketahanan agregat kasar apabila terjadi abrasi. Pada penelitian ini didapatkan hasil keausan agregat kasar dengan mesin *Los Angeles* sebesar 13,11 % , hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni $< 40 \%$.

5.2.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pada penelitian ini Agregat halus yang digunakan pada campuran *Hot Rolled Asphalt* berasal dari Clereng, Kulon Progo. Pengujian karakteristik agregat halus diuraikan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat halus Merupakan perbandingan antara berat jenis agregat dalam keadaan jenuh dengan berat air suling pada temperatur pengujian. Pada pengujian data yang digunakan adalah berat jenis dalam keadaan jenuh (BJ), Berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji kering oven (BK). Pada penelitian ini didapatkan hasil berat jenis agregat halus sebesar 2,54, hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni $>2,5$.

2. Penyerapan Air pada Agregat Halus

Penyerapan air pada agregat halus merupakan tingkat kemampuan agregat dalam menyerap air yang masuk melalui pori – pori yang terdapat pada agregat. Pada penelitian ini didapatkan hasil Penyerapan air pada agregat halus sebesar 0,39 % , hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni $< 2 \%$.

3. *Sand Equivalent*

Nilai *sand equivalent* merupakan nilai yang menentukan kadar kotoran debu, lumpur maupun kotoran yang lainnya yang ada pada agregat halus. Pada penelitian ini didapatkan hasil *sand equivalent* pada agregat halus sebesar 93.35 % , hasil tersebut memenuhi spesifikasi syarat dari Bina Marga tahun 2018 revisi ke 2 yakni $> 50 \%$.

5.2.4 Hasil Pengujian Karakteristik Bahan pengisi (*filler*)

Pada penelitian ini Bahan pengisi yang digunakan pada campuran *Hot Rolled Asphalt* menggunakan abu batu yang berasal dari Clereng, Kulon Progo dan abu bauksit yang berasal dari Tanjung Balai Karimun, Kepulauan Riau. Pengujian karakteristik *filler* diuraikan sebagai berikut.

1. Berat Jenis Abu Batu

Berat jenis abu batu merupakan perbandingan antara berat jenis dengan berat air suling pada temperatur pengujian. Pada penelitian ini didapatkan hasil berat jenis *filler* abu batu sebesar 2,54.

2. Berat Jenis Abu Bauksit

Berat jenis abu bauksit merupakan perbandingan antara berat jenis dengan berat air suling pada temperatur pengujian. Pada penelitian ini didapatkan hasil berat jenis *filler* abu batu sebesar 2,51.

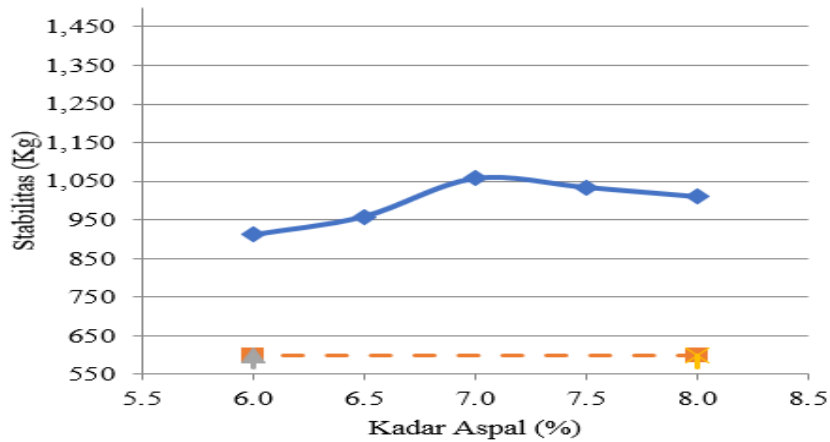
Setelah ditentukan berat jenis masing – masing bahan pengisi (*filler*) nilai – nilai ini digunakan untuk penyeteraan antar bahan pengisi (*filler*). Hal ini digunakan untuk menyeterakan berat jenis antara abu batu dengan abu bauksit yang dimana berat jenis abu bauksit sebagai bahan pengganti *filler* lebih kecil dari berat jenis abu batu. Untuk penyeteraan volume sudah di singgung pada persamaan 4.1 sebelumnya.

5.2.5 Pembahasan Kadar Aspal untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

1. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas dalam Menentukan KAO

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Berikut ini merupakan hasil pengujian nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.2.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas meningkat menuju titik optimum lalu Kembali mengalami penurunan. Hal ini sejalan dengan Sukirman (2003), dimana nilai setabilitas mengalami peningkatan ke titik optimum hingga mengalami penurunan disebabkan semakin banyak kadar aspal pada suatu campuran, Aspal yang awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat beralih fungsi apabila nilai stabilitas mencapai titik maksimum sebagai pengisi rongga – rongga pada campuran.

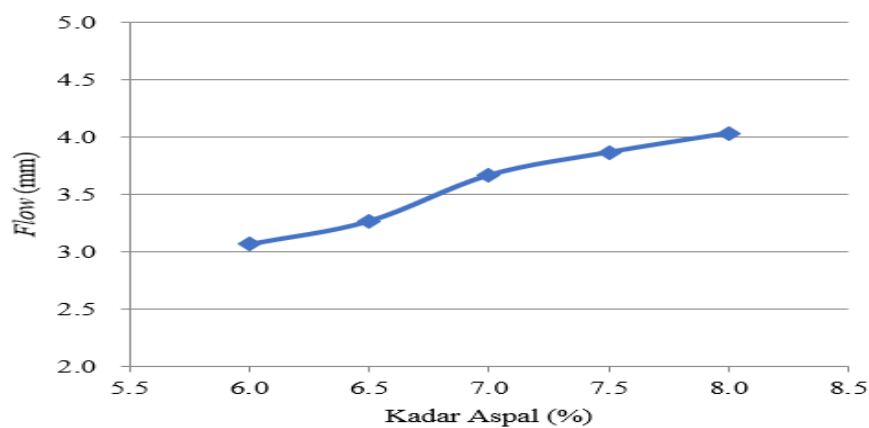


Gambar 5. 2 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai Stabilitas

Hasil ini sejalan dan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh Bina Marga Tahun 2018 Revisi ke 2 yakni nilai stabilitas > 600.

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

Kelelehan atau *flow* merupakan kondisi terjadinya perubahan pada campuran aspal akibat beban yang melintas. Berikut ini merupakan hasil pengujian nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.3.

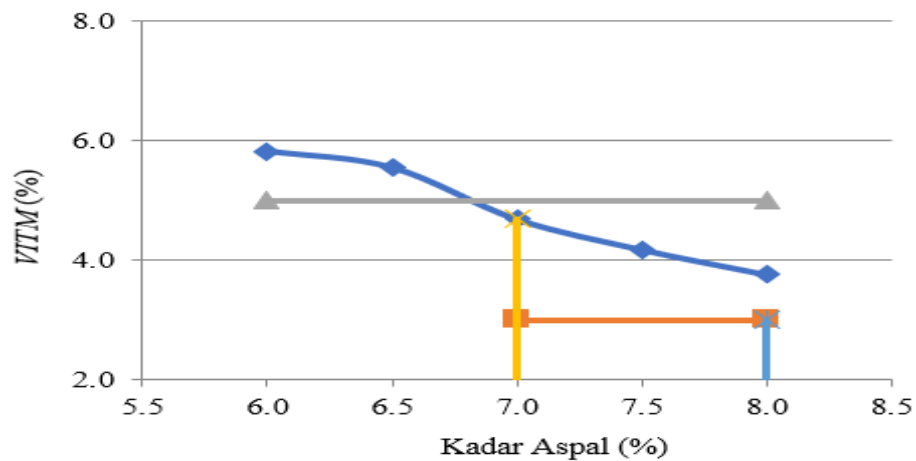


Gambar 5. 3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *Flow*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa nilai *flow* mengalami kenaikan pada setiap penambahan kadar aspal. hal ini Sejalan dengan Sukirman (2003), Nilai *flow* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal menyebabkan selimut aspal menjadi lebih tebal. Hal ini menyebabkan kondisi campuran menjadi plastis sehingga apabila terkena beban akan mengalami perubahan bentuk.

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

Nilai *VITM* merupakan nilai persenan volume rongga pada campuran aspal apabila sudah di padatkan. Berikut ini merupakan hasil pengujian nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.4.



Gambar 5. 4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VITM*

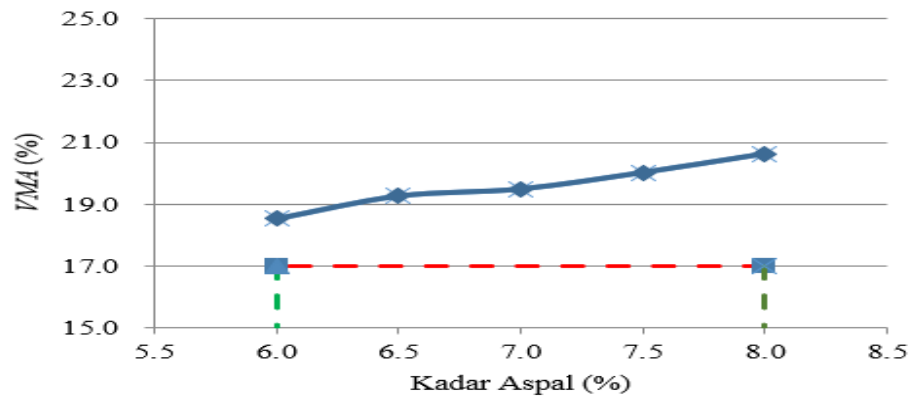
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4 dapat dilihat bahwa nilai *VITM* mengalami penurunan setiap penambahan kadar aspal. Hal ini sejalan dengan Sukirman (2003), Penurunan nilai *VITM* mengakibatkan terjadinya kegemukan atau *bleeding* apabila suhu mengalami peningkatan. Hal ini juga membuat campuran menjadi kedap air dan rongga yang ada di campuran menjadi lebih rapat. Apabila Nilai *VITM* yang terlalu besar mengakibatkan campuran mengalami berkurangnya kekedapan, sehingga terjadi peningkatan oksidasi yang mempercepat penuaan aspal dan menurunkan sifat durabilitas pada campuran. Hasil ini sejalan dan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke 2 yakni nilai *VITM* 3 – 5 %.

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

Nilai *VMA* merupakan nilai persenan volume rongga pada agregat campuran. Berikut ini merupakan hasil pengujian nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.5.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa nilai *VMA* mengalami peningkatan setiap penambahan kadar aspal. Hal ini sejalan dengan Sukirman (2003), dimana peningkatan kadar aspal menyebabkan

peningkatan nilai *VMA* disebabkan semakin tinggi kadar aspal menyebabkan aspal mengisi rongga – rongga pada aspal sehingga membungkus agregat – agregat yang menyebabkan jarak rongga antar agregat semakin besar.

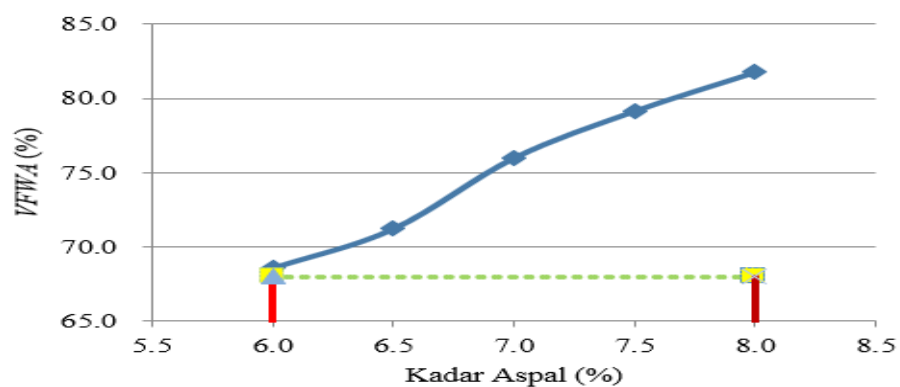


Gambar 5. 5 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VMA*

Hasil ini sejalan dan memenuhi persyaratan yang telah di tentukan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke 2 yakni nilai *VMA* < 17 %.

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

Nilai *VFWA* merupakan nilai persenan volume rongga antar agregat yang terisi oleh aspal. Berikut ini merupakan hasil pengujian nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.6.



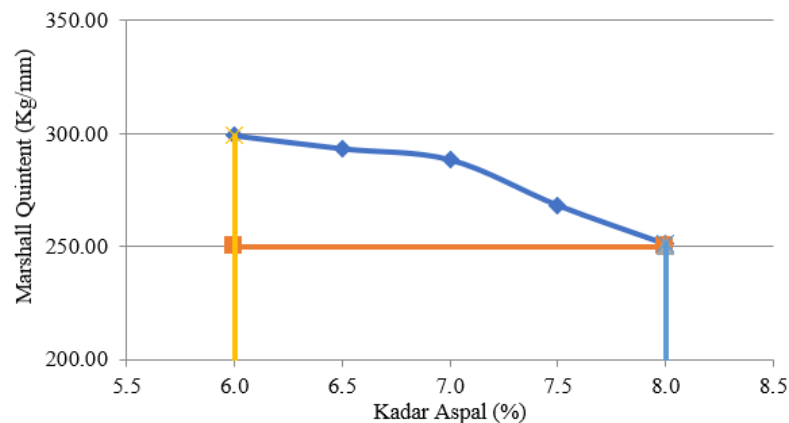
Gambar 5. 6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik pada gambar 5.6 dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* mengalami peningkatan setiap penambahan kadar aspal. hal ini Sejalan dengan sukirman (2003), dimana semakin tinggi kadar aspal pada campuran menyebabkan lapisan aspal pada campuran mengalami kegemukan atau *Bleeding* sehingga rongga yang disebabkan jarak agregat yang semakin besar

membuat aspal mengisi rongga – rongga tersebut, sehingga rongga yang dihasilkan pada campuran aspal semakin mengecil dikarenakan aspal yang semula sebagai pengikat antar agregat beralih fungsi sebagai pengisi rongga – rongga yang ditinggalkan pada campuran aspal. Hasil ini sejalan dan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke 2 yakni nilai $VFWA > 68 \%$.

6. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai MQ dalam Menentukan KAO

Nilai MQ merupakan nilai yang didapatkan dari hasil bagi antara nilai stabilitas dan nilai $flow$. Berikut ini merupakan hasil pengujian nilai MQ dapat dilihat pada Gambar 5.7.



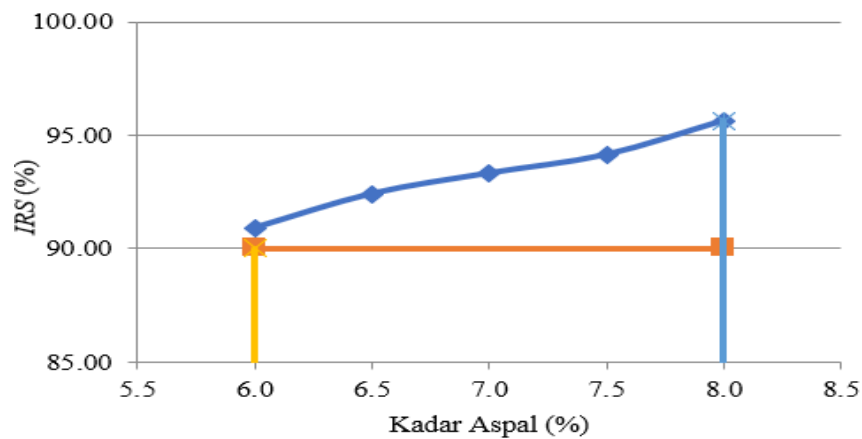
Gambar 5. 7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai MQ

Berdasarkan grafik pada gambar 5.7 dapat dilihat bahwa nilai MQ mengalami penurunan setiap penambahan kadar aspal. hal ini disebabkan karena adanya hasil perbandingan nilai stabilitas dan nilai $flow$ setiap kadar aspal. Hasil ini sejalan dan memenuhi persyaratan yang telah ditentukan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke 2 yakni nilai $MQ > 250 \text{ Kg/mm}$.

7. Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai IRS dalam Menentukan KAO

Nilai IRS merupakan nilai yang didapatkan dari perbandingan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam dalam *waterbath* dengan suhu 60°C dengan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 0,5 jam dalam *waterbath* dengan suhu 60°C . Berikut ini merupakan hasil pengujian nilai IRS dapat dilihat pada Gambar 5.8.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa nilai *IRS* mengalami peningkatan setiap penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan apabila nilai *VITM* mengalami penurunan, campuran mengalami proses *bleeding* atau kegemukan hal ini menyebabkan campuran mengalami kepekaan terhadap perubahan suhu.



Gambar 5. 8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Nilai *IRS*

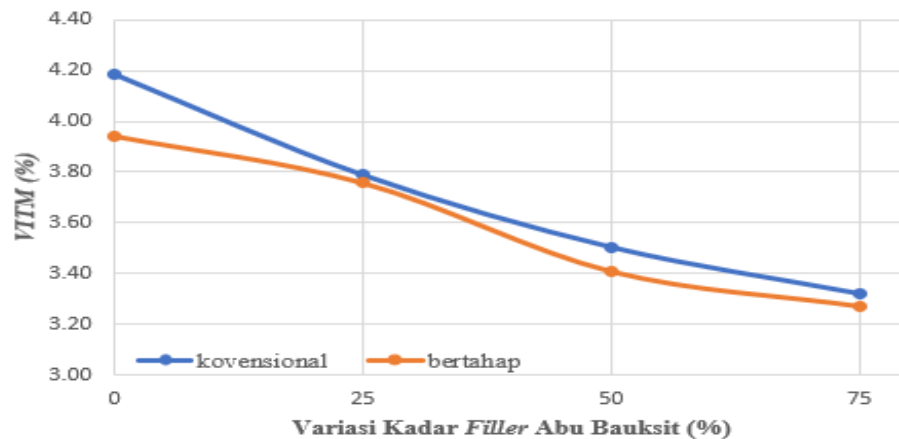
Hasil ini sejalan dan memenuhi persyaratan yang telah di tentukan oleh Bina Marga Tahun 2018 revisi ke 2 yakni nilai *IRS* > 90 %.

5.2.6 Pembahasan Substitusi *Filler* Abu Bauksit pada KAO Campuran dengan Menggunakan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap.

Berdasarkan hasil pengujian – pengujian diatas pada campuran *Hot Rolled Asphalt*, didapatkan nilai nilai KAO campuran sebesar 7.5%. Sehingga berikut merupakan hasil pengujian pengaruh substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode konvensional dan bertahap terhadap campuran aspal.

1. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* terhadap Nilai Volumetrik Campuran Aspal dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap.
 - 1.1. Pengaruh Variasi Substitusi *filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VITM* (*Void In Total Mix*).

Grafik pengaruh variasi substitusi *Filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 9 Grafik Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Void in Total Mix (VITM)

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.9, Nilai *VITM* pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode konvensional lebih tinggi daripada metode bertahap, namun hal yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai *VITM* pada metode bertahap disebabkan penggunaan metode bertahap mempengaruhi proses pencampuran dimana *filler* memiliki peran penting pada pencampuran dimana peran *filler* dalam melapisi pori – pori pada agregat kasar. Selain itu mensubstitusi *filler* dengan menggunakan abu bauksit pada campuran *Hot Rolled Asphalt* membuat rongga – rongga pada campuran menjadi cenderung lebih sedikit. Hal ini di karenakan sifat *pozzolan* pada bauksit membuat bauksit bisa digunakan sebagai bahan tambah dalam mengisi rongga – rongga pada campuran.

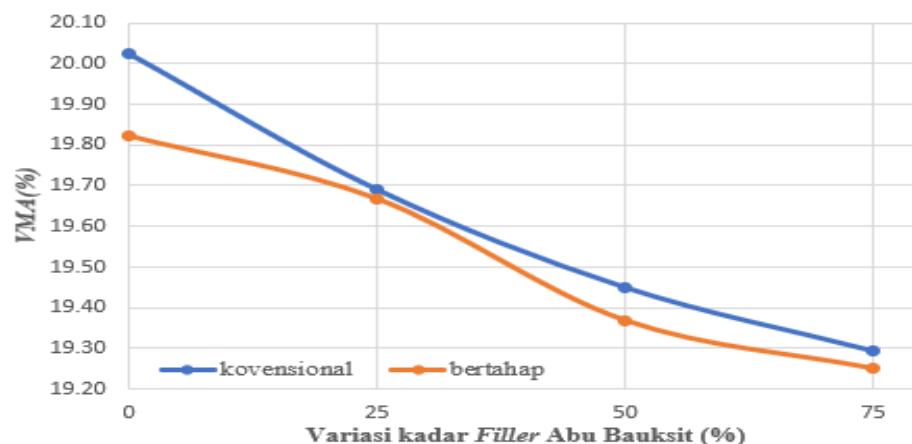
Pada penelitian yang di lakukan Oleh Kok dan Kologlu (2011) menyatakan bahwa dengan menggunakan metode bertahap mampu menembus rongga mikro pada agregat pada pelapisan awal sehingga hal ini yang membuat rongga yang tersisa lebih rendah daripada metode konvensional. Demikian juga penelitian sejalan dengan Iqbal dan Fauziah dan Fauziah (2023) dan Firdaus (2023) yang menyatakan bahwa metode

bertahap mempengaruhi besar kecil nya nilai *VITM* dikarenakan tebalnya selimut aspal.

1.2. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *VMA* (*Void In Mineral Aggregate*).

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.10.

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.10, Nilai *VMA* Pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode konvensional lebih tinggi daripada metode bertahap. Hal yang menyebabkan terjadinya penurunan nilai *VMA* pada metode bertahap disebabkan rongga pada campuran yang lebih sedikit membuat ikatan adhesi meningkat sehingga kemampuan campuran untuk mengikat agregat meningkat.



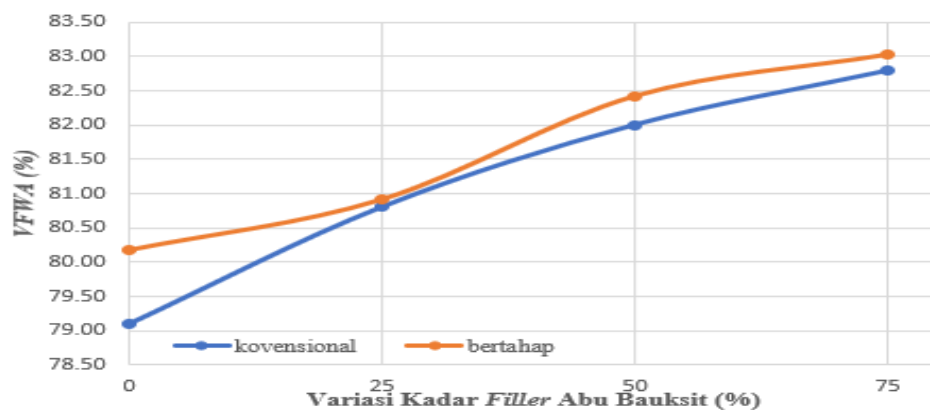
Gambar 5. 10 Grafik Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA)

Selain itu mensubstitusi *filler* dengan menggunakan abu bauksit pada campuran *Hot Rolled Asphalt* membuat jarak antar butir agregat menjadi lebih rapat dikarenakan mampu mengisi rongga -rongga pada campuran. Hal ini di karenakan sifat *pozzolan* pada bauksit membuat bauksit bisa digunakan sebagai bahan tambah dalam mengisi rongga – rongga pada campuran khususnya pada agregat kasar.

Pada penelitian yang dilakukan Oleh Kok dan Kologlu (2011) menyatakan bahwa dengan menggunakan metode bertahap ikatan adhesi pada aspal mengalami peningkatan sehingga campuran dapat mengikat agregat lebih baik. Demikian juga penelitian sejalan dengan Iqbal dan Fauziah dan Fauziah (2023) dan Firdaus (2023) yang menyatakan bahwa metode bertahap mengalami penurunan Nilai VMA dikarenakan jarak antar butir agregat lebih rapat.

1.3. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai VFWA (*Void Filled With Asphalt*).

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.11.



Gambar 5. 11 Grafik Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Void Filled With Asphalt* (VFWA)

Berdasarkan Grafik perbandingan pada Gambar 5.11, Nilai VFWA Pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode bertahap mengalami peningkatan dari metode konvensional. Hal yang menyebabkan terjadinya peningkatan nilai VFWA pada metode bertahap disebabkan rongga pada campuran mengecil sehingga terisi secara optimal oleh aspal membuat campuran menjadi kedap terhadap udara, air dan peka terhadap cuaca hal ini juga membuat campuran menjadi lebih lentur apabila terjadi perubahan suhu. Selain itu mensubstitusi *filler* dengan menggunakan abu bauksit pada

campuran *Hot Rolled Asphalt* membuat rongga pada campuran menjadi lebih rapat sehingga aspal bisa terisi secara optimal. Hal ini di karenakan sifat *pozzolan* pada bauksit membuat bauksit bisa digunakan sebagai bahan tambah pada campuran.

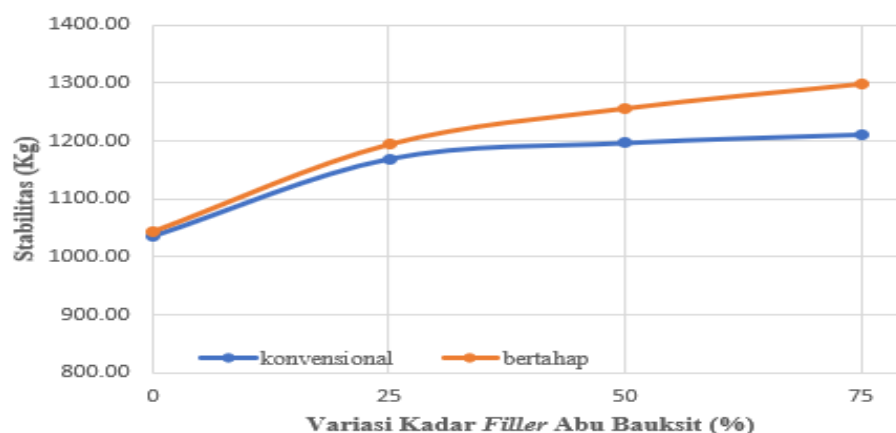
Pada penelitian yang di lakukan Oleh Kok dan Kologlu (2011) menyatakan bahwa metode bertahap dapat mengurangi rongga pda campuran sehingga menghasilkan campuran yang lebih kedap udara, air dan perubahan suhu. Demikian juga penelitian sejalan dengan Iqbal dan Fauziah dan Fauziah (2023) dan Firdaus (2023) yang menyatakan bahwa metode bertahap mampu mengisi rongga pada campuran secara optimal.

2. Analisis Pengaruh Variasi Subtitusi *Filler* Terhadap Nilai Kekuatan Campuran Aspal dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap.

2.1. Pengaruh Variasi Subtitusi *filler* dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap terhadap Nilai Stabilitas.

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

Berdasarkan Grafik perbandingan pada Gambar 5.12, Nilai stabilitas Pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode konvensional lebih rendah daripada metode bertahap. Hal yang menyebabkan terjadinya peningkatan nilai stabilitas pada metode bertahap disebabkan rongga pada campuran mampu diperkecil dengan menggunakan metode bertahap sehingga campuran lebih padat dan mampu menahan beban lebih baik.



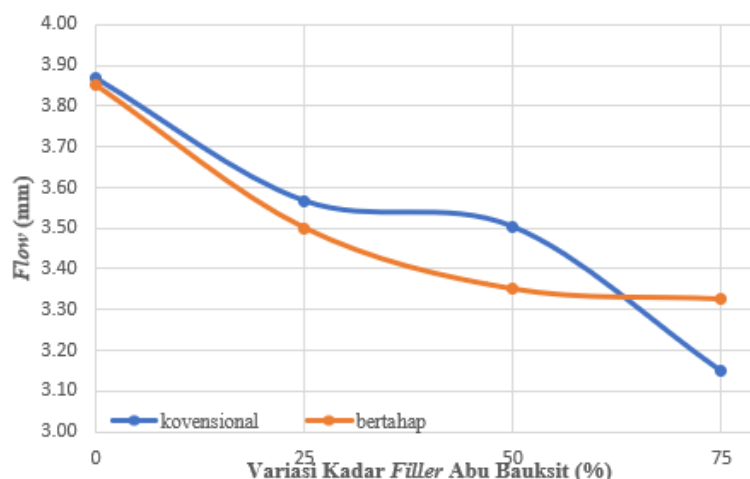
Gambar 5. 12 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Stabilitas

Selain itu mensubstitusi *filler* dengan menggunakan abu bauksit pada campuran *Hot Rolled Asphalt* membuat mampu mengisi rongga – rongga pada agregat sehingga membuat campuran menjadi lebih rapat. Hal ini dikarenakan sifat *pozzolan* pada bauksit membuat bauksit bisa digunakan sebagai bahan tambah mampu mengisi rongga – rongga pada campuran khususnya pada agregat kasar. Sebagaimana dinyatakan oleh Fauziah, dkk (2012) dalam Yudha (2024) bahwa *filler* bauksit yang memiliki sifat *pozzolan* memiliki kesamaan dengan *filler fly ash*, dimana mengandung silika, aluminium, kalsium dan besi, yang apabila ditambahkan dengan aspal membuat daya ikat antar agregat menjadi lebih rapat. Hal ini yang membuat campuran menjadi lebih kaku serta mampu menahan beban yang lebih baik.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Kok dan Kologlu (2011) menyatakan bahwa dengan menggunakan metode bertahap *interlocking* antar agregat terjadi dengan baik sehingga membuat nilai stabilitas meningkat. Demikian juga penelitian sejalan dengan Iqbal dan Fauziah dan Fauziah (2023) dan Firdaus (2023) yang menyatakan bahwa metode bertahap mengalami peningkatan nilai stabilitas, dimana hal ini dikarenakan daya ikat antar agregat terjadi dengan baik sehingga rongga pada campuran semakin kecil dan meningkatkan nilai stabilitas.

2.2. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Flow*.

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.13..



Gambar 5. 13 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Flow*

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.13, Nilai stabilitas pada campuran *Hot Rolled Asphalt* mengalami penurunan pada kadar 0% hingga 50% dan mengalami peningkatan pada 75%. Peningkatan nilai *flow* tersebut membuat campuran aspal menjadi lebih lentur sehingga apabila beban melintas tidak rentan mengalami keretakan. Selain itu mensubstitusi *filler* dengan menggunakan abu bauksit pada campuran *Hot Rolled Asphalt* membuat mampu mengisi rongga – rongga pada agregat sehingga membuat campuran menjadi lebih rapat .

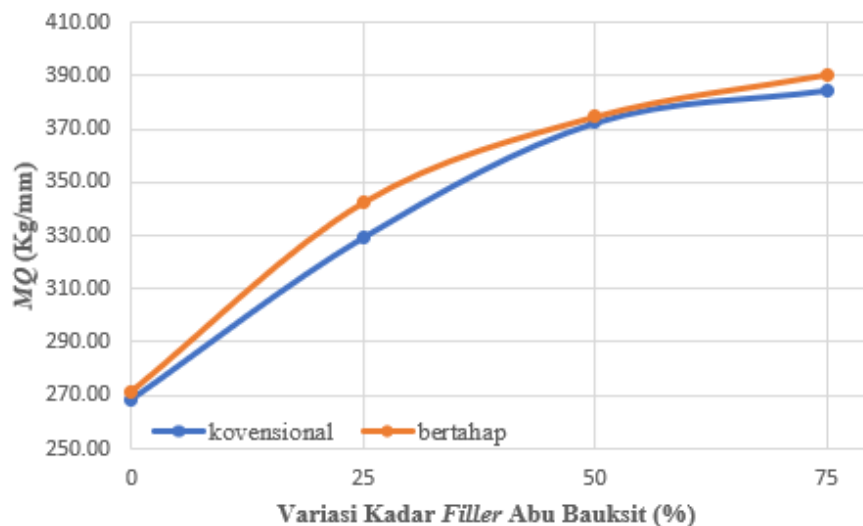
Hal ini di karenakan sifat *pozzolan* pada bauksit membuat bauksit bisa digunakan sebagai bahan tambah mampu mengisi rongga – rongga pada campuran khususnya pada agregat kasar. Sebagaimana dinyatakan oleh fauziah, dkk (2012) dalam yudha (2024) bahwa *filler* bauksit yang memiliki sifat *pozzolan* memiliki kesamaan dengan *filler fly ash*, dimana mengandung silika, alumunium, kalsium dan besi, yang apabila ditambahkan dengan aspal

membuat daya ikat antar agregat menjadi lebih rapat. Hal ini yang membuat campuran menjadi lebih kaku serta mampu menahan beban yang lebih baik.

Pada penelitian yang di lakukan Oleh Kok dan Kologlu (2011) berbanding terbalik dimana kok dan kologlu (2011) menyatakan bahwa dengan menggunakan metode bertahap membuat campuran menjadi lebih kaku dikarenakan daya ikat antar agregat dan aspal meningkat. Namun ini penelitian sejalan dengan Firdaus (2023) yang menyatakan bahwa metode bertahap mengalami peningkatan nilai flow yang membuat campuran menjadi lebih lentur sehingga tidak rentan mengalami deformasi platis.

2.3. Analisis Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Marshall Quotient* (MQ).

Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.14



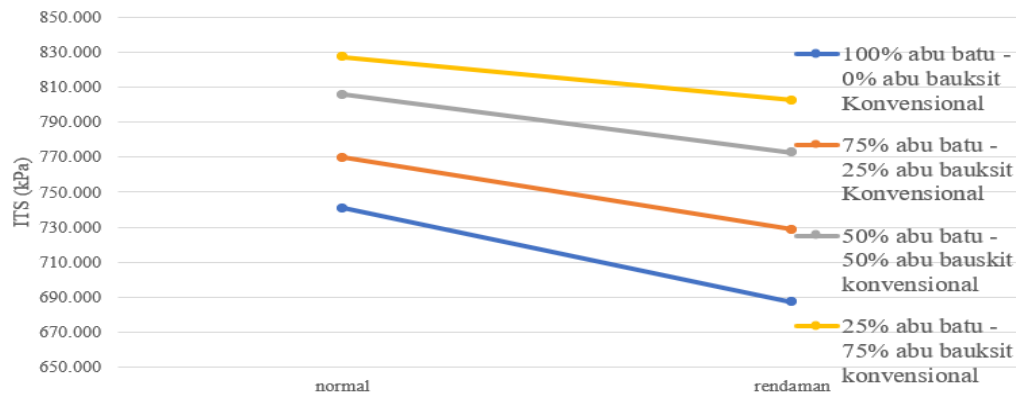
Gambar 5. 14 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

Berdasarkan Grafik perbandingan pada Gambar 5.14, Nilai *Marshall Quotient (MQ)* Pada campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan metode konvensional lebih rendah daripada metode bertahap. Hal yang menyebabkan terjadinya peningkatan nilai *Marshall Quotient (MQ)* pada metode bertahap disebabkan peningkatan pada nilai stabilitas dan *flow* hal ini menyebabkan campuran menjadi lebih kaku dan tahan terhadap deformasi . Selain itu mensubstitusi *filler* dengan menggunakan abu bauksit pada campuran *Hot Rolled Asphalt* membuat mampu mengisi rongga – rongga pada agregat membuat campuran menjadi lebih kaku serta mampu menahan beban yang lebih baik.

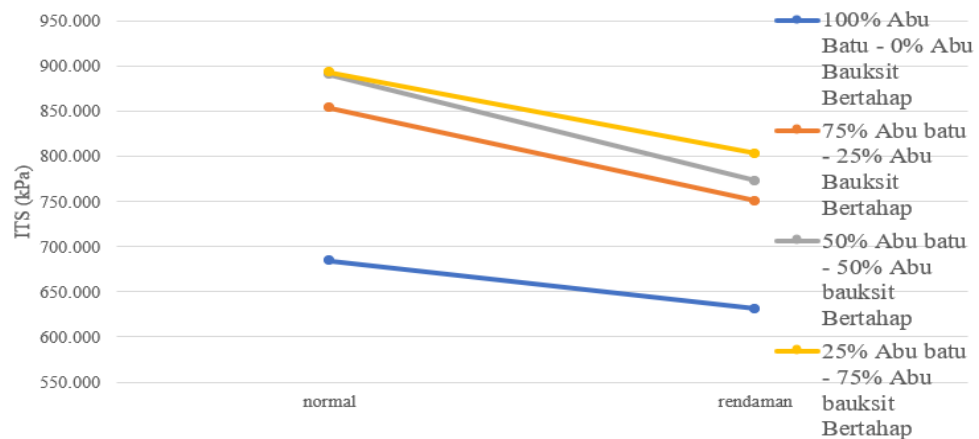
Pada penelitian yang di lakukan Oleh Kok dan Kologlu (2011) menyatakan bahwa dengan menggunakan metode bertahap nilai kekakuan pada campuran menjadi meningkat sehingga membuat campuran menjadi kaku. Penelitian menggunakan abu batu laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia berbanding terbalik dengan Firdaus (2021) dimana Firdaus (2021) menyatakan dengan penggunaan metode bertahap mempengaruhi nilai stabilitas dan *flow* lebih tinggi, sehingga campuran menjadi lebih lentur dan tidak mudah mengalami deformasi plastis. demikian penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah dan Fauziah (2023) dimana Iqbal dan Fauziah dan Fauziah (2023) dengan menggunakan serbuk ban karet sebagai bahan tambah menyatakan dengan menggunakan metode bertahap nilai terhadap *MQ* mengalami peningkatan.

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

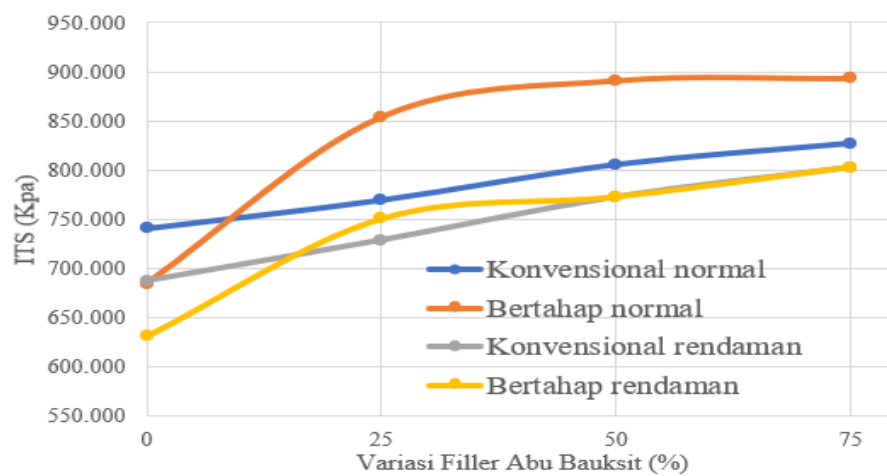
Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.15 hingga Gambar 5.17.



Gambar 5. 15 Perbandingan Nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) Normal dengan rendaman Metode Konvensional.



Gambar 5. 16 Perbandingan Nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) 0,5 Jam dengan 24 Jam Metode Bertahap.



Gambar 5. 17 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS).

Berdasarkan grafik ada Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 Nilai *ITS* setiap kadar substitusi abu bauksit mengalami kenaikan baik metode bertahap maupun metode konvensional seiring lamanya perendaman, Namun metode bertahap memiliki nilai *ITS* yang lebih tinggi daripada nilai *ITS* pada metode konvensional namun pada kadar substitusi 0% bertahap lebih rendah dari pada metode konvensional baik normal maupun rendaman sehingga pada Gambar 5.30 dapat dilihat perbandingan nilai *ITS* dalam masa perendaman normal dan normal mengalami penurunan pada saat lama perendaman rendaman yang disebabkan pada saat proses perendamaan selama rendaman terjadi penurunan pada campuran dimana daya ikat antara agregat dan aspal menjadi berkurang, sehingga campuran menjadi lebih lunak sehingga rawan terjadinya keretakan. Dari grafik juga dapat diketahui metode bertahap mampu mengurangi potensi terjadinya keretakan seiring dengan penambahan substitusi pada campuran. Hasil ini sejalan dengan Iqbal dan Fauziah dan Fauziah (2023) dan firdaus (2023) yang menyatakan bahwa metode bertahap menghasilkan nilai *ITS* yang lebih baik baik dari kondisi lama perendaman normal maupun kondisi perendaman rendaman.

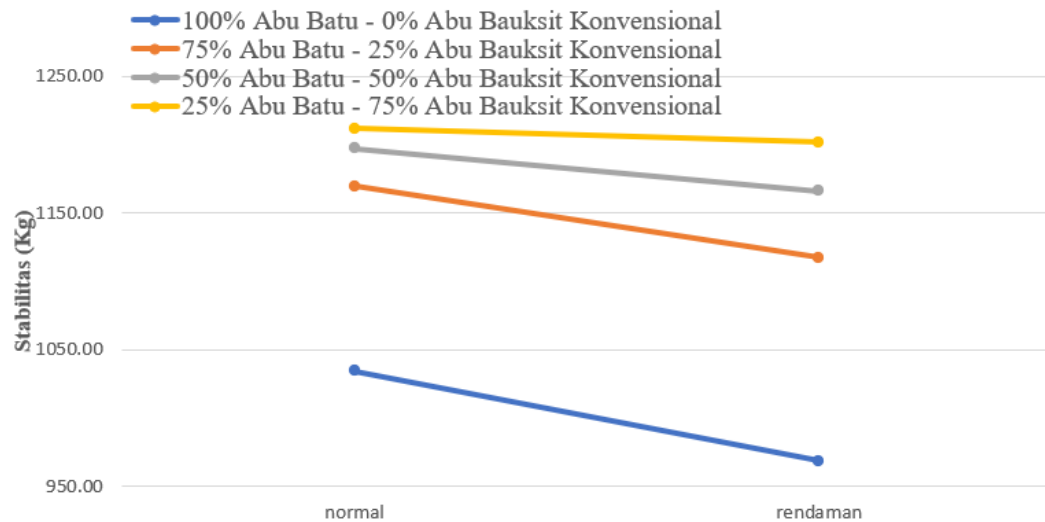
Pada Yudha (2024) menyatakan abu bauksit mampu meningkatkan nilai *ITS* secara signifikan hal ini disebabkan sifat *pozzolan* pada bauksit dimana abu bauksit bisa mengikat agregat dan aspal secara baik. Sedangkan untuk terjadinya penurunan nilai *ITS* pada metode bertahap lebih rendah daripada metode konvensional tidak ada parameter pada penelitian sebelumnya sehingga tidak bisa dibandingkan.

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

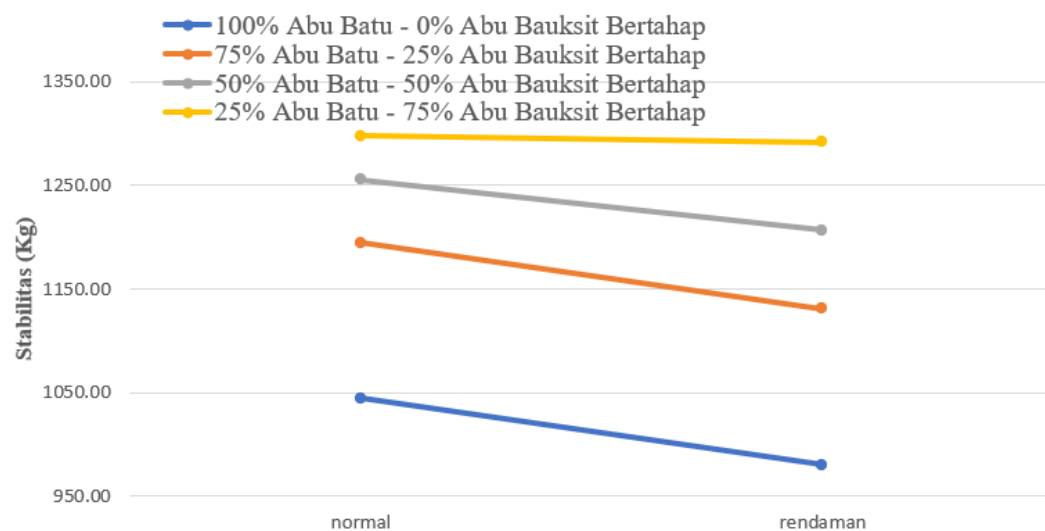
3.1. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Index of Retained Strength (IRS)*.

Nilai *Index of Retained Strength (IRS)* merupakan nilai yang didapatkan dari Perbandingan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 24 jam

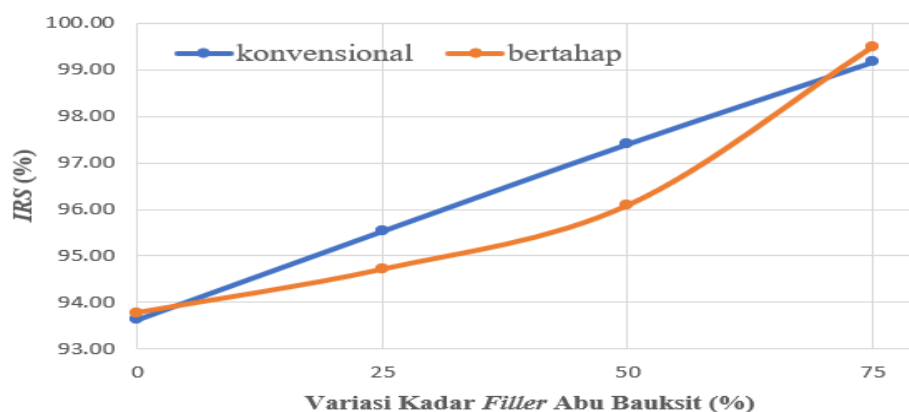
dalam *waterbath* dengan suhu 60°C dengan nilai stabilitas campuran setelah direndam selama 0,5 jam dalam *waterbath* dengan suhu 60°C . Berikut grafik pengaruh variasi substitusi *Filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.18 hingga Gambar 5.19.



Gambar 5. 18 Perbandingan Nilai Stabilitas normal dengan Nilai Stabilitas rendaman Metode Konvensional



Gambar 5. 19 Perbandingan Nilai Stabilitas Normal dengan Nilai Stabilitas rendaman Metode Bertahap



Gambar 5. 20 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai *Index of Retained Strength (IRS)*

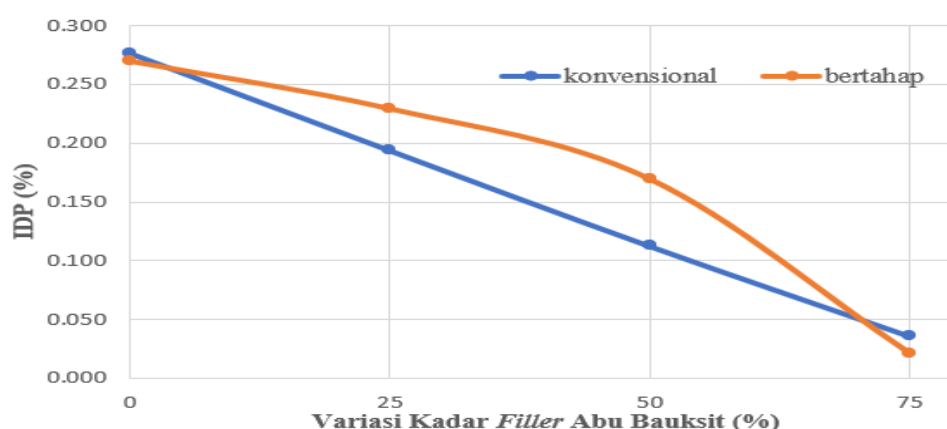
Berdasarkan grafik ada Gambar 5.18 dan Gambar 5.19, Nilai stabilitas setiap kadar substitusi abu bauksit mengalami penurunan baik metode bertahap maupun metode konvensional seiring lamanya perendaman, Namun metode bertahap memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi daripada nilai stabilitas pada metode konvensional hal ini sejalan dengan penelitian Hidayat (2021) dimana hidayat (2021) menyimpulkan metode bertahap mampu melapis agregat lebih baik sehingga selimut aspal pada campuran lebih tebal. Sehingga Berdasarkan Grafik perbandingan pada Gambar 5.20 nilai *Index of Retained Strength (IRS)* pada campuran *Hot Rolled Asphalt* mengalami kenaikan pada kadar abu bauksit 0% dan 75% pada metode bertahap dan mengalami penurunan pada kadar 25% dan 50% sedangkan untuk metode konvensional mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar substitusi abu bauksit. Hal yang menyebabkan kenaikan nilai *IRS* pada campuran bertahan dengan kadar 0% dan 75% dikarenakan pori – pori yang terdapat pada campuran tertutup dengan optimal sehingga meminimalisir terjadinya rongga pada campuran. Demikian hal yang menyebabkan terjadinya penurunan pada kadar 25% dan 50 % dikarenakan terjadinya rongga pada campuran di karenakan agregat tidak terikat dengan baik sehingga terjadi rongga pada campuran. Selain itu mensubstitusi *filler* dengan menggunakan abu bauksit pada campuran *Hot Rolled Asphalt* untuk kadar 75% mampu mengisi rongga – rongga pada agregat sehingga campuran menjadi lebih padat. Sedangkan

untuk kadar 25% dan 50% abu bauksit tidak bisa mengisi rongga secara maksimal sehingga terjadi penurunan nilai *IRS* pada metode bertahap.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023), dan Firdaus (2023) sejalan dimana metode bertahap memiliki nilai *IRS* yang lebih baik seiring peningkatan nilai *IRS*. Pada Yudha (2024) menyatakan abu bauksit mampu meningkatkan nilai *IRS* namun tidak signifikan hal ini disebabkan selaput aspal yang tebal sehingga nilai *IRS* meningkat seiring penambahan kadar substitusi abu bauksit. Sedangkan untuk terjadinya penurunan nilai *IRS* pada metode bertahap lebih rendah daripada metode konvensional tidak ada parameter pada penelitian sebelumnya sehingga tidak bisa dibandingkan.

3.2. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Indeks Durabilitas Pertama.

Indeks Durabilitas Pertama merupakan bagian dari parameter untuk mencari durabilitas pada suatu campuran selain *IRS* dan indeks durabilitas kedua. Berikut grafik pengaruh variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.21.



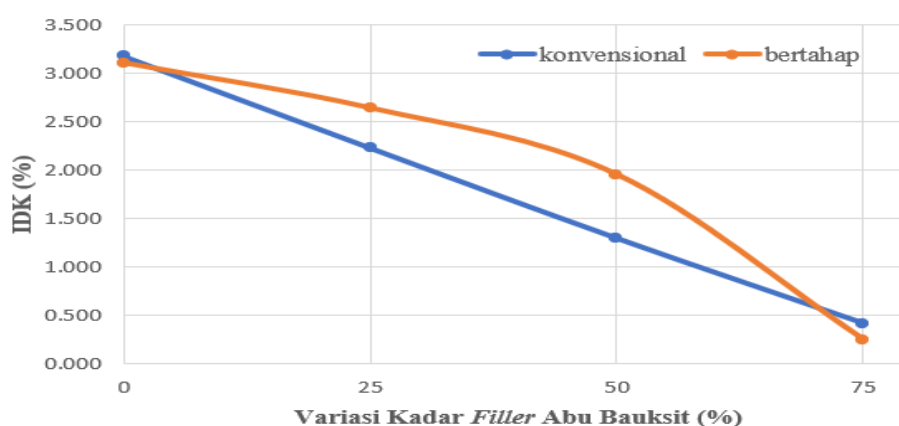
Gambar 5. 21 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Pertama

Berdasarkan grafik ada Gambar 5.21 Nilai IDP setiap kadar substitusi abu bauksit mengalami penurunan baik metode bertahap maupun metode konvensional, Namun nilai IDP pada substitusi abu bauksit pada kadar 0% dan 75% mengalami peningkatan lebih tinggi dari pada kadar abu bauksit 25 % dan 50 %. Hal ini bisa disebabkan karena campuran pada kadar 25% dan 50% tidak bisa menutup rongga lebih baik daripada kadar 0% dan 75% sehingga pori – pori pada campuran cukup besar sehingga air mudah masuk ke dalam campuran. Hal ini menyebabkan campuran menjadi mengalami penurunan durabilitas sehingga rentan terhadap kerusakan. Hal ini berbanding terbalik pada metode konvensional 25% dan 50 % dan metode bertahap pada kadar substitusi abu bauksit 0% dan 75%, dimana pada kadar substitusi 0% dan 75% mengalami peningkatan nilai IDP, hal ini disebabkan campuran memiliki pori – pori lebih sedikit sehingga air tidak mudah masuk ke dalam campuran. Hal ini menyebabkan nilai durabilitas pada campuran meningkat dan tidak rawan terjadinya kerusakan. Hal ini juga berkaitan dengan nilai volumetrik pada campuran mencakup nilai *VITM*, *VMA*, dan *VFWA* dimana nilai – nilai volumetrik pada campuran apabila memenuhi persyaratan minimum membuat campuran menjadi lebih kedap terhadap perubahan suhu maupun kedap terhadap air.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Firdaus (2023) sejalan dimana metode bertahap memiliki nilai IDP yang lebih baik seiring peningkatan nilai IDP. Pada Yudha (2024) menyatakan Substitusi abu bauksit pada campuran mengalami penurunan tidak signifikan hal ini disebabkan selaput aspal yang tebal sehingga nilai IDP menurun seiring penambahan kadar substitusi abu bauksit. Sedangkan untuk terjadinya penurunan nilai IDP pada metode bertahap lebih rendah daripada metode konvensional tidak ada parameter pada penelitian sebelumnya sehingga tidak bisa dibandingkan.

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

Indeks Durabilitas Kedua merupakan bagian dari parameter untuk mencari durabilitas pada suatu campuran selain *IRS* dan indeks durabilitas pertama. Menandakan apabila terjadi penurunan menandakan campuran sedikit kehilangan kekuatan, sebaliknya apabila terjadi kenaikan menandakan banyaknya suatu campuran kehilangan dari segi kekuatan. Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.22.



Gambar 5. 22 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Nilai Indeks Durabilitas Kedua

Berdasarkan grafik ada Gambar 5.22 Nilai IDK setiap kadar substitusi abu bauksit mengalami penurunan baik metode bertahap maupun metode konvensional, Namun nilai IDK pada substitusi abu bauksit pada kadar 0% dan 75% mengalami peningkatan lebih tinggi dari pada kadar abu bauksit 25 % dan 50 %. Hal ini bisa disebabkan karena campuran pada kadar 25% dan 50% tidak bisa menutup rongga lebih baik daripada kadar 0% dan 75% sehingga pori – pori pada campuran cukup besar sehingga air mudah masuk kedalam campuran. Hal ini menyebabkan campuran menjadi mengalami penurunan durabilitas sehingga rentan terhadap kerusakan. Hal ini berbanding terbalik pada metode konvensional 25% dan 50 % dan metode bertahap pada kadar substitusi abu bauksit 0% dan 75%, dimana pada kadar substitusi 0% dan 75% mengalami peningkatan nilai IDK, hal ini disebabkan campuran memiliki pori – pori lebih sedikit sehingga air tidak mudah masuk

ke dalam campuran. Hal ini menyebabkan nilai durabilitas pada campuran meningkat dan tidak rawan terjadinya kerusakan. Hal ini juga berkaitan dengan nilai volumetrik pada campuran mencakup nilai *VITM*, *VMA*, dan *VFWA* dimana nilai – nilai volumetrik pada campuran apabila memenuhi persyaratan minimum membuat campuran menjadi lebih kedap terhadap perubahan suhu maupun kedap terhadap air.

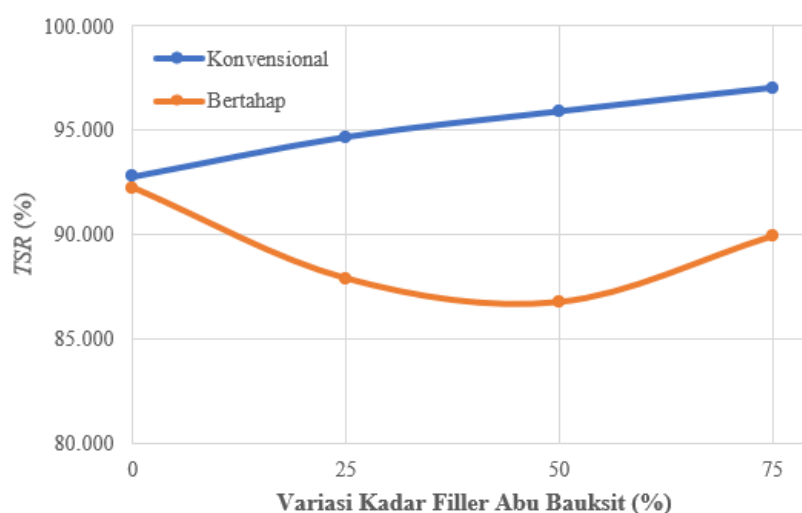
Pada penelitian yang dilakukan oleh Firdaus (2023) sejalan dimana metode bertahap memiliki nilai IDK yang lebih baik seiring peningkatan nilai IDP. Pada Yudha (2024) menyatakan Substitusi abu bauksit pada campuran mengalami penurunan tidak signifikan hal ini disebabkan selaput aspal yang tebal sehingga nilai IDK menurun seiring penambahan kadar substitusi abu bauksit. Sedangkan untuk terjadinya penurunan nilai IDK pada metode bertahap lebih rendah daripada metode konvensional tidak ada parameter pada penelitian sebelumnya sehingga tidak bisa dibandingkan.

3.4. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan Menggunakan Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)*.

Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* merupakan nilai yang didapatkan dari perbandingan nilai *ITS* campuran setelah direndam selama 24 jam dalam *waterbath* dengan suhu 60°C dengan nilai *ITS* campuran setelah direndam selama 0,5 jam dalam *waterbath* dengan suhu 60°C. Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.23.

Berdasarkan Gambar 5.23 terjadi penurunan nilai *TSR* pada metode bertahap daripada metode konvensional. Hal ini disebabkan pada metode bertahap kurang nya nilai indeks penetrasi sehingga menyebabkan nilai pada metode bertahap campuran *Hot Rolled Asphalt* lebih rendah daripada metode bertahap. Hal ini disampaikan oleh Iqbal dan Fauziah (2023) dimana pada saat penambahan serbuk ban karet dengan kadar 2% mengalami peningkatan namun terjadi penurunan pada nilai *TSR* pada kadar ban karet 4% dan 6%. Sehingga penyebab penurunan nya nilai *TSR* pada metode bertahap dapat

disimpulkan bahwa terjadi nya penurunan nilai indeks penetrasi pada campuran sehingga menyebabkan campuran dengan metode bertahap rentan terhadap perubahan suhu.

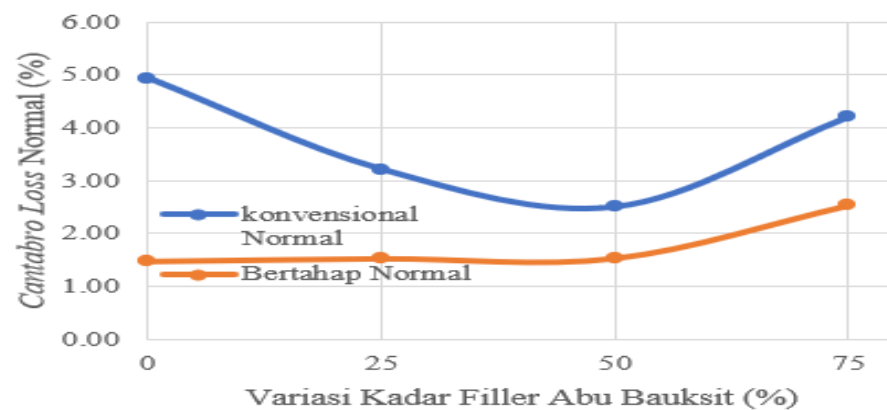


Gambar 5. 23 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Tensile Strength Ratio* (TSR).

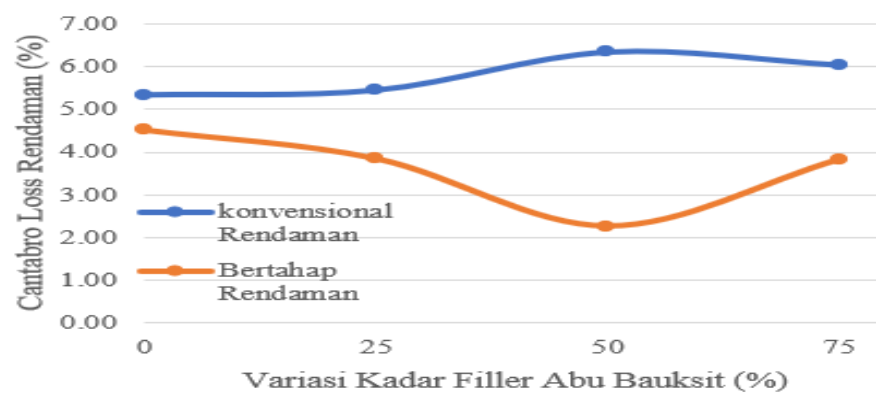
Hal ini berbanding tebalik degan Firdaus (2023), hidayat (2023) dan ichwan (2023) dimana metode bertahap pada campuran mengalami kenaikan hal ini disebabkan metode bertahap mampu mengikat agregat dan aspal dengan baik sehingga rongga pada campuran mengecil sehingga campuran tidak mudah retak jika terkena beban, lebih tahan terhdap perubahan suhu dan lebih kedap terhadap air.

3.5. Pengaruh Variasi Substitusi *Filler* dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap terhadap Nilai *Cantrabro Loss*

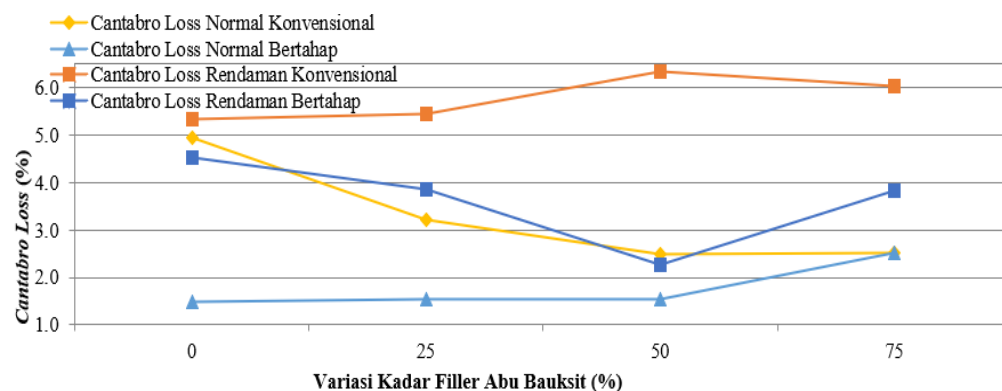
Grafik pengaruh variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan perbandingan metode campuran konvensional dan bertahap dapat dilihat pada Gambar 5.24 hingga Gambar 5.27.



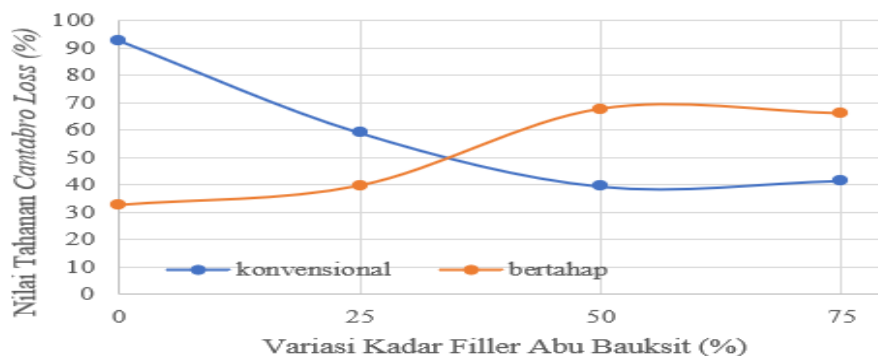
Gambar 5. 24 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantabro Loss Normal*



Gambar 5. 25 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantabro Loss Rendaman*



Gambar 5. 26 Rekapitulasi Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai *Cantabro Loss*



Gambar 5. 27 Perbandingan Metode Campuran Konvensional dan Bertahap terhadap Nilai Tahanan *Cantabro Loss*

Pada Gambar 5.24 hingga 5.27 Nilai *cantabro loss* pada metode bertahap lebih rendah daripada pada metode konvensional. Hal ini membuat metode bertahap mampu menahan beban akibat keausan, dimana metode bertahap mampu mengunci agregat dan aspal dengan baik sehingga apabila terjadi benturan campuran masih tetap dalam kondisi awal. Dengan menggunakan substitusi *filler* berupa abu bauksit terjadi penurunan baik metode bertahap maupun konvensional hal ini disebabkan abu bauksit mampu mengikat agregat dan aspal sehingga campuran menjadi lebih padat. Hal ini sejalan dengan penelitian Yudha (2024) dimana pada penelitian ini disebutkan bahwa abu bauksit memiliki sifat *pozzolan* dimana mampu mengikat agregat dan aspal lebih baik sehingga campuran lebih padat dan tahan terhadap benturan.

Hal ini sejalan dengan Iqbal dan Fauziah (2023), Firdaus(2023) , Hidayat (2023) dan Ichwan (2023) dimana metode bertahap menghasilkan nilai *cantabro loss* yang rendah sehingga menghasilkan campuran memiliki kemampuan mempertahankan ikatan antar agregat dan aspal sehingga membuat campuran tidak rentan terjadinya disintegrasi.

5.3 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Abu Bauksit Dengan Menggunakan Metode Bertahap Dan Metode Konvensional

Rekapitulasi hasil pengujian substitusi *filler* abu bauksit dengan menggunakan metode bertahap dan metode konvensional dapat dilihat pada tabel 5.15.

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Abu Bauskit dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Kekuatan	Stabilitas konvensional (kg)	1034,39	1169,46	1197,30	1211,88	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat peningkatan nilai Stabilitas pada campuran sehingga membuat campuran semakin padat dan tahan terhadap deformasi .
	Stabilitas Bertahap (kg)	1044,62	1194,28	1255,88	1297,98	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat peningkatan nilai Stabilitas pada campuran sehingga membuat campuran semakin padat dan tahan terhadap deformasi.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Kekuatan	<i>Flow</i> Konvensional (mm)	3,87	3,57	3,23	3,15	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan nilai <i>flow</i> pada campuran sehingga membuat campuran menjadi lebih padat dan kaku.
	<i>Flow</i> Bertahap (mm)	3,85	3,50	3,35	3,33	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan nilai <i>flow</i> pada campuran sehingga membuat campuran menjadi lebih padat dan kaku.
	<i>MQ</i> Konvensional (Kg/mm)	268,16	329,18	372,43	384,67	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat peningkatan nilai <i>MQ</i> pada campuran sehingga membuat campuran semakin padat dan tahan terhadap deformasi.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Abu Bauksit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Kekuatan	<i>MQ</i> Bertahap (Kg/mm)	271,33	342,32	374,64	390,42	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat peningkatan nilai <i>MQ</i> pada campuran sehingga membuat campuran semakin padat dan tahan terhadap deformasi.
	<i>ITS</i> Konvensional (kPa)	336,064	349,109	365,459	375,224	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat peningkatan nilai <i>ITS</i> substitusi pada campuran sehingga membuat campuran semakin padat dan tahan terhadap keretakan.
	<i>ITS</i> Bertahap (kPa)	310,385	387,360	404,056	405,096	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat peningkatan nilai <i>ITS</i> pada campuran sehingga membuat campuran semakin padat dan tahan terhadap keretakan.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Volumetrik campuran	<i>VITM</i> Konvensional (%)	4,18	3,79	3,50	3,32	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat Penurunan nilai <i>VITM</i> pada campuran hal ini membuat rongga pada campuran mengecil sehingga lebih padat dan kedap terhadap air
	<i>VITM</i> Konvensional (%)	3,94	3,76	3,41	3,27	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat Penurunan nilai <i>VITM</i> pada campuran hal ini membuat rongga pada campuran mengecil sehingga lebih padat dan kedap terhadap air.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Volumetrik campuran	VMA Konvensional (%)	20,02	19,69	19,45	19,29	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan nilai VMA pada campuran hal ini membuat jarak antar agregat lebih kecil sehingga campuran lebih padat.
	VMA bertahap (%)	19,82	19,67	19,37	19,25	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan nilai VMA pada campuran hal ini membuat jarak antar agregat lebih kecil sehingga campuran lebih padat.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Volumetrik campuran	VFWA Konvensional (%)	79,11	80,81	82,00	82,79	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat kenaikan nilai VFWA pada campuran hal ini membuat jarak antar agregat lebih kecil sehingga aspal mampu mengisi rongga – rongga secara optimal.
	VFWA Bertahap (%)	80,17	80,91	82,41	83,02	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat kenaikan nilai VFWA pada campuran hal ini membuat jarak antar agregat lebih kecil sehingga aspal mampu mengisi rongga – rongga secara optimal.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Durabilitas campuran	<i>IRS</i> Konvensional (%)	93,64	95,54	97,41	99,17	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat kenaikan nilai <i>IRS</i> pada campuran hal ini membuat campuran menjadi lebih awet apabila terjadi perubahan suhu.
	<i>IRS</i> Bertahap (%)	93,78	94,74	96,09	99,50	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat kenaikan nilai <i>IRS</i> pada campuran hal ini membuat campuran menjadi lebih awet apabila terjadi perubahan suhu.
	IDP Konvensional (%)	0,277	0,194	0,113	0,036	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan nilai IDP pada campuran hal ini membuat campuran mampu mempertahankan ikatan antar aspal dan agregat.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Durabilitas campuran	IDP Bertahap (%)	0,270	0,230	0,170	0,022	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan nilai IDP pada campuran hal ini membuat campuran mampu mempertahankan ikatan antar aspal dan agregat.
	IDK Konvensional (%)	3,181	2,230	1,296	0,416	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan nilai IDP pada campuran hal ini membuat campuran mampu mempertahankan ikatan antar aspal dan agregat.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Durabilitas campuran	IDK Bertahap (%)	3,108	2,641	1,954	0.249	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan nilai IDP pada campuran hal ini membuat campuran mampu mempertahankan ikatan antar aspal dan agregat.
	<i>TSR</i> Konvensional (%)	92,771	94,663	95,882	97,009	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat kenaikan nilai <i>TSR</i> pada campuran hal ini membuat campuran menjadi lebih awet apabila terjadi perubahan suhu.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Durabilitas campuran	<i>TSR</i> Bertahap (%)	92,239	87,881	86,745	89,908	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan lalu terjadi kenaikan nilai <i>TSR</i> pada 75% dimana nilai <i>TSR</i> pada campuran hal ini membuat campuran menjadi lebih kaku akan tetapi lebih awet apabila terjadi perubahan suhu.
	<i>Cantabro Loss</i> Konvensional Normal (%)	4,94	3,22	2,50	4,21	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan lalu mengalami kenaikan pada 75 % nilai <i>CL</i> pada campuran hal ini membuat campuran mampu bertahan apabila terjadi benturan.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Subtitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Subtitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Durabilitas campuran	<i>Cantabro Loss</i> Bertahap Normal (%)	1,48	1,53	1,54	2,53	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan lalu mengalami kenaikan pada 75% nilai <i>CL</i> pada campuran hal ini membuat campuran mampu bertahan apabila terjadi benturan.
	<i>Cantabro Loss</i> Konvensional Rendaman (%)	5,34	5,45	6,35	6,04	Semakin besar nilai subtitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan lalu mengalami kenaikan pada 50% dan 75 % nilai <i>CL</i> pada campuran hal ini membuat campuran mampu bertahan apabila terjadi benturan.

Lanjutan Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Substitusi *Filler* Abu Bauskit Dengan Menggunakan Metode Bertahap dan Metode Konvensional

Tinjauan	Parameter	Substitusi <i>Filler</i> Abu Bauksit %				Keterangan
		0%	25%	50%	75%	
Tinjauan Segi Durabilitas campuran	<i>Cantabro Loss</i> Bertahap Rendaman (%)	4,52	3,85	2,27	3,83	Semakin besar nilai substitusi <i>filler</i> abu bauksit membuat penurunan nilai <i>CL</i> pada campuran hal ini membuat campuran mampu bertahan apabila terjadi benturan.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan perbandingan metode Pencampuran konvensional dan bertahap dan variasi substitusi *filler* abu bauksit dengan kadar 0%, 25%, 50%, 75% adalah sebagai berikut.

1. Penggunaan metode bertahap dengan substitusi *filler* abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, Berdasarkan nilai di atas pada parameter kekuatan penggunaan metode bertahap dengan substitusi *filler* abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap kekuatan campuran daripada metode konvensional, hal ini ditunjukkan dengan nilai Stabilitas, *flow*, *MQ* dan *ITS* lebih tinggi daripada metode konvensional. Hal ini membuat campuran mampu menahan beban lebih baik, kaku dan tidak mudah mengalami keretakan.
2. Penggunaan metode bertahap dengan substitusi *filler* abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap volumetrik campuran daripada metode konvensional, dimana untuk nilai volumetrik bertahap jauh lebih kecil daripada metode konvensional, dikarenakan mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, Berdasarkan nilai - nilai di atas dari segi parameter volumetrik campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan menggunakan bahan substitusi berupa abu bauksit pada metode bertahap mampu mengisi rongga dengan baik sehingga rongga menjadi lebih kecil, selain itu aspal mampu mengisi rongga – rongga pada campuran dengan lebih optimal daripada metode konvensional.
3. Penggunaan metode bertahap dengan substitusi *filler* abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap durabilitas campuran daripada metode konvensional,. Berdasarkan nilai di atas Pada parameter durabilitas penggunaan metode bertahap dengan substitusi *filler* abu bauksit berpengaruh lebih baik terhadap

durabilitas campuran daripada metode konvensional, Hal ini ditunjukkan dengan nilai pada pengujian durabilitas pada metode bertahap lebih baik daripada metode konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa campuran mampu memiliki ketahanan terhadap perubahan suhu maupun cuaca dengan lebih baik serta tahan terhadap keausan. Namun mengalami penurunan pada nilai *TSR* pada metode bertahap hal ini disebabkan nilai indeks penetrasi pada campuran menyebabkan campuran dengan metode bertahap rentan terhadap perubahan suhu.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian perbandingan metode bertahap dan konvensional menggunakan substitusi *filler* berupa abu bauksit, maka penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya. Adapun sarannya sebagai berikut.

1. Adanya pengujian terhadap kandungan senyawa dan analisis ukuran butiran dari *filler* abu bauksit untuk mengetahui pengaruh reaksi senyawa ketika dicampur dengan campuran *Hot rolled Asphalt*.
2. Adapun penggunaan abu bauksit mampu menggantikan abu batu pada campuran, dikarenakan mampu menghasilkan kekuatan dan durabilitas yang lebih baik.
3. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terkait penggunaan abu bauksit sebagai substitusi *filler* pada campuran lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya R. 2021. Pengaruh Pemanfaatan Tras Sebagai Bahan Pengisi Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ator P.I. 2015. Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Lapis Aspal Beton-Lapis Antara Bergradasi Halus. *Jurnal Teknik Sipil*. Sulawesi Utara. 12 Desember 2015: Volume 3 No.12, 813-820.
- Bina Marga. 2020. *Pesyaratan Spesifikasi Agregat Halus*. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Bina Marga. 2020. *Pesyaratan Spesifikasi Agregat Kasar*. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Bina Marga. 2020. *Pesyaratan Spesifikasi Aspal Keras AC 60/70*. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- Bina Marga. 2020. *Ketentuan Sifat – Sifat Campuran Lataston (Lapis Aus)*. Penerbit Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- BS, 2005, *British Standard (BS). 594: Hot Rolled Asphalt for Roads and Other Paved Areas, Part I: Specification for Constituent Material Mixtures, 2nd Edition, British Standard Institution, London*.
- Fauziah, M. 2020. Metode pencampuran bertahap untuk mendukung Perkerasan yang hijau dan lestari. *Civil Engineering, Environment and Disaster Risk Management Symposium 2020*, Universitas Islam Indonesia
- Firdaus, M. 2021. Perbandingan Metode Pencampuran Konvensional Dan Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Kinerja Hot Rolled Asphalt (Hra) (*Comparison Of Conventional Mixing Methods And Two-Phase Mixing Methods On The Pavement Of Hot Rolled Asphalt (Hra)*). Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Fauziah, M, Abdul Hadi, dan Sukamto, (2023). Pengaruh Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik AC-BC, *Split Mastic Asphalt*, dan *Hot Rolled Asphalt*. Laporan Penelitian Jurusan Teknik Sipil. Universitas Islam Indonesia
- Hamzah R.A. 2016. Pengaruh Variasi Kandungan Bahan Pengisi Terhadap Kriteria Marshall Pada Campuran Beraspal Panas Jenis Lapis Tipis Aspal Beton – Lapis Aus Gradasi Senjang Vol.4, No.7, 447-452.
- Hesami, E., Birgisson, B., & Kringos, N. 2014. A new protocol for measuring bituminous mastic viscosity as a function of its filler concentration. *Road Materials and Pavement Design*

- Hasemi E.dkk. 2015. Effect of mixing sequence on the workability and performance of asphalt mixtures. *Journal Road Materials and Pavement Design Vol. 16*. University of Nebraska. Lincoln.
- Hidayat E.T. 2018. Pengaruh Abu Sekam Padi Sebagai *Filler* Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt (SMA). *Tugas Akhir*.(Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Hidayat I. M. 2021. Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt Dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 Dan Aspal *Crumb Rubber*. *Tugas Akhir*.(Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ichwan, M. 2023. Perbandingan Kinerja Campuran Ac – Bc Dengan Metode Pencampuran Konvensional Dan Metode Pencampuran Dua Tahap (Comparison Of Ac - Bc Mixture Performance Using Conventional Mixing Method And Two-Stage Mixing Methods) *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Iqbal dan Fauziah, M . 2023. Studi Eksperimental Penggunaan Bahan Tambah limbah Ban Karet dengan Metode Pencampuran Bertahap terhadap Kinerja Campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course*. *TEKNIK*, 44 (2), 2023, 168. Yogyakarta.
- Kiselev, A., Zhang, H., & Liu, Z. , 2021, The effect of two-phase mixing on the functional and mechanical properties of TPS/SBS-modified porous asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 270, 121841. Jacobsson, T., 2009, VVKB Flödesblandad asfalt av typ KGO-III. Stockholm: Swedish Transport Administration.
- Kok, B.K. dan Kologlu, N. 2011. *Effects of Two-Phase Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt*. *Journal Road Materials and Pavement Design*. 12:4, 721-738. Civil Engineering Department Elazig. Firat University. Turkey.
- Tolab, L.Z. dan Fauziah, M. 2024. *The Effect of Geothermal Waste as Filler Substitution on Stone Matrix Asphalt (SMA) Characteristics*. Vol. 18 No. 3. Jurnal Rekayasa Sipil.
- Lianasari, A.E. 2013. Potensi Batu Bauksit Pulau Bintan Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Beton. *Jurnal Teknik Sipil*. Yogyakarta. 3 Oktober 2013:Volume 12, No.3, 155-160.
- Mentari. 2023. Pengaruh Bahan Additive Karet Alam Terhadap Durabilitas Aspal Porus Dengan Metode Pencampuran Bertahap Dibandingkan Dengan Pencampuran Konvensional. *Tesis*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Nugraha F. A. 2018 Karakteristik Marshall Pada *Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)* Dengan Menggunakan *filler* Limbah Beton. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

- Nugroho A. 2018 Perbandingan Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* Berbahan Ikut Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Starbit E-55 Dengan Substitusi *Filler* Abu Ampas Tebu. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Pramesti Y. dan Riyanto A. 2022. Pemanfaatan Limbah Plastik Dengan Teknologi Daur Ulang Pada *Hot Rolled Asphalt* Ditinjau Dari Aspek Properties Marshall, Nilai Ketidakrataan, Dan Durabilitas. *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*. Surakarta. 1 Juli 2021. Volume 15, Nomer 1.
- Pratama B. A. dan Fauziah M. 2017 . Perbandingan Kinerja Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* Dengan Bahan Ikut Aspal Pen 60/70 Dan Aspal Retona Blend 55 Dengan Variasi Durasi Rendaman Air Laut. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rabihati.dkk. 2020. Pemanfaatan Limbah Bauksit (*Tailing Bauxite*) Sebagai Bahan Pengganti Agregat Halus Terhadap Kuat Tekan, Kuat Tarik Belah, Dan Modulus Elastisitas Pada Beton (*Utilization Of Bauxite (Bauxite Tailing) As A Substitute For Fine Aggregate To The Strength Of Split Tensile Strength And Modulus Of Elasticity In Concrete*) Vol. 1, No1. Jurnal Rekayasa Teknik Sipil.
- Oktavian, R. 2024. Pengaruh Limbah Serbuk Besi Sebagai Material Pengganti Filler Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt (*Effect Of Iron Powdering Waste As Filler Substitute Material On The Characteristics Of Stone Matrix Asphalt Mixture*). *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Penetrasi Aspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 1997. *Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. *Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Beraspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji 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. 2016. *Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Sukirman, S. 2016. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Viman, L., Wendel, M., & Said, S., 2008, *Long-term. performance of flow mixing technique*, Proceedings of the 4th EurAsphalt and EuroBitume Congress, Copenhagen.
- Yudha, H. N. 2024. 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*). Tugas Akhir.(Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Zhang, F dan poh,L.H. 2021. *Effect of bauxite aggregate in cement composites on mechanical properties and resistance against high-velocity projectile impact. Department of Civil and Environmental Engineering, National University of Singapore, 1 Engineering Drive 2, 117576, Singapore*. 2021.
- Zulkhairi 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. Kalurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3290, 3291
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

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

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



Mengetahui
Kalah. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Atthaulloh
NIK : 20 511 177

Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

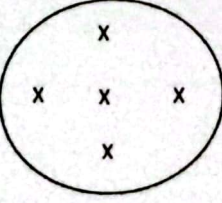
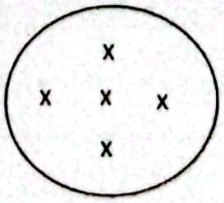
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

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

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

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

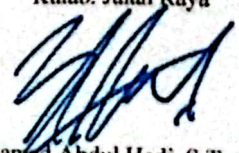
HASIL PENGAMATAN

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

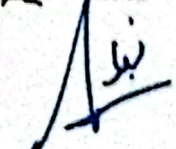
Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
IPM, ASEAN Eng.
Yogyakarta : 01 511 0101



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


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

Yogyakarta, 2024
Peneliti


Muhammad Nabil Atthaulloh
NIM : 20 511 177



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

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

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

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

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

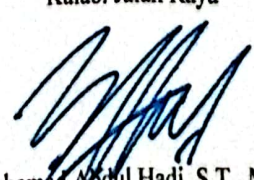
HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	290 °C	310 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	290 °C	310 °C	

Disahkan Oleh
Ket. Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya


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

Yogyakarta, 2024
 Peneliti


Muhammad Nabil Atthaulloh
NIM : 20 511 177

4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

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

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

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	525 detik	527 detik	48°C	48°C
11	55 °C				
12	60 °C				

Disahkan Oleh
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Eng. IPM ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Anthoniall
NIM : 20 511 177



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

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

Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

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



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Atthaullah
NIM : 20 511 177



Aspal dan Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

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

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

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20 WIB	28 °C
		Selesai	13.30 WIB	28 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30 WIB	28 °C
3	Pelarutan	Mulai	13.40 WIB	28 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45 WIB	28 °C
		Selesai	14.15 WIB	28 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15 WIB	130 °C
6	Peminangan	Mulai	14.30 WIB	28 °C

Hasil pemeriksaan

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

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Muhammad Nabil Anshullah
NIM : 20 511 177

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Anshullah
NIM : 20 511 177

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 : 2024

No	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1611,11		1611,11
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1009,00		1009,00
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1582,35		1582,35
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,628		2,628
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,676		2,676
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,760		2,760
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,818		1,818
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,694		2,694



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Atthaulloh
NIM : 20 511 177



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

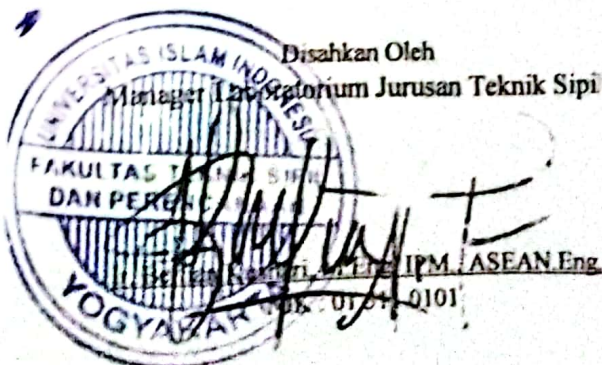
- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

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%	



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Atthaullah
NIM : 20 511 177

Penelitian 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77, SNI 2417 : 2008

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

	Jenis Gradasi		B		Keterangan
	Saringan		Benda Uji (gram)		
	Lolos	Tertahan	1	2	
1	75 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")	9.5 mm (3/8")	2500,00		
8	9.5 mm (3/8")	6.3 mm (1/4")			
9	6.3 mm (1/4")	4.75 mm (No.4)			
10	4.75 mm (No.4)	2.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	4669,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4669,00	3754,00	
13	KEAUSAN $100x = \frac{(A - B)}{A} \times 100\%$		6,620	19,597	
14	Rata-rata Keausan (%)		13,11		

Disahkan Oleh

Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Mengetahui

Kalab. Jalan Raya

Yogyakarta, 2024

Peneliti

Muhammad Nabil Arthaulillah
NIM : 20 511 177

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



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 : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,00	500,00	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	709,88	692,44	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1011,43	996,67	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	498,14	497,98	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,510	2,544	2,527
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,520	2,554	2,537
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,534	2,570	2,552
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	0,374	0,406	0,390
9	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu})/2$	2,522	2,557	2,539



Mengetahui
Kalah Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Atthaullah
NIM : 20 511 177



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalirating km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3250, 3261
F. (0274) 895336
E. dekanat.fkip@uii.ac.id
W. fkip.uii.ac.id

Lampiran 11 Pemeriksaan Sand Equivalent

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

RUJUKAN : SNI 3423-2008

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

No.	Keterangan		Benda uji		Rata-rata
			1	2	
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl_2 selama (± 10.1 menit).	Mulai	15.40	15.40	
		Selesai	15.50	15.50	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan CaCl_2)	Mulai	15.55	15.55	
		Selesai	16.15	16.15	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,80	3,70	3,75
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		3,50	3,50	3,50
6	$\text{Sand Equivalent} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100 \%$		92,11	94,59	93,35
7	Kandungan Lumpur = $100 - \text{SE}$		7,89	5,41	6,65



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024

Peneliti
Muhammad Nabil Atthaullah
NIM : 20 511 177



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Hattar
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalurahan 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 : 2024

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



Mengetahui
Ket. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti,

Muhammad Nabil Atthaullah
NIM : 20 511 420 NIM : 20 511 1

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 13 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Bauksit*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* BAUKSIT

RUJUKAN : SNI 2441-2011

- 1 Jenis Material : *Filler Bauksit*
- 2 Sumber Material : Clereng
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,39	23,39	
2	Berat Vicnometer + Air gr	40,36	40,48	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	16,97	17,09	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	28,39	28,39	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	5,000	5,000	5,00
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	43,340	43,520	43,43
7	Berat Aquadest (6-4) gr	14,950	15,130	15,04
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	2,020	1,960	1,99
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	2,475	2,551	2,513



Mengetahui
Kalah Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Athaullah
NIM : 20 511 420 NIM : 20 511 11



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

Tanggal Pengujian : AGUSTUS 2024
Tipe Campuran : Hot Rolled Asphalt

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VTM (%)	o	p Kalibrasi Proving Ring	q	Koreksi Tebal	r Stab (kg)	s Flow (mm)	t MQ
0%	62,76	8,11	7,50	1187,52	1189,65	655,64	534,01	2,224	2,315	15,876	80,166	3,958	19,83	80,045	3,96	70	14,79108	1035,38	1,9209	1056,08	3,70	285,43
0%	62,67	8,11	7,50	1185,43	1187,57	652,12	535,45	2,214	2,315	15,806	79,809	4,185	20,19	78,283	4,38	68	14,79108	1065,79	1,9208	1026,75	3,80	276,20
0%	61,73	8,11	7,50	1171,34	1175,66	647,53	528,13	2,218	2,315	15,834	79,954	4,212	20,05	78,990	4,21	66	14,79108	976,21	1,9452	1020,34	4,10	248,86
								2,219					20,02	79,11	4,18					1034,39	3,87	268,16
25%	64,47	8,11	7,50	1191,35	1197,79	659,02	538,77	2,211	2,315	15,787	79,735	4,478	20,27	77,901	4,48	84	14,53044	1220,56	0,9757	1190,86	3,75	317,56
25%	64,27	8,11	7,50	1195,05	1198,36	662,66	535,76	2,231	2,315	15,927	80,441	3,633	19,56	81,428	3,63	78	14,53044	1133,37	0,9808	1111,65	3,65	304,56
25%	64,45	8,11	7,50	1192,07	1197,21	664,94	532,27	2,240	2,315	15,989	80,757	3,253	19,24	83,093	3,25	85	14,53044	1215,09	0,9763	1205,86	3,39	365,41
								2,227					19,69	80,81	3,79					1169,46	3,57	329,18
50%	63,44	8,11	7,50	1191,44	1196,57	661,50	535,07	2,227	2,314	15,897	80,313	3,789	19,69	80,751	3,79	88	14,53044	1278,58	1,0016	1280,70	3,55	366,76
50% *	65,67	8,11	7,50	1187,24	1194,39	665,59	529,80	2,241	2,314	15,999	80,826	3,175	19,17	83,441	3,18	95	14,53044	1380,39	0,9473	1319,42	3,80	344,85
50%	65,19	8,11	7,50	1189,69	1194,78	663,92	530,86	2,240	2,314	15,992	80,790	3,218	19,21	83,249	3,22	80	14,53044	1162,44	0,9483	1113,60	2,90	384,16
								2,236					19,45	83,00	3,50					1197,80	1,53	373,43
75% *	65,24	8,11	7,50	1182,66	1186,89	662,47	528,62	2,255	2,314	16,101	81,362	2,518	18,64	86,385	2,54	100	14,53044	1453,04	0,9557	1391,07	3,45	463,19
75%	68,12	8,11	7,50	1194,51	1201,16	666,67	534,83	2,235	2,314	15,957	80,638	3,405	19,36	82,415	3,40	92	14,53044	1336,80	0,884	1182,79	3,10	381,38
75%	64,04	8,11	7,50	1205,55	1209,48	671,95	538,83	2,259	2,314	15,985	80,778	3,236	19,22	83,163	3,24	90	14,53044	1394,92	0,8900	1241,48	3,20	387,64
								2,243					19,29	82,79	3,32					1211,84	3,18	388,87



Dibuatkan Oleh
Muhammad Ridwan Fauzan
Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil
M. Ridwan Fauzan 202401101111111

Mengetahui
Kalah, 20 September 2024

Muhammad Ridwan Fauzan

Muhammad Ridwan Fauzan, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Muhammad Ridwan Fauzan

NIK : 20 511 177

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

Tanggal Pengujian : AGUSTUS 2024
Tipe Campuran : Hot Rolled Asphalt

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o	p Kalibrasi Proving Ring	q	r Koreksi Tebal	s Stab. (kg)	t Flow (mm)	u MQ
0%	61.03	8.11	7.50	1181.66	1184.74	656.02	528.72	2.235	2.315	15.956	80.568	3.476	19.43	82.114	3.48	74	14.79108	1094.54	1.0118	1107.40	4.00	276.8
0%	65.02	8.11	7.50	1175.80	1179.27	646.01	533.26	2.205	2.315	15.742	79.486	4.772	20.51	76.738	4.77	72	14.79108	1064.96	0.9620	1024.49	3.70	276.8
0%	64.23	8.11	7.50	1182.05	1184.71	655.23	529.48	2.232	2.315	15.939	80.479	3.582	19.52	81.649	3.58	69	14.79108	1020.38	0.9818	1001.96	3.85	260.2
25%	61.50	8.11	7.50	1166.99	1170.54	647.29	523.25	2.230	2.315	15.923	80.400	3.677	19.60	81.238	3.68	82	14.53044	1191.50	1.0525	1254.05	3.55	351.2
25%	61.25	8.11	7.50	1196.25	1197.99	659.16	538.83	2.220	2.315	15.850	80.033	4.117	19.97	79.380	4.12	84	14.53044	1220.56	1.0662	1228.08	3.30	372.1
25%	64.65	8.11	7.50	1196.26	1197.67	662.40	535.27	2.235	2.315	15.956	80.566	3.479	19.43	82.100	3.48	78	14.53044	1133.37	0.9712	1100.70	3.65	301.5
50%	60.95	8.11	7.50	1188.70	1194.92	664.12	530.80	2.239	2.314	15.988	80.773	3.239	19.23	83.156	3.24	96	14.53044	1394.92	0.9469	1320.82	3.45	382.8
50% *	0.97	8.11	7.50	1186.13	1192.24	663.48	528.76	2.243	2.314	16.015	80.909	3.075	19.09	83.891	3.08	87	14.53044	1264.15	0.9673	1222.75	3.50	349.3
50%	0.96	8.11	7.50	1187.64	1193.61	661.43	532.18	2.232	2.314	15.933	80.492	3.576	19.51	81.672	3.58	85	14.53044	1235.09	0.9643	1190.93	3.25	366.4
75%	63.37	8.11	7.50	1182.98	1186.61	660.79	525.82	2.250	2.314	16.062	81.167	2.771	18.83	85.287	2.77	92	14.53044	1336.80	1.003	1341.15	3.25	412.66
75%	62.82	8.11	7.50	1175.35	1179.97	654.01	525.96	2.235	2.314	15.954	80.622	3.424	19.38	82.332	3.42	87	14.53044	1264.15	1.017	1285.53	3.35	383.74
75%	62.51	8.11	7.50	1178.48	1184.53	658.85	525.68	2.242	2.314	16.005	80.880	3.115	19.12	83.709	3.11	88	14.53044	1278.68	1.025	1310.43	3.30	397.18
								2.242		19.25				83.02	3.27					1297.98	3.33	390.42

Yogyakarta, November 2024
Pencili

Muhammad Nabih Atthaulah
NIM : 20 511 177

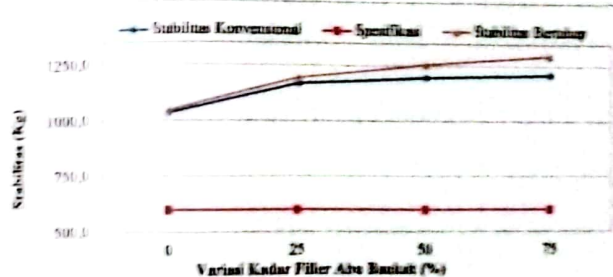
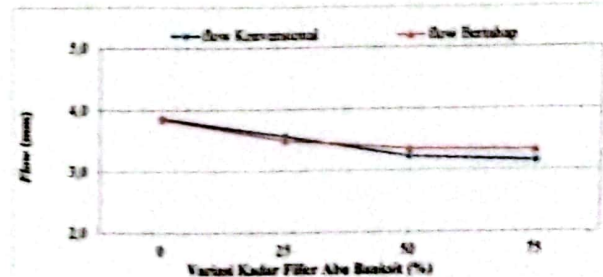
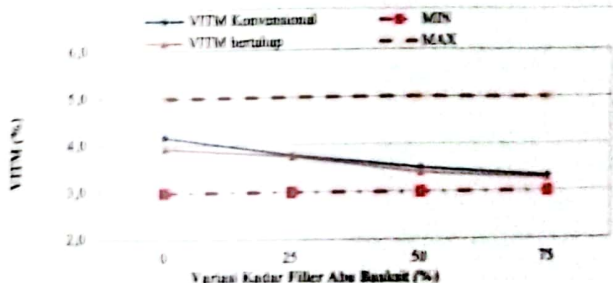
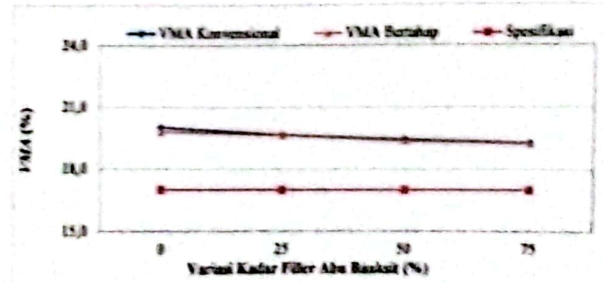
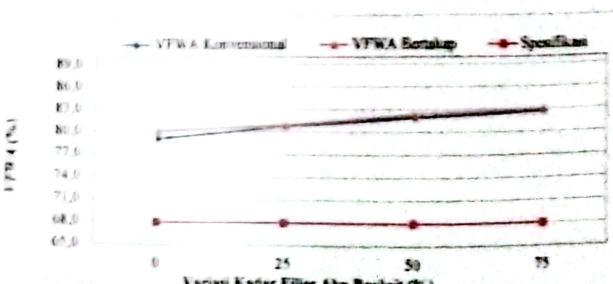
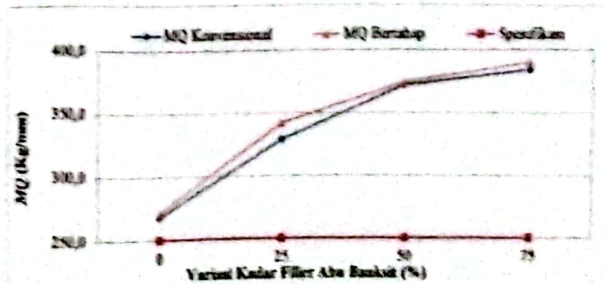
Mengetahui
Kakak dalam Rupa
Muhammad Akmal Hadi, S.T., M.T.
NIM : 21 511 1307

Disahkan Oleh
Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
Fakultas Teknik
Universitas Indonesia
NIM : 20 511 177

REKAPITULASI MARSHALL KONVENSIONAL DAN BERTAHAP

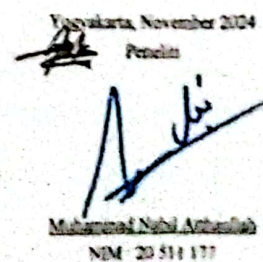
KETERANGAN		STABILITAS	FLOW	VITM	VMA	VFWA	MQ
K	0%	1034,39	3,87	4,18	20,02	79,11	268,16
K	25%	1069,46	3,57	3,79	19,69	80,81	329,18
K	50%	1097,30	3,23	3,50	19,45	82,00	372,43
K	75%	1211,88	3,05	3,32	19,29	82,79	384,67
Spesifikasi		600	-	3-5	17	68	250

KETERANGAN		STABILITAS	FLOW	VITM	VMA	VFWA	MQ
B	0%	1044,62	3,85	3,94	19,82	80,17	271,33
B	25%	1194,28	3,50	3,76	19,67	80,91	342,32
B	50%	1255,08	3,35	3,41	19,37	82,41	374,64
B	75%	1297,98	3,33	3,27	19,25	83,02	390,42
Spesifikasi		600	-	3-5	17	68	250



Mengesah
Kalah Jalan Reta

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

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Arhamilab
NIM: 20 511 177

HASIL PENGUJIAN IRS KONVENSIONAL

Persen Aspal	Tebal Sampel (mm)					koreksi	Arloji Stability				Stability (kg)		Angka Koreksi			
							Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	Tebal Sampel		Koreksi	
	1	2	3	rata2									MIN	MAX	MIN	MAX
0%	1	63,30	62,50	62,20	62,70	1,02	63	14,79	931,84	950,47	968,58	600	61,9	63,5	1,04	1
	2	62,70	62,50	62,80	62,67	1,01	65	14,79	961,42	966,83			65,1	66,7	0,96	0,93
	3	61,20	62,00	62,00	61,73	1,04	64	14,79	946,63	988,44			63,5	65,1	1	0,96
25%	1	64,74	64,45	64,01	64,40	0,98	74	14,53	1075,25	1051,06	1117,29	600	63,5	65,1	1	0,96
	2	65,61	64,52	63,95	64,69	0,97	81	14,53	1176,97	1141,85			63,5	65,1	1	0,96
	3	61,50	60,89	62,40	61,597	1,05	76	14,53	1104,31	1158,95			60,3	61,9	1,09	1,04
50%	1	63,90	62,53	61,72	62,72	1,02	83	14,53	1206,03	1229,64	1166,27	600	61,9	63,5	1,04	1
	2	62,23	62,29	63,95	62,82	1,02	77	14,53	1118,84	1137,77			61,9	63,5	1,04	1
	3	64,01	63,66	62,50	63,39	1,00	82	14,53	1191,50	1194,77			61,9	63,5	1,04	1
75%	1	65,02	66,75	66,33	66,03	0,94	93	14,53	1351,33	1273,63	1201,81	600	65,1	66,7	0,96	0,93
	2	67,35	66,84	66,86	67,02	0,92	91	14,53	1322,27	1219,24			66,7	68,3	0,93	0,89
	3	66,24	67,16	67,15	66,85	0,93	88	14,53	1278,68	1184,38			66,7	68,3	0,93	0,89

24

Yogyakarta, November 2024

Peneliti

[Signature]

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

[Signature]

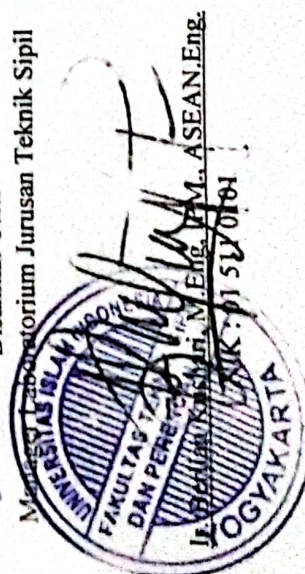
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.

NIK : 21 511 1307

Muhammad Nabil Atthaulloh

NIM : 20 511 177

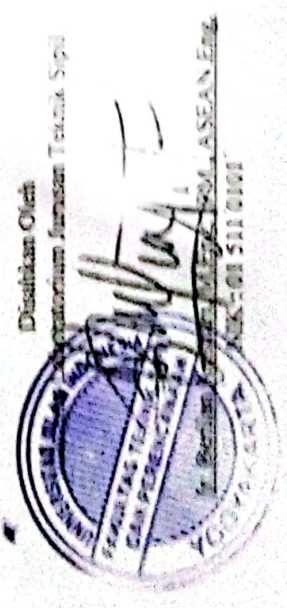
Disahkan Oleh
Laboratorium Jurusan Teknik Sipil





HASIL PENGUJIAN IRS BERTAHAP

Pemeran Aspal	Tebal Sampel (mm)					Koreksi	Arloji Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi			
	{mm}						Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	Tebal Sampel			
	1	2	3	rata2	MIN							MAX	MIN	MAX	
0%	1	67,93	67,84	67,66	67,81	0,90	70	14,53	1017,13	917,71	979,69	600	66,7	68,3	0,93
	2	65,41	65,98	65,50	65,63	0,95	72	14,53	1046,19	993,95			65,1	66,7	0,96
	3	62,92	62,53	62,08	62,51	1,02	69	14,53	1002,60	1027,41			61,9	63,5	1
25%	1	62,20	61,29	62,35	61,95	1,04	78	14,53	1133,37	1177,39	1131,19	600	61,9	63,5	1,04
	2	64,92	64,50	63,85	65,09	0,96	83	14,53	1206,03	1158,09			63,5	65,1	1
	3	65,98	64,37	63,64	64,63	0,97	75	14,53	1089,78	1058,09			63,5	65,1	1
50%	1	61,85	61,72	62,35	61,97	1,04	76	14,53	1104,31	1146,46	1206,79	600	61,9	63,5	1,04
	2	64,77	64,28	63,43	64,16	0,98	84	14,53	1220,56	1200,42			63,5	65,1	1
	3	64,89	64,96	64,15	64,67	0,97	86	14,53	1249,62	1213,17			63,5	65,1	1
75%	1	64,60	65,59	66,39	65,53	0,95	91	14,53	1322,27	1255,28	1291,53	600	63,5	65,1	1
	2	65,15	65,28	64,64	65,02	0,96	87	14,53	1264,15	1216,01			63,5	65,1	1
	3	65,60	64,51	64,00	64,70	0,97	97	14,53	1409,45	1367,05			63,5	65,1	1



Disetujui Oleh
Laboratorium Jurnasi Teknik Sipil

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

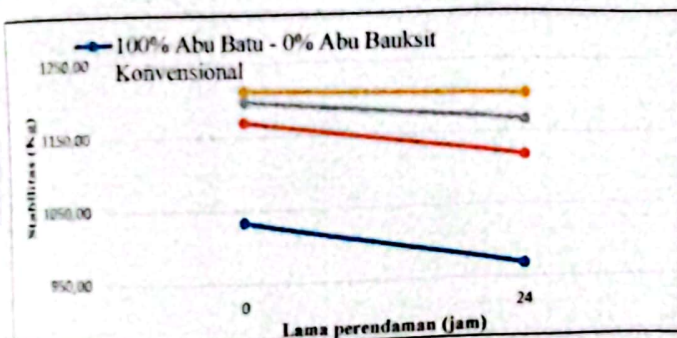
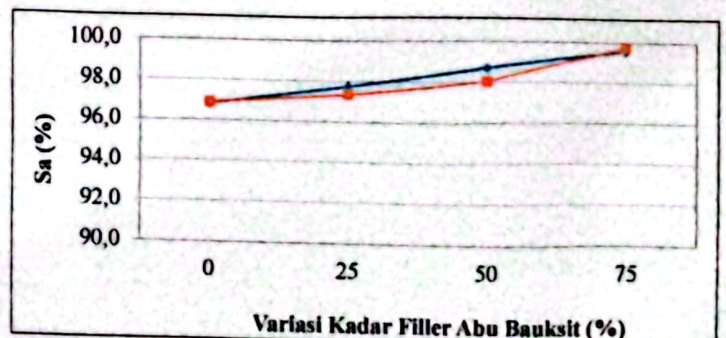
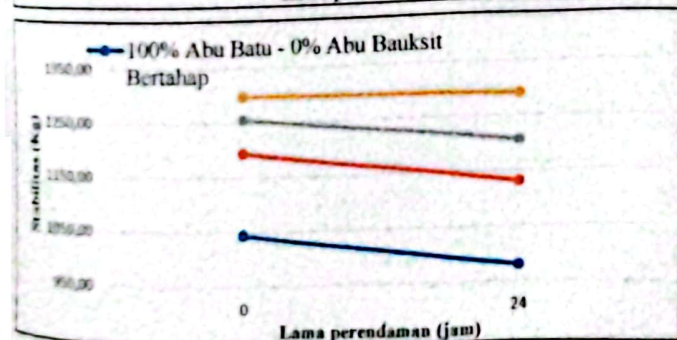
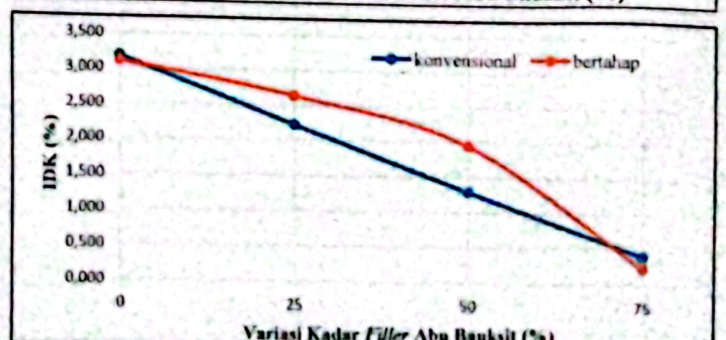
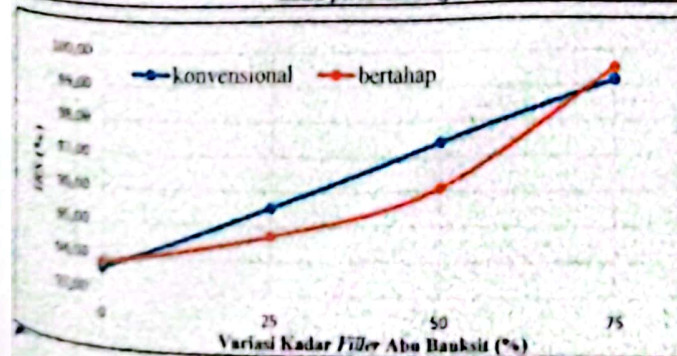
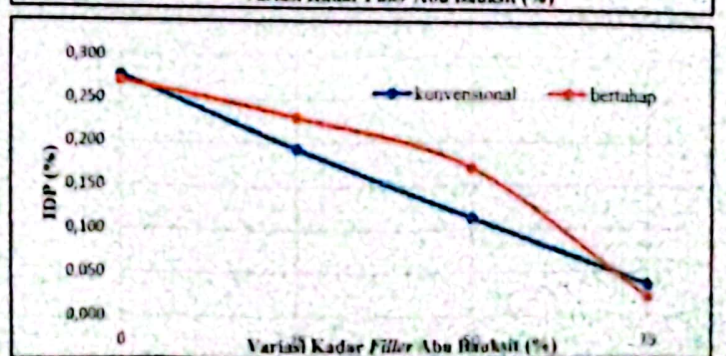
Yogyakarta, November 2024

Pencelisi

Muhammad Nabil Arhamulhik
NIM : 20 511 177

REKAPITULASI HASIL PENGUJIAN IRS

Konsvensional	Kadar Substitus	stabilitas 0,5 Jam (kg)	stabilitas 24 Jam (kg)	IRS %	Si %	Si+1 %	ti+1 Jam	IDP %	tn Jam	IDK %	Sa %
	(%)										
	0	1034,39	968,58	93,64	100,00	93,64	24,00	0,277	48,000	3,181	96,819
	25	1169,46	1117,29	95,54	100,00	95,54	24,00	0,194	48,000	2,230	97,770
	50	1197,30	1166,27	97,41	100,00	97,41	24,00	0,113	48,000	1,296	98,704
	75	1211,88	1201,81	99,17	100,00	99,17	24,00	0,036	48,000	0,416	99,584
Bertahap	Kadar Substitus	Stabilitas 0,5 Jam (kg)	Stabilitas 24 Jam (kg)	IRS %	Si %	Si+1 %	ti+1 Jam	IDP %	tn Jam	IDK %	Sa %
	(%)										
	0	1044,62	979,69	93,78	100,00	93,78	24,00	0,270	48,000	3,108	96,892
	25	1194,28	1131,19	94,72	100,00	94,72	24,00	0,230	48,000	2,641	97,359
	50	1255,88	1206,79	96,09	100,00	96,09	24,00	0,170	48,000	1,954	98,046
	75	1297,98	1291,53	99,50	100,00	99,50	24,00	0,022	48,000	0,249	99,751



Disetujui Oleh
Ketua Jurusan Teknik Sipil

G. S. Yana, PPS ASEAN Eng
511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Atthaulloh
NIM : 20 511 177

7,5%

Disahkan Oleh
Dekan Fakultas Teknik Sipil



NIK: 21 511 1307

Penclit

Muhammad Nabil Anthonillah
NIM : 20511177

HASIL PENGUJIAN ITS KONVENSIONAL

Jenis Aspal	Substitusi	Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inch)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 JAM						
												Meas	Kalibrasi	Adjust					Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi		awal	rata2	MIN	MAX		
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2					MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX												
7,5%	0,0%	1	65,65	65,93	67,45	66,34	0,94	4,16	3,99	3,95	4,03	0,15	16	14,53	232,49	217,77	309,49	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	497,77						
		2	61,50	62,31	61,71	61,84	1,04	4,05	3,99	4,05	4,03	0,15	27	14,53	392,32	408,75		60,3	61,9	1,09	1,04	4	4,1	0,156	0,152	1003,74				740,88	600	
		3	63,73	64,22	63,80	63,92	0,99	4,04	4,03	3,95	4,01	0,16	21	14,53	305,14	301,96		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	721,14						
	25,0%	1	68,79	69,32	68,80	68,97	0,89	4,00	4,02	4,01	4,01	0,16	32	14,53	464,97	413,83		68,3	69,9	0,89	0,89	4	4,1	0,156	0,152	915,23						
		2	68,66	67,87	67,09	67,87	0,90	3,98	3,98	3,97	3,98	0,16	26	14,53	377,79	340,26	339,05	66,7	68,3	0,93	0,89	3,9	4	0,16	0,156	771,25	769,64	600				
		3	65,72	64,63	66,09	65,48	0,95	3,96	3,94	3,95	3,95	0,16	19	14,53	276,08	263,07		65,1	66,7	0,96	0,93	3,9	4	0,16	0,156	622,44						
	50,0%	1	65,58	65,31	65,50	65,46	0,95	4,02	4,03	3,96	4,01	0,16	28	14,53	406,85	387,81		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	905,09						
		2	65,38	64,57	64,30	64,75	0,97	4,03	4,02	4,02	4,02	0,16	32	14,53	464,97	450,44	291,12	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	1098,31	805,69	600				
		3	65,75	65,04	65,02	65,27	0,96	4,02	4,01	4,02	4,02	0,16	14	14,53	203,43	194,42		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	453,65						
75,0%	1	62,97	63,16	63,28	63,14	1,01	4,05	4,05	4,04	4,05	0,15	28	14,53	406,85	410,55		61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	982,97							
	2	59,62	60,79	61,19	60,53	1,08	3,97	3,91	3,99	3,96	0,16	17	14,53	247,02	267,45	342,14	60,3	61,9	1,09	1,04	3,9	4	0,16	0,156	683,58	827,21	600					
	3	65,20	65,36	64,88	65,15	0,96	4,03	4,03	3,98	4,01	0,16	25	14,53	363,26	348,41		65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	815,09							

Disahkan Oleh
M. Nur Hafidza, S.T., M.T.
Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

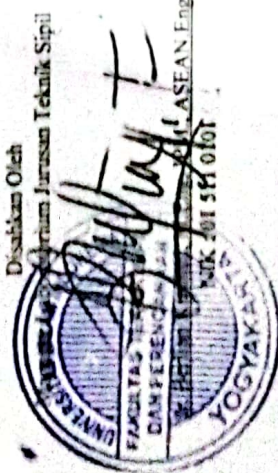
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Muhammad Nabil Athaulloh
NIM : 20 511 177

HASIL PENGUJIAN TSR KONVENSIONAL

Kadar Asam	Substansi	Tebal Sampel (mm)					koreksi	Diameter Sampel (inch)				AO	Arloji Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi				Angka Koreksi				ITS 24 JAM	
		Tebal Sampel (mm)						Diameter Sampel (inch)					Arloji Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi				Angka Koreksi				ITS 24 JAM	
		Tebal Sampel (mm)						Diameter Sampel (inch)					Arloji Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi				Angka Koreksi				ITS 24 JAM	
		1	2	3	rata2			1	2	3	rata2			Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	Kga
0.2%	1	64.55	64.47	63.75	64.26	0.98	3.97	3.97	4.00	3.98	0.157	19	14.53	276.08	270.86		63.5	65.1	1	0.96	0.93	4	0.1500	0.1560	648.20		
	2	66.80	65.18	65.75	65.91	0.94	3.95	3.96	3.95	3.95	0.15	23	14.53	334.20	315.76	600	65.1	66.7	0.96	0.93	3.9	4	0.156	0.152	722.52		
	3	63.10	64.65	64.18	63.98	0.99	3.98	3.97	3.98	3.98	0.16	20	14.53	290.61	287.15		63.5	65.1	1	0.96	3.9	4	0.16	0.156	690.84		
2.5%	1	64.07	62.43	62.03	62.84	1.02	3.95	4.00	4.00	3.98	0.153	24	14.53	348.73	354.46		61.9	63.5	1.04	1	0.96	4	0.156	0.152	844.50		
	2	66.19	65.94	66.25	66.13	0.94	3.96	3.94	3.96	3.95	0.154	21	14.53	305.14	287.06	600	65.1	66.7	0.96	0.93	3.9	4	0.156	0.152	635.29		
	3	63.69	63.56	62.75	63.35	1.00	4.00	4.01	4.00	4.00	0.160	19	14.53	276.08	277.14		61.9	63.5	1.04	1	4	4.1	0.160	0.156	685.91		
50.0%	1	63.05	63.76	63.78	63.53	0.99	4.00	4.01	4.01	4.01	0.16	20	14.53	290.61	287.54		65.1	66.7	0.96	0.93	4	4.1	0.16	0.156	708.81		
	2	63.93	63.04	62.59	63.19	1.01	4.04	4.03	4.00	4.02	0.16	28	14.53	406.85	410.04	600	61.9	65.1	1.04	0.96	4	4.1	0.156	0.152	987.05		
	3	65.17	64.09	62.72	63.99	0.99	3.98	3.97	3.98	3.97	0.16	18	14.53	261.55	258.32		63.5	65.1	1	0.96	3.9	4	0.16	0.156	621.57		
75.0%	1	64.30	64.98	63.85	64.38	0.98	4.04	4.03	4.01	4.03	0.15	22	14.53	319.67	312.66		63.5	65.1	1	0.96	4	4.1	0.156	0.152	737.91		
	2	64.96	64.46	64.34	64.59	0.97	4.01	4.02	3.98	4.00	0.16	25	14.53	363.26	353.39	600	63.5	65.1	1	0.96	4	4.1	0.156	0.152	836.53		
	3	64.36	65.15	65.52	65.01	0.96	3.95	3.95	3.95	3.95	0.16	25	14.53	363.26	349.55		63.5	65.1	1	0.96	3.9	4	0.16	0.156	832.98		

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya



Yogyakarta, November 2024
Peneliti
Muhammad Nabil Arthaulah
NIM : 20 511 177

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

HASIL PENGUJIAN TSR BERTAHAP

Adar Aspal	Substitusi	Tebal Sampel (mm)					koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		Angka Koreksi					Angka Koreksi					ITS 24 JAM			
		1	2	3	rata2	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MAX	MIN	MAX	Tebal Sampel	MIN	MAX	MIN	MAX	Koreksi	MIN	MAX	rata2	Kpa
0,0%	1	66,83	65,29	65,55	65,89	0,95	3,97	3,97	4,00	3,98	0,157	20	14,53	290,61	274,68	600	65,1	66,7	0,96	0,93	4	0,1600	0,1560	641,06	631,16	600					
	2	63,66	64,94	63,25	63,95	0,99	3,95	3,94	3,95	3,95	0,15	17	14,53	247,02	244,24		261,74	63,5	65,1	1	0,96	4	0,156	0,152			576,99				
	3	59,93	60,16	61,96	60,68	1,08	3,98	3,97	3,98	3,98	0,16	17	14,53	247,02	266,29		60,3	61,9	1,09	1,04	4	0,16	0,156	675,43							
25,0%	1	63,70	64,60	63,97	64,09	0,99	3,95	4,00	4,00	3,98	0,153	17	14,53	247,02	243,37	600	63,5	65,1	1	0,96	4	0,156	0,152	568,56	750,48	600					
	2	64,29	64,55	64,16	64,33	0,98	3,96	3,94	3,96	3,95	0,154	35	14,53	508,57	497,97		63,5	65,1	1	0,96	4	0,156	0,152	1168,43							
	3	64,16	64,76	64,83	64,58	0,97	4,01	4,01	4,00	4,01	0,160	15	14,53	217,96	212,05		63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,160	0,156			514,45				
50,0%	1	60,99	62,30	62,90	62,06	1,04	3,99	4,01	4,00	4,00	0,16	24	14,53	348,73	361,26	600	61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,156	913,98	772,71	600				
	2	62,55	62,44	63,49	62,83	1,02	4,04	4,03	4,00	4,02	0,16	21	14,53	305,14	310,28		61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	751,18						
	3	63,12	62,90	62,34	62,79	1,02	3,98	3,97	3,98	3,97	0,16	18	14,53	261,55	266,21		61,9	63,5	1,04	1	3,9	4	0,16	0,156	652,97						
75,0%	1	62,29	63,33	64,30	63,31	1,00	4,04	4,03	4,01	4,03	0,15	28	14,53	406,85	408,82	600	61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	981,15	802,94	600				
	2	62,83	63,35	61,63	62,60	1,02	4,01	4,02	3,98	4,00	0,16	23	14,53	334,20	341,69		61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,156	0,152	834,46						
	3	64,45	63,76	63,45	63,89	0,99	3,95	3,95	3,95	3,95	0,16	17	14,53	247,02	244,63		63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	593,21						

Yogyakarta, November 2024

Peneliti

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Muhammad Nabil Anthoniah
NIM : 20 511 177

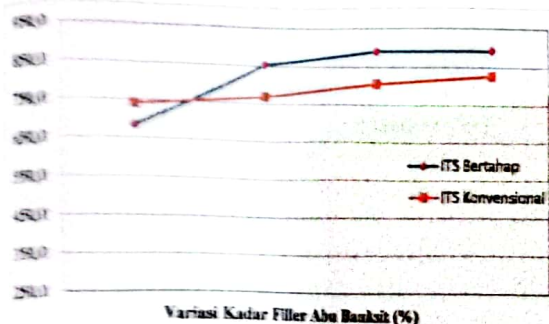
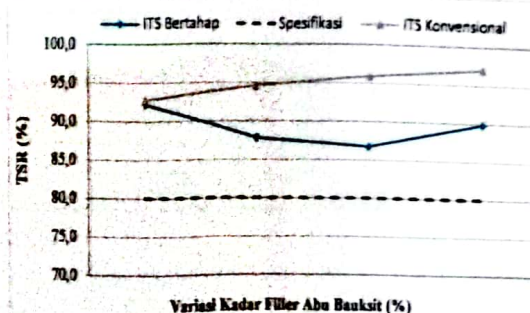
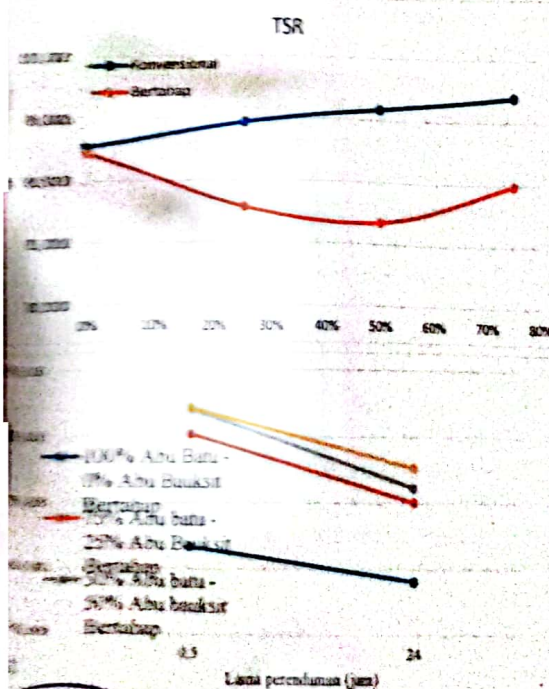
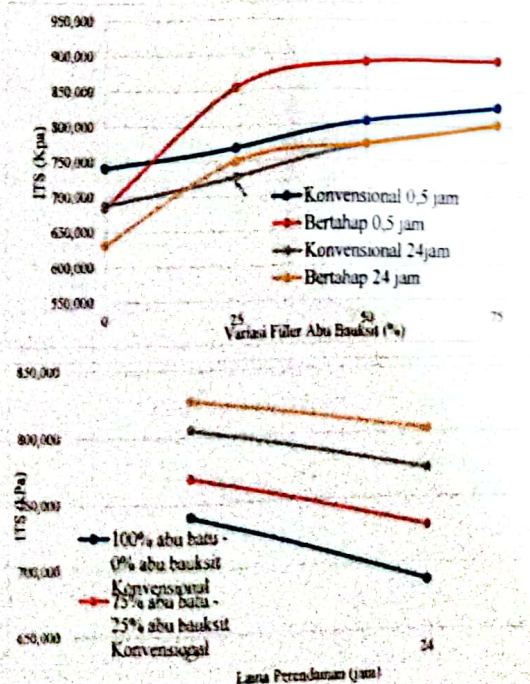
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Disahkan Oleh
Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



REKAPITULASI HASIL PENGUJIAN ITS DAN TSR

Variasi Substitusi (%)	KA0 (%)	ITS	ITS 24 Jam	TSR (%)	ITS	ITS 24 Jam	TSR (%)
0	75%	684,271	631,162	92,239	740,882	687,320	92,771
25		853,969	750,480	87,881	769,641	728,566	94,663
50		890,776	772,707	86,745	805,685	772,511	95,882
75		893,068	802,939	89,908	827,213	802,473	97,009



Yogyakarta, November 2024
Mengetahui
Ket. J. S. P. 1
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK: 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti
Muhammad Nabil Anshaulah
NIM: 20 511 177

Yogyakarta, November 2024
Peneliti
Muhammad Nabil Anshaulah
NIM: 20 511 177



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Nuri
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T (0274) 893444 ext 1250, 1251
F (0274) 895130
E dekanat.ftsp@uii.ac.id
W ftsp.uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN CL KONVENSIONAL

Substitusi	No.	Keterangan	Benda Uji			
			1	2	3	4
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1188,50	1202,52	1187,82	
	2	Berat Sesudah Abrasi	1173,94	1138,18	1133,98	
	3	Persentase Kehilangan Berat	1,23	5,35	4,53	
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,94			
25%	1	Berat Sebelum Abrasi	1193,95	1195,48	1187,94	
	2	Berat Sesudah Abrasi	1166,66	1145,92	1165,92	
	3	Persentase Kehilangan Berat	2,29	4,15	1,85	
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	3,22			
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1191,26	1186,54	1186,52	
	2	Berat Sesudah Abrasi	1165,22	1152,92	1156,92	
	3	Persentase Kehilangan Berat	2,19	2,83	2,49	
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	2,50			
75%	1	Berat Sebelum Abrasi	1199,52	1174,16	1168,84	1193,65
	2	Berat Sesudah Abrasi	1191,21	1109,33	1143,98	1159,12
	3	Persentase Kehilangan Berat	0,69	5,52	2,13	2,89
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	2,51			

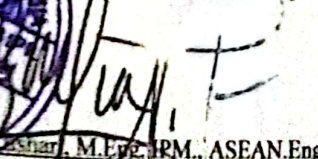
Dibuatkan Oleh
Muhammad Nabil Atthaulloh
Jurusan Teknik Sipil
Muhammad Nabil Atthaulloh, M.Eng., I.P.M., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

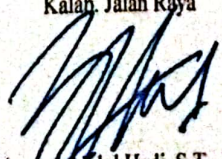
Mengetahui
Kalah, Jalan Raya
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, November 2024
Peneliti
Muhammad Nabil Atthaulloh
NIM : 20 511 177

HASIL PENGUJIAN CL BERTAHAP

Substitusi	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1193,04	1203,89	1195,67
	2	Berat Sesudah Abrasi	1169,64	1187,24	1182,54
	3	Persentase Kehilangan Berat	1,96	1,38	1,10
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	1,48		
25%	1	Berat Sebelum Abrasi	1201,00	1202,15	1197,57
	2	Berat Sesudah Abrasi	1183,43	1182,89	1186,53
	3	Persentase Kehilangan Berat	1,46	1,60	0,92
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	1,53		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1201,17	1186,62	1188,23
	2	Berat Sesudah Abrasi	1176,06	1168,97	1175,92
	3	Persentase Kehilangan Berat	2,09	1,49	1,04
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	1,54		
75%	1	Berat Sebelum Abrasi	1195,08	1195,17	1178,92
	2	Berat Sesudah Abrasi	1178,38	1151,37	1168,98
	3	Persentase Kehilangan Berat	1,40	3,66	0,84
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	2,53		

Disahkan Oleh
Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

M. Eng. Irm. ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalah. Jalan Raya

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

Yogyakarta, November 2024
 Peneliti
Muhammad Nabil Atthaulloh
NIM : 20 511 177

HASIL PENGUJIAN CL KONVENSIONAL RENDAMAN

	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
7	1	Berat Sebelum Abrasi	1196,45	1204,42	1194,21
	2	Berat Sesudah Abrasi	1124,23	1148,21	1132,67
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,04	4,83	5,15
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,34		
14	1	Berat Sebelum Abrasi	1194,74	1197,86	1197,30
	2	Berat Sesudah Abrasi	1151,52	1146,59	1118,05
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,62	4,28	6,62
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,45		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi	1199,40	1191,41	1195,64
	2	Berat Sesudah Abrasi	1125,98	1162,98	1117,09
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,12	2,39	6,57
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,35		
75%	1	Berat Sebelum Abrasi	1192,31	1191,91	1195,43
	2	Berat Sesudah Abrasi	1116,82	1139,65	1126,72
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,33	4,38	5,75
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,04		

Disetujui Oleh
Dekan Fakultas Teknik Sipil
dan Perencanaan
Muhammad Iqbal, P.M., ASEAN Eng.
NIM: 20 511 0101

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

Yogyakarta, November 2024
Peneliti
Muhammad Nabil Athamillah
NIM: 20 511 177



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN CL BERTAHAP RENDAMAN

Substansi	No	Keterangan	Benda uji			
			Rumus	1	2	3
2%	1	Berat Sebelum Abrasi		1196,06	1213,22	1198,21
	2	Berat Sesudah Abrasi		1162,45	1158,22	1144,23
	3	Persentase Kehilangan Berat		2,81	4,53	4,51
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		4,52		
10%	1	Berat Sebelum Abrasi		1193,27	1200,81	1206,65
	2	Berat Sesudah Abrasi		1143,82	1158,12	1174,21
	3	Persentase Kehilangan Berat		4,14	3,56	2,69
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,85		
50%	1	Berat Sebelum Abrasi		1182,91	1184,25	1197,99
	2	Berat Sesudah Abrasi		1153,91	1118,00	1172,91
	3	Persentase Kehilangan Berat		2,45	5,59	2,09
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		2,27		
75%	1	Berat Sebelum Abrasi		1201,76	1201,42	1192,56
	2	Berat Sesudah Abrasi		1132,12	1182,91	1142,91
	3	Persentase Kehilangan Berat		5,79	1,54	4,16
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,83		



Mengetahui
Kasub. Jarko Raya

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

Yogyakarta, November 2024
Peneliti

Muhammad Nabil Aththaulloh
NIM : 20 511 177



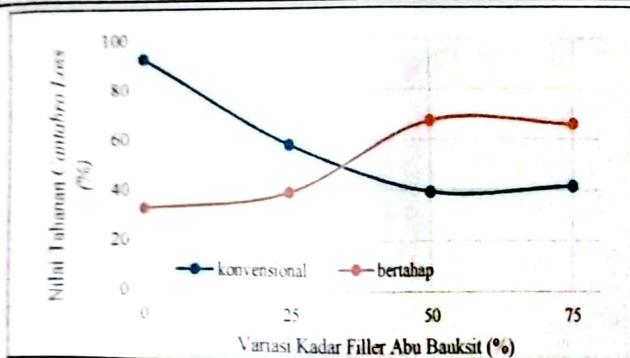
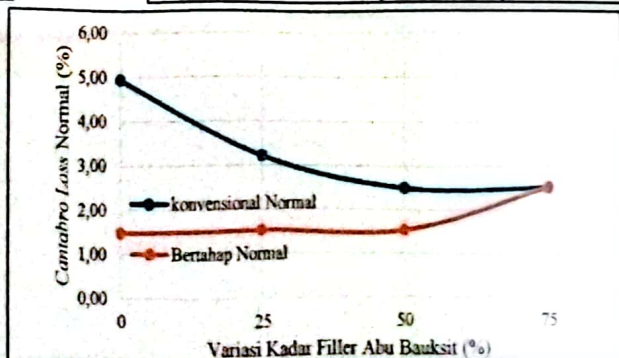
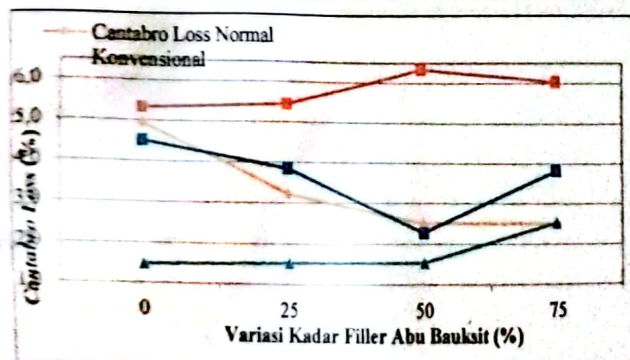
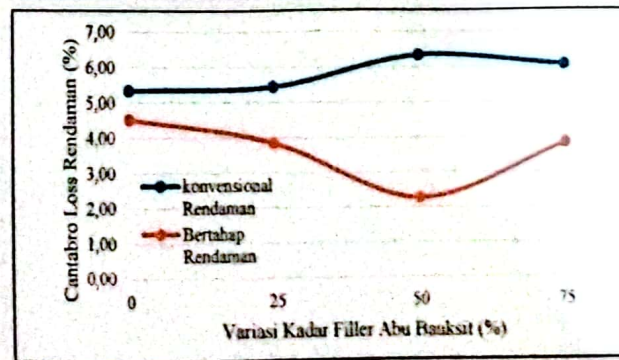
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

REKAPITULASI HASIL PENGUJIAN CL

	Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL
Konvensional	0	7,5	4,94
	25		3,22
	50		2,50
	75		2,51
	Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL
Konvensional Rendaman	0	7,5	5,34
	25		5,45
	50		6,35
	75		6,04

	Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL
Bertahap	0	7,5	1,48
	25		1,53
	50		1,54
	75		2,53
	Variasi Substitusi (%)	KAO (%)	CL
Bertahap Rendaman	0	7,5	4,52
	25		3,85
	50		2,27
	75		3,83



Disahkan Oleh
Ketua Jurusan Teknik Sipil
Eng. PM., ASEAN Eng.
NIK: 01 511 0101

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

Yogyakarta, November 2024
Peneliti
Muhamad Nabil Atthaulloh
NIM: 20 511 177