

TESIS

**PENGARUH SUBSTITUSI *FLY ASH* SEBAGAI FILLER
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN SUPERPAVE
DENGAN BAHAN-IKAT PEN 60/70 DAN STARBIT PG-70**

***THE EFFECT OF FLY ASH SUBSTITUTION AS FILLER ON
THE CHARACTERISTICS OF SUPERPAVE MIXTURE WITH
PEN 60/70 AND STARBIT PG-70***



Disusun oleh :

Indriasti Yustika Rahman

2191 4030

**KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2023

TESIS

**PENGARUH SUBSTITUSI *FLY ASH* SEBAGAI FILLER
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN SUPERPAVE
DENGAN BAHAN-IKAT PEN 60/70 DAN STARBIT PG-70**

***THE EFFECT OF FLY ASH SUBSTITUTION AS FILLER ON
THE CHARACTERISTICS OF SUPERPAVE MIXTURE WITH
PEN 60/70 AND STARBIT PG-70***

Disusun oleh :

Indriasti Yustika Rahman

2191 4030

Diperiksa dan disetujui oleh :



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

Dosen Pembimbing I

Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA

Dosen Pembimbing II

Tanggal: 16 Oktober 2023

Tanggal: 16 Oktober 2023

TESIS

PENGARUH SUBSTITUSI *FLY ASH* SEBAGAI FILLER
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN SUPERPAVE
DENGAN BAHAN-IKAT PEN 60/70 DAN STARBIT PG-70

*THE EFFECT OF FLY ASH SUBSTITUTION AS FILLER ON
THE CHARACTERISTICS OF SUPERPAVE MIXTURE WITH
PEN 60/70 AND STARBIT PG-70*

disusun oleh

Indriasti Yustika Rahman
21914030

Telah diuji oleh Dewan Penguji
pada tanggal 16 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

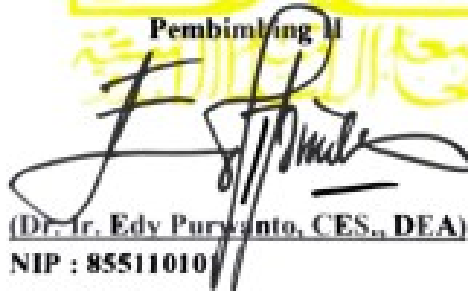
(Susunan Dewan Penguji)

Pembimbing I



(Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.)
NIP : 955110103

Pembimbing II



(Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA)
NIP : 855110101

Penguji



(Prof. Ir. Moch. Teguh, MSCE., Ph.D.)
NIP : 855110201

Yogyakarta, 8 NOV 2023

Universitas Islam Indonesia
Program Studi Teknik Sipil, Program Magister
Sipil dan Program,



(Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T)

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa :

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar Pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, 13 Oktober 2023
Yang membuat pernyataan



Indriasti Yustika Rahman
(21914030)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Puji syukur penyusun panjatkan Kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul Pengaruh Substitusi *fly ash* Sebagai *Filler* Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave* Dengan Bahan-Ikat Pen 60/70 Dan Starbit PG-70. Laporan Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Perencanaan Teknik Transportasi (S-2) di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam Menyusun Tesis ini banyak hambatan yang dihadapi penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, Alhamdulillah Tesis ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terimakasih sedalam – dalamnya kepada :

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. selaku pembimbing I dan II, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan Tesis ini,
2. Bapak Prof. Ir. Moch. Teguh, MSCE., Ph.D dan ibu Faizul Chasanah, S.T., M.Sc., Ph.D selaku Dosen Penguji Tesis, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik dikemudian hari,
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
4. Bapak Abdul Rahman dan Ibu Hasni Toaha selaku orangtua penulis yang selalu memberikan do'a dan dukungan yang tiada henti dalam menyelesaikan Tesis,
5. Hasman Setiawan Rahman, Faiz Al Faruq Rahman dan Aqila Naila Rahman selaku saudara penulis yang selalu memberikan do'a dan dukungan yang tiada henti dalam menyelesaikan Tesis,

6. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan Tesis ini,
7. Bapak Sukanto H.M, S.T., Bapak Pranoto dan Giri Widhiatmoko S.T selaku laboran yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini.
8. Muhammad Kennyzyra Bintang, S.T., Rahmawati, S.T., Iqbal, S.T., Riyadina Cahyanti, S.T., Nismara Luthfi Anindhita, S.T., Fina Ramadhani, S.T., dan Laziqoh Zahatul Tolab selaku teman yang selalu memberikan do'a dan dukungan yang tiada henti dalam menyelesaikan Tesis,
9. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tesis ini..
Akhirnya Penulis berharap agar Tesis ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 16 Oktober 2023

Indriasti Yustika Rahman
(21914030)

DAFTAR ISI

JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xix
DAFTAR NOTASI	xxii
ABSTRAK	xxv
<i>ABSTRACT</i>	xxvi
BAB I PENDAHULUAN	2
1.1 Latar Belakang Masalah	2
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kinerja Campuran Aspal <i>Superpave</i>	7
2.2 Pengaruh Bahan Ikat Terhadap Kinerja Campuran Perkerasan	8
2.3 Pengaruh <i>Filler</i> Pengganti Terhadap Kinerja Campuran	10
2.4 Prediksi umur Layanan dengan Program <i>KENPAVE</i>	13
2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilaksanakan	16
BAB III LANDASAN TEORI	19
3.1 Bahan Penyusun Perkerasan Lentur	19
3.1.1 Aspal	19

3.1.2	Agregat	20
3.1.3	Gradasi Agregat	22
3.2	<i>Superpave Asphalt</i>	23
3.3	Karakteristik <i>Marshall Test</i>	24
3.3.1	Stabilitas (<i>Stability</i>)	24
3.3.2	Kelelehan (<i>Flow</i>)	25
3.3.3	Kepadatan (<i>Density</i>)	25
3.3.4	<i>Void In Mineral Agregate (VMA)</i>	26
3.3.5	<i>Void In Total Mix (VITM)</i>	26
3.3.6	<i>Void Filled With Asphalt (VFWA)</i>	27
3.3.7	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	28
3.4	<i>Immersion Test</i>	28
3.4.1	Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	29
3.4.2	Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	29
3.5	<i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	30
3.6	<i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	31
3.7	<i>Cantabro Test</i>	31
3.8	<i>Stiffness Modulus</i>	31
3.9	<i>Analisis Penetration Index (PI)</i>	33
3.10	<i>Wheel Tracking Machine (WTM)</i>	33
3.11	Analisis Mekanistik dengan Program <i>KENPAVE</i>	35
3.11.1	Program <i>KENLAYER</i>	36
3.11.2	Analisis Kerusakan	38
3.11.3	Analisis Umur Perkerasan	40
3.12	Analisis Statistik	41
BAB IV METODE PENELITIAN		43
4.1	Pengujian Sifat Fisik Material dan Pengujian untuk Mencari KAO	43
4.2	Pengujian untuk Mencari Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> pada Kondisi KAO	43
4.3	Rancangan Gradasi Agregat	44
4.4	Pengumpulan Data Ruas Jalan	45

4.5	Variasi dan Jumlah Sampel Penelitian	46
4.6	Bagan Alir Penelitian	47
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		49
5.1	Hasil Penelitian	49
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	49
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	49
5.1.3	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	50
5.1.4	Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	53
5.1.5	Hasil Pengujian Campuran Perkerasan Berdasarkan Jenis Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 pada Kadar Aspal Optimum	55
5.1.6	Hasil Analisis Statik <i>Anova</i>	59
5.2	Analisis Hasil Pengujian	64
5.2.1	Karakteristik Aspal	64
5.2.2	Karakteristik Agregat Kasar	67
5.2.3	Karakteristik Agregat Halus	68
5.2.4	Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 untuk Mencari KAO	69
5.2.5	Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum	82
5.3	Pembahasan	83
5.3.1	Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 Pada Kondisi KAO	83
5.3.2	Perbandingan Nilai <i>Indirect Tensile Strength</i> pada KAO Dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	93
5.3.3	Perbandingan Nilai <i>Index Retained Strenght</i> pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	95

5.3.4	Perbandingan Nilai <i>Tensile Strength Ratio</i> pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70	96
5.3.5	Perbandingan Nilai <i>Cantabro Loss</i> pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70	98
5.3.6	Perbandingan Nilai <i>Stiffness Modulus</i> Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	99
5.3.7	Karakteristik <i>Wheel Tracking Machine (WTM)</i> Campuran <i>Superpave</i> dengan Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	100
5.3.8	Perbandingan Nilai Umur Pelayanan Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	103
5.4	Rekapitulasi Perbandingan Hasil Pengujian Karakteristik Keseluruhan Campuran	107
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		111
6.1	Kesimpulan	111
6.2	Saran	112
DAFTAR PUSTAKA		113

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Abu Terbang Batubara	11
Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Abu Batu	12
Tabel 2.3 Perbandingan Penelitian Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan Perkerasan <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Stabit PG-70 dan Penambahan <i>Fly Ash</i> Sebagai Pengganti <i>Filler</i>	16
Tabel 3. 1 Persyaratan Aspal Pen 60/70	20
Tabel 3. 2 Persyaratan Aspal Starbit PG-70	20
Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Kasar	21
Tabel 3. 4 Persyaratan Agregat Halus	22
Tabel 3. 5 Spesifikasi Gradasi Campuran <i>Superpave</i>	23
Tabel 3. 6 Satuan <i>English</i> dan SI	37
Tabel 4. 1 Gradasi Agregat Campuran <i>Superpave</i> Ukuran Nominal Maksimum 12,5 mm	44
Tabel 4.2 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Kartasura-Delanggu / Laranganom	45
Tabel 4. 4 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO	46
Tabel 4. 5 Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO	46
Tabel 5. 1 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 49	
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	50
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Agregat Halus	50
Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Filler</i>	50
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian <i>Marhall Test</i> untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Fly Ash 0%</i>	51
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian <i>Marhall Test</i> untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Fly Ash 50 %</i>	51

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian <i>Marhall Test</i> untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 100%	51
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian <i>Marhall Test</i> untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 0%	53
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian <i>Marhall Test</i> untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 50%	53
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian <i>Marhall Test</i> untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 100%	54
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall Standard</i>	55
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength</i>	56
Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	56
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP)	56
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK)	57
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i>	57
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Cantabro</i>	57
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Stiffness Modulus</i> pada Setiap Jenis Campuran	58
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Kecepatan Deformasi dari Pengujian <i>Wheel Tracking</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	58
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur pada Campuran <i>Superpave</i> Berbahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70	58
Tabel 5.21 <i>Output</i> Analisi Uji Signifikan Perbedaan antara Sifat Fisik Aspal Starbit PG-70 dan Aspal Pen 60/70	59
Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Uji Signifikan Perbedaan antara Sifat Fisik Aspal Starbit PG-70 dan Aspal Pen 60/70	59
Tabel 5.23 <i>Output</i> Hasil Analisis Uji Normalitas	60

Tabel 5. 24 <i>Output</i> Analisi Uji <i>Homogenitas</i> Tiap Variabel	60
Tabel 5. 25 <i>Output</i> Analisi Uji Signifikansi Perbedaan pada Nilai Stabilitas	61
Tabel 5.26 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Semua Jenis Bahan Ikat pada KAO	61
Tabel 5.27 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai <i>IRS, ITS, TSR, CL,</i> dan <i>Wheel Tracking</i> untuk Semua Jenis Bahan Ikat	62
Tabel 5.28 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Semua Substitusi <i>Fly Ash</i> pada KAO	62
Tabel 5.29 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai <i>IRS, ITS, TSR, CL,</i> dan <i>Wheel Tracking</i> untuk Semua Substitusi <i>Fly Ash</i>	63
Tabel 5.30 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Semua Jenis Bahan Ikat dan Semua Substitusi <i>Fly Ash</i>	63
Tabel 5.31 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai <i>IRS, ITS, TSR, CL,</i> dan <i>Wheel Tracking</i> untuk Semua Jenis Bahan Ikat dan Semua Substitusi <i>Fly Ash</i>	63
Tabel 5. 32 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum	82
Tabel 5.33 Perbandingan Nilai VITM dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	83
Tabel 5.34 Perbandingan Nilai VFWA dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	85
Tabel 5.35 Perbandingan Nilai VMA dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	86
Tabel 5. 36 Perbandingan Nilai Kepadatan dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	88
Tabel 5.37 Perbandingan Nilai Stabilitas dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	89
Tabel 5. 38 Perbandingan Nilai <i>Flow</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	91
Tabel 5. 39 Perbandingan Nilai <i>Marshall Quotient</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	92

Tabel 5. 40 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> Pada KAO dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	93
Tabel 5. 41 Hasil Pengujian <i>Index Retained Strenght</i> Pada KAO dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	95
Tabel 5. 42 Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i> Pada KAO dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	96
Tabel 5. 43 Perbandingan Nilai <i>Cantabro Loss</i> pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	98
Tabel 5.44 Rekapitulasi Perbandingan Nilai <i>Sbit</i>	99
Tabel 5.45 Rekapitulasi Perbandingan Nilai <i>Smix</i>	99
Tabel 5. 46 Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking</i> dengan Lintasan dan Deformasi pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dan Substitusi <i>Fly Ash</i>	100
Tabel 5.47 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana	104
Tabel 5.48 Rekapitulasi Perhitungan Umur Rencana pada Bahan Ikat Pen 60/70	104
Tabel 5.49 Rekapitulasi Perhitungan Umur Rencana pada Bahan Ikat Starbit PG-70	105
Tabel 5.50 Hasil Analisis Perkerasan Lentur pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	105
Tabel 5. 51 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik pada Keseluruhan Parameter	108

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Tampilan Program <i>KENPAVE</i>	35
Gambar 4. 1 Rencana Gradasi Campuran <i>Superpave</i>	44
Gambar 5. 1 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 0%	52
Gambar 5. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 50%	52
Gambar 5. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 100%	52
Gambar 5. 4 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 0%	54
Gambar 5. 5 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 50%	54
Gambar 5. 6 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> 100%	55
Gambar 5. 7 Grafik <i>Flow</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% <i>Fly Ash</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	69
Gambar 5. 8 Grafik <i>Flow</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% <i>Fly Ash</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	70
Gambar 5. 9 Grafik <i>Flow</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% <i>Fly Ash</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	70
Gambar 5. 10 Grafik <i>VITM</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% <i>Fly Ash</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	71
Gambar 5. 11 Grafik <i>VITM</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% <i>Fly Ash</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	71
Gambar 5. 12 Grafik <i>VITM</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% <i>Fly Ash</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	72
Gambar 5. 13 Grafik <i>VFWA</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% <i>Fly Ash</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	73

Gambar 5. 14 Grafik <i>VFWA</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% <i>Fly Ash</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	74
Gambar 5. 15 Grafik <i>VFWA</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% <i>Fly Ash</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	74
Gambar 5. 16 Grafik <i>VMA</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% <i>Fly Ash</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	76
Gambar 5. 17 Grafik <i>VMA</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% <i>Fly Ash</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	76
Gambar 5. 18 Grafik <i>VMA</i> dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% <i>Fly Ash</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	76
Gambar 5. 19 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% <i>Fly Ash</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	78
Gambar 5. 20 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% <i>Fly Ash</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	78
Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% <i>Fly Ash</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	78
Gambar 5. 22 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>MQ</i> pada Substitusi <i>Fly Ash</i> 0%	80
Gambar 5. 23 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>MQ</i> pada Substitusi <i>Fly Ash</i> 50%	80
Gambar 5. 24 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai <i>MQ</i> pada Substitusi <i>Fly Ash</i> 100%	80
Gambar 5. 25 Perbandingan Kadar Aspal Optimum Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	82
Gambar 5. 26 Perbandingan Nilai VITM dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	84
Gambar 5. 27 Perbandingan Nilai <i>VFWA</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	85

Gambar 5. 28 Perbandingan Nilai VMA dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	87
Gambar 5. 29 Perbandingan Nilai Kepadatan dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	88
Gambar 5. 30 Perbandingan Nilai Stabilitas dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	89
Gambar 5. 31 Perbandingan Nilai <i>Flow</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	91
Gambar 5. 32 Perbandingan Nilai <i>Marshall Quotient</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	92
Gambar 5. 33 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> Pada KAO dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	94
Gambar 5. 34 Hasil Pengujian <i>Index Retained Strenght</i> Pada KAO dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	95
Gambar 5. 35 Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i> Pada KAO dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	97
Gambar 5. 36 Perbandingan Nilai <i>Cantabro Loss</i> pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	98
Gambar 5. 37 Grafik Hubungan Lintasan dengan Deformasi pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	101
Gambar 5. 38 Grafik Hubungan Lintasan dengan Deformasi pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Berbahan ikat Starbit PG-70 dengan Substitusi <i>Fly Ash</i>	101
Gambar 5. 39 Grafik Hubungan Dinamis Stabilitas dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> Pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70	102
Gambar 5. 40 Grafik Hubungan Kecepatan Deformasi dengan Substitusi <i>Fly Ash</i> Pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70	102

Gambar 5. 41 Grafik Perbandingan Nilai Beban Gandar Maks. Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	106
Gambar 5. 42 Grafik Perbandingan Prediksi Umur Pelayanan Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikan Starbit PG-70 dan Pen 60/70	106

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	122
Lampiran 2. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Starbit PG-70	123
Lampiran 3. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Starbit PG-70	124
Lampiran 4.. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen 60/70	125
Lampiran 5. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pertamina Pen 60/70	126
Lampiran 6. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Starbit PG-70	127
Lampiran 7. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pertamina Pen 60/70	128
Lampiran 8. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Starbit PG-70	129
Lampiran 9. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Starbit PG-70	130
Lampiran 10. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Starbit PG-70	131
Lampiran 11. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 Dalam CCL4	132
Lampiran 12. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Starbit PG-70	133
Lampiran 13. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	134
Lampiran 14. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Starbit PG-70	135
Lampiran 15. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	136
Lampiran 16. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	137
Lampiran 17. Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	138
Lampiran 18. Pemeriksaan Keausan Agregat	139
Lampiran 19. Pemeriksaan Berat Jenis Debu Batu	140
Lampiran 20. Pemeriksaan Berat Jenis Debu Batu	141
Lampiran 21. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 0% dengan Bahan Ikat Pen 60/70	142
Lampiran 22. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 50% dengan Bahan Ikat Pen 60/70	144
Lampiran 23. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 100% dengan Bahan Ikat Pen 60/70	146
Lampiran 24. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 0% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70	148

Lampiran 25. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 50% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70	150
Lampiran 26. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70	152
Lampiran 27. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Pen 60/70	154
Lampiran 28. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70	155
Lampiran 29. Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70	156
Lampiran 30. Hasil Pengujian IRS dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70	158
Lampiran 31. Hasil Pengujian ITS dan TSR dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70	160
Lampiran 32. Hasil Pengujian Cantabro dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70	162
Lampiran 33. Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Substitusi Fly Ash 0%, dengan Bahan Ikat Starbit PG-70	164
Lampiran 34. Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Substitusi Fly Ash 50%, dengan Bahan Ikat Starbit PG-70	165
Lampiran 35. Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Substitusi Fly Ash 100%, dengan Bahan Ikat Starbit PG-70	166
Lampiran 36. Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Substitusi Fly Ash 0%, dengan Bahan Ikat Pen 60/70	167
Lampiran 37. Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Substitusi Fly Ash 50%, dengan Bahan Ikat Pen 60/70	168

Lampiran 38. Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking</i> Substitusi Fly Ash 100%, dengan Bahan Ikat Pen 60/70	169
Lampiran 39. Nilai <i>Stiffness Modulus</i> dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70	170
Lampiran 40. Nilai Analisis Kenpave dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70	171
Lampiran 41. Hasil Analisis <i>T-test</i> Pengujian Sifat Fisik Aspal Starbit PG-70 Terhadap Pen 60/70	173
Lampiran 42. Hasil Analisis <i>Anova</i> Terhadap Karakteristik Marshall	175
Lampiran 43. Hasil Analisis <i>Anova</i> Terhadap Uji <i>Immersion</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , <i>Cantabro</i> , Kecepatan Deformasi, Stabilitas Dinamis, IDP dan IDK	179

DAFTAR NOTASI

a	= persentase aspal terhadap batuan (%)
A	= kepekaan bitumen terhadap perubahan temperatur
AASHTO	= <i>American Association of State Highway Transportation</i>
AC	= <i>Asphalt Concrete, lapisan aspal beton, Laston</i>
Ao	= konstanta
ASTM	= <i>American Society for testing and Materials</i>
b	= persentase aspal terhadap campuran (%)
c	= berat benda uji sebelum direndam (gr)
CL	= <i>Cantabro Loss (%)</i>
d	= berat benda uji dalam keadaan jenuh / ssd (gr)
d_1	= nilai deformasi (kedalamannya) pada menit ke t1 45 menit (mm)
d_2	= nilai deformasi (kedalamannya) pada menit ke t2 60 menit (mm)
DS	= <i>dynamic stability</i> (lintasan/mm)
e	= berat dalam air (gr)
E	= modulus elastisitas pada lapisan permukaan atau lapis <i>HMA</i> (KPa)
f	= volume / isi (cm^3)
g	= nilai density (gr/cc)
h	= berat jenis maksimum teoritis campuran
IRS	= <i>Index or Retained Strength (%)</i>
ITS	= <i>Indirect Tensile Strength (kg/cm)</i>
KAO	= Kadar Aspal Optimum
L	= persentase kehilangan berat (%)
l	= nilai <i>VMA (%)</i>

m	= nilai <i>VFWA</i> (%)
M _i	= berat setelah diabrasi (gr)
M _o	= berat sebelum diabrasi (gr)
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
n	= nilai <i>VITM</i> (%)
N _d	= jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol <i>rutting</i> (ESAL)
N _f	= jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol <i>Fatigue Cracking</i> (ESAL)
p	= pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat
P runtuh	= beban puncak (kg)
PI	= <i>penetration index</i>
q	= stabilitas (kg)
<i>Q</i>	= <i>Stability</i> (kg)
r	= nilai <i>flow</i> (mm)
RD	= <i>rate of deformation</i> (mm/menit)
s	= koreksi tebal benda uji
s ₁	= rata-rata nilai stabilitas Marshall setelah perendaman selama 30 menit (kg)
s ₂	= rata-rata nilai stabilitas Marshall setelah perendaman selama 24 jam (kg)
s ₁	= rata-rata nilai <i>ITS</i> setelah perendaman selama 30 menit (kg)
s ₂	= rata-rata nilai <i>ITS</i> setelah perendaman selama 24 jam (kg)
<i>SHRP</i>	= <i>Strategic Highway Research Program</i>
t ₁	= waktu pengujian 45 menit
t ₂	= waktu pengujian 60 menit
T ₁	= temperatur saat penetrasi 25° C

T_2	= temperatur saat <i>softening point</i>
TSR	= <i>Tensile Strength Ratio (%)</i>
$VFWA$	= <i>Void Filled with Asphalt (%)</i>
$VITM$	= <i>Void in Mineral Agregat (%)</i>
VMA	= <i>Void in Mineral Agregate (%)</i>
ϵ_t	= <i>Tensile Strength</i> di lokasi tinjau kritis yang dihitung berdasarkan Respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapisan permukaan (cm)
ϵ_c	= Regangan tekan vertical diatas lapisan dasar (cm)

ABSTRAK

Tantangan volume kendaraan yang semakin meningkat dan beban yang ekstrim perlu diantisipasi melalui material perkerasan, baik untuk gradasi maupun bahan ikat. *Fly ash* merupakan limbah yang berasal dari sisa pembakaran batu bara. Penelitian ini menyajikan pengaruh substitusi *fly ash* sebagai *filler* terhadap karakteristik campuran perkerasan *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70.

Percobaan laboratorium diawali dengan pengujian fisik bahan agregat dan aspal, kemudian dilakukan penentuan kadar aspal optimum pada campuran dengan substitusi 0%, 50% dan 100% untuk masing-masing jenis bahan ikat, selanjutnya dilakukan serangkaian pengujian berupa *Marshall Standard*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)*, dan *Wheel Tracking Machine (WTM)* pada setiap kadar aspal optimum, serta dilakukan analisis perhitungan *stiffness modulus* sekaligus melakukan analisis data pada program *KENPAVE*, selanjutnya dilakukan analisis, pembahasan dan kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa persentasi substitusi *fly ash* terbaik sebesar 100% baik pada campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70. Pada sifat volumetrik substitusi *fly ash* mampu menurunkan nilai *VITM*, *Flow* dan *Density* seiring bertambahnya kadar substitusi dan meningkatkan nilai *VMA*, dan *VFWA*. Penggunaan *fly ash* mampu meningkatkan kinerja Stabilitas *Marshall* dan meningkatkan kekuatan tarik tidak langsung yang diperoleh dari pengujian ITS, dalam hal ini penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 terbukti mampu meningkatkan kinerja ITS dan parameter *Marshall*. Pada pengujian *immersion* campuran dengan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dalam ketahanan campuran pada suhu yang ekstrem dibandingkan dengan Pen 60/70, *fly ash* juga mampu meningkatkan ketahanan benda uji lebih baik ditunjukkan dengan nilai *stiffness modulus* tinggi dan ketahanan terhadap keausan yang disimulasikan dengan pengujian *Cantabro test*, serta penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 juga memiliki peran untuk meningkatkan ketahanan benda uji terhadap keausan dibandingkan campuran dengan bahan ikat Pen 60/70. Pada pengujian *Wheel Tracking*, *fly ash* mampu meningkatkan kinerja stabilitas dinamis dan mengurangi efek deformasi, penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 terbukti mampu memperlambat laju efek deformasi dibandingkan Pen 60/70.

Kata Kunci : *Superpave, Fly Ash, Starbit PG-70, KENPAVE*

ABSTRACT

The challenges of increasing vehicle volumes and extreme loads need to be anticipated through pavement materials, both for gradation and binding materials. Fly ash is waste that comes from coal combustion. This research presents the effect of fly ash substitution as a filler on the characteristics of Superpave pavement mixtures with Pen 60/70 and Starbit PG-70 binders.

The laboratory experiment begins with physical testing of aggregate and bitumen materials, then determines the optimum bitumen content in the mixture with 0%, 50% and 100% substitution for each type of binding material, then a series of tests are carried out in the form of Marshall Standard, Index of Retained Strength (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR), Cantabro Loss (CL), and Wheel Tracking Machine (WTM) at each optimum bitumen content, as well as analysing the stiffness modulus calculations as well as conducting data analysis on the KENPAVE program, then analysis, discussion and conclusions are carried out on the results of the research that has been done.

The research results showed that the best percentage of fly ash substitution was 100% for the mixture using Pen 60/70 and Starbit PG-70 binders. In terms of volumetric properties, fly ash substitution can reduce the VITM, flow, and density values as the substitution content increases and increases the VMA and VFWA values. The use of fly ash is able to improve Marshall stability performance and increase the indirect tensile strength obtained from ITS testing. In this case, the use of Starbit PG-70 bonding material is proven to be able to improve ITS performance and Marshall parameters. In testing the immersion mixture with the Starbit PG-70 binder, it was superior in the resistance of the mixture at extreme temperatures compared to Pen 60/70 binder. Fly ash was also able to increase the durability of the test specimen better, as indicated by the high modulus stiffness values and resistance to wear that were simulated by the Cantabro test. The use of the Starbit PG-70 binder also plays a role in increasing the resistance of the test object to wear compared to mixtures with Pen 60/70 binder. In the wheel tracking test, fly ash was able to improve dynamic stability performance and reduce the cooling effect. The use of Starbit PG-70 binding material was proven to be able to slow down the rate of acceleration effects compared to Pen 60/70.

Keywords: Superpave, Fly Ash, Starbit PG-70, KENPAVE

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia adalah salah satu negara yang sangat memerlukan inovasi atau penyesuaian untuk mendorong perkembangan perangkat pengendalian lalu lintas, termasuk infrastruktur jalan. Kenaikan jumlah lalu lintas dan pertumbuhan kendaraan yang cepat, serta masalah terkait iklim dan lingkungan yang semakin menantang, mengakibatkan perlunya perkerasan jalan yang dapat mengatasi tantangan yang timbul akibat faktor-faktor seperti volume lalu lintas yang tinggi, beban berlebihan, dan kondisi cuaca ekstrem. Maka, perlu adanya upaya antisipatif dengan memodifikasi atau mencari bahan perkerasan yang baik dan ramah lingkungan sebagai alternatif.

Superpave adalah salah satu jenis gradasi yang bisa diadopsi di Indonesia. Penggunaan dan implementasi tipe gradasi ini telah mengalami perkembangan pesat di Amerika. Campuran *Superpave* merupakan gradasi campuran beton aspal yang dikembangkan oleh *Strategic Highway Research Program (SHRP)*, menurut Fauziah, dkk (2014) campuran *Superpave* memiliki potensi untuk mengurangi dampak deformasi plastis dan retakan awal yang disebabkan oleh beban lalu lintas yang berulang. Selain itu, Karahancer, dkk (2018) dan Zumwari (2019) berpendapat bahwa perkerasan *Superpave* memiliki kemampuan untuk menghindari penurunan kinerja akibat kondisi ekstrem. Nono (2010) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa campuran *Superpave* direkomendasikan karena memiliki tingkat ketahanan terhadap deformasi permanen yang tinggi, dengan nilai $C_{max} > 98\%$. Hal ini mengindikasikan bahwa rongga dalam campuran *VITM* harus $> 2\%$.

Selain peranan gradasi, pemilihan jenis bahan pengikat juga memiliki peran penting dalam meningkatkan dan memaksimalkan kinerja perkerasan jalan. Hadi (2021) telah melakukan kajian terhadap 2 aspek yaitu pengaruh jenis perkerasan yang berbeda dan jenis bahan ikat terhadap karakteristik campuran suatu

perkerasan. Penelitian tersebut mengadopsi dua jenis perkerasan, yaitu *Superpave* dan *AC-WC*. Hasil kesimpulan penelitian menunjukkan bahwa kadar aspal optimum dan performa perkerasan yang bervariasi pada jenis gradasi dan bahan pengikat yang berbeda. Di Indonesia, terdapat beberapa jenis bahan pengikat modifikasi yang dapat menjadi alternatif dan salah satunya adalah bahan pengikat modifikasi Starbit PG-70.

Starbit merupakan salah satu jenis bahan ikat komersial yang telah ditingkatkan kualitasnya melalui bahan tambah atau *additive* PT Bintang Jaya (2013), hal ini membuatnya menjadi lebih unggul dibandingkan bahan ikat perkerasan konvensional yang biasanya secara umum digunakan di Indonesia. Beberapa studi yang telah diterbitkan dalam berbagai jurnal, seperti riset yang dilakukan oleh Pangaraya (2015), Yusuf dan Fauziah (2018), Nugroho dan Subarkah (2018), serta Hadi dan Fauziah (2019) yang mengaplikasikan Starbit sebagai bahan ikat. Penggunaan Starbit sebagai bahan ikat dengan tipe penetrasi yang berbeda berpotensi meningkatkan sifat karakteristik perkerasan awal yang sama. Menurut Subarkah dkk (2020) pada penelitiannya yang menggunakan Starbit E-60 sebagai bahan ikat modifikasi, campuran perkerasan dengan Starbit E-60 lebih tahan terhadap benturan atau abrasi jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70. Hal ini disebabkan oleh kandungan elastomer dalam Starbit E-60, sehingga bahan tersebut memiliki elastisitas dan kekuatan yang cukup untuk mengatasi dampak benturan.

Selain peranan gradasi dan jenis bahan ikat, *filler* juga memiliki peran yang sangat penting dalam meningkatkan kualitas suatu perkerasan. *Filler* berfungsi untuk mengisi ruang kosong antara agregat. Pemanfaatan *filler* dalam campuran perkerasan memiliki dampak besar pada pembentukan tekstur permukaan jalan dan kekuatan jalan. Bahan-bahan yang umum digunakan sebagai *filler* adalah abu batu, kapur dan *portland cement*. Penggunaan *filler* dalam perkerasan memerlukan sejumlah bahan yang besar, sehingga penggunaan *filler* dapat mempengaruhi biaya konstruksi perkerasan secara signifikan. Salah satu cara untuk mengatasi biaya konstruksi perkerasan adalah dengan menggunakan limbah yang tersedia, seperti abu terbang batubara (*fly ash*), sebagai alternatif bahan pengganti *filler*.

Batubara adalah salah satu bahan bakar fosil yang ada di Indonesia dan diperkirakan ketersediaannya mencapai 38,9 miliar ton. Dari 38,9 miliar ton tersebut, sekita 67% berada di Sumatera, 32% berada di Kalimantan dan sisanya berada di Pulau Jawa, Sulawesi dan Irian Jaya, Wardani (2008). Abu terbang pada dasarnya tidak memiliki kemampuan untuk mengikat, tetapi dengan adanya partikel yang ukurannya halus dan ditambah kehadiran air, oksida silika yang terkandung dalam abu terbang akan menimbulkan reaksi kimia dengan kalsium hidroksida yang menghasilkan zat yang mampu mengikat. Hal ini yang membuat *fly ash* dapat dijadikan alternatif untuk bahan campuran penyusun lapisan perkerasan jalan. Pemanfaatan *fly ash* sebagai bahan campuran perkerasan jalan bertujuan untuk mengurangi pencemaran lingkungan. Pemanfaatan *fly ash* untuk lapis perkerasan jalan harus memiliki proporsi yang tepat agar pemanfaatannya bisa optimal.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah diuraikan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan perkerasan dengan gradasi tipe *Superpave* dan bahan ikat Starbit dengan penambahan *fly ash* dapat menjadi solusi alternatif untuk mengatasi permasalahan perkerasan jalan di Indonesia. Namun, masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengukur sejauh mana peningkatan kinerja perkerasan jalan yang disebabkan oleh kombinasi tipe gradasi *Superpave* dengan bahan ikat Starbit PG-70 dan penggunaan *fly ash*. Penelitian ini mencakup pengujian karakteristik *Marshall*, *Index or Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)*, *Wheel Tracking (WT)*, serta analisis akhir berupa ketahanan perkerasan menggunakan aplikasi *KENPAVE*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu inovasi yang berkontribusi pada kemajuan infrastruktur transportasi di Indonesia, terutama dalam hal pengembangan perkerasan jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler* ?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *IRS* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler* ?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *ITS* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler* ?
4. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *TRS* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler* ?
5. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *CL* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler* ?
6. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *Wheel Tracking* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler* ?
7. Bagaimana perbandingan karakteristik *Stiffness Modulus* campuran *Superpave* dengan bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *fly ash* sebagai *filler* ?
8. Bagaimana prediksi umur pelayanan (analisis dengan *KENPAVE*) campuran *Superpave* dengan menggunakan bahan ikat konvensional penetrasi 60/70 dan bahan ikat modifikasi starbit PG-70 dengan *fly ash* sebagai bahan pengganti *filler* ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Menganalisis pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*.
2. Menganalisis pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *IRS* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*.
3. Menganalisis pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *ITS* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*.
4. Menentukan pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *TRS* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*.
5. Menentukan pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *CL* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*.
6. Menentukan pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit PG-70 terhadap nilai *Wheel Tracking* pada campuran *Superpave* dengan *fly ash* sebagai pengganti *filler*.
7. Menganalisa perbandingan karakteristik *Stiffness Modulus* campuran *Superpave* dengan bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *fly ash* sebagai *filler*
8. Mendapatkan hasil prediksi umur pelayanan (analisis dengan *KENPAVE*) campuran *Superpave* dengan menggunakan bahan ikat konvensional penetrasi 60/70 dan bahan ikat modifikasi starbit PG-70 dengan *fly ash* sebagai bahan pengganti *filler*.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun Batasan masalah dalam penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan pada campuran *Superpave* dengan limbah batubara sebagai *filler*.
2. Lapisan perkerasan yang didesain adalah lapisan permukaan (*Surface Course*).

3. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal Pen 60/70 dan polimer Starbit PG-70.
4. Pengaruh rekasi kimia pada polimer Starbit PG-70 tidak ditinjau.
5. Agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
6. *Fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU Pacitan dengan kadar 0%, 50% dan 100%.
7. Campuran KAO 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%
8. Pengujian karakteristik campuran *Superpave* terdiri dari *Marshall Test*, *Index or Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)*, dan *Wheel Tracking (WTM)* campuran dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan *Fly Ash* sebagai substitusi *filler*.
9. Pengujian IRS dan TSR menggunakan penerapan rendaman dengan durasi 0,5 jam dan 24 jam.
10. Analisis prediksi umur pelayanan menggunakan data LHR tahun 2023 pada Lokasi Jalan Tepus - Jerukwudel.
11. Pada proses analisa hasil akhir perkerasan (*KENLAYER*), opsi desain ulang alternatif tebal perkerasan tidak digunakan
12. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Campuran Beraspal Direktorat Bina Jalan dan Jembatan Bandung.

1.5 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat antara lain sebagai berikut.

1. Memperluas pemahaman dan pengetahuan tentang kinerja karakteristik perkerasan lentur, dengan substitusi *fly ash* sebagai bahan pengganti *filler*.
2. Meningkatkan pengetahuan penggunaan dan pemanfaatan limbah sebagai bahan pengganti *filler*.

3. Meningkatkan dan mengembangkan kualitas teknologi campuran *Superpave*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kinerja Campuran Aspal *Superpave*

Superpave adalah salah satu standar gradasi yang digunakan untuk campuran beton aspal, yang dibuat dan dikembangkan oleh *Strategic Highway Research Program (SHRP)*. *Superpave* menetapkan persyaratan spesifikasi target gradasi dalam bentuk ukuran minimum dan maksimum untuk setiap rancangan campuran aspal panas dengan tujuan untuk mengurangi resiko keretakan awal dan deformasi plastis akibat pengulangan beban kendaraan atau lalu lintas.

Widajat dan Nono (2011) menyatakan bahwa gradasi *Superpave* dapat digolongkan ke dalam jenis gradasi senjang (*gap graded*) karena mengandung fraksi agregat dengan jumlah butir yang sedikit atau dibatasi. Namun, gradasi ini tidak memiliki kurva kontur yang khas, melainkan ditentukan berdasarkan titik-titik kontrol yang membatasi ukuran butiran yang diizinkan. Dengan demikian, variasi dalam gradasi ini dapat diatur lebih fleksibel, dengan harapan dapat meningkatkan kualitas perkerasan jalan. Nono (2010) menjelaskan bahwa *Superpave* merekomendasikan agar campuran memiliki ketahanan terhadap deformasi permanen maka $C_{irit} > 98\%$. Hal ini mengindikasikan bahwa rongga dalam campuran *VITM* harus $> 2\%$. Menurut Karahancer, dkk (2018) dan Zumwari (2019) pada penelitian kasus di negaranya menyimpulkan bahwa campuran *Superpave* memiliki kemampuan untuk mengatasi penurunan kinerja akibat kondisi ekstrim, sehingga sangat efektif untuk diterapkan terutama di negara-negara yang memiliki iklim ekstrim.

Sebelumnya, Fauziah dan Safitri (2016) telah melakukan penelitian tentang penggunaan campuran *Superpave*. Mereka menyimpulkan bahwa baik campuran *Superpave* yang menggunakan bahan aspal Pen 60/70 maupun *Retona Bleend 55* memiliki ketahanan terhadap faktor perendaman yang sama. Hal ini terlihat dari perubahan nilai *Index of Retained Strength* pada campuran *Superpave* yang mengalami peningkatan setelah direndam dalam air hujan selama 96 jam. Menurut

Hadi dan Fauziah (2019), campuran *Superpave* dapat menjadi solusi untuk mengatasi masalah yang terkait dengan pembebanan dan perendaman yang terjadi di Lapangan. Ini disebabkan oleh ikatan antar agregat yang kuat dalam campuran *Superpave*, sehingga perkerasan yang dihasilkan memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap beban vertikal dan perendaman dalam jangka waktu tertentu. Penelitian lain yang dilakukan oleh Miagi (2015) juga menyelidiki penggunaan campuran *Superpave*. Hasil penelitian tersebut menyimpulkan bahwa campuran *Superpave* dapat mengatasi masalah deformasi permanen (*rutting*) dan retakan akibat suhu rendah yang sering terjadi di Indonesia. Dengan penambahan serat kelapa pada campuran *Superpave*, penelitian ini juga menunjukkan peningkatan stabilitas sebesar 10%, yang mengindikasikan bahwa campuran tersebut menjadi lebih kuat dan lebih unggul daripada sebelumnya.

2.2 Pengaruh Bahan Ikat Terhadap Kinerja Campuran Perkerasan

Perkembangan teknologi telah menghasilkan berbagai jenis bahan tambahan atau yang sering disebut sebagai aditif, yang dapat dicampurkan atau ditambahkan ke dalam aspal. Pada dasarnya, tujuan dari modifikasi aspal adalah untuk meningkatkan mutu aspal yang digunakan dalam pembuatan atau perbaikan jalan. Aspal memiliki karakteristik yang kurang menguntungkan, sehingga para ahli telah berupaya mencari bahan-bahan yang dapat memperbaiki sifat fisik dan kimia dari aspal tersebut.

Sukirman (2003) mendefinisikan aspal modifikasi sebagai aspal yang terbentuk melalui proses pencampuran atau penambahan bahan tambahan (*additive*) dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas aspal dan mempermudah pengolahannya (*workability*). Menurut Prastanto dkk (2015), aspal modifikasi adalah suatu formula aspal yang mengandung aditif (elastomer atau plastomer) dengan tujuan untuk menghasilkan sifat perkerasan jalan yang lebih unggul, seperti mengurangi deformasi pada perkerasan, meningkatkan ketahanan terhadap retak, dan meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat.

PT. Bintang Djaya telah mengembangkan aspal modifikasi berbasis polimer dengan nama aspal Starbit PG-70. Penelitian tentang penggunaan aspal modifikasi

Starbit sudah dipublikasikan dalam beberapa jurnal, seperti jurnal penelitian yang dilakukan oleh Fauziah dan Handaka (2017), yang membandingkan kinerja Aspal Starbit E-55 dengan Aspal Pen 60/70 pada campuran *Split Mastic Asphalt* pada kondisi rendaman air. Yusuf dan Fauziah (2018), yang membandingkan kinerja Aspal Starbit E-55 dengan Aspal Pen 60/70 pada campuran *Stone Matrix Asphalt* pada kondisi rendaman air laut. Hadi dan Fauziah (2019) yang membandingkan kinerja Aspal Starbit E-55 dengan Aspal Pen 60/70 pada campuran *Superpave* pada kondisi rendaman air payau.

Pada volumentrik, menurut Nugroho dan Subarkah (2018) bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai *Void in Mineral Agregat* (VMA) yang cenderung lebih tinggi dari pada campuran aspal Pen 60/70 pada kadar aspal yang sama, hal ini disebabkan aspal Starbit E-55 memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah, Fauziah dan Handaka (2017) serta Yulienda dan Fauziah (2017) juga menemukan hasil nilai *Void in Total Mix* (VITM) pada aspal Starbit E-55 cenderung lebih tinggi. Namun tingginya nilai VITM akan memberikan dampak positif berupa kekuatan yang lebih pada campuran perkerasan sehingga perubahan suhu tidak mudah mempengaruhi perkerasan.

Faisal, dkk (2018) pada penelitiannya mengatakan bahwa campuran yang menggunakan Starbit E-55 memiliki keunggulan berupa nilai stabilitasnya yang paling terbaik dibandingkan 4 jenis aspal lainnya, yaitu aspal Pen 60/70, Retona Blend E-55, *Crumb Rubbrer*, dan *Ethylene Vintyl Acetate*. Intari, dkk (2015) menyimpulkan bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 mampu memberikan dampak berupa peningkatan nilai stabilitas yang lebih tinggi dari batas minimum yang disyaratkan. Hal ini disebabkan beton aspal dengan modifikasi polimer dapat meningkatkan stabilitas dan kekuatan beton beraspal serta meningkatkan ketahanan leleh (*fatigue*) campuran perkerasan.

Penggunaan bahan ikat Starbit dengan tipe penetrasi yang berbeda juga memiliki kemampuan untuk meningkatkan karakteristik perkerasan awal yang sama. Putra dan Subarkah (2018) serta Subarkah, dkk (2020) dalam studinya yang menggunakan modifikasi Starbit E-60 sebagai bahan ikat menunjukkan hasil bahwa campuran campuran perkerasan dengan bahan ikat Starbit E-60 lebih tanah

terhadap abrasi atau benturan dibandingkan dengan campuran aspal dengan bahan ikat Starbit E-60 berbasis elastomer sehingga memiliki keelastisan dan kekuatan yang lebih mampu mengatasi dampak benturan yang terjadi. Sedangkan untuk parameter pengujian yang lainnya, Nugraha dan Subarkah (2020) mendapatkan hasil bahwa nilai *Indirect Tensile Strenght*, *Cantabro*, *Immersion*, dan Stabilitas campuran aspal dengan bahan ikat Starbit E-60 lebih baik dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70.

2.3 Pengaruh *Filler* Pengganti Terhadap Kinerja Campuran

Menurut Sukirman (2003), bahan pengisi (*filler*) dapat terdiri dari berbagai jenis bahan seperti debu batu kapur, semen *portland*, abu terbang, atau material non-plastis lainnya. Bahan *filler* yang ditambahkan harus dalam keadaan kering, bebas dari gumpalan, dan jika diuji sesuai dengan standar SNI 03-4142-1996, harus dapat melewati ayakan No. 200 (0,075 mm) tidak kurang dari 75% dari yang dapat melewati ayakan No. 30 (0,600 mm), dan harus memiliki sifat non-plastis. Fungsi utama dari bahan pengisi (*filler*) adalah untuk mengubah karakteristik agregat halus, sehingga meningkatkan berat jenis campuran dan pada akhirnya mengurangi jumlah aspal yang dibutuhkan untuk mengisi rongga dalam campuran tersebut (Suprpto, 2004).

Kajian tentang pengaruh penggunaan *filler fly ash* (abu batubara) pernah dilakukan oleh Wahyuningsih (2008), penelitian tersebut menggunakan *filler* abu batubara (*fly ash*), *filler* abu sekam padi (*rice husk ash*) dan *filler* abu batu pada kinerja lapis aspal beton (LASTON). Hasil dari penelitian ini *fly ash* dan abu sekam padi dapat digunakan sebagai *filler* pada campuran LASTON dengan kadar aspal tertentu. Arifin, dkk (2018) mengatakan bahwa bahan pengisi abu terbang batubara menurunkan nilai *resilien* campuran beton aspal lapis aus pada saat stabilitas campuran bertambah. Hal ini menandakan bahwa dengan menggunakan bahan pengisi abu terbang batubara, perkerasan yang memiliki stabilitas tinggi dan lebih kaku akan mempunyai kemampuan deformasi balik yang rendah, dan sebaliknya perkerasan yang memiliki stabilitas rendah dan lebih lentur mempunyai kemampuan daformasi balik yang baik. Permana, dkk (2019), pada penelitiannya

yang memanfaatkan pasir kuarsa dan *fly ash* sebagai pengganti *filler* pada campuran Laston AC-BC, menyimpulkan bahwa campuran Laston AC-BC dengan menggunakan pasir kuarsa dan *fly ash* menunjukkan hasil stabilitas dan *flow* yang lebih baik. Hal ini menandakan penggunaan pasir kuarsa dan *fly ash* berpengaruh terhadap campuran Laston AC-BC.

Pada penelitian ini bahan pengisi yang digunakan adalah *fly ash*. *Fly ash* batubara merupakan limbah industri yang dihasilkan dari pembakaran batubara yang terdiri dari partikel halus. Gradasi dan kehalusan *fly ash* batubara mampu memenuhi persyaratan gradasi AASTHO M17 untuk mineral *filler* (Sadillah, 2018). Secara kimia abu batubara (*fly ash*) merupakan mineral *alumno silica* yang mengandung unsur-unsur Ca, K, dan Na, selain itu *fly ash* juga mengandung sejumlah kecil unsur C dan N yang tersusun dari partikel berukuran kecil yang memiliki karakteristik kapasitas pengikat air dari sedang sampai tinggi, dan juga sifat-sifat pembentuk seperti semen (Nugroho, 2010). Abu terbang batubara dapat dijadikan sebagai mineral *filler* karena ukuran partikelnya yang sangat halus, dan beberapa penelitian yang dilakukan sebelumnya, abu terbang batubara mengandung unsur *pozzolan*, sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengisi rongga dan pengikat beton aspal dengan tujuan meningkatkan stabilitas dari campuran beton aspal lapis aus (*AC-WC*) (Tahir, 2009). Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik yaitu silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3), besi oksida (Fe_2O_3), kalsium (CaO) dan sisanya yaitu magnesium, potassium, sodium, titanium dan belerang dalam jumlah yang sedikit (Mia, 2011). Komposisi Kimia Abu Batubara dan Abu Batu dapat dilihat pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2.

Tabel 2. 1 Komposisi Kimia Abu Terbang Batubara

Komponen	Bituminous (%)	Sub-bituminous (%)	Lignite (%)
SiO_2	20 – 60	40 – 60	15 – 45
Al_2O_3	5 – 35	20 – 30	10 – 25
Fe_2O_3	10 – 40	4 – 10	4 – 15
CaO	1 – 12	5 – 30	15 – 40
MgO	0 – 5	1 – 6	3 – 10

Lanjutan Tabel 2.1 Komposisi Kimia Abu Terbang Batubara

Komponen	Bituminous (%)	Sub-bituminous (%)	Lignite (%)
SO_3	0 – 4	0 – 2	0 – 10
Na_2O	0 – 4	0 – 2	0 – 6
K_2O	0 – 3	0 – 4	0 – 4
LOI	0 – 15	0 – 3	0 – 5

Sumber : Mia (2011)

Tabel 2. 2 Komposisi Kimia Abu Batu

Komponen	Kadar (%)
Si	40-50
Al	10-20
Ca	10-20
Fe	5-15
Na	1-10
Mg	0-5

Sumber : Yogantari dan Sulistyani (2016)

Tahir (2009) mengungkapkan bahwa hasil pemeriksaan dan analisis karakteristik campuran beton aspal lapis aus (*AC-WC*) menunjukkan peningkatan kinerja campuran tersebut ketika kadar *filler* abu terbang batubara ditingkatkan. Peningkatan ini terlihat dalam peningkatan nilai stabilitas, fleksibilitas, dan daya tahan campuran beton aspal. Peningkatan tersebut terjadi seiring dengan peningkatan kadar *filler* abu terbang batubara yang digunakan dalam campuran beton aspal dalam benda uji penelitian. Al Qurnyn dkk (2022), dalam penelitiannya yang membandingkan antara nilai dari karakteristik *Marshall* campuran aspal normal dengan nilai karakteristik *Marshall* dengan campuran aspal dengan penambahan *fly ash*, didapatkan bahwa campuran aspal dengan penambahan bahan pengisi yang berupa *fly ash* dilihat dari keseluruhan nilai karakteristik *Marshall* nilainya rata-rata berada di atas nilai dari karakteristik *Marshall* campuran aspal normal, sehingga *fly ash* dapat dijadikan sebagai bahan pengisi untuk campuran

Laston Lapis Aus. Buanti (2018), dalam penelitiannya yang menggunakan *fly ash* dan *Asbuton* sebagai *filler* pada perkerasan *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*, didapatkan nilai stabilitas *Marshall*, *flow*, dan *marshall quotient* memenuhi persyaratan untuk semua kombinasi *filler*. Penggunaan *fly ash* dan *asbuton* sebagai kombinasi *filler* menyebabkan nilai Indeks kekuatan sisa mengalami peningkatan terhadap bertambahnya persentase *filler fly ash*. Hubungan indeks kekuatan sisa dengan persentase *fly ash* dan *asbuton* memiliki korelasi yang sangat kuat.

2.4 Prediksi umur Layanan dengan Program *KENPAVE*

Umur layanan adalah periode waktu dalam tahun yang dihitung sejak saat jalan tersebut pertama kali digunakan hingga saat diperlukan perbaikan serius atau dinyatakan butuh lapisan permukaan yang baru (Bina Marga, 1983). Dalam perencanaan jalan, faktor-faktor yang harus dipertimbangkan meliputi kategori jalan, jenis tanah, faktor lingkungan, dan volume kendaraan yang melintas di atasnya. Selama masa umur jalan yang telah direncanakan, pemeliharaan perkerasan jalan tetap harus dilakukan, termasuk pelapisan non struktural yang berfungsi sebagai lapisan aus dan penghalang air. Biasanya, umur rencana untuk perkerasan jalan baru adalah sekitar 20 tahun, sedangkan untuk peningkatan atau perbaikan jalan yang sudah ada adalah sekitar 10 tahun (Sukirman, 1992). Mengambil umur rencana yang lebih panjang dari 20 tahun tidak lagi dianggap ekonomis karena perkembangan volume lalu lintas yang signifikan dan kesulitan dalam mempertahankan tingkat ketahanan yang memadai pada perkerasan jalan tersebut.

Program *KENPAVE* adalah sebuah perangkat lunak perencanaan dan desain perkerasan yang dikembangkan oleh Huang, seorang Professor Emeritus dalam bidang Teknik Sipil di University of Kentucky. Metode perancangan yang diterapkan dalam *KENPAVE* bersifat mekanistik-empiris, yang berdasarkan pada prinsip-prinsip mekanika material, yang melibatkan data-data esensial seperti beban roda dan respons perkerasan seperti tegangan dan regangan. Nilai-nilai respons ini digunakan untuk memprediksi bagaimana tekanan pada perkerasan akan berperilaku dalam tes laboratorium serta kinerja perkerasan di lapangan. Dalam

desain perkerasan, penting untuk melakukan pengamatan langsung terhadap kinerja perkerasan, karena hanya dengan teori saja belum cukup untuk menciptakan desain perkerasan yang realistis (Huang, 2014).

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Ramadhani dan Fauziah (2018) mengenai evaluasi ketebalan perkerasan lentur menggunakan Metode Bina Marga 2013 dan Metode Mekanistik-Empiris, ditemukan bahwa dalam Metode Bina Marga 2013, penentuan ketebalan perkerasan hanya mengikuti panduan yang terdapat dalam MDPJ No. 02/M/BM/2013. Sementara dalam program *KENPAVE*, faktor-faktor seperti tekanan ban, luas area kontak roda, dan ketebalan lapisan perkerasan juga diperhitungkan. Berdasarkan prosedurnya, Metode Bina Marga 2013 dapat digunakan secara praktis. Namun, disarankan juga untuk melakukan kontrol menggunakan program *KENPAVE*, karena program ini dapat memberikan informasi tambahan mengenai keamanan desain perkerasan serta kemungkinan kerusakan yang mungkin terjadi pada perkerasan tersebut.

Dalam penelitiannya, Fadlan (2013) menyatakan bahwa evaluasi yang dilakukan mengungkapkan bahwa jumlah repetisi beban yang dihasilkan oleh ketebalan perkerasan yang direncanakan dengan metode empiris Bina Marga sangat bergantung pada ketebalan setiap lapisan perkerasan. Semakin tebal lapisan perkerasan, semakin banyak repetisi beban yang diperhitungkan. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa dalam metode mekanistik seperti program *KENPAVE*, ketebalan perkerasan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap jumlah repetisi beban yang dianggap dalam perencanaan.

Sebelumnya, Suwanda dan Kushari (2019) telah melakukan penggunaan program *KENPAVE* untuk tujuan meramalkan umur layanan pada ruas jalan Tempel - Pakem. Hasil penelitian mereka menunjukkan bahwa analisis yang menggunakan program *KENPAVE* untuk meramalkan kerusakan, menghasilkan prediksi bahwa kerusakan pertama yang mungkin terjadi pada Jalan Tempel - Pakem adalah dalam bentuk kerusakan *permanen deformation* dengan beban gandar maksimum sebesar 14.653.797 ESAL dan memprediksi umur layanan selama 18 tahun. Ini diikuti oleh kerusakan *rutting* dengan beban gandar maksimum sebesar 27.801.770 ESAL dan prediksi umur layanan selama 29 tahun. Yang

terakhir adalah kerusakan *fatigue cracking* dengan beban gandar maksimum sebesar 118.861.382 ESAL dan prediksi umur layanan selama 61 tahun.

Hakim dan Kushari (2019) telah melakukan penelitian untuk memprediksi umur layanan pada perkerasan lentur pada ruas jalan Pakem - Prambanan. Penelitian ini dilakukan sebagai bagian dari peninjauan ulang desain ketebalan perkerasan guna mengantisipasi perubahan status jalan. Hasil penelitian mereka menyimpulkan bahwa desain yang telah diimplementasikan berdasarkan pedoman MDPJ 2013 untuk rekonstruksi ruas jalan Pakem - Prambanan memiliki risiko yang rendah untuk mengalami kerusakan retak lelah sebelum mencapai umur rencana 20 tahun. Dengan demikian, penggunaan program *KENPAVE* telah membantu mengidentifikasi bahwa risiko kerusakan sangat kecil, dan ada kecenderungan untuk tidak mengalami kerusakan retak lelah sebelum mencapai 20 tahun umur rencana. Hal ini khususnya berlaku untuk struktur-struktur lain yang memiliki lapisan bahan ikat yang lebih tebal.

Dalam penelitiannya, Hadi dan Fauziah (2020) menerapkan program *KENPAVE* untuk mengidentifikasi perbedaan sensitivitas antara perkerasan bergradasi *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 dan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70. Hasil penelitian mereka menyimpulkan bahwa dengan menggunakan bahan ikat Starbit E-55 dalam campuran perkerasan *Superpave*, campuran tersebut cenderung memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menjaga kinerja perkerasan dan mengurangi risiko kerusakan awal yang diprediksi dalam bentuk deformasi permanen dibandingkan dengan perkerasan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70.

2.5 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilaksanakan

Perbandingan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan penelitian yang akan penyusun lakukan dapat dilihat pada Tabel 2.3 berikut.

Tabel 2. 3 Perbandingan Penelitian Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan Perkerasan *Superpave* dengan Bahan Ikat Stabit PG-70 dan Penambahan *Fly Ash* Sebagai Pengganti *Filler*

Aspek	Wahyuningsih (2007)	Tahir (2009)	Sukarno, dkk (2017)	Adi (2017)	Nugroho (2018)	Ardi (2020)	Hadi dan Fauziah (2021)	Penelitian dilakukan
Judul	Komparasi Penggunaan <i>Filler Fly Ash</i> (Abu Terbang), <i>Filler Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash)</i> , dan <i>Filler Abu Batu</i> Pada Kinerja Lapis Aspal Beton (LASTON)	Karakteristik Campuran Batas Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Variasi Kadar <i>Filler Abu Terbang Batu Bara</i>	Pengaruh Penambahan Bubuk Talk Terhadap Campuran Beraspal	Penggunaan Abu Batubara Hasil Pembakaran <i>Ashpalt Mixing Plant (AMP)</i> Sebagai Bahan Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON)	Perbandingan Karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> Berbahan ikat Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55 Dengan Substitusi <i>Filler Abu Ampas Tebu</i>	Pengaruh Penggunaan Serbuk Batu Gamping Sebagai Substitusi <i>Filler Terhadap Karakteristik Campuran Bergradasi Superpave</i> dengan Bahan Ikatan Starbit E-55	Studi Komparasi karakteristik Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan Antara Perkerasan <i>Superpave</i> dengan AC-WC Akibat Pengaruh Jenis Berbahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	Pengaruh Substitusi <i>Fly Ash</i> Sebagai <i>Filler Terhadap Karakteristik Campuran Superpave</i> dengan Bahan Ikatan-Pen 60/70 dan Starbit PG-70
Jenis Campuran	LASTON	AC-WC	AC-WC	AC-BC	HRA	Superpave	Superpave dan AC-WC	Superpave
Bahan yang ditambahkan	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 60/70	Pen 60/70	Pertamina Pen 60/70	Starbit E-55	Starbit E-55 dan Pen 60/70	Pen 60/70 dan Starbit PG-70
Filler	<i>Fly Ash</i> , Abu Sekam Padi, Abu Batu	Abu Terbang Batu Bara	Bubuk Talk	<i>Fly Ash</i> dan Semen	Abu Ampas Tebu	Serbuk Batu Gamping/Batu Kapur	-	Abu Terbang Batubara (<i>Fly Ash</i>)

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan Perkerasan *Superpave* dengan Bahan Ikat Stabit PG-70 dan Penambahan *Fly Ash* Sebagai Pengganti *Filler*

Aspek	Wahyuningsih (2007)	Tahir (2009)	Sukarno, dkk (2017)	Adi (2017)	Nugroho (2018)	Ardi (2020)	Hadi dan Fauziah (2021)	Penelitian dilakukan
Pengujian	<i>Marshall</i> dan <i>Immersion Test</i>	<i>Marshall</i>	<i>Marshall</i>	<i>MQ</i>	<i>Marshall</i> , <i>Immersion</i> dan <i>ITS</i>	<i>Marshall</i> , <i>ITS</i> , <i>Cantabro</i> dan <i>Immersion</i>	<i>MQ</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , <i>Cantabro Test</i> , <i>Stiffness</i> Modulus dan Prediksi Umur Pelayanan (menggunakan program <i>KENPAVE</i>).	<i>MQ</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , <i>Cantabro Test</i> , <i>Wheel Tracking</i> dan Prediksi Umur Pelayanan (menggunakan program <i>KENPAVE</i>).
Hasil	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran LASTON dengan <i>filler</i> abu sekam padi memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan oleh pengaruh air, suhu dan cuaca. Sedangkan untuk campuran LASTON dengan <i>filler Fly Ash</i> memiliki indeks ketahanan kerusakan paling kecil.	Berdasarkan hasil pemeriksaan dan analisis karakteristik campuran aspal beton dengan menggunakan <i>filler</i> abu batubara menunjukkan adanya peningkatan kinerja pada nilai stabilitas, fleksibilitas, dan durabilitas	Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa bubuk Talk layak dijadikan <i>filler</i> pada campuran beraspal karena mampu meningkatkan kepadatan dan stabilitas. Pengaruh penambahan bubuk Talk pada campuran beraspal mampu meningkatkan	Hasil penelitian dengan menggunakan abu batubara pada jenis lapisan aspal beton (LASTON) dengan jenis perkerasan dapat digunakan pada penambahan abu batu bara 2 dan 3%.	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa limbah abu ampas tebu sebagai pengganti <i>filler</i> abu batu pada campuran <i>HRA</i> berbahan ikat pen 60/70 dan Starbit E-55 memenuhi persyaratan yang ditentukan sehingga dapat digunakan sebagai <i>filler</i> pengganti. Campuran <i>HRA</i> berbahan ikat Pen 60/70 dan aspal Starbit E-55	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penggunaan serbuk batu gamping sebagai <i>filler</i> pada campuran <i>Superpave</i> memenuhi persyaratan yang ditentukan sehingga dapat digunakan sebagai <i>filler</i> . Campuran <i>Superpave</i> yang menggunakan serbuk batu	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa pengaruh campuran perkerasan bergradasi <i>Superpave</i> disetiap jenis penggunaan bahan ikatnya memiliki keunggulan nilai Stabilitas, MQ, IRS, ITS, TSR, CL, Stiffness Modulus serta prediksi masa pelayanan perkerasan yang lebih baik dibandingkan perkerasan yang menggunakan gradasi ACWC. Sedangkan untuk kajian berupa pengaruh dari penggunaan jenis bahan ikat disetiap jenis gradasinya dapat	Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum campuran dengan bahan ikat Starbit PG-70 mampu memberikan kinerja mekanis yang lebih baik dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/7 dengan keunggulan berupa tingginya nilai Stabilitas <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , <i>CL</i> , <i>Stiffness Modulus</i> , <i>WTM</i> serta prediksi masa pelayanan

Lanjutan Tabel 2.2 Perbandingan Penelitian Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan Perkerasan *Superpave* dengan Bahan Ikat Stabit PG-70 dan Penambahan *Fly Ash* Sebagai Pengganti *Filler*

Aspek	Wahyuningsih (2007)	Tahir (2009)	Sukarno, dkk (2017)	Adi (2017)	Nugroho (2018)	Ardi (2020)	Hadi dan Fauziah (2021)	Penelitian dilakukan
Hasil	. Abu sekam padi dan <i>fly ash</i> dapat digunakan sebagai <i>filler</i> pada campuran LASTON dengan kadar aspal tertentu.		50% nilai stabilitas.		dengan <i>filler</i> abu ampas tebu mengalami penurunan karakteristik <i>Marshall</i> . Keawetan campuran HRA dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55 mengalami penurunan nilai IRS dan ITS seiring dengan penggantian <i>filler</i> .	gamping sebagai <i>filler</i> mengalami peningkatan pana karakteristik <i>Marshall</i> walaupun tidak signifikan. Nilai <i>ITS</i> cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar <i>filler</i> . Nilai <i>Cantabro</i> mengalami kenaikan seiring bertambahnya kadar <i>filler</i> gamping. Nilai <i>IRS</i> sesuai dengan standar yang disyaratkan oleh Bina Marga 2010 yaitu inimum 90%	disimpulkan bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 akan memberikan dampak berupa peningkatan nilai Stabilitas, MQ, IRS, ITS, TSR, CL, Stiffness Modulus serta prediksi masa pelayanan perkerasan disetiap resiko kerusakannya yang lebih baik jika dibandingkan penggunaan jenis bahan ikat Pen 60/70.	perkerasan. Penggunaan <i>Fly Ash</i> juga mampu memberikan kinerja mekanis yang lebih baik dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/7 dengan keunggulan berupa tingginya nilai Stabilitas <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , <i>CL</i> , <i>Stiffness Modulus</i> , <i>WTM</i> serta prediksi masa pelayanan perkerasan. <i>Fly Ash</i> mengisi rongga sehingga memiliki sifat <i>interlocking</i> campurang yang kuat.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Bahan Penyusun Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur terdiri dari dua jenis bahan komponen, yaitu bahan pokok utama seperti kerikil, pasir, batu pecah, dan lain-lain, serta bahan ikat seperti aspal, semen *portland*, tanah liat, dan kapur. Terutama jenis bahan ikat dapat disesuaikan sesuai dengan tipe perkerasan jalan yang akan diaplikasikan.

3.1.1 Aspal

Aspal adalah material hidrokarbon umum yang digunakan untuk bahan ikat suatu agregat yang memiliki ciri-ciri berwarna coklat tua atau hitam pekat, dengan unsur utamanya berupa bitumen yang berasal dari pengolahan minyak bumi.

Menurut Sukirman (2003), aspal merupakan material yang pada temperatur ruang berbentuk semi padat sampai padat dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperature tertentu dan akan kembali membeku jika temperaturnya turun. Bersama dengan agregat, aspal adalah material pembentuk utama dalam pembentuk campuran perkerasan jalan.

Pada umumnya aspal yang digunakan dalam suatu perkerasan jalan adalah jenis aspal minyak, namun saat ini banyak dilakukan modifikasi terhadap jenis aspal minyak yang bertujuan meningkatkan kinerja dari aspal, salah satu hasil modifikasi tersebut adalah aspal Starbit PG-70. Starbit PG-70 merupakan salah satu hasil aspal modifikasi polimer. Menurut Fauziah dan Handaka (2017), aspal polimer Starbit adalah produk aspal komersial yang telah diberikan bahan tambah atau *additive*, sehingga kualitasnya lebih menguntungkan dibandingkan dengan aspal konvensional yang sering digunakan di Indonesia. Aspal modifikasi polimer merupakan aspal yang pembuatannya melalui proses pencampuran aspal keras dengan bahan tambah (polimer). Polimer merupakan molekul yang sangat besar

atau panjang yang dibuat secara saling menyambungkan molekul kecil atau monomer melalui reaksi kimia.

Berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 terdapat syarat yang harus dipenuhi untuk aspal keras AC 60/70 dan aspal Starbit PG-70, berikut Tabel 3.1 Persyaratan Aspal Pen 60/70 dan Tabel 3.2 Persyaratan Aspal Starbit PG-70.

Tabel 3. 1 Persyaratan Aspal Pen 60/70

Nilai Persyaratan	Standar	Jenis Pengujian
$\geq 1,0$	SNI-06-2441-1991	Berat jenis
60-70	SNI-06-2456-1991	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)
≥ 100	SNI-06-2432-1991	Daktilitas pada 25°C (cm)
≥ 232	SNI-06-2433-1991	Titik nyala (°C)
≥ 48	SNI-06-2434-1991	Titik lembek (°C)
≥ 99	ASTM D5546	Kelarutan dalam TCE (%)

Sumber : Bina Marga (2018)

Tabel 3. 2 Persyaratan Aspal Starbit PG-70

Nilai Persyaratan	Standar	Jenis Pengujian
$\geq 1,0$	SNI-06-2441-1991	Berat jenis
Min. 40	SNI-06-2456-1991	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)
≥ 50	SNI-06-2432-1991	Daktilitas pada 25°C (cm)
≥ 225	SNI-06-2433-1991	Titik nyala (°C)
≥ 54	SNI-06-2434-1991	Titik lembek (°C)
≥ 99	ASTM D5546	Kelarutan dalam TCE (%)

Sumber : Bina Marga (2018)

3.1.2 Agregat

Agregat merupakan sekumpulan butiran-butiran pecahan batu, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil buatan maupun hasil alam. Agregat berperan sebagai salah satu faktor penentu dalam kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas dan bertahan terhadap kondisi cuaca. Dalam campuran

aspal, sebagian besar komposisi adalah agregat, yang mendominasi sekitar 75-80% dari volume campuran atau sekitar 90-95% dari berat total campuran. Oleh karena itu, agregat memiliki pengaruh yang signifikan terhadap sifat dan kinerja campuran aspal. Agregat yang ideal untuk campuran berbitumen harus memiliki ukuran partikel dan gradasi yang sesuai, serta harus kokoh dan memiliki bentuk partikel yang bersudut. Selain itu, penting juga bahwa agregat memiliki tekstur yang kasar, tingkat porositas yang rendah, dan permukaan yang bersih.

Agregat dikelompokkan menjadi 3 jenis sesuai dengan persyaratannya, yaitu sebagai berikut.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang memiliki ukuran butiran yang tertahan saringan No.8 (2,36mm) (SNI 03-6819-2022). Persyaratan agregat kasar yang digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Kasar

Nilai	Standar	Pengujian	
Maks 12%	SNI 3407 : 2008	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	
> 2,5	SNI 1969 : 2008	Berat Jenis	
Maks 30%	SNI 2417 : 2008	Campuran AC bergradasi kasar	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>
Maks 40%		Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya.	
< 95%	SNI-06-2439-1991	Kelekatan aspal pada agregat	
95/90*	<i>DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No. 625</i>	Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	
80/75*		Angularitas (kedalaman dari permukaan \geq 10 cm)	
Maks 10%	<i>ASTMD4791 (1:5)</i>	Pertikel pipih dan lonjong	
Maks 1%	SNI 03-4142-1996	Material lolos ayakan No.200	
< 3%	SNI 1969 : 2008	Penyerapan air oleh agregat	

Catatan : (*) 95/90 menunjukkan bahwa agregat kasar mempunyai muka bidang pecah atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

Sumber : Bina Marga (2018)

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat yang terdiri dari pasir atau penyaringan pecahan batuan dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75mm) (SNI 03-6819-2022). persyaratan agregat halus yang digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3. 4 Persyaratan Agregat Halus

Nilai	Standar	Pengujian
> 2,5	SNI 1970 : 2008	Berat Jenis
< 3	SNI 1970 : 2008	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)
Min. 60%	SNI 03-4428-1997	Nilai setara pasir
Maks. 1%	SNI 3423 : 2008	Kadar Lempung
Min. 45	SNI 03-6877-2002	Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)
Min. 40	SNI 03-6877-2002	Angularitas (kedalaman dari permukaan \geq 10 cm)

Sumber : Bina Marga (2018)

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler adalah agregat yang terdiri dari abu batu, abu batu kapur, semen (*Portland Cement*) atau bahan non plastis lainnya yang lolos saringan No.200 (0,075 mm). Fungsi *filler* adalah mengisi rongga antara butiran agregat kasar dengan tujuan mengurangi rongga, meningkatkan kerapatan dan meningkatkan stabilitas.

Pada penelitian ini *Filler* yang akan digunakan adalah *fly ash*. *fly ash* atau abu terbang merupakan produk sampingan dari industri Pembangkit Listrik tenaga Uap (PLTU), yang menggunakan batubara sebagai bahan bakar. Pada penelitian ini *fly ash* yang didapatkan berasal dari PLTU Pacitan.

3.1.3 Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah komposisi dari campuran agregat yang dinyatakan sebagai persentase berat yang lolos dan persentase berat yang tertahan dalam serangkaian saringan tertentu. Gradasi agregat ini dihasilkan melalui proses analisis

saringan yang melibatkan pengujian dengan menggunakan satu set saringan yang telah ditentukan. Proses analisis saringan dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu menggunakan saringan basah atau saringan kering.

3.2 *Superpave Asphalt*

Superpave adalah suatu spesifikasi baru untuk gradasi campuran beton aspal yang dibuat oleh *Strategic Research Program (SHRP)*. Lima jenis gradasi agregat dikategorikan dalam ukuran nominal maksimum. Kondisi jalan di Indonesia sering terjadi kerusakan berupa retak dan deformasi permanen, hal ini sesuai dengan yang dilakukan oleh para peneliti *Strategic Research Program (SHRP)* dimana campuran *Superpave* menfokuskan 2 bahasan yaitu deformasi plastis dan suhu rendah yang mengakibatkan retak. Salah satu cara meningkatkan ketahanan terhadap deformasi plastis yaitu dengan menetapkan agregat yang tahan terhadap temperatur tinggi dan gaya geser yaitu agregat yang berbentuk kubikal kadar, gradasi yang dapat membuat daya rekat antara butiran sehingga saling mengunci.

Superpave menetapkan persyaratan spesifikasi target gradasi dalam bentuk ukuran nominal maksimum untuk setiap rancangan campuran aspal panas dengan maksud untuk mengurangi efek deformasi plastis dan keretakan awal akibat adanya pengulangan beban kendaraan atau lalu lintas. Spesifikasi Gradasi Campuran *Superpave* dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut.

Tabel 3. 5 Spesifikasi Gradasi Campuran *Superpave*

Standar Saringan (mm)	% Lolos pada Ukuran Nominal Maksimum				
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm
50					100
37,5				100	90-100
25			100	90-100	Maks.90
19		100	90-100	Maks.90	
12,5	100	90-100	Maks.90		
9,5	90-100	Maks.90			
2,36	32-67	28-58	23-49	19-45	15-41
0,075	2-10,0	2-10,0	2,0-8,0	1,0-7,0	0,0-0,6

Lanjutan Tabel 3.5 Spesifikasi Gradasi Campuran *Superpave*

Standar Saringan (mm)	% Lolos pada Ukuran Nominal Maksimum				
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm
<i>Recommended Restricted Zone</i>					
4,75				39,5	34,7
2,36	47,2	39,1	34,6	26,8-30,8	23,3-27,3
1,18	31,6-37,6	25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-24,1	15,5-21,5
0,6	23,5-27,5	19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6	11,7-15,7
0,3	18,7	15,5	13,7	11,4	10

AASHTO Designation : M 323-07. *Superpave Volumetric Mix design*.(2017)

3.3 Karakteristik *Marshall Test*

Karakteristik *Marshall Test* pada pengujian campuran beton aspal ini dapat diukur dengan beberapa parameter pengujian berikut ini.

3.3.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merujuk pada kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen seperti pembentukan gelombang atau alur (*rutting*). Nilai stabilitas ini tergantung pada kemampuan campuran perkerasan untuk menghasilkan gesekan (*friction*) dan penguncian (*interlocking*) yang memadai. Beberapa faktor yang memengaruhi nilai stabilitas mencakup gradasi agregat, bentuk dan tekstur agregat, tingkat kepadatan campuran, dan kadar aspal. Nilai stabilitas yang dihasilkan akan mencerminkan kekuatan struktural dari campuran aspal dan dipengaruhi oleh kandungan aspal, kualitas agregat dalam campuran, dan distribusi ukuran agregat dalam gradasi.

Nilai stabilitas yang dapat dihitung dengan Persamaan 3.1.

$$q = p \times s \times 0,4536 \quad (3.1)$$

Keterangan :

q = stabilitas (kg),

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat,

s = koreksi tebal benda uji, dan

0,4536 = konversi satuan dari *lb* ke kg.

3.3.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah perubahan bentuk yang terjadi pada suatu campuran aspal akibat adanya beban hingga mencapai titik runtuh, yang biasanya diukur dalam milimeter (mm) atau setara dengan 0,01 inci. Kelelehan ini mengindikasikan sejauh mana deformasi vertikal terjadi ketika campuran mencapai stabilitas maksimum dalam kondisi beban. Nilai *flow* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran cenderung lebih rentan terhadap deformasi, sementara nilai yang rendah menunjukkan tingkat kekuatan yang lebih tinggi dan kurang rentan terhadap kerusakan.

3.3.3 Kepadatan (*Density*)

Nilai kepadatan adalah ukuran berat per volume yang menggambarkan tingkat kepadatan dalam campuran agregat aspal. Campuran dengan nilai kepadatan yang tinggi memiliki kemampuan yang lebih baik dalam menahan beban, hal ini disebabkan oleh fakta bahwa dalam campuran tersebut rongga-rongga menjadi lebih kecil, dan butiran-butiran agregat memiliki lebih banyak area kontak satu sama lain, sehingga menghasilkan gaya gesekan (*friction*) yang lebih besar. Selain itu, tingkat kepadatan yang tinggi juga mengurangi kemampuan campuran untuk memungkinkan udara dan air masuk ke dalamnya, sehingga membuatnya lebih tahan terhadap oksidasi.

Nilai kepadatan dapat dihitung dengan Persamaan 3.2 dan 3.3 berikut.

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

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

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 (cm^3).

3.3.4 *Void In Mineral Agregate (VMA)*

VMA adalah persentase volume rongga udara yang terdapat di antara partikel-partikel agregat dalam campuran agregat aspal setelah padat. *VMA* mengindikasikan jumlah ruang yang tersedia untuk menampung aspal dan rongga yang dibutuhkan dalam campuran agregat aspal. Beberapa faktor yang memengaruhi nilai *VMA* mencakup gradasi agregat (komposisi dan ukuran butiran terbesar), tekstur agregat, jumlah aspal yang digunakan, dan tingkat penyerapan air oleh agregat.

Nilai *VMA* dapat dihitung dengan Persamaan 3.4 dan 3.5 berikut.

$$l = 100 - j \quad (3.4)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.5)$$

Keterangan :

l = nilai *VMA* (%),

b = presentase aspal terhadap campuran (%), dan

g = berat isi sampel (gr/cc).

3.3.5 *Void In Total Mix (VITM)*

VITM adalah persentase volume rongga udara yang terdapat dalam keseluruhan campuran agregat aspal. Karakteristik ketahanan campuran terhadap deformasi plastis sangat terkait dengan *VITM* (persentase rongga udara dalam campuran). Jika nilai *VITM* memenuhi standar yang ditetapkan, campuran aspal akan memiliki kemampuan untuk mengurangi efek deformasi plastis. Namun, jika nilai *VITM* terlalu tinggi, ini dapat mengakibatkan campuran aspal menjadi berpori, sehingga udara dan air dapat dengan mudah masuk, yang pada gilirannya dapat menyebabkan oksidasi dan deformasi plastis yang lebih cepat. Sebaliknya, jika nilai *VITM* terlalu rendah, hal ini dapat menyebabkan ketidakstabilan dan terjadinya *flow* plastis dalam campuran.

Nilai *VITM* dapat dihitung dengan Persamaan 3.6 dan 3.7 berikut.

$$n = 100 - \left(100 - \frac{g}{h}\right) \quad (3.6)$$

$$h = 100 - \left[\frac{100}{\left(\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}} \right)} \right] \quad (3.7)$$

Keterangan :

n = nilai VITM,

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

h = berat jenis maksimum teoritis campuran.

3.3.6 *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah persentase volume rongga yang terisi oleh aspal dalam campuran aspal setelah proses pemadatan. Beberapa faktor yang memengaruhi *VFWA* meliputi jumlah dan suhu pemadatan, distribusi gradasi agregat yang menjadi target, kualitas aspal, dan tingkat absorpsi agregat. Nilai *VFWA* mempengaruhi sifat kedap air dan udara campuran, serta sifat elastisitasnya. Hal ini akan memiliki dampak pada stabilitas, daya tahan, dan fleksibilitas campuran aspal. Jika nilai *VFWA* terlalu tinggi, ini dapat menyebabkan masalah seperti *bleeding* (pelelehan aspal ke permukaan), sementara jika terlalu rendah, campuran dapat menjadi berpori (tidak kedap air dan udara) karena lapisan *film* aspal yang tipis, sehingga mudah retak saat terkena beban berat.

Nilai *VFWA* dapat dihitung dengan Persamaan 3.8 sampai 3.12 berikut.

1. Presentase aspal terhadap campuran

$$h = \frac{a}{100 + a} \times 100 \quad (3.8)$$

Keterangan :

a = persentase aspal terhadap batuan, dan

b = persentase aspal terhadap campuran.

2. Presentase aspal terhadap agregat

$$m = 100 \times \frac{l}{l} \quad (3.9)$$

$$I = \frac{b \times g}{BJ \text{ Aspal}} \quad (3.10)$$

$$l = 100 - j \quad (3.11)$$

$$j = \frac{(100 - b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.12)$$

Keterangan :

$m = VFWA$ (%),

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

b = persentase aspal terhadap campuran.

3.3.7 *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil dari pembagian nilai stabilitas dengan nilai *flow* dalam campuran agregat aspal. Nilai *MQ* mencerminkan tingkat *fleksibilitas* atau kekakuan campuran tersebut, semakin tinggi nilai *MQ*, campuran akan menjadi lebih kaku, sedangkan jika nilai *MQ* rendah, campuran akan menjadi lebih lentur. Beberapa faktor yang memengaruhi nilai *MQ* adalah faktor-faktor yang juga memengaruhi nilai stabilitas dan *flow*, seperti bentuk agregat, tekstur permukaan, kualitas aspal, sifat kohesi, dan viskositas aspal.

Nilai *MQ* dapat dihitung dengan Persamaan 3.13 berikut.

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

Keterangan :

q = nilai stabilitas (kg), dan

r = nilai *flow* (mm).

3.4 *Immersion Test*

Immersion Test adalah uji yang dilakukan untuk memahami bagaimana karakteristik campuran berubah akibat pengaruh air, cuaca, dan suhu. Dalam *Immersion Test*, benda uji direndam dalam dua kondisi berbeda, yaitu direndam dalam air pada suhu 60° C selama 24 jam (stabilitas rendam) dan pada suhu 60° C selama 30 menit (stabilitas standar).

Dalam pengujian *Immersion Test*, digunakan istilah *Index of Retained Strength (IRS)*, yang mengukur stabilitas *Marshall* yang tersisa sebagai indikator ketahanan terhadap kerusakan akibat air. Nilai *Index of Retained Strength (IRS)* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.14 berikut.

$$\text{Index of Retained Strength} = \frac{s_2}{s_1} \times 100 \quad (3.14)$$

Keterangan :

s_1 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit (kg)

s_2 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam (kg).

Jika indeks ketahanan campuran mencapai 90% atau lebih, maka sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan oleh Bina Marga. Dalam hal ini, campuran dianggap memiliki tingkat ketahanan yang baik terhadap kerusakan yang dapat disebabkan oleh perubahan suhu, paparan air, dan cuaca.

3.4.1 Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks durabilitas pertama dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.15 berikut.

$$\text{IDP (r)} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{S_i - (S_{i+1})}{(t_{i+1}) - 1} \times 100 \quad (3.15)$$

Keterangan :

r = indeks penurunan stabilitas (%),

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

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

$T_i, t+1$ = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

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

3.4.2 Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Nilai IDK diperoleh dengan perhitungan yang menggunakan Persamaan 3.16 sebagai berikut.

$$\text{IDK (a)} = \frac{1}{2tn} \sum_{i=1}^{n-1} (S_i - (S_{i+1})) [2tn - (t_i + (t_i + 1))] \quad (3.16)$$

Keterangan :

a = kehilangan kekuatan rerata satu hari (%),

tn = total waktu perendaman (jam),

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

S_{i+1} = persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%), dan
 $T_{i,t+1}$ = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan dalam satu hari, nilai “a” yang bernilai negatif menandakan adanya penambahan kekuatan sedangkan nilai “a” yang bernilai positif menandakan adanya kehilangan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut maka nilai $a < 100$ yang memungkinkan untuk dapat menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a), yang dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.17.

$$S_a = (100 - a) \quad (3.17)$$

Keterangan :

S_a = Kekuatan sisa rata-rata satu hari (%).

3.5 *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect Tensile Strength (ITS) adalah metode pengujian yang digunakan untuk mengukur nilai kekuatan tarik pada campuran aspal. Ketika digunakan di lapangan, nilai *ITS* digunakan untuk memprediksi potensi retakan dalam campuran aspal yang disebabkan oleh kegagalan dalam kekuatan tarik. Ini memudahkan dalam mengevaluasi sejauh mana campuran aspal dapat mengalami keretakan.

Pengujian *ITS* dilakukan dengan meletakkan beban (*dial*) di atas sampel silinder, sehingga beban tersebut bekerja secara sejajar dan sepanjang bidang vertikal sampel. Pembebanan ini menciptakan kekuatan tarik yang merata di sepanjang diameter vertikal sampel, yang pada gilirannya menyebabkan terjadinya keretakan sepanjang diameter tersebut.

Nilai *ITS* dapat dihitung dengan Persamaan 3.18 berikut.

$$ITS = \frac{p_{runtuh}}{h} \times A_0 \quad (3.18)$$

Keterangan:

ITS = kuat tarik tidak langsung (kg/cm^2),

P_{runtuh} = beban puncak (kg),

H = tinggi sampel (cm), dan

Ao = konstanta (tabel Ao terlampir pada lampiran).

3.6 *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* didapatkan dari perbandingan antara nilai daya tahan tarik campuran setelah direndam selama 24 jam pada *water bath* dengan suhu 60°C dengan nilai daya tahan tarik tanpa rendaman yang kemudian dikalikan dengan 100. Sehingga diperoleh Persamaan 3.19 berikut.

$$\text{TSR} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.19)$$

Keterangan :

S1 = rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 30 menit (kg),

S2 = rata-rata nilai *ITS* setelah perendaman 24 jam (kg).

3.7 *Cantabro Test*

Cantabro Test merupakan pengujian yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan. Pengujian ini menggunakan *mesin Loss Angeles* dengan kondisi benda uji telah dipadatkan kedua sisinya sebanyak 2 x 75 tumbukan. Kemudian benda uji diletakkan dalam drum *Los Angeles* tanpa bola dan diputar sebanyak 300 putaran. Nilai *Cantabro* dapat dihitung dengan Persamaan 3.20.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.20)$$

Keterangan :

L = Persentase kehilangan berat (%),

M_o = Berat sebelum diabrasi (gr), dan

M_i = Berat setelah diabrasi (gr).

3.8 *Stiffness Modulus*

Stiffness merupakan sifat material yang menunjukkan kemampuan renggang pada teganga tinggi yang tidak diikuti regangan yang besar atau dapat juga diartikan kemampuan material dalam mempertahankan deformasi. Material

dengan nilai modulus elastisitas yang tinggi memiliki nilai deformasi yang lebih kecil terhadap beban jika dibandingkan dengan material yang memiliki modulus elastisitas yang lebih rendah. Pada campuran perkerasan terdapat dua kekuatan, yaitu *stiffness modulus of bitumen* dan *stiffness modulus of mixture*. *Stiffness modulus of bitumen* merupakan nilai kekakuan yang dimiliki oleh bitumen atau bahan ikat yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu lama pembebanan oleh roda kendaraan, temperatur pada *softening point*, temperatur permukaan perkerasan dan *penetration index*. Sedangkan *stiffness modulus of mixture* yaitu kekakuan campuran perkerasan yang mampu menahan beban roda kendaraan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu *Sbit*, konsentrasi volume bitumen, konsentrasi volume agregat padat, dan konsentrasi rongga dalam campuran agregat dan bitumen.

Cara untuk menentukan nilai *Stiffness modulus of bitumen* digunakan Persamaan 3.21 dan 3.22 oleh *Ullidtz*.

$$S_{bit} = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-pir} \times (Spr - T)^5 \quad (3.21)$$

Rumus ini berlaku jika :

$$\begin{aligned} Spr - T &= 20^\circ C - 60^\circ C \\ T &= 0,01 \text{ detik s/d } 0,1 \text{ detik} \\ Pir &= -1 \text{ s/d } +1 \end{aligned}$$

Keterangan :

$$\begin{aligned} Pir &= \text{Recovered penetration index asphalt} \\ &= \frac{1951,5 - 500 \log Pr - 20 \times Spr}{50 \log Pr - Spr - 120,4} \end{aligned} \quad (3.22)$$

$$\begin{aligned} T &= \text{Temperatur aspal} \\ Pr &= \text{Recovered penetration pada suhu } 25^\circ C \\ &= 0,65 \times Pi \\ Pi &= \text{Penetrasi awal} \\ t &= \text{Lama pembebanan} \end{aligned}$$

Setelah didapatkan nilai *Stiffness bitumen* menggunakan persamaan *Ullidtz*, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *Stiffness Mixture* menggunakan Persamaan 3.23 dan 3.24 oleh *Nottingham*.

$$S_{mix} = S_{bit} \times \left(1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA}{n \times (VMA - 30)} \right)^5 \quad (3.23)$$

$$n = 0,83 \times \log \left(\frac{4 \times 10^4}{S_{bit}} \right) \quad (3.24)$$

3.9 Analisis Penetration Index (PI)

Indeks Penetrasi adalah parameter yang digunakan untuk mengukur sejauh mana aspal mengalami perubahan dalam responsnya terhadap perubahan suhu. Kepekaan terhadap suhu mengacu pada sejauh mana sifat viskoelastis aspal dapat berubah ketika suhu berubah, dan sensitivitas ini dinyatakan dalam bentuk indeks penetrasi aspal (IP). Semakin tinggi nilai indeks penetrasi, semakin rendah sensitivitasnya terhadap perubahan suhu, yang pada gilirannya dapat mengurangi deformasi yang terjadi. Nilai indeks penetrasi (IP) adalah ukuran yang mencerminkan sejauh mana aspal merespon perubahan suhu. Pfeiffer dan Van Doormal mengembangkan parameter kepekaan bitumen dengan *Penetration Index (PI)* seperti pada Persamaan 3.25 dan 3.26 berikut.

$$A = \frac{\text{Log Penetration pada } T1 - \text{Log } 800}{20 - T2 \text{ (softening point)}} \quad (3.25)$$

$$PI = \frac{20(1 - 25A)}{1 + 50A} \quad (3.26)$$

Keterangan :

- A = Kepekaan bitumen terhadap perubahan temperatur,
- T1 = Temperatur saat penetrasi 25 °C,
- T2 = Temperatur saat *softening point*, dan
- PI = *Penetration Index*.

3.10 Wheel Tracking Machine (WTM)

Pengujian *Wheel Tracking Machine (WTM)* digunakan untuk melakukan pengujian yang bertujuan untuk menilai deformasi permanen yang dapat terjadi pada perkerasan sebagai akibat dari lintasan kendaraan. Pengujian ini memiliki kemampuan untuk mensimulasikan kondisi lapangan yang mungkin terjadi pada perkerasan akibat pergerakan kendaraan. Di dalam laboratorium, simulasi ini

dilakukan dengan menggunakan beban roda yang bergerak maju mundur di atas sampel uji. Tujuan dari uji *Wheel Tracking* adalah untuk mengevaluasi sejauh mana campuran aspal dapat bertahan terhadap pemadatan dan perubahan bentuk deformasi yang dapat terjadi. Selain itu, uji ini juga bertujuan untuk mensimulasikan pengaruh pembebanan yang mungkin dialami oleh perkerasan di lapangan, dengan memperhatikan suhu yang mencapai 45°C atau 60°C. Prosedur pengujian *Wheel Tracking* mengikuti pedoman yang tercantum dalam *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement (JRA)*, tahun 1980.

Alat ini terdiri dari sebuah roda besi yang dilapisi dengan karet keras, yang bergerak maju mundur di atas permukaan sampel uji campuran aspal dengan dimensi 30 x 30 x 5 cm. Setiap sampel uji akan dilalui oleh roda dengan kecepatan 21 siklus per menit (atau 42 lintasan per menit), dan pengujian berlangsung selama 60 menit dengan total lintasan sebanyak 2.520 roda *Wheel Tracking* ini memiliki ban karet selebar 5 cm dan memberikan tekanan sebesar 6,55 kg/cm², yang setara dengan beban sumbu tunggal roda ganda seberat 8,16 ton. Alat ini juga dilengkapi dengan komputer yang dapat menyajikan laporan mengenai jumlah lintasan roda dan deformasi pada interval waktu 1, 5, 10, 15, 30, 45, dan 60 menit. Kemampuan lapisan perkerasan aspal untuk menahan jejak roda dinyatakan dalam stabilitas dinamis (DS), yang mengukur jumlah lintasan yang diperlukan untuk membentuk jejak roda selama 1 jam. Menurut Gusti (2018), stabilitas dinamis adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban dinamis pada suhu tinggi, dan parameter uji stabilitas dinamis adalah kedalaman *rutting*, yang diukur dalam lintasan/mm. Stabilitas dinamis dan laju deformasi (RD), dapat dihitung dengan Persamaan 3.27 dan Persamaan 3.28 berikut.

$$DS = 21 \times 2 \times \frac{(t_2 - t_1)}{(d_2 - d_1)} \quad (3.27)$$

$$RD = \frac{(t_2 - t_1)}{(d_2 - d_1)} \quad (3.28)$$

Keterangan :

DS = *Dynamic Stability* (lintasan/mm),

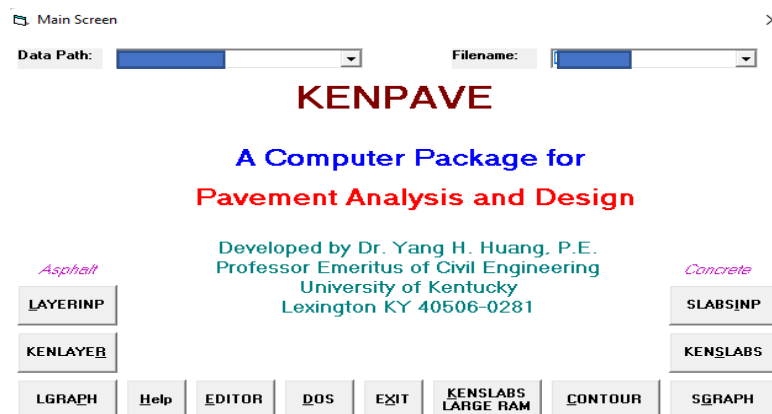
- RD = Rate of Deformation (mm/menit),
 d_1 = Nilai deformasi (kedalamannya) pada menit ke t_1 45 menit (mm),
 d_2 = Nilai deformasi (kedalamannya) pada menit ke t_2 60 menit (mm),
 t_1 = waktu pengujian 45 menit, dan
 t_2 = waktu pengujian 60 menit.

3.11 Analisis Mekanistik dengan Program *KENPAVE*

Metode mekanistik adalah pendekatan yang berfokus pada pengembangan aturan teoritis dan sifat-sifat material perkerasan, yang kemudian diterapkan dengan perhitungan yang lebih akurat terhadap respon struktur perkerasan terhadap beban yang diberikan oleh sumbu kendaraan. Metode mekanistik menganggap perkerasan jalan sebagai suatu struktur yang terdiri dari beberapa lapisan elastis untuk perkerasan lentur dan sebagai suatu struktur balok yang berada di atas dasar yang elastis untuk perkerasan kaku.

Metode mekanistik memiliki keuntungan yaitu peningkatan reabilitas dari desain, kemampuan untuk memprediksi jenis kerusakan, dan memungkinkan untuk memperkirakan data dari Lapangan dan Laboratorium yang terbatas.

Program *KENPAVE* adalah *software* desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Huang, Professor *Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky*. *Software* ini menggunakan Bahasa pemrograman *Visual Basic* dan dapat dijalankan dengan versi *windows 95* atau di atasnya. Tampilan program *Kenpave* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Tampilan Program *KENPAVE*

3.11.1 Program KENLAYER

Program *KENLAYER* hanya dapat digunakan untuk menganalisis perkerasan lentur. Program ini didasarkan pada konsep teori "sistem lapisan berganda." *KENLAYER* memodelkan perilaku masing-masing lapisan secara terpisah, termasuk opsi untuk pemodelan linier, non-linier, atau viskoelastis. Selain itu, program ini juga mendukung empat jenis sumbu roda yang berbeda, yaitu sumbu tunggal roda tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem, dan sumbu tripel.

Dari beberapa menu yang ada dalam *LAYERINP*, ada beberapa menu yang diinput dan tidak perlu diinput. Penjelasan dari menu yang ada di dalam *LAYERINP* dapat dilihat sebagai berikut.

1. *File*

Menu ini berfungsi untuk *file* yang akan diinput. *New* untuk *file* baru dan *Old* untuk *file* yang telah ada.

2. *General*

Menu ini memuat informasi umum mengenai perkerasan yang akan dianalisis. Dalam menu *general* terdapat beberapa menu yang harus diinput yaitu sebagai berikut.

- a. *Title* : Judul dari analisis
- b. *MATL* : Tipe dari Material. (1) jika seluruh lapisan merupakan linier elastis, (2) jika lapisan merupakan non linier elastis, (3) jika lapisan merupakan viskoelastis, (4) jika lapisan merupakan campuran dari ketiga lapisan.
- c. *NDAMA* : Analisis kerusakan (0) jika tidak ada kerusakan analisis (1) terdapat kerusakan analisis, ada hasil *print out* (2) terdapat kerusakan analisis, ada hasil *print out* lebih detail.
- d. *DEL* : Akurasi hasil. Standar akurasi 0,001.
- e. *NL* : Jumlah lapis/layer, maksimum 19 lapisan.

- f. NZ : Letak koordinat arah Z yang akan dianalisis, jika NDAMA = 1 atau 2, maka NZ = 0 karena program akan menganalisis koordinat yang mengalami kerusakan.
- g. NSTD : (1) untuk *vertical displacement*, (5) untuk *vertical displacement*, nilai tegangan dan nilai regangan.
- h. NBOND : (1) jika antar semua lapis saling terkait/berhubungan (2) jika tiap antar lapis tidak terikat atau gaya geser diabaikan.
- i. NUNIT : Satuan yang digunakan (0) satuan *English*, (1) satuan SI. Informasi tentang satuan *English* dan SI disajikan pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3. 6 Satuan *English* dan SI

Satuan	Satuang <i>English</i>	Satuan SI
Panjang	Inch	Cm
Tekanan	Psi	KPa
Modulus	Psi	Kpa

Sumber : https://en.wikipedia.org/wiki/International_System_of_Units (Akses 22.21, 31/10/2022)

3. *Zcoord*
Jumlah poin yang ada di dalam menu ini sama dengan jumlah NZ pada menu *general*. ZC merupakan jarak vertikal atau jarak dalam arah Z dimana jarak tersebut yang akan dianalisa oleh program.
4. *Layer*
TH merupakan tebal tiap lapisan/layer dan PR merupakan *Poisson's ratio* tiap layer.
5. *Interface*
Menu interface berkaitan dengan NBOND yang ada dalam menu *general*. Jika NBOND = 1, maka menu *interface* akan mengalami *default*. Jika NBOND = 2, maka menu *interface* akan keluar.
6. *Modulis*

Jumlah periode dalam menu ini sama dengan jumlah NPY pada menu *general*. Maksimum periode pada menu ini adalah 12. E merupakan modulus elastisitas tiap layer.

7. *Load*

Jumlah unit yang ada pada menu ini sama dengan jumlah NLG dalam menu *general*. Untuk kolom *load* (0) untuk sumbu tunggal pada tunggal tunggal, (1) untuk sumbu tunggal roda ganda (2) untuk sumbu tandem (3) untuk sumbu triple. Kolom CR merupakan radius kontak pembebanan. Kolom CP merupakan nilai beban. Kolom YW dan XW adalah jarak antar roda arah y dan arah x. Jika kolom *load* = 0, maka kolom YW dan XW = 0. Kolom NR dan NPT merupakan titik koordinat tahanan-regangan yang ingin ditinjau.

Parameter lain seperti *Viscoelastic*, *Nonlinier*, *Damage*, *Mohr-Coulumb* akan mengikuti nilai dengan sendirinya sesuai dengan input nilai yang diasumsikan sebelum data ini.

3.11.2 Analisis Kerusakan

Analisis kerusakan pada perkerasan jalan akan fokus pada tiga jenis kerusakan utama, yaitu *rutting* (perendaman), *fatigue cracking* (retakan akibat kelelahan), dan *permanent deformation* (deformasi permanen). Kerusakan perkerasan ini umumnya disebabkan oleh beban yang dihasilkan oleh kendaraan yang melintas. Dalam analisis menggunakan metode mekanistik, hasil yang akan diperoleh adalah nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada perkerasan jalan lentur. Nilai-nilai tegangan dan regangan ini akan digunakan untuk memprediksi kemungkinan terjadinya kerusakan pada perkerasan jalan lentur tersebut.

1. *Rutting*

Rutting atau retak alur pada permukaan perkerasan adalah akumulasi dari semua deformasi plastis yang terjadi, baik dari lapos tanah dasar, lapis pondasi, dan lapis beraspal. Kriteria retak alur adalah kriteria kedua yang digunakan dalam metode analisis mekanistik, untuk menyatakan kerusakan

struktur perkerasan akibat beban berulang. Nilai *rutting* maksimum harus dibatasi agar tidak membahayakan pengendara ketika melalui lokasi *rutting* tersebut, terutama pada kecepatan tinggi. Deformasi permanen dapat diketahui setiap lapisan dari struktur, membuat retak alur lebih sulit untuk diprediksi dibandingkan dengan retak lelah. Ukuran kegagalan yang ada bertujuan untuk alur bahwa dapat ditunjukkan kebanyakan pada suatu struktur perkerasan yang lemah. Pada umumnya dinyatakan dengan istilah regangan vertical yang berada di atas lapisan tanah dasar. Menurut *The Asphalt Institute* (1982), untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tekan di bawah lapisan pondasi bawah berdasarkan Persamaan 3.29 sebagai berikut.

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} \times \epsilon_c^{-4,47} \quad (3.29)$$

Keterangan :

N_r = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting* (ESAL).

ϵ_c = Regangan tekan vertical diatas lapisan dasar (cm).

2. *Fatigue cracking*

Kerusakan akibat retak lelah melibatkan perkembangan retakan di bawah beban berulang, dan kerusakan ini terjadi ketika permukaan perkerasan terutama ditutupi oleh retakan dengan tingkat keparahan yang signifikan. Beban yang terus-menerus diterapkan pada material akan menyebabkan material tersebut mengalami kelelahan, yang pada gilirannya dapat menyebabkan terbentuknya retakan, bahkan jika tegangan yang diterapkan masih berada di bawah batas tegangan ultimanya. Dalam konteks material perkerasan, beban berulang ini berasal dari lintasan kendaraan yang berulang kali melintas, dengan intensitas yang bervariasi tergantung pada jenis kendaraan dan seringkali bersifat acak. Sesuai dengan panduan dari *The Asphalt Institute* (1982), retak lelah perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik dibawah lapisan permukaan dengan Persamaan 3.30.

$$N_f = 0,0796 \times \epsilon_t^{-3,921} \times E^{-0,854} \quad (3.30)$$

Keterangan :

N_f = jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *Fatigue Cracking* (ESAL).

ϵ_t = *Tensile Strength* di lokasi tinjau kritis yang dihitung berdasarkan Respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapisan permukaan (cm).

E = Modulus elastisitas pada lapisan permukaan atau lapis *HMA* (KPa).

3. *Permanent Deformation*

Menurut *The Asphalt Institute* (1982), untuk mengetahui jumlah beban repetisi perkerasan lentur pada kerusakan *permanent deformation* berdasarkan Persamaan 3.31 sebagai berikut.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times \epsilon_c^{-4,47} \quad (3.31)$$

Keterangan :

N_d = jumlah nilai repetisi beban yang diizinkan untuk mengontrol *rutting* (ESAL).

ϵ_c = Regangan tekan vertical diatas lapisan dasar (cm).

3.11.3 Analisis Umur Perkerasan

Perencanaan Perkerasan Jalan Tol Solo – Yogyakarta – NYIA Kulon Progo merupakan jalan yang akan beroperasi pada tahun 2024.

Perhitungan CESA dapat dilihat pada Persamaan 3.32 dan Persamaan 3.32.

$$R = \frac{(1 + 0,01 \times i^{20}) - 1}{0,01 \times i} \quad (3.32)$$

$$ESA = LHR \times VDF \times 356 \times DD \times R \times DL \quad (3.33)$$

Keterangan :

R : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas komulatif

- i : Faktor pengali pertumbuhan lalu lintas kumulatif
 ESA : Kumulatif lalu lintas sumbu standar equivalen pada tahun pertama
 LHR : Lalu lintas harian rata – rata tiap jenis kendaraan niaga (kend/hari)
 VDF : Faktor ekivalen beban tiap kendaraan
 DD : Faktor distribusi arah
 DL : Faktor distribusi lajur
 CESAL: Kumulatif beban sumbu standar ekivalen selama umur rencana.

3.12 Analisis Statistik

Statistik yaitu cabang dari ilmu matematika yang mempelajari pengumpulan, pengorganisasian, pengolahan, penyajian dan analisis data serta menyimpulkan hasil. Sehingga memperoleh keputusan yang dapat diterima.

Pada penelitian ini menggunakan analisis statistic *Anova* satu arah (*One Way Anova*) dan analisis statistic *Anova* dua arah (*Two Way Anova*). Analisis ini bertujuan untuk membandingkan perbedaan rata-rata dari dua atau lebih kelompok data untuk suatu kategori berbeda. Data yang akan dianalisis terdiri dari satu variable terkait dan satu variable bebas. Berikut asumsi dasar yang harus terpenuhi dalam analisis *Anova* adalah sebagai berikut.

1. Kenormalan

Distribusi data harus normal, agar data terdistribusi normal dapat ditempuh dengan cara memperbanyak jumlah sampel dalam kelompok.

2. Kesamaan Variasi

Jika banyaknya sampel sama pada tiap kelompok maka kesamaan variasinya dapat diabaikan, tetapi jika banyaknya sampel pada tiap kelompok berbeda maka kesamaan variasi populasi sangat dibutuhkan.

Pada analisis statistik *Anova* satu arah diperlukan adanya rumusan hipotesis. Hipotesis tersebut dapat dilihat pada Persamaan 3.34 dan 3.35.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \dots \dots \mu_k \quad (3.34)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \dots \dots \mu_k \quad (3.35)$$

Ada perbedaan antara sebelum dan setelah adanya perlakuan.

Penarikan kesimpulan dengan statistik *Anova* satu arah dapat dilakukan dengan cara berikut.

1. Membandingkan antara nilai t-hitung dengan nilai t-tabel
Besarnya nilai α yang sering digunakan dalam penelitian adalah 5% atau 0,05.
Bandingkan nilai t-hitung dengan t-tabel yang telah diperoleh.
Jika nilai F-hitung $>$ F-tabel ; maka H_0 ditolak,
Jika nilai F-hitung $<$ F-tabel : maka H_0 diterima.
2. Menggunakan nilai signifikan atau *P-Value*
Jika nilai signifikan atau *P-Value* $>$ 0,05 ; maka H_0 ditolak,
Jika nilai signifikan atau *P-Value* $<$ 0,05 ; maka H_0 diterima,
3. Keputusan.
4. Pasca *Anova* (jika ada).
5. Kesimpulan.

Analisis setelah *Anova* atau pasca *Anova* (*post hoc*) dilakukan jika hipotesis nol (H_0) ditolak. Fungsi analisis pasca *Anova* yaitu mencari kelompok mana yang berbeda. Hal ini ditunjukkan oleh F hitung yang menunjukkan adanya perbedaan. Apabila F hitung menunjukkan tidak ada perbedaan, tentu analisis pasca *Anova* tidak perlu dilakukan. Pada penelitian ini analisis yang digunakan pasca *Anova* yaitu *Turkey*.

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Pengujian Sifat Fisik Material dan Pengujian untuk Mencari KAO

Pengujian agregat bertujuan untuk mengetahui sifat dan propertis agregat yang digunakan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian pengujian berat jenis (SNI 1970 : 2008), penyerapan air (SNI 1969 : 2008), pengujian kelekatan aspal pada agregat (SNI 06-2439-1991), pengujian abrasi (SNI 2417 : 2008), dan pengujian *sand equivalent* (SNI 3423 : 2008).

Pengujian bahan ikat atau pengujian aspal bertujuan untuk mengetahui sifat dan propertis bahan ikat yang digunakan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian penetrasi (SNI 06-2456-1991), pengujian daktilitas (SNI 06- 2432-1991), pengujian titik lembek (SNI 06-2434- 1991), pengujian berat jenis (SNI 06-2441-1991), pengujian titik nyala dan titik bakar (SNI 06-2433-1991) dan pengujian kelarutan dalam *TCE (Trychloroethylene)* (RSNI M 04-2004). Sedangkan pengujian yang dilakukan untuk mencari KAO pada campuran *Superpave* adalah pengujian *Marshall Standard (AASHTO T 254-74)*.

4.2 Pengujian untuk Mencari Karakteristik Campuran *Superpave* pada Kondisi KAO

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan bahan ikat terhadap kinerja campuran yaitu pengujian *Marshall Standard (AASHTO T 254-74)*, pengujian *Immersion (AASHTO T 254-74)*, pengujian *Indirect Tensile Strength* (SNI 6753 : 2008), pengujian *Tensile Strength Ratio* (SNI 6753 : 2015), pengujian *Cantabro Loss (ASTM C-131)* dan pengujian *Wheel Tracking Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement (JRA)*, tahun 1980.

4.3 Rancangan Gradasi Agregat

Komponen bahan campuran terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal. Pemilihan gradasi dilakukan berdasarkan spesifikasi ketentuan aspal *Superpave SHRP A-407* (1994).

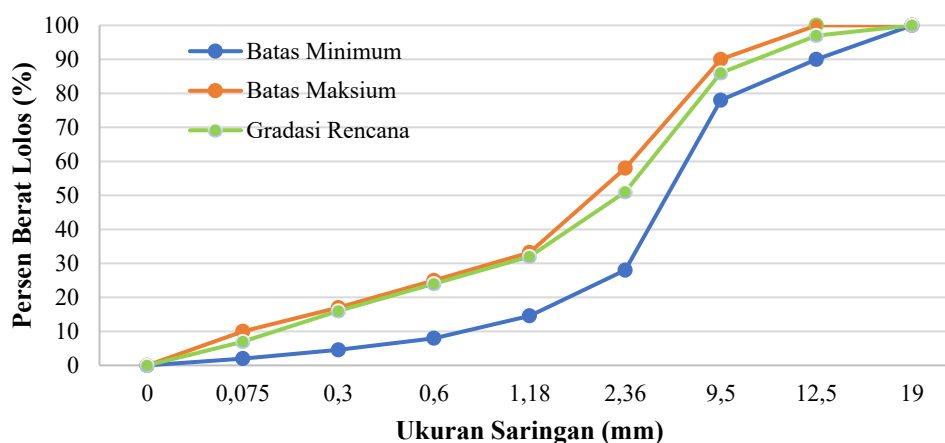
Adapun rancangan gradasi agregat untuk campuran *Superpave* dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Gradasi Agregat Campuran *Superpave* Ukuran Nominal Maksimum 12,5 mm

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)
			Min	Max	Lolos
3/4"	19	mm	100	100	100
1/2"	12,5	mm	90	100	97
3/8"	9,5	mm	78	90	86
No. 8	2,36	mm	28	58	51
No. 16	1,18	mm	14,57	33,21	32
No. 30	0,6	mm	7,97	25	24
No. 50	0,3	mm	4,56	17	16
No. 200	0,075	mm	2	10	7
Pen			0	0	0

Sumber : *Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407* (1994)

Gradasi rencana yang digunakan dalam campuran aspal *Superpave*, dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Rencana Gradasi Campuran *Superpave*

Berdasarkan *SHRP A-407* (1994) kadar aspal berada pada kisaran 5,55%. Sehingga kadar aspal yang digunakan pada campuran ini adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram.

4.4 Pengumpulan Data Ruas Jalan

Pengumpulan data ruas jalan bertujuan untuk memenuhi kelengkapan pada proses penganalisaan prediksi tipe kerusakan yang terjadi dan prediksi umur layanan pada perkerasan jalan yang nantinya akan disimulasikan untuk penggunaan perkerasan jenis *Superpave* yang menggunakan tipe bahan ikat Starbit PG-70.

Pada penelitian ini proses prediksi nilai umur layanan (analisis dengan *KENPAVE*) menggunakan data sekunder dari Jalan Tepus – Jerukwudel. Berdasarkan Laporan Perencanaan Perkerasan Jalan Tepus – Jerukwudel II. Adapun data-data tersebut adalah sebagai berikut.

1. Data Lalu Lintas

Jalan Tepus – Jerukwudel ruas jalan Provinsi dengan lebar 7,5 m, memiliki 2 lajur dengan 2 arah serta memiliki pertumbuhan lalu lintas (i) sebesar 4,8% pertahunnya. Berdasarkan Laporan Perencanaan Perkerasan Jalan Laporan Perencanaan Perkerasan Jalan Tepus – Jerukwudel II Kulon Progo DIY, hasil perhitungan lalu lintas berdasarkan golongan yang dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4.2 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Kartasura-Delanggu / Laranganom

Jenis kendaraan	LHR 2023 (2 arah) (Kend/hari)
Sedan/jeep	1431
Pick Up, Combi	1289
Bus kecil	144
Bus besar	123
Truk 2 as L	1636
Truk 2 as H	935
Truk 3 as	98

Sumber : Laporan Perencanaan Perkerasan Jalan Tepus – Jerukwudel II Kulon Progo DIY

4.5 Variasi dan Jumlah Sampel Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan agregat dan aspal yang diuji terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai campuran perkerasan *Superpave*.

Jumlah total sampel yang digunakan sebanyak 210 buah, yang KAO yang valid sebanyak 90 sampel dan penggunaan 120 sampel lainnya untuk tiap pengujian KAO. Untuk penjelasan jumlah sampel penelitian yang lebih detail, dapat dilihat pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5.

Tabel 4. 3 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO

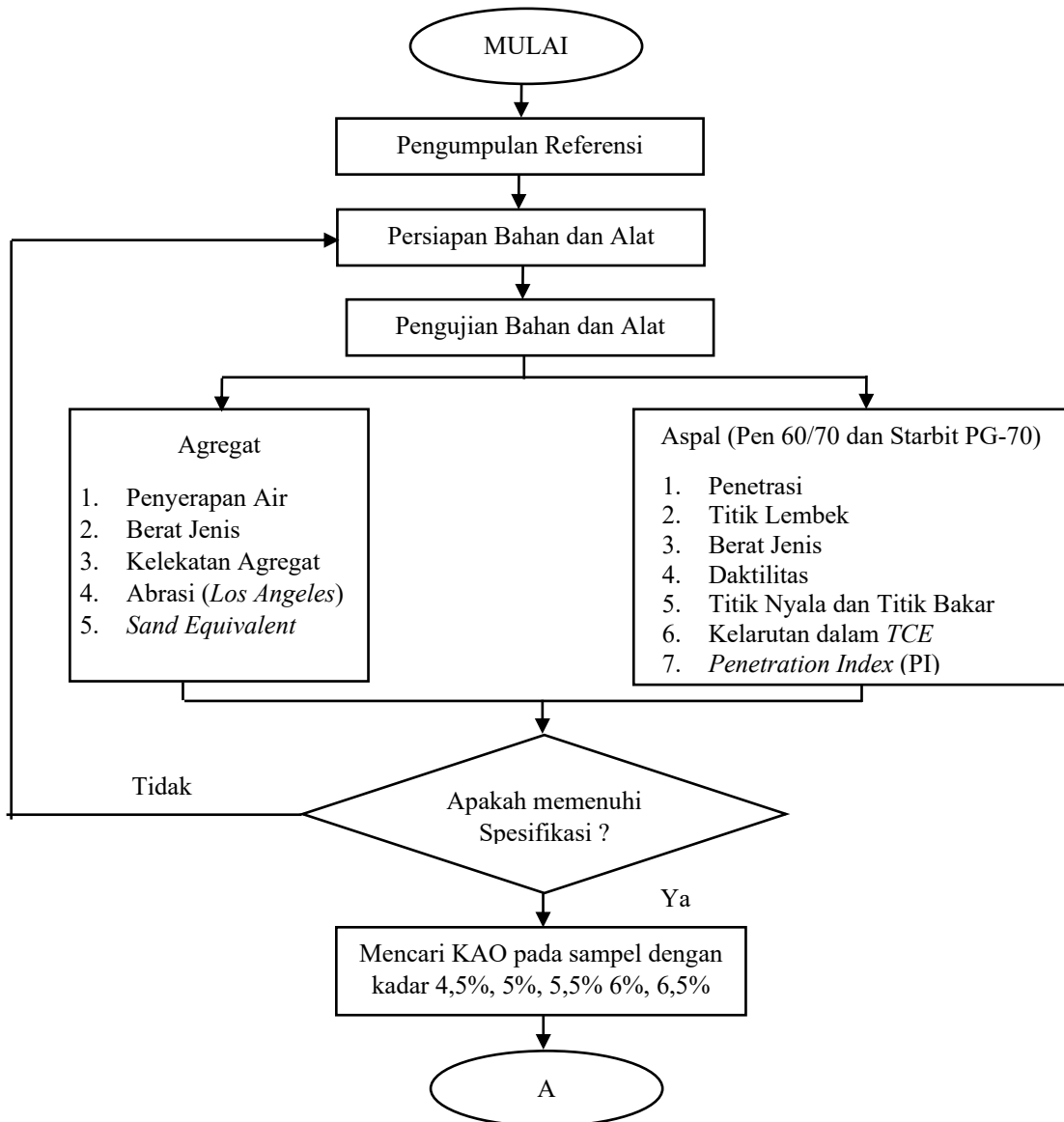
Kadar Aspal	0% substitusi <i>fly ash</i>		50% substitusi <i>fly ash</i>		100% substitusi <i>fly ash</i>	
	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70
4,5%	3	3	3	3	3	3
5%	3	3	3	3	3	3
5,5%	3	3	3	3	3	3
6%	3	3	3	3	3	3
6,5%	3	3	3	3	3	3
Jumlah	30		30		30	
Total	90					

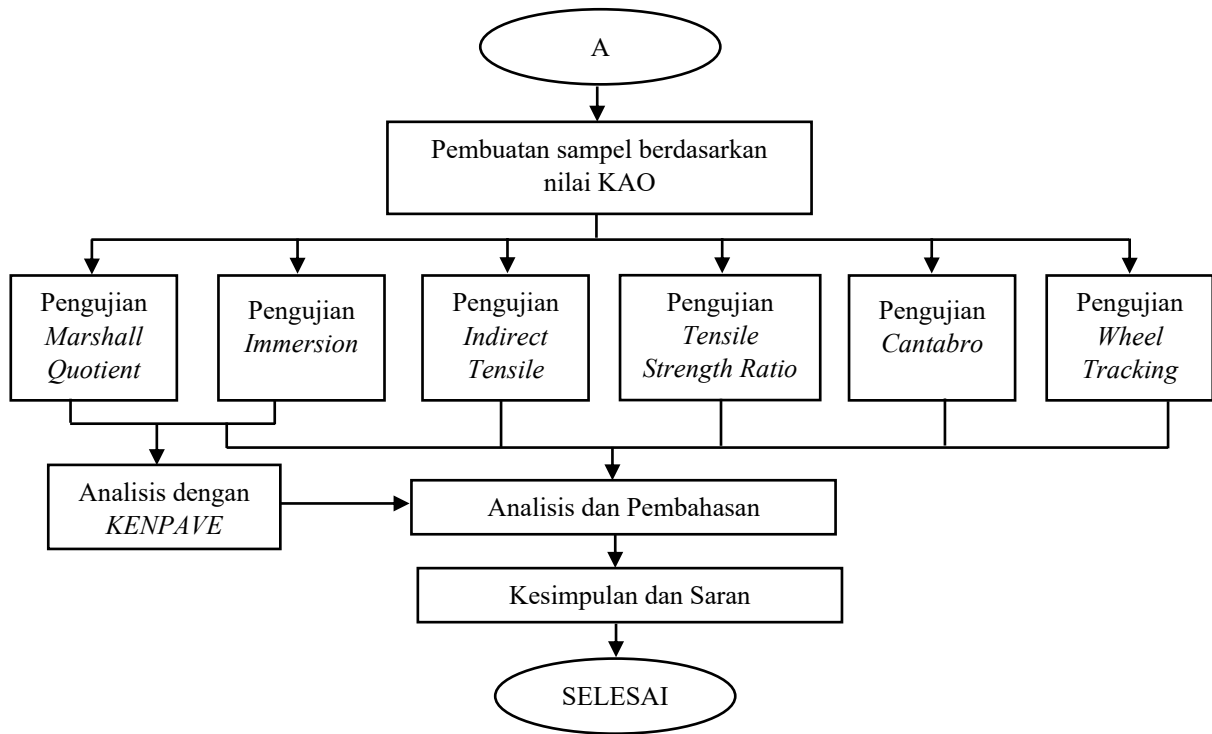
Tabel 4. 4 Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO

Jenis Pengujian	0% substitusi <i>fly ash</i>		50% substitusi <i>fly ash</i>		100% substitusi <i>fly ash</i>	
	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70
MS	3	3	3	3	3	3
IRS	3	3	3	3	3	3
ITS	3	3	3	3	3	3
TSR	3	3	3	3	3	3
CL	3	3	3	3	3	3
WTM	2	2	2	2	2	2
Jumlah	40		40		40	
Total	120					

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alur penelitian merupakan bagan yang menunjukkan alur atau tahapan suatu penelitian yang dibuat secara singkat dan jelas. Bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.3.





Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

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

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini menggunakan dua jenis aspal, yaitu aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70. Data hasil pengujian ini berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018, Adapun rekapitulasi hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5. 1 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Jenis Pengujian	Pen 60/70		Starbit PG-70	
	Spesifikasi	Hasil	Spesifikasi	Hasil
Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,02	$\geq 1,0$	1,037
Penetrasi (0,1 mm)	60-70	65,5	50-80	55,5
Daktalitas (cm)	≥ 100	165	≥ 50	130
Titik Nyala (°C)	≥ 232	270	≥ 225	315
Titik Bakar (°C)	≥ 232	285	≥ 225	325
Titik Lembek (°C)	≥ 48	48	≥ 54	55
Kelarutan TCE (%)	≥ 99	100	≥ 99	99,73
<i>Penetration Index (PI)</i>	-	-1,079	-	0,234

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam

Indonesia. Agregat yang digunakan pada pengujian ini yaitu agregat yang berasal dari sungai Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Sedangkan *fly ash* yang digunakan berasal dari PLTU Pacitan, Jawa Timur. Pengujian ini berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018, Rekapitulasi hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai Tabel 5.4.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,59
Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	1,69
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen 60/70 (%)	≥ 95	96
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Starbit PG-70 (%)	≥ 95	98
Keausan dengan Mesin <i>Loss Angeles</i> (%)	≤ 40	12,9

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Agregat Halus

Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,56
Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	2,35
<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50	91,9

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler*

<i>Filler</i>	Hasil
Debu Batu	2,55
<i>Fly Ash</i>	2,67

5.1.3 Hasil Pengujian *Marshall Test* Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai KAO pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70. Hasil dari pengujian ini yaitu nilai *stability*, *flow*, *MQ*, *VMA*, *VFWA* dan *VITM*. Rekapitulasi hasil pengujian

Marshall Test dapat dilihat pada Tabel 5.5 sampai Tabel 5.7, serta penetapan nilai KAO dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.3.

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian *Marhall Test* untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran *Superpave* dengan Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Fly Ash* 0%

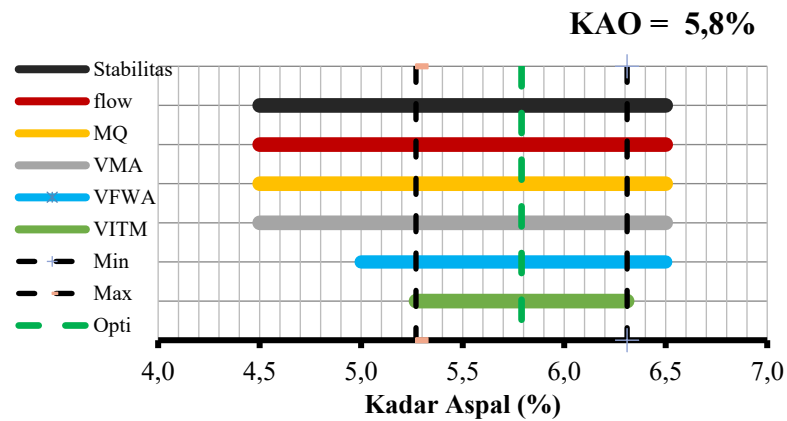
Kadar Aspal(%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	933,2988	3,1	306,29	6,96	58,67	16,85	2,2411
5	940,6123	2,9	335,17	5,83	65,50	16,87	2,2523
5,5	1063,0974	2,9	364,63	4,36	73,89	16,61	2,2713
6	1023,0470	2,3	445,52	3,78	77,94	17,13	2,2693
6,5	939,856	2,5	373,60	3,15	82,15	17,61	2,2905
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian *Marhall Test* untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran *Superpave* dengan Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Fly Ash* 50 %

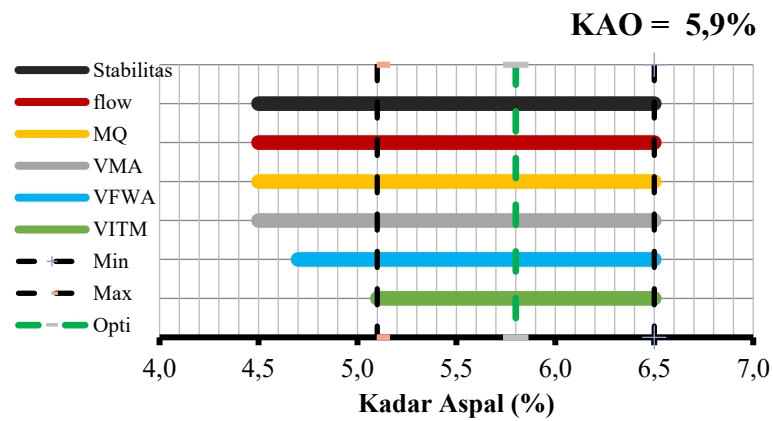
Kadar Aspal(%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	919,7706	3,0	306,97	5,77	63,49	15,80	2,2733
5	983,0405	3,3	302,51	5,18	68,23	16,32	2,2711
5,5	1063,0974	3,1	342,93	4,14	74,82	16,43	2,2799
6	1210,2686	3,2	378,52	4,36	75,35	17,64	2,2588
6,5	972,427	2,8	353,71	3,74	79,38	18,12	2,2577
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Marhall Test* untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran *Superpave* dengan Aspal Pen 60/70 dengan Substitusi *Fly Ash* 100%

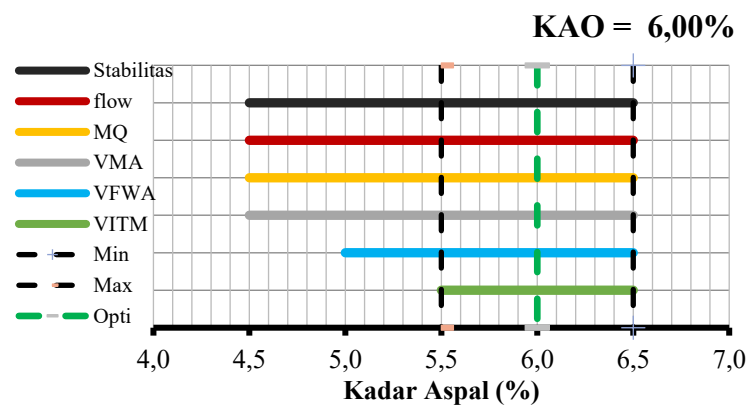
Kadar Aspal(%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	1015,3884	2,6	400,20	6,27	61,39	16,24	2,2498
5	1023,7160	2,4	435,51	5,88	65,33	16,93	2,2527
5,5	1132,5623	2,4	482,92	5,00	70,90	17,17	2,2580
6	1190,5045	2,4	496,20	4,47	74,81	17,73	2,2547
6,5	1185,676	3,4	355,83	3,74	79,38	18,11	2,2562
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	



Gambar 5. 1 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dengan Substitusi *Fly Ash* 0%



Gambar 5. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dengan Substitusi *Fly Ash* 50%



Gambar 5. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dengan Substitusi *Fly Ash* 100%

5.1.4 Hasil Pengujian *Marshall Test* Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai KAO pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70. Hasil dari pengujian ini yaitu nilai *stability*, *flow*, *MQ*, *VMA*, *VFWA* dan *VITM*. Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall Test* dapat dilihat pada Tabel 5.8 sampai Tabel 5.10, serta penetapan nilai KAO dapat dilihat pada Gambar 5.4 sampai Gambar 5.6.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian *Marshall Test* untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran *Superpave* dengan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash* 0%

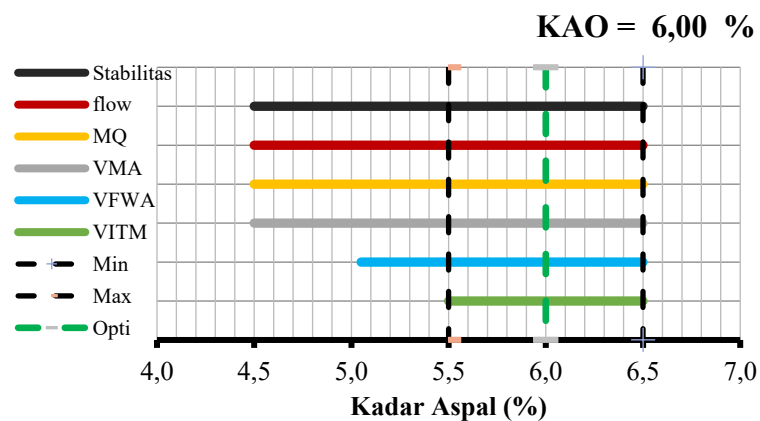
Kadar Aspal(%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	947,8229	2,9	352,97	7,04	58,05	16,77	2,2587
5	967,0089	2,9	345,94	5,96	64,61	16,82	2,2560
5,5	1111,4390	2,9	380,90	5,08	70,23	17,06	2,2372
6	1023,0470	2,2	475,12	4,69	73,57	17,72	2,2628
6,5	874,167	2,5	353,76	4,68	75,00	18,71	2,2157
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian *Marshall Test* untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran *Superpave* dengan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash* 50%

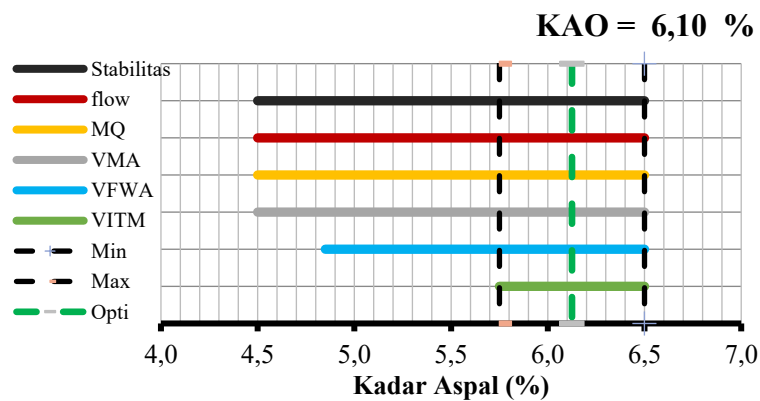
Kadar Aspal(%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	1056,15	2,6	403,15	6,31	60,91	16,13	2,26
5	1046,49	2,7	395,60	5,48	66,63	16,42	2,27
5,5	1180,90	2,9	407,19	5,11	70,13	17,10	2,26
6	1261,68	2,4	537,21	4,86	72,84	17,89	2,25
6,5	1092,99	2,7	409,91	4,04	77,83	18,18	2,25
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Marhall Test* untuk Menentukan Nilai KAO pada Campuran *Superpave* dengan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash* 100%

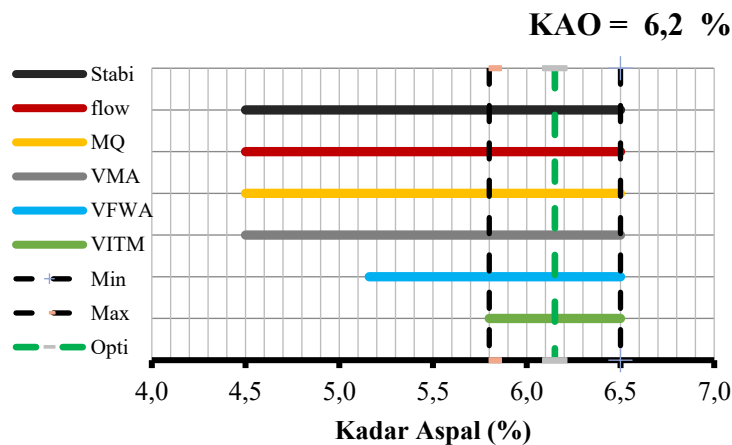
Kadar Aspal(%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	1014,62	2,6	400,01	7,09	57,85	16,83	2,24
5	1043,51	2,8	374,23	6,30	63,24	17,13	2,25
5,5	1182,45	2,4	488,09	5,49	68,53	17,43	2,25
6	1311,23	2,5	535,74	4,68	73,62	17,73	2,25
6,5	1234,44	3,0	417,41	3,98	78,11	18,12	2,26
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	



Gambar 5. 4 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash* 0%



Gambar 5. 5 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash* 50%



Gambar 5. 6 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash* 100%

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran Perkerasan Berdasarkan Jenis Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 pada Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian campuran perkerasan pada penelitian ini mencakup pengujian *Marshall Standard*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, *Cantabro Loss*, *Stiffness Modulus*, dan *Wheel Tracking*. Rekapitulasi data hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.11 sampai Tabel 5.20.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall Standard*

Jenis Aspal	Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
Starbit PG-70	0	1395,2703	2,4	577,53	4,92	71,94	17,52	2,253
	50	1520,4120	2,6	585,27	4,93	72,22	17,75	2,253
	100	1606,8497	2,3	690,56	4,79	73,11	17,82	2,251
PEN 60/70	0	1263,5072	2,5	503,70	4,19	76,05	17,48	2,260
	50	1431,200	2,6	553,72	4,14	76,57	17,66	2,261
	100	1536,970	2,4	639,08	4,06	77,20	17,78	2,258
Spesifikasi		> 800	2 – 4	>250	4 – 5	>65	>15	

Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Index of Retained Strength*

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	<i>Index of Retained Strength</i> (%)	
	Starbit PG-70	Pen 60/70
0	92,005	91,447
50	94,716	92,446
100	97,439	95,012

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	ITS (Kpa)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	78,409	90,752
50	91,094	102,324
100	100,413	107,187

Tabel 5. 14 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	<i>Immersion</i> (Jam)	Nilai IKS (%)		Nilai IDP (%)	
		Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	0,5	100	100	0,364	0,340
	24	91,45	92,00		
50	0,5	100	100	0,321	0,225
	24	92,45	94,72		
100	0,5	100	100	0,212	0,109
	24	95,01	97,44		

Tabel 5. 15 Rekapitulasi Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	<i>Immersion</i> (Jam)	Nilai IKS (%)		Penurunan (%)		Waktu (Jam)	Nilai IDK (%)		SA (%)	
		Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70		Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	0,5	100	100	8,55	8,00	23,5	0,364	0,340	95,812	96,086
	24	91,45	92,00							
50	0,5	100	100	7,55	5,28	23,5	0,321	0,225	96,302	97,413
	24	92,45	94,72							
100	0,5	100	100	4,99	2,56	23,5	0,212	0,109	97,558	98,746
	24	95,01	97,44							

Tabel 5. 16 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio*

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	<i>Tensile Strength Ratio</i> (%)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	96,058	97,317
50	93,831	94,317
100	92,910	94,087

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro*

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Kehilangan Berat (%)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	4,73	4,04
50	3,81	2,28
100	3,41	1,76

Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Stiffness Modulus* pada Setiap Jenis Campuran

Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	<i>Stiffness Modulus of Bitumen</i> (Mpa)		<i>Stiffness Modulus of Mixture</i> (Mpa)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	17,832	23,272	4298,965	4675,577
50			3702,183	4361,741
100			3431,217	4486,131

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Kecepatan Deformasi dari Pengujian *Wheel Tracking* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Kadar <i>Fly Ash</i> (%)	Kecepatan Deformasi (mm/menit)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	0,082	0,032
50	0,080	0,031
100	0,079	0,028

Tabel 5. 20 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur pada Campuran *Superpave* Berbahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70

Jenis Bahan Ikat	Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Prediksi Umur Pelayanan (Tahun)
Pen 60/70	<i>Fatigue Cracking</i>	12.931.491.841,53	66,5
	<i>Rutting</i>	9.122.024.689,68	59,7
	<i>Permanent Deformation</i>	510.715.979,67	14,1
Starbit PG-70	<i>Fatigue Cracking</i>	14.243.863.325,54	68,4
	<i>Rutting</i>	7.292.125.971,59	55,4
	<i>Permanent Deformation</i>	664.941.691,56	16,9

5.1.6 Hasil Analisis Statik *Anova*

Hasil analisis statik *Anova One Way* mencakup data-data uji sifat fisik aspal Starbit PG-70 terhadap aspal Pertamina Pen 60/70, berupa uji penetrasi, daktilitas, berat jenis, titik lembek, titik nyala, titik bakar, kelarutas dalam *TCE* dan *Penetration indeks*. Data hasil rekapitulasi analisis statik menggunakan *Anova One Way* dengan α sebesar 0,05 dapat dilihat pada Tabel 5.21.

Tabel 5.21 Output Analisa Uji Signifikan Perbedaan antara Sifat Fisik Aspal Starbit PG-70 dan Aspal Pen 60/70

ANOVA					
Penetrasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	149,500	1	149,500	560626,562	,000
Within Groups	,001	4	,000		
Total	149,501	5			

Pada Tabel 5.21 dapat dilihat hasil dari signifikansi didapatkan nilai $< 0,05$ maka dapat disimpulkan bahwa H_0 Ditolak, nilai penetrasi pada aspal Starbit PG-70 dan Pen 60/70 terdapat perbedaan yang signifikan. Rekapitulasi hasil uji signifikan perbedaan anatara sifat fisik aspal Starbit PG-70 dan aspal Pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 5.22.

Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Uji Signifikan Perbedaan antara Sifat Fisik Aspal Starbit PG-70 dan Aspal Pen 60/70

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Berat jenis	H_0 Ditolak	Signifikan
Penetrasi	H_0 Ditolak	Signifikan
Daktilitas	H_0 Ditolak	Signifikan
Titik Lembek	H_0 Ditolak	Signifikan
Titik Nyala	H_0 Ditolak	Signifikan
Titik Bakar	H_0 Ditolak	Signifikan
Kelarutan dalam <i>TCE</i>	H_0 Ditolak	Signifikan
<i>Penetration Index (PI)</i>	H_0 Ditolak	Signifikan

Hasil analisis statik *Anova Two Way* mencakup data uji karakteristik pada nilai KAO, *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR CL*, *Wheel Tracking* dengan masing-masing pengaruh terhadap jenis bahan ikat dan substitusi *fly ash* dengan α sebesar 0,05. Hasil analisis uji normalitas, *homogenitas* pada tiap variable dan hasil analisis uji signifikansi perbedaan nilai stabilitas dapat dilihat pada Tabel 5.23 dan Tabel 5.24.

Tabel 5.23 Output Hasil Analisis Uji Normalitas

Tests of Normality							
	Jenis Aspal	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Stabilitas	Starbit	,140	9	,200*	,937	9	,547
	Pen	,229	9	,192	,916	9	,361
*. This is a lower bound of the true significance.							
a. Lilliefors Significance Correction							

Pada Tabel 5.23 dapat dilihat $\text{Sig} > \alpha$ atau 0,547 dan 0,361, maka dapat disimpulkan data variable hasil stabilitas berdistribusi normal.

Tabel 5. 24 Output Analisi Uji Homogenitas Tiap Variabel

Levene's Test of Equality of Error Variances ^{a,b}					
		Levene Statistic	df1	df2	Sig.
Stabilitas	Based on Mean	5,453	5	12	,008
	Based on Median	,962	5	12	,478
	Based on Median and with adjusted df	,962	5	3,887	,532
	Based on trimmed mean	4,847	5	12	,012
Tests the null hypothesis that the error variance of the dependent variable is equal across groups.					
a. Dependent variable: Stabilitas					
b. Design: Intercept + Jenis Aspal + Fly Ash + Jenis Aspal * Fly Ash					

Dari Tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai *Based on Median* dan *Based on Median and with adjusted df* $> 0,05$ sehingga dapat dikatakan varian antar kelompok homogen.

Tabel 5. 25 Output Analisa Uji Signifikansi Perbedaan pada Nilai Stabilitas

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Stabilitas					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	222325,114 ^a	5	44465,023	6,301	,004
Intercept	38101101,587	1	38101101,587	5398,819	,000
Jenis Aspal	49825,459	1	49825,459	7,060	,021
Fly Ash	170521,500	2	85260,750	12,081	,001
Jenis Aspal * Fly Ash	1978,155	2	989,077	,140	,871
Error	84687,641	12	7057,303		
Total	38408114,342	18			
Corrected Total	307012,755	17			

a. R Squared = ,724 (Adjusted R Squared = ,609)

Dari Tabel 5.25 dapat dilihat bahwa nilai Signifikansi pada jenis aspal < 0,05 maka dapat disimpulkan H_1 Diterima perbedaan jenis bahan ikat terdapat perbedaan nilai yang signifikan. Pada substitusi *fly ash* nilai signifikansi < 0,05 maka dapat disimpulkan H_1 Diterima perbedaan substitusi *fly ash* terdapat perbedaan nilai yang signifikan. Sedangkan pada jenis bahan ikat dan substitusi *fly ash* nilai signifikansi > 0,05 maka H_1 Ditolak dan perbedaan nilai akibat jenis bahan ikat dan substitusi *fly ash* tidak signifikan.

Rekapitulasi hasil uji signifikansi pada perbedaan karakteristik *Marshall*, Nilai *IRS*, *ITS*, *TSR*, *CL*, dan *Wheel Tracking*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, *IDP*, *IDK*, Kecepatan Deformasi, dan Stabilitas Deformasi untuk semua jenis bahan ikat, substitusi *fly ash* dan akibat dari jenis bahan ikat dan *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 5.26 sampai Tabel 5.31.

Tabel 5.26 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Karakteristik *Marshall* untuk Semua Jenis Bahan Ikat pada KAO

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>VITM</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>VFWA</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>VMA</i>	H_1 Diterima	Signifikan

Lanjutan Tabel 5.26 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Karakteristik Marshall untuk Semua Jenis Bahan Ikat pada KAO

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>Density</i>	H_1 Ditolak	Tidak Signifikan
Stabilitas	H_1 Diterima	Signifikan
<i>Flow</i>	H_1 Diterima	Signifikan
MQ	H_1 Diterima	Signifikan

Tabel 5.27 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai *IRS*, *ITS*, *TSR*, *CL*, dan *Wheel Tracking* untuk Semua Jenis Bahan Ikat

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>IRS</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>ITS</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>TSR</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>CL</i>	H_1 Diterima	Signifikan
Stabilitas Dinamis	H_1 Diterima	Signifikan
Kecepatan Deformasi	H_1 Diterima	Signifikan
IDP	H_1 Diterima	Signifikan
IDK	H_1 Diterima	Signifikan

Tabel 5.28 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Karakteristik Marshall untuk Semua Substitusi *Fly Ash* pada KAO

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>VITM</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>VFWA</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>VMA</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>Density</i>	H_1 Diterima	Signifikan
Stabilitas	H_1 Diterima	Signifikan
<i>Flow</i>	H_1 Diterima	Signifikan
MQ	H_1 Diterima	Signifikan

Tabel 5.29 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai *IRS*, *ITS*, *TSR*, *CL*, dan *Wheel Tracking* untuk Semua Substitusi *Fly Ash*

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>IRS</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>ITS</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>TSR</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>CL</i>	H_1 Diterima	Signifikan
Stabilitas Dinamis	H_1 Diterima	Signifikan
Kecepatan Deformasi	H_1 Diterima	Signifikan
IDP	H_1 Diterima	Signifikan
IDK	H_1 Diterima	Signifikan

Tabel 5.30 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Karakteristik *Marshall* untuk Semua Jenis Bahan Ikat dan Semua Substitusi *Fly Ash*

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>VITM</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>VFWA</i>	H_1 Diterima	Signifikan
<i>VMA</i>	H_1 Ditolak	Tidak Signifikan
<i>Density</i>	H_1 Ditolak	Tidak Signifikan
Stabilitas	H_1 Diterima	Signifikan
<i>Flow</i>	H_1 Diterima	Signifikan
MQ	H_1 Diterima	Signifikan

Tabel 5.31 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai *IRS*, *ITS*, *TSR*, *CL*, dan *Wheel Tracking* untuk Semua Jenis Bahan Ikat dan Semua Substitusi *Fly*

Ash

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Stabilitas	H_1 Ditolak	Tidak Signifikan
<i>IRS</i>	H_1 Ditolak	Tidak Signifikan

Lanjutan Tabel 5.31 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai *IRS*, *ITS*, *TSR*, *CL*, dan *Wheel Tracking* untuk Semua Jenis Bahan Ikat dan Semua Substitusi *Fly Ash*

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>ITS</i>	H_1 Ditolak	Tidak Signifikan
<i>TSR</i>	H_1 Ditolak	Tidak Signifikan
<i>CL</i>	H_1 Ditolak	Tidak Signifikan
Stabilitas Dinamis	H_1 Diterima	Signifikan
Kecepatan Deformasi	H_1 Ditolak	Tidak Signifikan
IDP	H_1 Diterima	Signifikan
IDK	H_1 Diterima	Signifikan

5.2 Analisis Hasil Pengujian

5.2.1 Karakteristik Aspal

Rangkaian pengujian karakteristik aspal bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal yang akan digunakan sebagai bahan ikat. Pembahasan hasil karakteristik aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal dapat berpengaruh besar terhadap proses perencanaan rancangan perkerasan. Nilai ini didapatkan berdasarkan hasil perbandingan antara volume air dan volume aspal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nilai berat jenis pada kedua aspal tidak berbeda secara signifikan, yaitu pada jenis aspal Pen 60/70 didapatkan nilai sebesar 1,022 dan jenis aspal modifikasi Starbit PG-70 didapatkan nilai sebesar 1,037. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai berat jenis aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 telah memenuhi syarat yaitu ≥ 1 .

2. Penetrasi Aspal

Nilai penetrasi aspal adalah nilai yang menunjukkan tingkat kekerasan pada aspal. Semakin tinggi nilai penetrasi pada aspal maka dapat disimpulkan bahwa tingkat kekerasan aspal tersebut lebih rendah, begitupun sebaliknya, semakin rendah nilai penetrasinya maka semakin keras aspal tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai penetrasi pada kedua jenis aspal berbeda secara signifikan, yaitu pada jenis aspal Pen 60//70 didapatkan sebesar 65,5 mm dan pada jenis aspal modifikasi Starbit PG-70 didapatkan nilai sebesar 55,5 mm. Perbedaan yang signifikan pada bahan ikan aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 disebabkan oleh sifat aspal yang Starbit PG-70 yang berbasis polimer elastomer sehingga memberikan dampak berupa penurunan nilai penetrasi yang berarti aspal modifikasi Starbit PG-70 memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal Pen 60/70. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pradani (2012), yang menyebutkan bahwa dengan adanya penambahan polimer SBS pada aspal, maka aspal akan menjadi lebih keras dengan dibuktikan oleh penurunan penetrasi. Prastanto (2015) dalam penelitiannya juga menyebutkan bahwa aspal yang dimodifikasi dengan polimer akan mendapatkan sifat perkerasan jalan yang lebih baik, yaitu mengurangi deformasi pada perkerasan dan meningkatkan ketahanan terhadap retak. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai penetrasi aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 telah memenuhi syarat dengan nilai penetrasi aspal Pen 60/70 antara 60 mm sampai dengan 70 mm, sedangkan nilai penetrasi aspal modifikasi Starbit PG-70 sebesar 50 mm sampai dengan 80 mm.

3. Daktilitas Aspal

Nilai daktilitas aspal yaitu nilai yang menunjukkan tingkat kekenyalan pada aspal. pada penelitian ini, nilai daktilitas pada aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit PG-70 memiliki nilai akhir yang berbeda secara signifikan. Nilai daktilitas pada aspal Pen 60/70 sebesar 165 mm atau dapat dikategorikan tidak putus pada saat pengujian. Sedangkan nilai daktilitas pada aspal modifikasi Starbit PG-70 sebesar 130 cm. Nilai daktilitas kedua aspal tersebut menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai daktilitas aspal

Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 telah memenuhi syarat. Pada aspal Pen 60/70 nilai daktilitas ≥ 100 cm, sedangkan pada Aspal Modifikasi Starbit PG-70 ≥ 50 cm.

4. Titik Nyala Aspal

Titik nyala aspal yaitu nilai yang menunjukkan batas temperatur ketika aspal mulai menyala singkat dan memercikkan api. Pada penelitian ini, nilai titik nyala pada aspal Pen 60/70 sebesar 270°C dan aspal modifikasi Starbit PG-70 sebesar 315°C . perbedaan nilai titik nyala pada kedua aspal tersebut cukup signifikan, hal ini membuktikan bahwa aspal pen 60/70 memiliki kandungan minyak yang relative lebih banyak jika dibandingkan aspal modifikasi Starbit PG-70. Subarkah, dkk (2020), dalam penelitiannya menyebutkan bahwa aspal dengan nilai titik nyala yang lebih rendah akan cenderung memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi, karena memiliki kandungan minyak yang lebih besar. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik nyala aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 telah memenuhi syarat, nilai titik nyala pada aspal Pen 60/70 $\geq 232^{\circ}\text{C}$ dan nilai titik nyala aspal modifikasi Starbit PG-70 $\geq 225^{\circ}\text{C}$.

5. Titik Bakar Aspal

Nilai titik bakar aspal yaitu nilai yang menunjukkan batas temperatur ketika aspal mulai menimbulkan api yang terlihat menyala ± 5 detik pada permukaan aspal. pada penelitian ini, nilai titik bakar yang didapatkan pada aspal Pen 60/70 sebesar 285°C dan pada aspal modifikasi Starbit PG-70 didapatkan nilai titik bakar sebesar 325°C . Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik bakar aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 telah memenuhi syarat, nilai titik bakar pada aspal Pen 60/70 $\geq 232^{\circ}\text{C}$ dan nilai titik nyala aspal modifikasi Starbit PG-70 $\geq 225^{\circ}\text{C}$.

6. Titik Lembek Aspal

Nilai titik lembek aspal yaitu nilai yang menunjukkan batas temperatur ketika aspal mulai menjadi lunak atau lembek. Pada penelitian ini, nilai titik lembek yang didapatkan pada aspal Pen 60/70 sebesar 48°C , sedangkan pada aspal modifikasi Starbit PG-70 sebesar 55°C . Nilai titik lembek pada kedua aspal menunjukkan perbedaan yang signifikan. Nilai titik lembek berkaitan erat dengan

nilai *Penetration Index (PI)*, nilai titik lembek pada aspal Pen 60/70 rendah mengartikan bahwa aspal tersebut memiliki sifat yang lebih peka terhadap temperatur jika dibandingkan dengan aspal modifikasi Starbit PG-70. Hasil ini selaras dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Arkan dan Subarkah (2018) yang pada penelitiannya mengatakan bahwa nilai titik lembek aspal Pen 60/70 lebih rendah jika dibandingkan dengan aspal modifikasi Starbit. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik lembek aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 telah memenuhi syarat, nilai titik lembek pada aspal Pen 60/70 ≥ 48 °C dan nilai titik nyala aspal modifikasi Starbit PG-70 ≥ 54 °C.

7. Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)*

Nilai kelarutan pada aspal dalam *TCE* yaitu nilai yang menunjukkan persentase jumlah aspal yang larut dalam *TCE* yang nantinya nilai ini akan berpengaruh terhadap ikatan aspal dengan agregat. Pada penelitian ini nilai kelarutan dalam *TCE* pada aspal Pen 60/70 ditemukan sebesar 100% dan pada aspal modifikasi Starbit PG-70 didapatkan nilai sebesar 99,55%. Perbedaan nilai kelarutan kedua jenis aspal tidak signifikan. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai kelarutan dalam *TCE* aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 telah memenuhi syarat, nilai kelarutan dalam *TCE* pada aspal Pen 60/70 $> 99\%$ dan nilai kelarutan dalam *TCE* aspal modifikasi Starbit PG-70 $> 97,6\%$.

5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar dilakukan dengan tujuan mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat kasar yang akan digunakan sebagai bahan campuran perkerasan. Pembahasan hasil karakteristik agregat kasar dapat dilihat sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Nilai berat jenis agregat kasar yaitu nilai perbandingan antara berat volume dari suatu material terhadap air pada suhu tertentu. Nilai berat jenis yang diperiksa berupa berat benda uji dalam kerasaan basah jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA) dan berat benda kering oven (BK). Pada penelitian ini, nilai berat jenis agregat kasar

didapatkan sebesar 2,58. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai berat jenis agregat kasar telah memenuhi syarat dengan nilai $> 2,5$.

2. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Nilai kelekatan agregat terhadap aspal yaitu nilai yang menunjukkan persentase luas permukaan agregat yang tertutup aspal terhadap luas keseluruhan permukaan. Pada penelitian ini, kelekatan agregat terhadap aspal mendapatkan nilai 95% pada aspal Pen 60/70 dan pada aspal modifikasi Starbit PG-70 mendapatkan nilai sebesar 97%. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai kelekatan terhadap agregat pada kedua jenis aspal telah memenuhi syarat yaitu $> 95\%$.

3. Keausan Agregat dengan Mesin *Loss Angeles*

Nilai keausan agregat yaitu nilai yang menunjukkan tingkat ketahanan agregat terhadap abrasi yang menggunakan mesin *loss angeles*, nilai ini merupakan perbandingan antara berat bahan yang aus lolos saringan n0.12 terhadap berat mula-mula. Pada penelitian ini, nilai keausan didapatkan sebesar 5,75% untuk 100 putaran dan 23,82% untuk 500 putaran. Berdasarkan pedoman Bina Marga 2018, nilai keausan agregat terhadap aspal telah memenuhi syarat dengan nilai $< 40\%$.

5.2.3 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus dilakukan dengan tujuan mengetahui sifat fisik dan karakteristik dari agregat halus yang akan digunakan sebagai bahan campuran perkerasan. Pembahasan hasil karakteristik agregat halus dapat dilihat sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Nilai berat jenis agregat halus yaitu nilai perbandingan antara berat volume dari suatu material terhadap air pada suhu tertentu. Nilai berat jenis yang diperiksa berupa berat benda uji dalam kerasaan basah jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA) dan berat benda kering oven (BK). Pada penelitian ini, nilai berat jenis agregat halus didapatkan sebesar 2,81. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai berat jenis agregat halus telah memenuhi syarat dengan nilai $> 2,5$.

2. *Sand Equivalent*

Nilai *sand equivalent* yaitu nilai yang menunjukkan kadar debu dan lumpur pada agregat halus. Pada penelitian ini, nilai *sand equivalent* sebesar 90,61%. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai penyerapan air oleh agregat halus telah memenuhi syarat dengan nilai >50%.

3. *Filler*

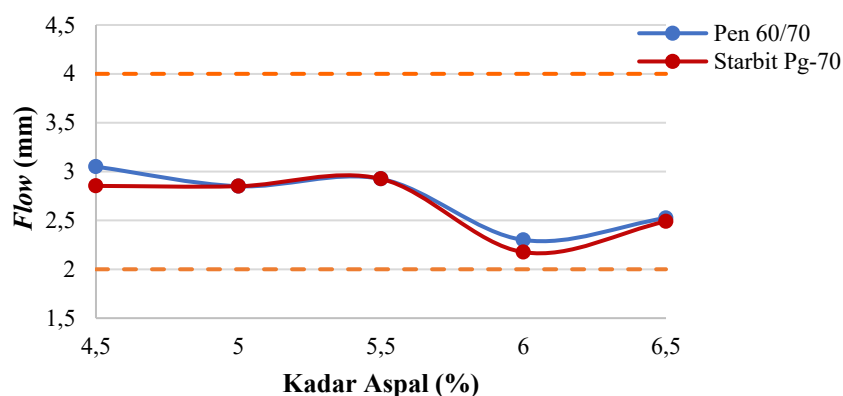
Filler yaitu agregat halus yang telah lolos saringan No. 200. Pada penelitian ini didapatkan nilai berat jenis *filler* debu batu sebesar 2,55%, dan berat jenis *filler* yang didapatkan pada *fly ash* sebesar 2,67.

5.2.4 Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 untuk Mencari KAO

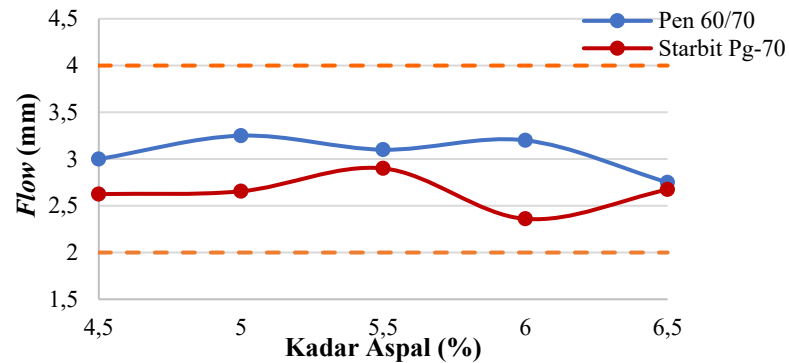
Tinjauan karakteristik *Marshall* untuk mencari nilai kadar aspal optimum pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 secara rinci dapat dilihat sebagai berikut.

1. Kelelehan (*Flow*)

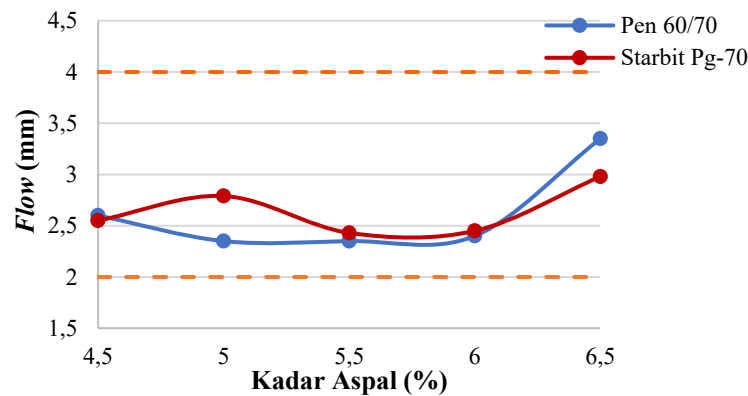
Kelelehan merupakan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terdiri terjadi akibat pembebanan sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 *inch*. Grafik perbandingan nilai *flow* untuk perkerasan *Superpave* berdasarkan substitusi *fly ash* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 dapat dilihat pada Gambar 5.7 sampai Gambar 5.9.



Gambar 5. 7 Grafik *Flow* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% *Fly Ash* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



Gambar 5. 8 Grafik *Flow* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% *Fly Ash* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



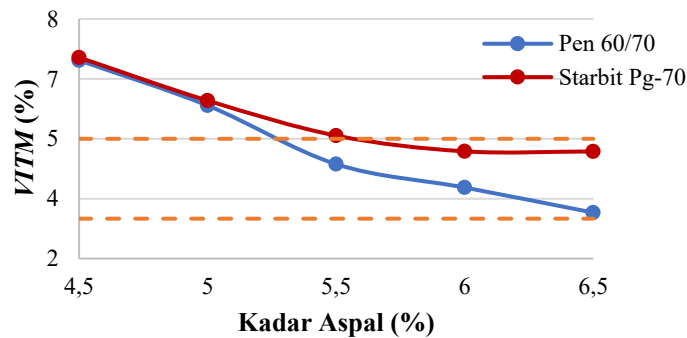
Gambar 5. 9 Grafik *Flow* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% *Fly Ash* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70

Berdasarkan Grafik 5.7 sampai Grafik 5.9 diatas dapat dilihat nilai *flow* pada campuran yang menggunakan aspal modifikasi Starbit PG-70 cenderung lebih rendah dibandingkan dengan campuran aspal Pen 60/70. Nilai *flow* sangat dipengaruhi oleh suhu terutama efek dari temperatur pemadatan, penggunaan Starbit PG-70 menghasilkan nilai *flow* cenderung lebih rendah disebabkan oleh aspal yang mengandung polimer lebih tahan terhadap suhu yang relative lebih disbanding aspal konvensional. Aspal PG-70 lebih tahan terhadap suhu yang tinggi, hal ini dibuktikan dengan nilai penetrasi yang lebih rendah dibandingkan aspal Pen 60/70 dan nilai titik lembek yang lebih besar dibandingkan dengan aspal Pen 60/70. Penelitian ini sejalan dengan hasil penelitian Navarro (2014) yang menyatakan

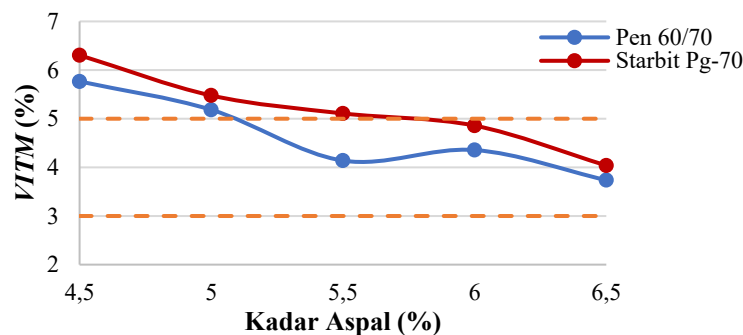
bahwa penambahan polimer dalam aspal menyebabkan campuran lebih tahan terhadap deformasi plastis.

2. *Void In Total Mix (VITM)*

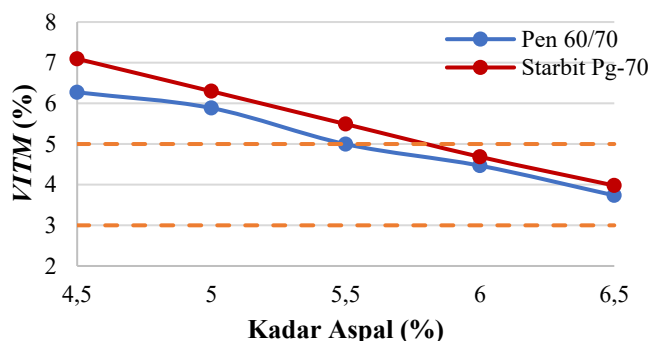
Void In Total Mix (VITM) yaitu nilai persen rongga udara di dalam total campuran agregat aspal. karakteristik ketahanan campuran terhadap deformasi plastis memiliki hubungan yang erat dengan nilai *VITM*. Bila nilai *VITM* memenuhi syarat maka campuran aspal akan memiliki kemampuan dalam menghambat efek deformasi plastis, bila nilainya terlalu tinggi akan menyebabkan campuran bersifat *porous*, dimana air dan udara akan mudah masuk kedalam rongga sehingga akan menyebabkan campuran aspal menjadi mudah teroksidasi dan terdeformasi plastis. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VITM* pada campuran *Superpave* pada berbagai bahan ikat dan substitusi *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 5.10 sampai Gambar 5.12.



Gambar 5. 10 Grafik *VITM* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% *Fly Ash* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



Gambar 5. 11 Grafik *VITM* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% *Fly Ash* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



Gambar 5. 12 Grafik VITM dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% Fly Ash dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70

Pada Gambar 5.10 dapat dilihat campuran *Superpave* berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan kadar substitusi *fly ash* 0%, sama-sama mengalami penurunan nilai *VITM*, pada campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70 pada kadar 5,8% aspal telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 3-5%, sedangkan pada aspal Starbit PG-70 pada kadar 6% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 3-5%.

Pada Gambar 5.11 dapat dilihat campuran *Superpave* berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan kadar substitusi *fly ash* 50%, sama-sama mengalami penurunan nilai *VITM*, pada campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70 pada kadar 5,9% aspal telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 3-5%, sedangkan pada aspal Starbit PG-70 pada kadar 6,1% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 3-5%.

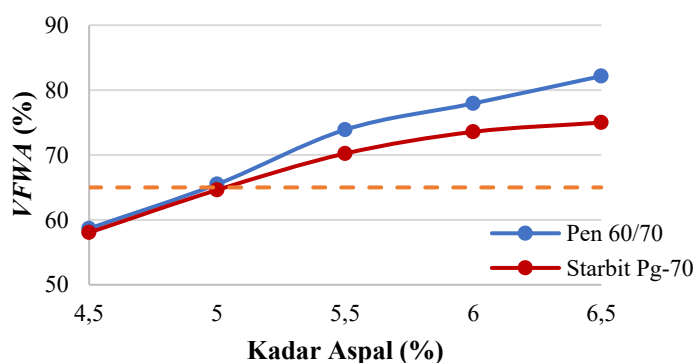
Pada Gambar 5.12 dapat dilihat campuran *Superpave* berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan kadar substitusi *fly ash* 100%, sama-sama mengalami penurunan nilai *VITM*, pada campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70 pada kadar 6% aspal telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 3-5%, sedangkan pada aspal Starbit PG-70 pada kadar 6,2% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 3-5%.

Berdasarkan Gambar 5.10 sampai Gambar 5.12 secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka nilai *VITM* akan semakin menurun. Penyebab turunnya nilai *VITM* yaitu banyaknya aspal yang

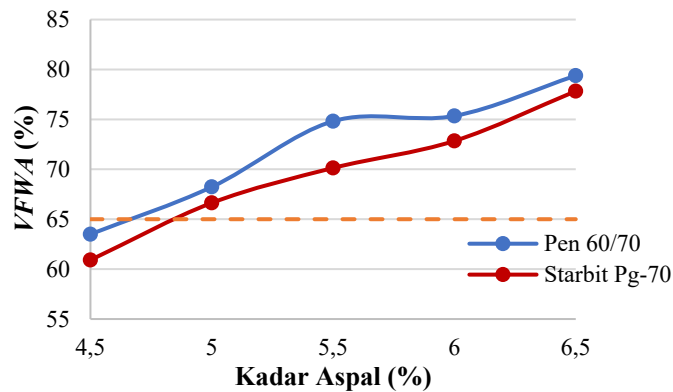
mengisi rongga pada campuran, sehingga rongga yang tersisa atau rongga udara pada campuran akan menjadi semakin kecil. Pada penggunaan aspal modifikasi Starbit PG-70 nilai VITM cenderung lebih rendah dan mengalami penurunan nilai yang lebih rendah disetiap kadarnya. Hal ini dikarenakan aspal modifikasi Starbit PG-70 memiliki nilai *stiffness modulus of bitumen* (Sbit) atau kekuatan aspal yang lebih dominan dibandingkan aspal Pen 60/70 berdasarkan hasil pengujian penetrasi dan titik lembek pada material aspalnya. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Hadi dan Fauziah (2021), dimana nilai VITM mengalami penurunan disetiap penambahan kadar aspal pada campuran *Superpave* dan penggunaan aspal modifikasi Starbit PG-70 cenderung lebih rendah dibandingkan dengan aspal Pen 60/70.

3. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

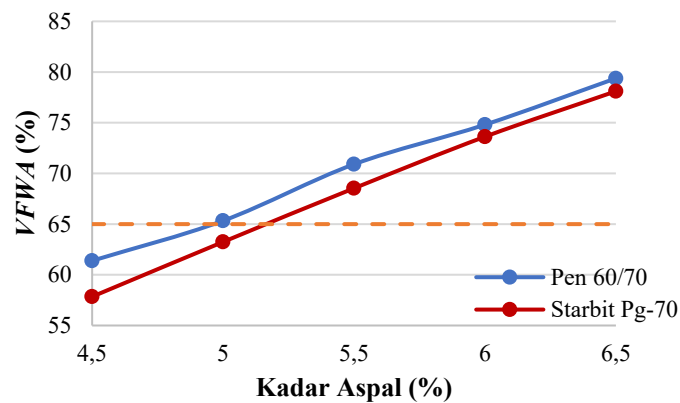
Void Filled With Asphalt (VFWA) yaitu persen rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Beberapa faktor yang mempengaruhi yaitu jumlah dan temperatur pemadatan, distribusi target gradasi agregat kasar dan aspal serta abrasi agregat. Nilai *VFWA* ini mempengaruhi sifat kedap air campuran terhadap air dan udara serta sifat elastik campuran, sehingga akan menentukan fleksibilitas, stabilitas dan durabilitas. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VFWA* untuk campuran *Superpave* dengan berbahan ikat Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 dapat dilihat pada Gambar 5.13 sampai Gambar 5.15.



Gambar 5. 13 Grafik *VFWA* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% *Fly Ash* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



Gambar 5. 14 Grafik *VFWA* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% *Fly Ash* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



Gambar 5. 15 Grafik *VFWA* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% *Fly Ash* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70

Pada Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa campuran *Superpave* yang berbahan ikat modifikasi Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* 0% mulai memenuhi spesifikasi nilai *VFWA* berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 pada kadar aspal 5,05%, sedangkan campuran yang berbahan ikat konvensional Pen 60/70 dengan substitusi *fly ash* 0% mulai memenuhi spesifikasi nilai *VFWA* pada kadar aspal 5,00%.

Pada Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa campuran *Superpave* yang berbahan ikat modifikasi Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* 50% mulai memenuhi spesifikasi nilai *VFWA* berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 pada kadar aspal 4,85%, sedangkan campuran yang berbahan ikat konvensional Pen 60/70 dengan

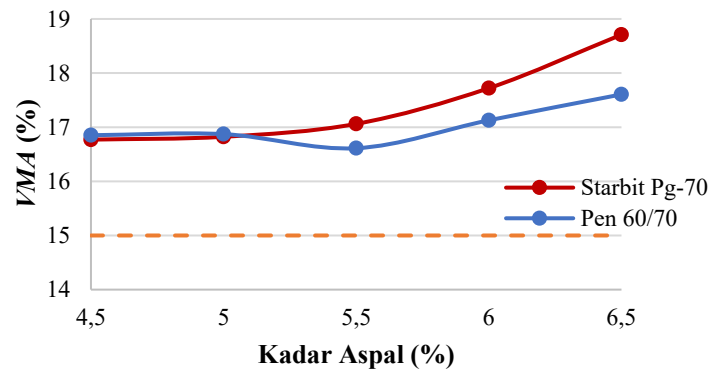
substitusi *fly ash* 50% mulai memenuhi spesifikasi nilai *VFWA* pada kadar aspal 4,7%.

Pada Gambar 5.15 dapat dilihat bahwa campuran *Superpave* yang berbahan ikat modifikasi Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* 100% mulai memenuhi spesifikasi nilai *VFWA* berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 pada kadar aspal 5,16%, sedangkan campuran yang berbahan ikat konvensional Pen 60/70 dengan substitusi *fly ash* 100% mulai memenuhi spesifikasi nilai *VFWA* pada kadar aspal 5%.

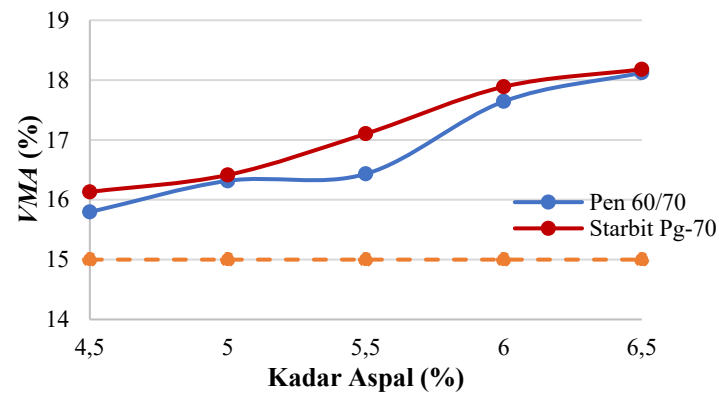
Berdasarkan Gambar 5.13 sampai Gambar 5.115 dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka nilai *VFWA* pada aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 semakin meningkat. Secara volumetrik, dapat diketahui bahwa aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 pada substitusi *fly ash* 0% dan 50% memiliki nilai *VFWA* yang cenderung sama, terjadinya perbedaan nilai *VFWA* yang cenderung berbeda yaitu pada substitusi *fly ash* 100%, nilai *VFWA* pada aspal Pen 60/70 lebih besar dibandingkan dengan nilai *VFWA* pada aspal modifikasi Starbit PG-70, penyebab hal ini karena aspal Pen 60/70 memiliki nilai indeks penetrasi yang lebih rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hadi dan Fauziah (2021), pada penelitiannya didapatkan hasil nilai *VFWA* aspal Pen 60/70 lebih tinggi dibandingkan aspal modifikasi Starbit E-55. Tingginya nilai *VFWA* membuktikan bahwa aspal Pen 60/70 memiliki sifat yang relative lebih peka terhadap perubahan suhu sehingga akan lebih mudah untuk mengisi rongga pada campuran perkerasan.

4. *Void In Mineral Agregate (VMA)*

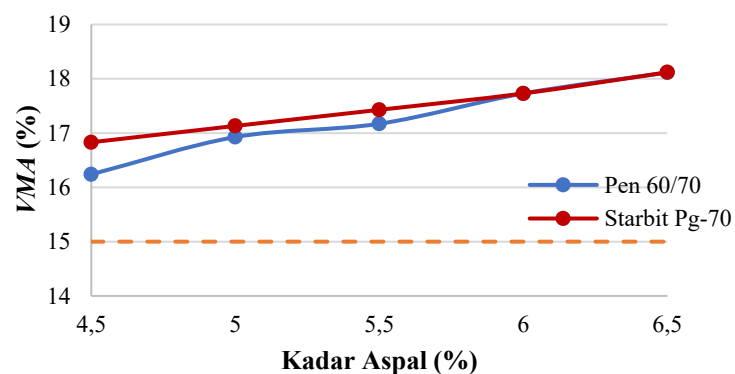
Void In Mineral Agregate (VMA) yaitu persen rongga udara yang ada diantara partikel-partikel agregat di dalam campuran aspal dan agregat yang telah dipadatkan. *VMA* dinyatakan sebagai ruang yang tersedia untuk menampung aspal dan rongga yang diperlukan dalam campuran agregat aspal. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VMA* untuk campuran *Superpave* dengan berbahan ikat Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70 dapat dilihat pada Gambar 5.16 sampai Gambar 5.18.



Gambar 5. 16 Grafik *VMA* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% *Fly Ash* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



Gambar 5. 17 Grafik *VMA* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% *Fly Ash* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



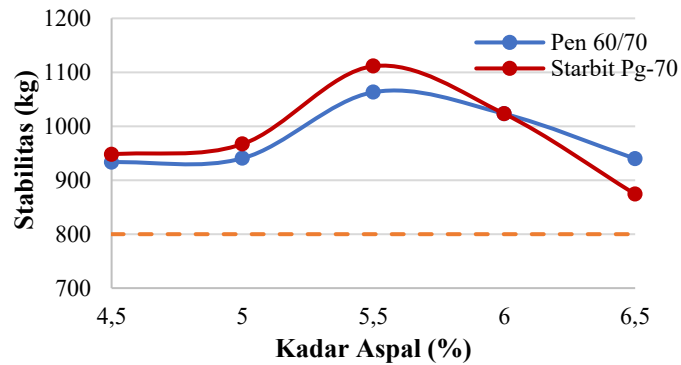
Gambar 5. 18 Grafik *VMA* dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% *Fly Ash* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70

Berdasarkan Gambar 5.16 sampai Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa campuran *Superpave* dengan substitusi *fly ash* 0%, 50% dan 100% berbahan ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70 pada kadar 4,5% sampai 6,5% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu >15%. Berdasarkan tinjauan nilai *VMA* dapat dilihat bahwa campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70 memiliki nilai yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70.

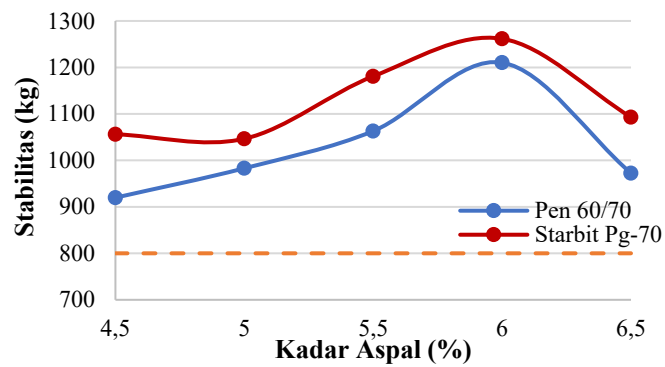
Berdasarkan Grafik 5.16 sampai Grafik 5.18 juga memperlihatkan bahwa seiring dengan naiknya kadar aspal nilai *VMA* juga cenderung lebih meningkat, semakin besar nilai *VMA* maka aspal yang menyelimuti agregat akan semakin tebal, dampak dari hal ini campuran akan lebih kedap air, selimut aspal yang tipis akan menyebabkan ikatan dalam campuran mudah lepas. Semakin tebal selimut aspal akan menyebabkan campuran semakin stabil, penggunaan aspal modifikasi lebih mengikat agregat, pendapat ini sesuai dengan penelitian Asmael dan Waheed (2014) yang menyebutkan bahwa campuran dengan berbahan ikat modifikasi akan memiliki selimut aspal yang lebih tebal dan lebih tahan terhadap *fatigue*.

5. Stabilitas (*Stability*)

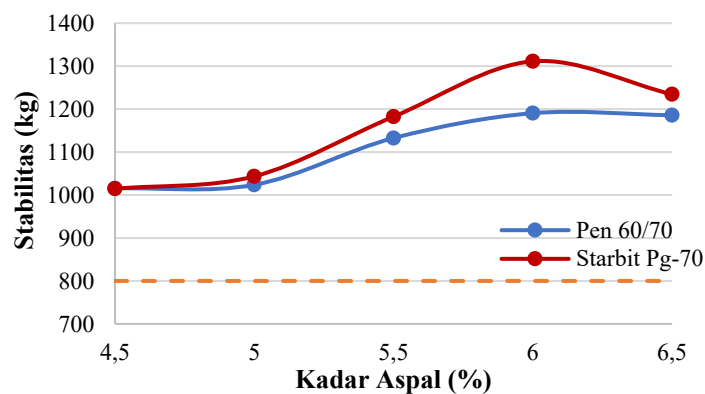
Stabilitas yaitu kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen seperti alur (*rutting*) dan gelombang. Nilai stabilitas sangat bergantung pada kemampuan campuran dalam mengadakan kuncian (*interlocking*) dan gaya gesek (*friction*). Faktor – faktor yang dapat mempengaruhi nilai stabilitas yaitu tekstur permukaan agregat, gradasi agregat, kepadatan campuran, kadar aspal dan bahan ikat yang digunakan. Nilai yang diperoleh akan menunjukkan kekuatan struktural suatu campuran aspal yang dipengaruhi oleh kandungan aspal, kualitas agregat yang digunakan dan susunan gradasi. Grafik hubungan antara aspal dan nilai stabilitas pada jenis bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 5.19 sampai Gambar 5.21.



Gambar 5. 19 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 0% *Fly Ash* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



Gambar 5. 20 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 50% *Fly Ash* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Nilai Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Variasi Substitusi 100% *Fly Ash* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70

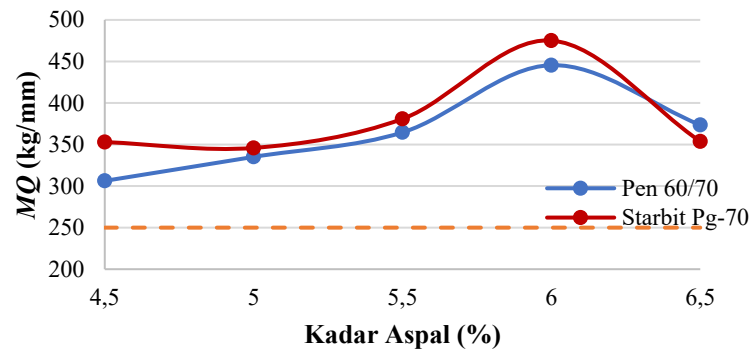
Berdasarkan Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran *Superpave* yang menggunakan berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* 0% terus meningkat seiring bertambahnya kadar aspal yang dimulai dari 4,5% dan mencapai puncaknya pada kadar 5,5%, kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya. Sedangkan pada Gambar 5.22 dan Gambar 5.23 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran *Superpave* yang menggunakan berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* 50% dan 100% terus meningkat seiring bertambahnya kadar aspal yang dimulai dari 4,5% dan mencapai puncaknya pada kadar 6%, kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya.

Berdasarkan Gambar 5.19 sampai Gambar 5.20 dapat disimpulkan bahwa campuran perkerasan yang menggunakan berbahan ikat modifikasi Starbit PG-70 dan aspal konvensional Pen 60/70 sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 dengan nilai stabilitas >800 kg. dapat disimpulkan juga bahwa penggunaan aspal modifikasi Starbit PG-70 memiliki nilai yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan aspal konvensional Pen 60/70. Tingginya nilai stabilitas pada penggunaan aspal Starbit PG-70 dikarenakan aspal tersebut dapat memberikan sifat kekerasan yang lebih disetiap jenis campurannya. Hal ini dapat dilihat pada tingginya nilai penetrasi pada aspal modifikasi Starbit PG-70 dibandingkan aspal konvensional Pen 60/70. Hal ini selaras dengan penelitian yang telah dilakukan Intari (2018), yang menjelaskan bahwa aspal Starbit memiliki kecenderungan untuk menghasilkan beton aspal dengan nilai stabilitas yang lebih tinggi dari batas minimum yang diisyaratkan. Hal ini dikarenakan beton aspal dengan modifikasi polimer dapat meningkatkan stabilitas dan kekuatan beton beraspal serta meningkatkan ketahanan lelah (*fatigue*) campuran beraspal. Faisal, dkk (2018) juga meegaskan bahwa berdasarkan hasil analisis perbandingan campuran, campuran Starbit mempunyai nilai stabilitas terbaik untuk aplikasi di Lapangan.

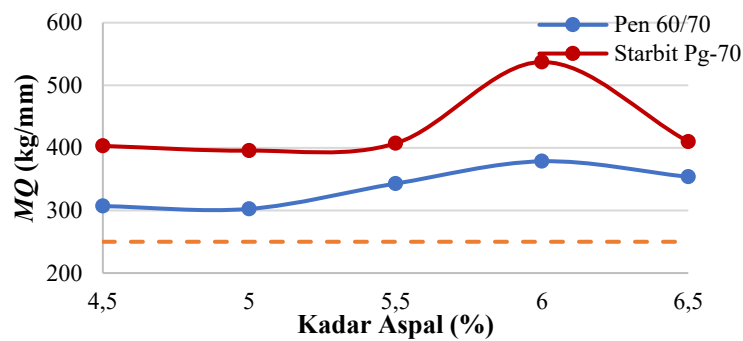
6. MQ (*Marshall Quotient*)

Marshall Quotient yaitu hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *MQ* menunjukkan kelenturan (*fleksibilitas*) suatu campuran beraspal, semakin kaku suatu campuran maka nilai *MQ* juga akan semakin besar dan sebaliknya semakin

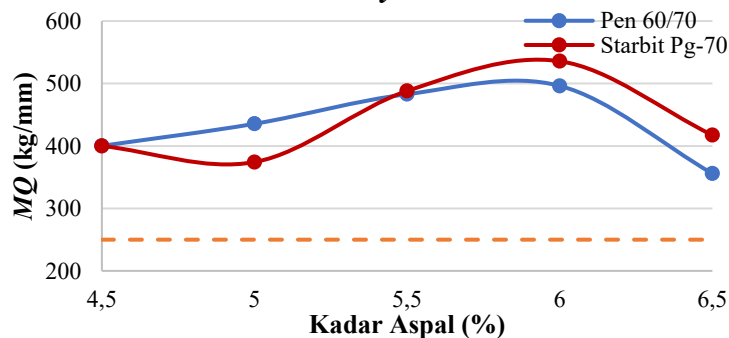
lentur campuran maka nilai MQ akan semakin kecil. Hasil perbandingan nilai MQ untuk campuran *Superpave* pada berbagai jenis bahan ikat dan substitusi *fly ash* dapat dilihat pada Gambar 5.22 sampai Gambar 5.24.



Gambar 5. 22 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai MQ pada Substitusi *Fly Ash* 0%



Gambar 5. 23 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai MQ pada Substitusi *Fly Ash* 50%



Gambar 5. 24 Hubungan antara Kadar Aspal dengan Nilai MQ pada Substitusi *Fly Ash* 100%

Pada Gambar 2.22 dapat dilihat nilai MQ pada campuran *Superpave* pada substitusi *fly ash* 0% menggunakan bahan ikat Pen 60/70 mulai mengalami peningkatan pada kadar aspal 4,5% sampai mencapai puncaknya pada kadar aspal 6% kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya. Sedangkan pada bahan ikat Starbit PG-70 nilai MQ mulai mengalami peningkatan pada kadar 5% sampai mencapai puncaknya pada kadar aspal 6% kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya.

Pada Gambar 2.23 dapat dilihat nilai MQ pada campuran *Superpave* pada substitusi *fly ash* 50% menggunakan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 mulai mengalami peningkatan pada kadar aspal 5% sampai mencapai puncaknya pada kadar aspal 6% kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya.

Pada Gambar 2.24 dapat dilihat nilai MQ pada campuran *Superpave* pada substitusi *fly ash* 100% menggunakan bahan ikat Pen 60/70 mulai mengalami peningkatan pada kadar aspal 4,5% sampai mencapai puncaknya pada kadar aspal 6% kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya. Sedangkan pada bahan ikat Starbit PG-70 nilai MQ mulai mengalami peningkatan pada kadar 5% sampai mencapai puncaknya pada kadar aspal 6% kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya.

Berdasarkan Gambar 5.22 sampai Gambar 2.24 dapat dilihat bahwa nilai MQ pada semua jenis bahan ikat dan pada semua substitusi *fly ash* telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Campuran yang menggunakan Starbit PG-70 memiliki sifat lebih kaku dibandingkan dengan campuran yang menggunakan Pen 60/70, hal ini dipengaruhi oleh titik leleh Starbit yang lebih tinggi dibandingkan Pen 60/70, hal ini juga dibuktikan dengan hasil penetrasi Starbit pada suhu 25°C yang hasilnya lebih rendah dibandingkan dengan aspal Pen 60/70.

Berdasarkan Gambar 5.22 sampai Gambar 2.24 juga dapat dilihat bahwa pengaruh perbandingan campuran perkerasan yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70 seiring dengan adanya peningkatan kadar aspal nilai MQ pada campuran tersebut akan semakin menurun. Penurunan ini terjadi karena semakin tinggi kadar aspal, maka akan menyebabkan meningkatnya nilai *flow* pada campuran yang secara langsung akan berdampak pada semakin tingginya

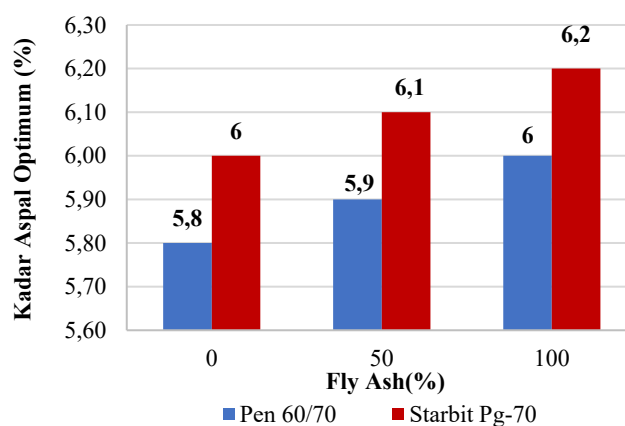
fleksibilitas suatu campuran. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai *flow* maka nilai *MQ* akan cenderung lebih besar dan bersifat kaku (Subarkah, 2008).

5.2.5 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum

Pada pengujian ini didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) sebanyak enam buah, yaitu tiga KAO untuk aspal Pen 60/70 dan tiga untuk aspal Starbit PG-70. Hasil rekapitulasi nilai KAO dapat dilihat pada Tabel 5.32 dan Gambar 5.25.

Tabel 5. 32 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum

Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum				
Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	Pen 60/70 (%)		Starbit PG-70 (%)	
	Sensitivitas	KAO	Sensitivitas	KAO
0	5,3 – 6,31	5,8	5,5 – 6,5	6
50	5,1 – 6,5	5,9	5,75 – 6,5	6,1
100	5,5 – 6,5	6	5,8 – 6,5	6,2



Gambar 5. 25 Perbandingan Kadar Aspal Optimum Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Berdasarkan Tabel 5.32 dan Gambar 5.25 dapat disimpulkan bahwa semakin besar substitusi *fly ash*, maka semakin besar pula kadar aspal yang digunakan. Hal ini disebabkan karena berat jenis *fly ash* dengan nilai 2,67 lebih besar dibandingkan berat jenis debu batu Clereng dengan nilai 2,55. Penyerapan air pada *fly ash* lebih besar dibandingkan penyerapan air debu batu Clereng yang

mengakibatkan kebutuhan kadar aspal meningkat. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan (2020) yang menyatakan bahwa semakin besar berat jenis agregat maka penyerapannya akan semakin besar yang mengakibatkan kebutuhan kadar aspal meningkat.

5.3 Pembahasan

5.3.1 Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 Pada Kondisi KAO

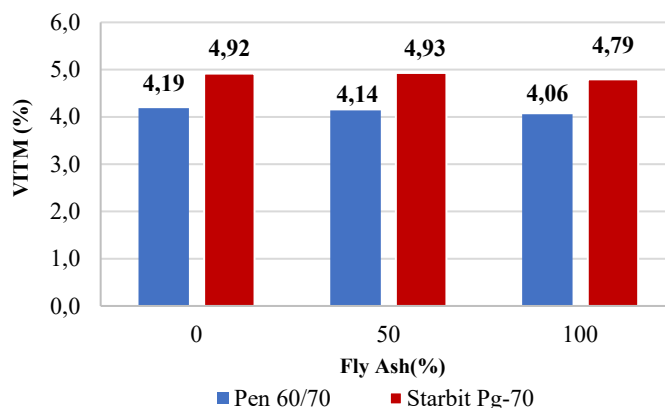
Perbandingan hasil pengujian *Marshall* Standar pada kondisi kadar aspal maksimum (KAO) dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 terhadap karakteristik *Marshall Standard* dapat dilihat pada Tabel 5.26 dan Gambar 5.28.

1. *Void In Total Mix* (VITM)

Perbandingan antara nilai VITM pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 5.33 dan Gambar 5.26.

Tabel 5.33 Perbandingan Nilai VITM dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	VITM (%)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	4,19	4,92
50	4,14	4,93
100	4,06	4,79
Spesifikasi	4 - 5	



Gambar 5. 26 Perbandingan Nilai VITM dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Berdasarkan Tabel 5.33 dan Gambar 5.26 dapat dilihat bahwa nilai VITM turun seiring bertambahnya *fly ash*, hal ini dikarenakan *fly ash* sebagai pengganti *filler* mampu mempengaruhi karakteristik volumetrik campuran, *fly ash* mampu mengisi rongga yang ada pada campuran. Besarnya kandungan rongga pada campuran menunjukkan tingkat kepadatan terhadap stabilitas, kelenturan dan keawetan campuran. Campuran dengan kandungan rongga yang lebih besar cenderung rentang terhadap gangguan air, sehingga kemampuannya mempertahankan kekuatan dan keawetan lebih rendah. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah dkk (2012) yang menyatakan bahwa *fly ash* mampu mengisi rongga pada campuran sehingga peningkatan viskositas dan kohesi aspal mampu memberikan efek yang signifikan dalam mempertahankan stabilitasnya terhadap gangguan air, sehingga kekedapan terhadap campuran dan keawetan meningkat.

Berdasarkan Tabel 5.33 dan Gambar 5.26 campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 memiliki nilai VITM yang lebih kecil dibandingkan dengan campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70. Kecilnya nilai VITM pada campuran berbahan ikat Pen 60/70 merupakan pengaruh dari besarnya nilai viskositas pada aspal sehingga kinerja aspal dalam mengisi rongga perkerasan lebih baik dibandingkan Starbit PG-70. Hal ini selaras dengan Hadi dan Fauziah (2021) yang menyimpulkan bahwa perkerasan yang

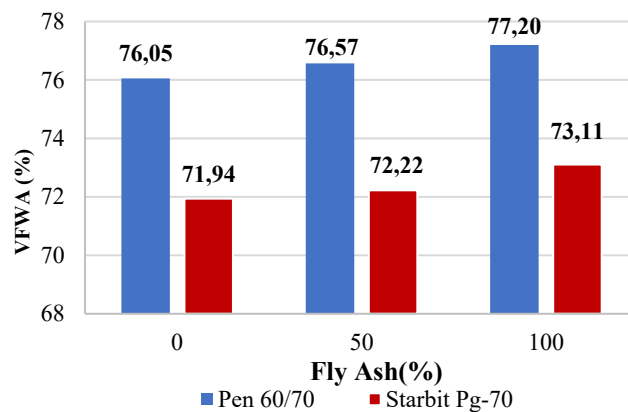
menggunakan bahan ikat Starbit memiliki nilai VITM yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70.

2. *Void Filled with Asphalt* (VFWA)

Perbandingan antara nilai *Void Filled with Asphalt* (VFWA) pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan berbagai variasi substitusi *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 5.34 dan Gambar 5.26.

Tabel 5.34 Perbandingan Nilai VFWA dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	VFWA (%)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	76,05	71,94
50	76,57	72,22
100	77,20	73,11
Spesifikasi	> 65	



Gambar 5.27 Perbandingan Nilai VFWA dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Berdasarkan Tabel 5.34 dan Gambar 5.27 dapat dilihat bahwa nilai VFWA naik seiring bertambahnya substitusi *fly ash*, hal ini disebabkan karena *fly ash* mampu menyerap aspal dan mengisi rongga antar agregat. Hal ini sejalan dengan

penelitian yang dilakukan Wahyuningsih (2007) yang menegaskan bahwa *fly ash* mampu mengisi rongga antar butir lebih besar. Tahir (2009) juga menyatakan bahwa *fly ash* mampu menyerap aspal dan mengisi rongga yang lebih banyak.

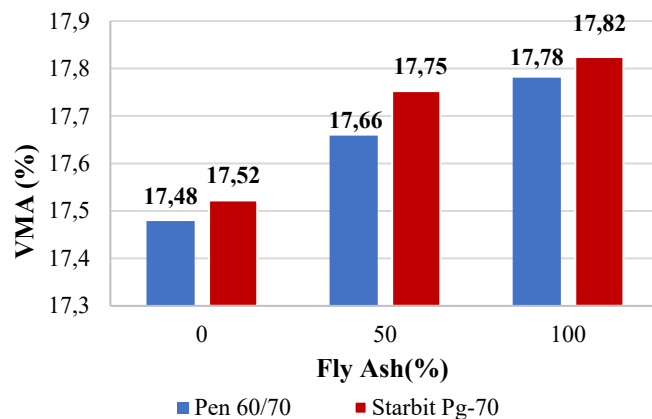
Berdasarkan Tabel 5.34 dan Gambar 5.27 juga dapat dilihat bahwa campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 memiliki nilai VFWA yang relatif lebih tinggi dibandingkan campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70. Tingginya nilai VFWA pada campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70 disebabkan karena aspal tersebut memiliki nilai *Penetration Indeks* (PI) yang lebih rendah yaitu -1,079 sedangkan nilai PI pada Starbit yaitu 0,234. Penelitian ini sejalan dengan Yusuf dan Fauziah (2018), Hadi dan Fauziah (2019) serta Hadi dan Fauziah (2021) yang menyatakan bahwa tingginya nilai VFWA pada campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 mengidentifikasikan bahwa aspal tersebut sangat peka terhadap perubahan suhu sehingga lebih mudah untuk mengisi rongga pada campuran.

3. *Void In Mineral Agregat* (VMA)

Perbandingan antara nilai VMA pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 5.35 dan Gambar 5.28.

Tabel 5.35 Perbandingan Nilai VMA dengan Bahan Ikatan Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	VMA (%)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	17,48	17,52
50	17,66	17,75
100	17,78	17,82
Spesifikasi	> 15	



Gambar 5. 28 Perbandingan Nilai VMA dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Berdasarkan Tabel 5.35 dan Gambar 5.28 nilai VMA meningkat seiring bertambahnya substitusi *fly ash*. Nilai VMA yang tinggi menjadi indikator durabilitas atau memberi pengaruh terhadap keawetan dari campuran perkerasan. Kecenderungan naiknya nilai VMA campuran diakibatkan kurangnya kepadatan campuran akibat menurunnya *workability* yang disebabkan karena penambahan *fly ash*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah dkk (2012) serta Riyanto dan Presetya (2020) yang menyatakan bahwa semakin bertambahnya kadar *fly ash* diikuti dengan kenaikan nilai *VMA*.

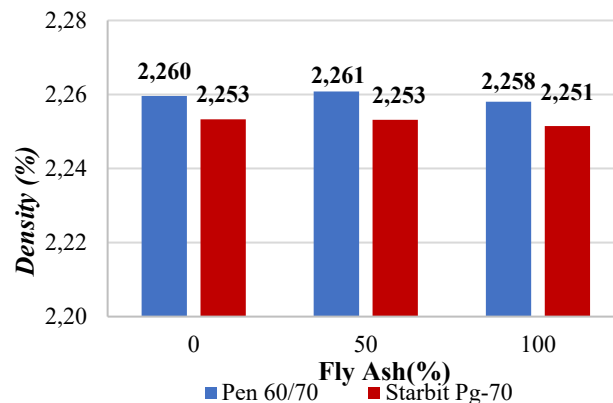
Apabila dilihat dari jenis penggunaan bahan ikat pada campuran, campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70 memiliki nilai VMA yang cenderung lebih tinggi. Hal ini merupakan efek dari sifat aspal yang dirujuk dari nilai *penetration index* yang masuk kedalam kriteria kepekaan yang rendah terhadap temperatur apabila dibandingkan dengan bahan ikat Pen 60/70. Tingginya nilai VMA pada bahan ikat Starbit dijelaskan oleh Nugroho dan Subarkah (2019) bahwa pada campuran perkerasan dengan bahan ikat Starbit memiliki nilai VMA yang tinggi disebabkan nilai penetrasi pada bahan ikat tersebut lebih rendah dan nilai titik lembek yang lebih tinggi, sehingga pada proses pencampuran aspal lebih sulit dalam mengisi rongga antar butiran agregat yang mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat semakin kecil.

4. Kepadatan (*Density*)

Perbandingan antara nilai kepadatan pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan substitusi *Fly Ash* dapat dilihat pada Tabel 5.36 dan Gambar 5.29.

Tabel 5. 36 Perbandingan Nilai Kepadatan dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	Kepadatan (%)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	2,260	2,253
50	2,261	2,253
100	2,258	2,251



Gambar 5. 29 Perbandingan Nilai Kepadatan dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Berdasarkan Tabel 5.36 dan Gambar 5.29 dapat dilihat bahwa perbedaan nilai kepadatan campuran yang tidak signifikan akibat dari *fly ash*, akan tetapi nilai *density* pada campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 memiliki perbedaan nilai yang cukup signifikan. Tingginya nilai *density* pada campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 membuktikan bahwa aspal memiliki sifat yang lebih mudah cair sehingga penggunaan aspal ini akan memberikan dampak berupa bentuk perkerasan yg lebih padat, hal ini juga selaras

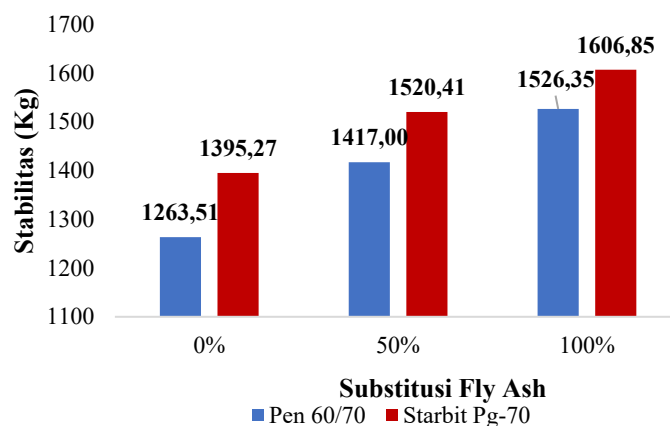
dengan tingginya nilai VFWA dan rendahnya nilai VITM pada campuran berbahan ikat Pen 60/70. Menurut Nugroho dan Subarkah (2018), sifat aspal Pen 60/70 yang mudah mencair disebabkan karena nilai viskositas yang dimiliki aspal tersebut relatif lebih tinggi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yulienda dan Fauziah (2017) yang menyatakan bahwa nilai kepadatan (*density*) pada campuran berbahan iket Pen 60/70 secara signifikan lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Starbit E-55 dikarenakan sifat aspal Pen 60/70 lebih mudah cair.

5. Stabilitas

Perbandingan antara nilai stabilitas pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 5.37 dan Gambar 5.30.

Tabel 5.37 Perbandingan Nilai Stabilitas dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	Stabilitas (Kg)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	1263,507	1395,270
50	1417,002	1520,412
100	1526,347	1606,850



Gambar 5.30 Perbandingan Nilai Stabilitas dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Berdasarkan Tabel 5.37 dan Gambar 5.30 dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70 secara signifikan lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang berbahan ikat Pen 60/70. Penggunaan aspal Starbit PG-70 juga terbukti lebih baik dalam hal stabilitas dikarenakan penggunaan aspal modifikasi polimer lebih tahan terhadap deformasi terutama pada suhu yang tinggi, pendapat ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Asmaeel dan Waheed (2018) yang menyatakan bahwa penggunaan aspal polimer akan meningkatkan nilai stabilitas. Nilai stabilitas yang didapatkan pada penelitian ini sudah sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2018 yaitu >800kg.

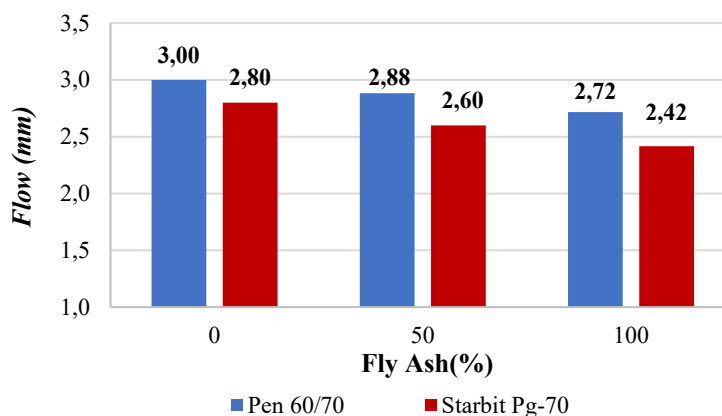
Selain itu dapat juga dilihat nilai stabilitas cenderung naik seiring dengan bertambahnya substitusi *fly ash*. Hal ini disebabkan oleh substitusi kadar *filler fly ash* dapat meningkatkan kekentalan dan kohesi aspal, sehingga semakin besar substitusi *fly ash* kekentalan dan kohesi aspal semakin meningkat. Sebagaimana disimpulkan oleh Brien (1978) maupun Brown (1990), peningkatan kekentalan (penurunan nilai penetrasi) akan menyebabkan peningkatan ketahanan campuran terhadap deformasi. Menurut Fauziah, dkk (2012) Secara kimia, *fly ash* memiliki sifat *pozzolan* yang mengandung silika, besi oksida, aluminium oksida, kalsium oksida, magnesium oksida dan sulfat, yang apabila ditambahkan aspal (C₄H₁₀) akan membentuk reaksi senyawa yang membuat campuran menjadi kaku dan keras. Hal ini juga sesuai dengan Hainin et al (2012) yang menyimpulkan bahwa penggunaan *fly ash* mampu meningkatkan nilai stabilitas campuran.

6. *Flow*

Perbandingan antara nilai *flow* pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan substitusi *Fly Ash* dapat dilihat pada Tabel 5.38 dan Gambar 5.31.

Tabel 5. 38 Perbandingan Nilai *Flow* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	<i>Flow</i> (mm)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	3,00	2,80
50	2,88	2,60
100	2,72	2,42
Spesifikasi	2 – 4	



Gambar 5. 31 Perbandingan Nilai *Flow* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Berdasarkan Tabel 5.38 dan Gambar 5.31 dapat dilihat bahwa nilai *flow* cenderung menurun seiring bertambahnya substitusi *fly ash*. Substitusi *fly ash* mengakibatkan viskositas aspal meningkat. Menurut Fauziah, dkk (2012) kandungan utama dari *fly ash* yang terdiri dari silicon, besi oksida, dan aluminium oksida pada *fly ash* yang ditambahkan pada aspal akan bereaksi dan membentuk senyawa yang membuat campuran menjadi keras dan kaku yang dibuktikan dengan semakin turunnya nilai *flow* pada campuran.

Selain itu dapat juga dilihat bahwa campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70. Perbedaan nilai *flow* pada kedua jenis bahan ikat disebabkan karena adanya perbedaan nilai titik leleh, yaitu pada aspal Pen 60/70 sebesar 48 °C dan Starbit PG-70 sebesar 55 °C. Berdasarkan nilai titik

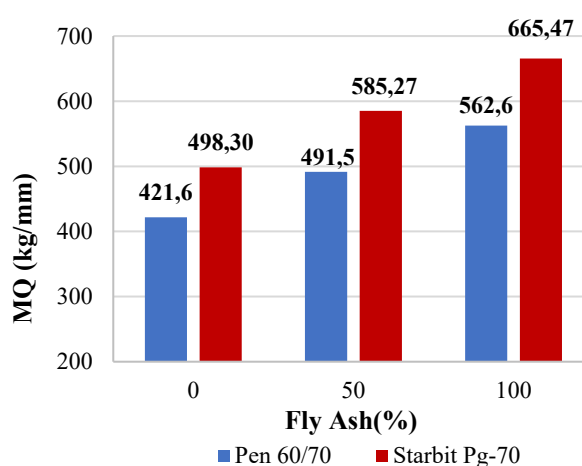
lembek didapatkan bahwa aspal Pen 60/70 memiliki kepekaan terhadap temperatur yang lebih tinggi dibandingkan aspal Starbit PG-70. Hal ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Nugroho dan Subarkah (2018) serta Hadi dan Fauziah (2021) yang menjelaskan bahwa aspal Pen 60/70 lebih peka terhadap suhu jika dibandingkan dengan aspal Starbit E-55. Selain itu nilai viskositas aspal Pen 60/70 lebih tinggi dibandingkan aspal Starbit, dengan arti lain, aspal Pen 60/70 lebih mudah mengalir pada rongga campuran.

7. *Marshall Quotient (MQ)*

Perbandingan antara nilai *Marshall Quotient* (MQ) pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan substitusi *fly ash* dapat dilihat pada Tabel 5.30 dan Gambar 5.32.

Tabel 5. 39 Perbandingan Nilai *Marshall Quotient* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	<i>MQ</i> (kg/mm)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	421,6	498,30
50	491,5	585,27
100	562,6	665,47
Spesifikasi	250	



Gambar 5. 32 Perbandingan Nilai *Marshall Quotient* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Berdasarkan Tabel 5.39 dan Gambar 5.32 dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan dengan bertambahnya substitusi *fly ash*. sejalan dengan nilai stabilitas dan *flow* yang telah disajikan diatas, hasil ini menunjukkan bahwa secara umum nilai kekuaran campuran meningkat dengan substitus *fly ash*. peningkatan nilai MQ disebabkan oleh penambahan *fly ash* kedalam campuran yang menyebabkan peningkatan viskositas stabilitas dan kekakuan campuran, yang ditunjukkan pada peningkatan nilai *Marshall Quotient* sejalan dengan peningkatan kadar substitusi *fly ash*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah, dkk (2012) yang menyatakan bahwa peningkatan nilai *Marshall Quotient* sejalan dengan meningkatnya kadar *fly ash*.

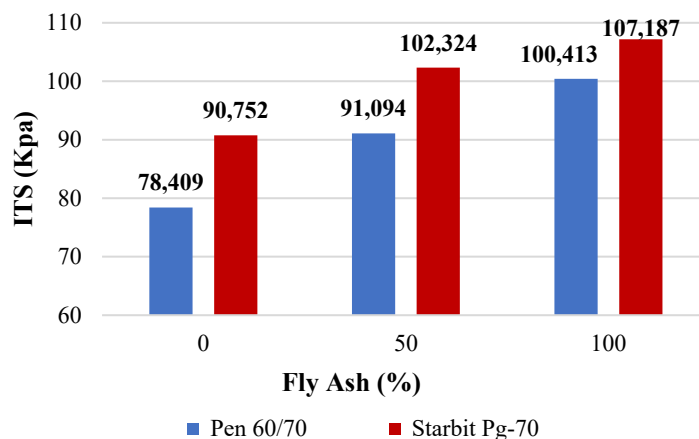
Selain itu perbedaan jenis bahan ikat juga mempengaruhi nilai *Marshall Quotient*. Pada perbandingan jenis bahan ikat dapat dilihat bahwa campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70 memiliki nilai MQ yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan bahan ikat Pen 60/70. Perbedaan nilai MQ terhadap kedua jenis bahan ikat disebabkan oleh beberapa faktor, salah satunya nilai *Smix*. Nilai *Smix* pada campuran dapat dilihat pada Tabel 5.41. Hal ini sejalan dengan Nugraha dan Subarkah (2019) dalam penggunaan bahan ikat Starbit E-60, juga telah menjelaskan bahwa aspal Starbit E-60 bersifat lebih getas dan kaku dibandingkan aspal Pen 60/70.

5.3.2 Perbandingan Nilai *Indirect Tensile Strength* pada KAO Dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Perbandingan hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* pada KAO aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit PG-70 dapat dilihat pada Tabel 5.40 dan Gambar 5.33.

Tabel 5. 40 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* Pada KAO dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	ITS (Kpa)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	78,409	90,752
50	91,094	102,324
100	100,413	107,187



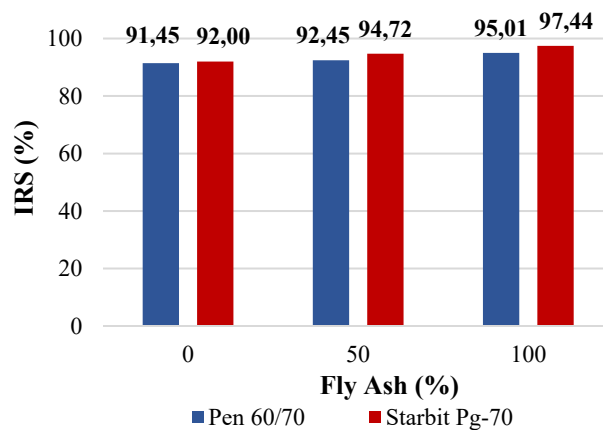
Gambar 5. 33 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* Pada KAO dengan Substitusi *Fly Ash*

Tabel 5.39 dan Gambar 5.33 menunjukkan bahwa campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70 memiliki nilai ITS yang lebih besar dibandingkan dengan campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70. Tingginya nilai ITS pada campuran yang menggunakan aspal Starbit PG-70 dapat memberikan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan kuat tarik yang disebabkan oleh beban kendaraan yang berefek kepada ketahanan yang lebih terhadap kerusakan berupa *rutting* ataupun deformasi permanen. Hal ini dikarenakan sifat aspal Starbit yang lebih lentur dalam menahan deformasi dan geser pada suhu yang relatif tinggi dan akan bersifat kaku pada suhu rendah. Hal ini selaras dengan penelitian Hadi dan Fauziah (2021) yang menyimpulkan bahwa campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit akan memiliki sifat yang lebih tahan terhadap perendaman dibandingkan dengan campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70. Selain itu, penambahan *fly ash* juga dapat meningkatkan nilai ITS, nilai ITS semakin meningkat sejalan dengan substitusi *fly ash*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah dkk (2012) yang menyatakan bahwa *fly ash* membuat campuran lebih mampu mempertahankan kekuatannya. *fly ash* mengakibatkan peningkatan viskositas dan kohesi aspal, sehingga kekedapan terhadap campuran dan keawetan meningkat. *fly ash* juga mampu mengisi rongga pada campuran sehingga peningkatan viskositas dan kohesi aspal mampu memberikan efek yang signifikan dalam mempertahankan stabilitasnya terhadap gangguan air.

5.3.3 Perbandingan Nilai *Index Retained Strenght* pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*
Perbandingan hasil pengujian *Index Retained Strenght* pada KAO dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dapat dilihat pada Tabel 5.41 dan Gambar 5.34.

Tabel 5. 41 Hasil Pengujian *Index Retained Strenght* Pada KAO dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	Pen 60/70			Starbit PG-70		
	Stabilitas (kg)		Nilai IRS (%)	Stabilitas (kg)		Nilai IRS (%)
	0,5 Jam	24 Jam		0,5 Jam	24 Jam	
0	1263,507	1155,437	91,447	1395,270	1283,717	92,005
50	1417,002	1309,966	92,446	1520,412	1440,068	94,716
100	1526,347	1450,211	95,012	1606,850	1565,691	97,439



Gambar 5. 34 Hasil Pengujian *Index Retained Strenght* Pada KAO dengan Substitusi *Fly Ash*

Berdasarkan Tabel 5.41 dan Gambar 5.34 dapat dilihat bahwa nilai IRS pada campuran dengan bahan ikat Starbit PG-70 lebih tinggi dibandingkan dengan

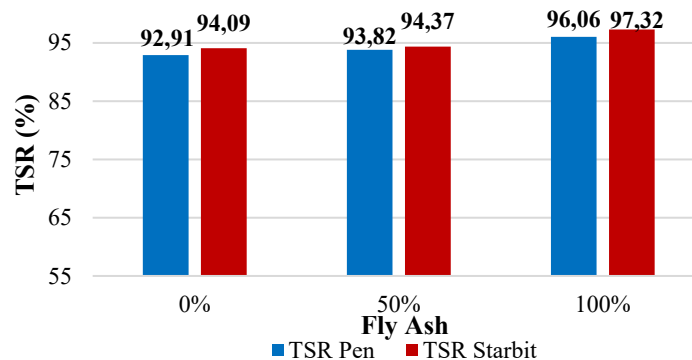
campuran berbahan ikat Pen 60/70 namun tidak signifikan, hal ini membuktikan bahwa campuran yang menggunakan aspal Starbit PG-70 mampu menahan suhu ekstrim dibandingkan campuran berbahan ikat Pen 60/70, tingginya nilai IRS mengidentifikasi bahwa bahan ikat Starbit PG-70 mampu memberikan pengaruh besar berupa keawetan perkerasan dalam mempertahankan kemampuan kuat tariknya yang disimulasikan dengan rendaman. Tingginya nilai IRS menunjukkan bahwa penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 akan merekatkan agregat sehingga campuran menjadi lebih kuat terhadap gaya tarik pada lamanya proses perendaman yang telah ditetapkan. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* juga mampu menaikkan nilai IRS. Hasil ini memberikan indikasi bahwa penambahan *fly ash* mampu membuat campuran lebih mempertahankan kekuatannya. Menurut Fauziah dkk (2012) *fly ash* mengakibatkan peningkatan viskositas dan kohesi aspal, sehingga kedekatan terhadap campuran dan keawetan campuran meningkat.

5.3.4 Perbandingan Nilai *Tensile Strength Ratio* pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70

Perbandingan hasil pengujian *Tensile Strength Ratio* pada KAO aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit PG-70 dapat dilihat pada Tabel 5.42 dan Gambar 5.35.

Tabel 5. 42 Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio* Pada KAO dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	Pen 60/70			Starbit PG-70		
	ITS (Kpa)		Nilai TSR (%)	ITS (Kpa)		Nilai TSR (%)
	0,5 Jam	24 Jam		0,5 Jam	24 Jam	
0	78,409	72,850	92,910	90,752	85,386	97,317
50	91,054	85,428	93,812	102,324	96,564	94,371
100	100,413	96,455	96,958	107,187	104,311	94,087



Gambar 5. 35 Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio* Pada KAO dengan Substitusi *Fly Ash*

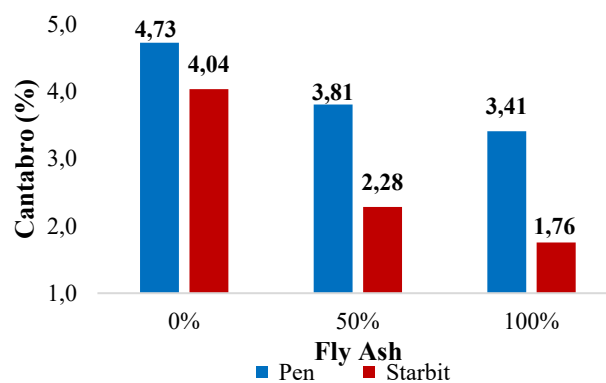
Berdasarkan Tabel 5.42 dan Gambar 5.35 dapat dilihat bahwa nilai TSR cenderung naik seiring dengan naiknya persentase substitusi *fly ash*, selain itu nilai TSR pada campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70 lebih besar dibandingkan campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70. Hal ini dikarenakan aspal Starbit PG-70 merupakan aspal modifikasi sehingga lebih tahan terhadap suhu yang tinggi atau suhu yang ekstrem. Nilai TSR mengidentifikasi bahwa campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70 mampu memberikan pengaruh berupa keawetan perkerasan dalam mempertahankan kemampuan kuat tariknya yang disimulasikan dalam rendaman. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hadi dan Fauziah (2021) yang menyatakan bahwa besarnya nilai TSR menunjukkan bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 mampu merekatkan agregat sehingga campuran menjadi lebih kuat terhadap gaya tarik pada lamanya proses perendaman. Selain itu, penambahan *fly ash* juga dapat meningkatkan nilai TSR, nilai TSR semakin meningkat sejalan dengan substitusi *fly ash*. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah dkk (2012) yang menyatakan bahwa *fly ash* mampu mengisi rongga pada campuran sehingga peningkatan viskositas dan kohesi aspal mampu memberikan efek yang signifikan dalam mempertahankan stabilitasnya terhadap gangguan air, sehingga kekedapan terhadap campuran dan keawetan meningkat.

5.3.5 Perbandingan Nilai *Cantabro Loss* pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70

Perbandingan hasil pengujian *Cantabro Loss* pada KAO aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit PG-70 dapat dilihat pada Tabel 5.43 dan Gambar 5.36.

Tabel 5. 43 Perbandingan Nilai *Cantabro Loss* pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Variasi Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)	Kehilangan Berat (%)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	4,73	4,04
50	3,81	2,28
100	3,41	1,76



Gambar 5. 36 Perbandingan Nilai *Cantabro Loss* pada KAO dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

Pada Tabel 5.43 dan Gambar 5.36 dapat diketahui bahwa nilai keausan pada campuran yang berbahan ikat Starbit PG-70 memiliki nilai *Cantabro* lebih rendah dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70, hal ini dikarenakan Starbit PG-70 lebih kaku dan memiliki kekuatan ikatan kohesi yang lebih besar sehingga ikatan antara agregat dan aspal menjadi lebih kuat. Pernyataan ini sejalan dengan penelitian Hadi dan Fauziah (2021) yang menyatakan bahwa aspal Starbit lebih mampu memberikan kontribusi kepada campuran berupa ikatan antara agregat dan aspal yang lebih kuat sehingga tidak mudah lepas saat terjadi

simulasi benturan. Hal ini disebabkan oleh kandungan aspal Starbit elastomer yang memiliki kekuatan dan keelastisan yang tinggi sehingga mampu mengurangi dampak terhadap benturan. Substitusi *fly ash* juga sangat mempengaruhi nilai *Cantabro Loss* dikarenakan substitusi *fly ash* mampu menciptakan *interlocking* antara material yang lebih baik sehingga mampu mempertahankan kondisi awal terhadap efek benturan yang diterima. Kemampuan *interlocking* ini merupakan dampak dari substitusi *fly ash* yang mampu mengisi rongga pada campuran.

5.3.6 Perbandingan Nilai *Stiffness Modulus* Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70

Stiffness Modulus terbagi atas dua bagian, yaitu *Sbit* dan *Smix*. Perbandingan nilai *Stiffness Modulus* pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dapat dilihat pada Tabel 5.44 dan Tabel 5.45.

Tabel 5.44 Rekapitulasi Perbandingan Nilai *Sbit*

Jenis Aspal	T	Pi	t	<i>Sbit</i> (Mpa)
Pen 60/70	25	65,5	0,018	17,832
Starbit PG-70	25	55,5	0,018	23,272

Tabel 5.45 Rekapitulasi Perbandingan Nilai *Smix*

Jenis Aspal	<i>Fly Ash</i>	<i>Sbit</i>	n	VMA (%)	<i>Smix</i> (Mpa)
Aspal Pen 60/70	0	17,832	7,761	17,479	3674,177
	50			17,659	3504,505
	100			17,781	3395,431
Aspal Starbit PG-70	0	23,272	7,665	17,522	4938,035
	50			17,752	4648,437
	100			17,824	4562,998

Berdasarkan Tabel 5.44 dapat dilihat bahwa nilai *Sbit* pada kedua jenis bahan ikat berbeda. Nilai *Sbit* pada jenis bahan ikat Pen 60/70 lebih rendah dibandingkan dengan Starbit PG-70. Rendahnya nilai *Sbit* pada bahan ikat Pen 60/70 dipengaruhi oleh tingginya nilai penetrasi dibandingkan Starbit PG-70.

Menurut Hadi dan Fauziah (2020), nilai kekakuan yang tinggi pada nilai *Sbit* dan *Smix* campuran berbahan ikat Starbit E-55 membuktikan bahwa perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 mampu menghasilkan struktur perkerasan yang memiliki keunggulan berupa ketahanan terhadap perubahan distribusi beban yang berasal dari kecepatan kendaraan dibandingkan dengan perkerasan yang berbahan ikat Pen 60/70.

Nilai *Smix* bertambah sejalan dengan bertambahnya substitusi *fly ash*. nilai *Smix* dipengaruhi oleh faktor besarnya nilai penetrasi dan nilai VMA. Nilai VMA yang tinggi menjadi indikator durabilitas atau memberi pengaruh terhadap keawetan dari campuran perkerasan. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah dkk (2012) serta Riyanto dan Presetya (2020) yang menyatakan bahwa semakin bertambahnya kadar *fly ash* diikuti dengan kenaikan nilai *VMA*.

5.3.7 Karakteristik *Wheel Tracking Machine (WTM)* Campuran *Superpave* dengan Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

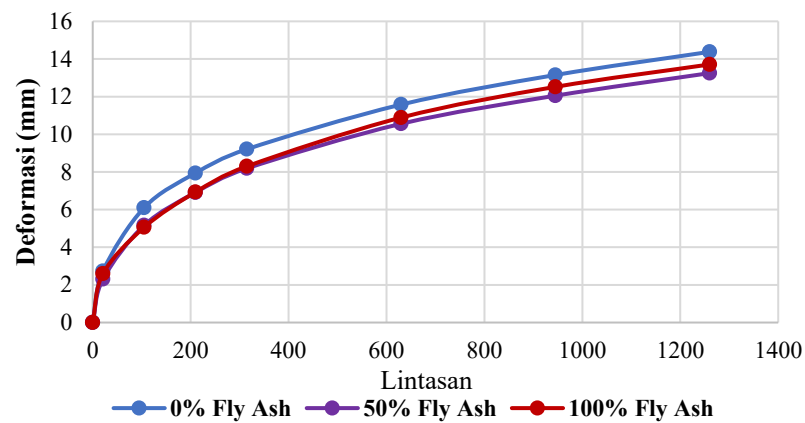
Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai deformasi permanen yang dipandang dapat mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan. Hasil pengujian *Wheel Tracking* dapat dilihat pada Tabel 5.46 dan Gambar 5.37 sampai Gambar 5.40.

Tabel 5. 46 Hasil Pengujian *Wheel Tracking* dengan Lintasan dan Deformasi pada Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dan Substitusi *Fly Ash*

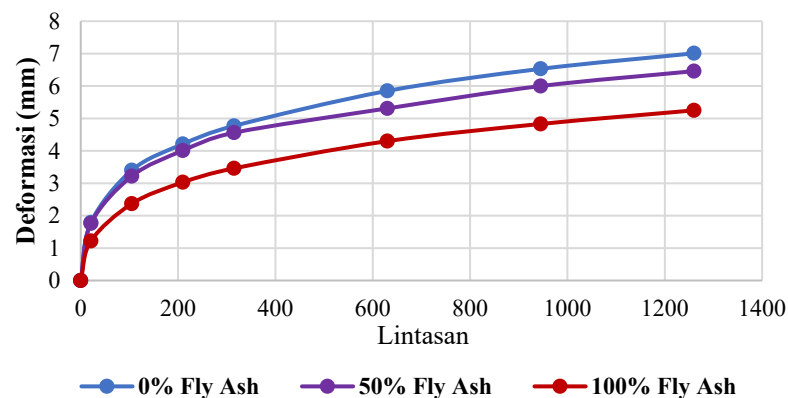
Pass (Lintasan)	Deformasi (mm)					
	Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)					
	Pen 60/70			Starbit PG-70		
	0	50	100	0	50	100
0	0	0	0	0	0	0
21	2,52	2,35	2,23	1,525	1,825	1,215
105	5,63	5,305	4,565	3,005	3,435	2,3
210	7,425	7,18	6,29	3,775	4,32	2,925
315	8,7	8,53	7,55	4,315	4,91	3,34

Lanjutan Tabel 5.46 Hasil Pengujian *Wheel Tracking* dengan Lintasan dan Deformasi pada Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dan Substitusi *Fly Ash*

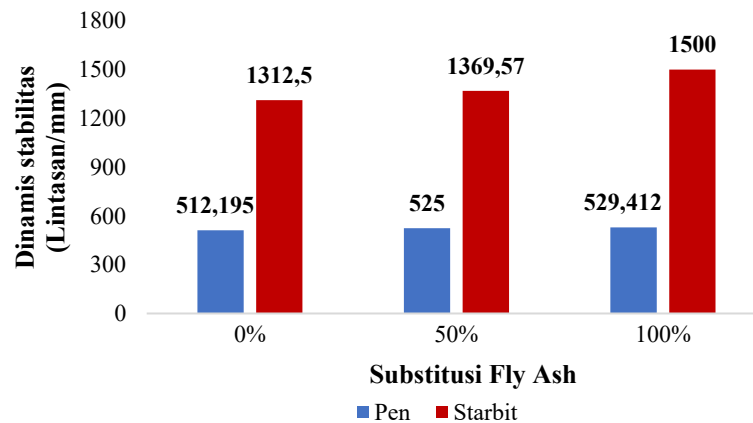
Pass (Lintasan)	Deformasi (mm)					
	Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)					
	Pen 60/70			Starbit PG-70		
	0	50	100	0	50	100
630	11,07	11,17	10,045	5,305	5,87	4,135
945	12,6	12,875	11,755	5,935	6,585	4,642
1260	13,815	14,2	13,06	6,37	7,085	5,03



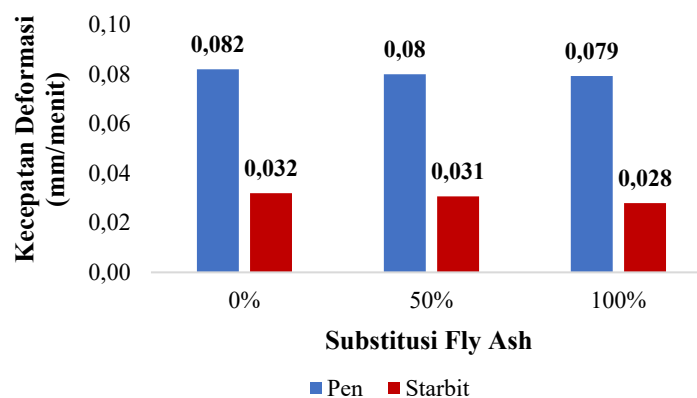
Gambar 5.37 Grafik Hubungan Lintasan dengan Deformasi pada Campuran *Superpave* dengan Berbahen ikat Pen 60/70 dengan Substitusi *Fly Ash*



Gambar 5.38 Grafik Hubungan Lintasan dengan Deformasi pada Campuran *Superpave* dengan Berbahen ikat Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*



Gambar 5. 39 Grafik Hubungan Dinamis Stabilitas dengan Substitusi *Fly Ash* Pada Campuran *Superpave* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70



Gambar 5. 40 Grafik Hubungan Kecepatan Deformasi dengan Substitusi *Fly Ash* Pada Campuran *Superpave* dengan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Aspal Starbit PG-70

Berdasarkan Gambar 5.39 sampai Gambar 5.40 dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian *Wheel Tracking Machine* dengan suhu 60°C dengan substitusi *fly ash* sebagai bahan pengganti *filler* mengalami peningkatan nilai dinamis stabilitas seiring bertambahnya kadar substitusi *fly ash*. Stabilitas dinamis merupakan parameter yang menunjukkan berapa lintasan yang diperlukan untuk menghasilkan kedalaman alur dalam satuan mm. Adanya substitusi *fly ash* mampu meningkatkan nilai stabilitas dinamis dan mengurangi nilai kecepatan deformasi, hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* mampu meningkatkan nilai stabilitas dinamis dan mengurangi efek deformasi dibandingkan dengan abu batu hal ini dikarenakan *fly*

ash mampu mengisi rongga yang ada pada campuran sehingga menyebabkan *interlock* yang lebih baik sehingga dapat mengurangi efek deformasi. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mutohar (2002) yang menyatakan bahwa campuran yang menggunakan *fly ash* memiliki nilai kecepatan deformasi yang lebih kecil dan nilai stabilitas dinamis lebih baik jika dibandingkan dengan *filler* abu batu. Nilai deformasi yang rendah menunjukkan bahwa campuran cenderung bersifat *rigid* / kaku dan sebaliknya nilai kecepatan deformasi yang tinggi menunjukkan bahwa campuran bersifat plastis / lentur dan mudah berubah bentuk jika menerima beban lalu lintas.

Berdasarkan Gambar 5.39 dan Gambar 5.40 dapat dijelaskan bahwa hasil pengujian *Wheel Tracking Machine* dengan suhu 60°C dengan campuran yang bahan ikat Starbit PG-70 mampu memperlambat laju deformasi dan memberikan deformasi yang lebih kecil dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70. Hal ini sejalan dengan Sinuhaji, dkk (2018) yang menyatakan bahwa penggunaan aspal modifikasi Starbit mampu memberikan ketahanan terhadap deformasi permanen yang lebih baik dibandingkan aspal Pen 60/70.

5.3.8 Perbandingan Nilai Umur Pelayanan Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dengan Substitusi *Fly Ash*

1. Data Tebal Perkerasan Eksisting

Perencanaan Perkerasan jalan Tepus – Jerukwudel II Kulon Progo DIY merupakan jalan yang akan beroperasi pada tahun 2024. Berdasarkan hasil perhitungan tebal perkerasan didapatkan tebal perkerasan jalan Tepus – Jerukwudel II Kulon Progo DIY adalah sebagai berikut.

Pertumbuhan Lalu Lintas (i) = 5,04 %

AC-WC = 4 cm

AC-BC = 6 cm

AC Base = 18 cm

LFA Kelas A = 30 cm

Data rekapitulasi prediksi kendaraan selama umur rencana (20 tahun) dapat dilihat pada Tabel 5.47.

Tabel 5.47 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana

Jenis kendaraan	LHR 2022 kend/hari (2 arah)	LHR 2024 kend/hari (2 arah)	ESA 4	ESA 5
Sedan/jeep	1431	1579	0	0
Pick Up, Combi	1289	1423	0	0
Bus kecil	144	159	174941,141	116627,4273
Bus besar	123	136	498783,966	498783,966
Truk 2 as L	1636	1806	3642956,716	3311778,833
Truk 2 as H	935	1032	15139560,38	19302939,48
Truk 3 as	98	109	1878875,189	2558468,343
			21335117,39	25788598,05

Berdasarkan Tabel 5.47 di atas, maka dapat diketahui nilai :

CESA4 = 21.335.117,39 ESAL

CESA5 = 25.788.598,05 ESAL.

Hasil perhitungan rekapitulasi umur rencana perkerasan dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dapat dilihat pada Tabel 5.48 dan Tabel 5.49.

Tabel 5.48 Rekapitulasi Perhitungan Umur Rencana pada Bahan Ikat Pen 60/70

SSV	Nf	Nr	Nd
CESA	12.931.491.842	9.122.024.690	510.715.980
R	26	19	2
Service Life (Tahun)	66,5	59,7	14,1

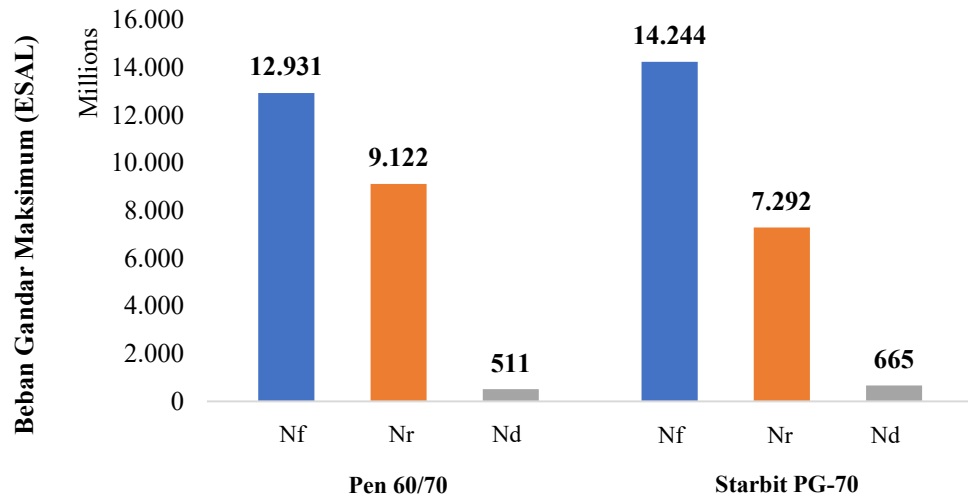
Tabel 5.49 Rekapitulasi Perhitungan Umur Rencana pada Bahan Ikat Starbit PG-70

SSV	Nf	Nr	Nd
CESA	14.243.863.326	7.292.125.972	664.941.692
R	29	15	2
Service Life (Tahun)	68,4	55,4	16,9

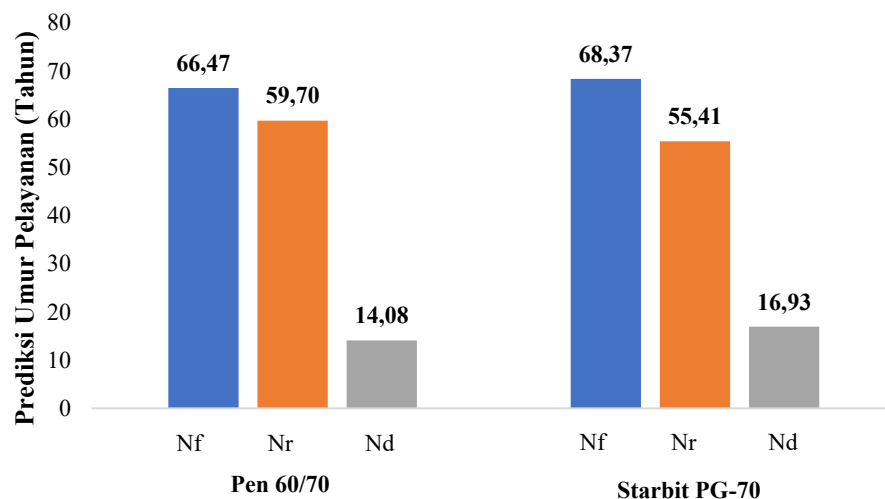
Jenis Kerusakan, beban ganda maksimum dan prediksi umur pelayanan dapat dilihat pada Tabel 5.50 Dan Gambar 5.41 sampai Gambar 5.42.

Tabel 5.50 Hasil Analisis Perkerasan Lentur pada Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70

Jenis Bahan Ikat	Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Prediksi Umur Pelayanan (Tahun)
Pen 60/70	<i>Fatigue Cracking</i>	12.931.491.841,53	66,5
	<i>Rutting</i>	9.122.024.689,68	59,7
	<i>Permanent Deformation</i>	510.715.979,67	14,1
Starbit PG-70	<i>Fatigue Cracking</i>	14.243.863.325,54	68,4
	<i>Rutting</i>	7.292.125.971,59	55,4
	<i>Permanent Deformation</i>	664.941.691,56	16,9



Gambar 5. 41 Grafik Perbandingan Nilai Beban Gandar Maks. Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70



Gambar 5. 42 Grafik Perbandingan Prediksi Umur Pelayanan Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70

Berdasarkan Gambar 5.41 dapat diketahui bahwa perkerasan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 mampu mengakomodasi beban repitis sebesar 12.931.491.842 ESAL sampai terjadinya kerusakan *fatihue cracking* (Nf), 9.122.024.690 ESAL sampai terjadinya kerusakan *rutting* (Nr), dan 510.715.980 ESAL sampai terjadinya kerusakan *permanent deformation* (Nd). Adapun yang berbahan ikat Starbit PG-70 memiliki kemampuan untuk mengakomodasi beban

repetis sebesar 14.243.863.326 ESAL sampai terjadinya kerusakan *fatigue cracking* (Nf), 7.292.125.972 ESAL sampai terjadinya kerusakan *rutting* (Nr), dan 664.941.692 ESAL sampai terjadinya kerusakan *permanent deformation* (Nd).

Berdasarkan hasil perbandingan nilai beban gandar maksimum diatas, dapat dilihat bahwa campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 mengalami kerusakan awal berupa *permanent deformation*. Hasil ini selaras dengan prediksi kerusakan perkerasan yang dilakukan oleh Suwanda dan Kushari (2019) pada penelitiannya pada ruas Jalan Tempel – Pakem menyebutkan bahwa urutan prediksi kerusakan yang akan terjadi pertama adalah *permanent deformation*.

Pada Gambar 5.42 memperlihatkan bahwa prediksi nilai sisa pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 akan mengalami kerusakan *permanent deformation* pada umur 14,08 tahun, sedangkan campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70 akan mengalami kerusakan *permanent deformation* pada umur 16,93 tahun, sehingga perbedaan nilai prediksi umur sisa pada kedua jenis aspal berselisih 2,85 tahun atau 1026 hari kalender. Dominasi kemampuan bahan ikat Starbit selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Hadi dan Fauzian (2020). Peneliti tersebut menganalisis prediksi umur perkerasan terhadap penerapan campuran berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 pada ruas Jalan Kretek – Parangtritis. Hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit relative memiliki kemampuan dalam mempertahankan kinerja perkerasan terhadap resiko kerusakan awal yang telah diprediksi berupa kerusakan *permanent deformation* yang lebih baik dibandingkan dengan perkerasan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70.

5.4 Rekapitulasi Perbandingan Hasil Pengujian Karakteristik Keseluruhan Campuran

Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik pada campuran *Superpave* dengan menggunakan jenis aspal Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dapat dilihat pada Tabel 5.51.

Tabel 5. 51 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik pada Keseluruhan Parameter

Parameter	Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)						Keterangan
	Pen 60/70			Starbit PG-70			
	0	50	100	0	50	100	
KAO	5,8	5,9	6,0	6,0	6,1	6,2	Semakin besar substitusi <i>fly ash</i> kebutuhan aspal semakin meningkat, kebutuhan aspal pada Starbit PG-70 lebih tinggi dibandingkan Pen 60/70.
Flow	3,00	2,88	2,72	2,80	2,60	2,41	Semakin besar substitus <i>fly ash</i> maka nilai <i>flow</i> relative lebih rendah. Campuran yang menggunakan Starbit PG-70 memiliki nilai <i>flow</i> yang lebih rendah dibandingkan Pen 60/70.
VITM	4,19	4,14	4,06	4,92	4,93	4,79	Semakin besar substitus <i>fly ash</i> maka nilai <i>VITM</i> relative lebih rendah. Campuran yang menggunakan Pen 60/70 lebih baik dibandingkan Starbit PG-70.
VFWA	76,05	76,57	77,20	71,94	72,22	73,11	Semakin besar substitus <i>fly ash</i> maka nilai <i>VFWA</i> relative lebih rendah. Campuran yang menggunakan Pen 60/70 lebih baik dibandingkan Starbit PG-70.
VMA	17,48	17,66	17,78	17,52	17,75	17,82	Semakin besar substitus <i>fly ash</i> maka nilai VMA relative meningkat. Campuran yang menggunakan Starbit PG-70 lebih baik dibandingkan Pen 60/70.
MQ	421,60	491,49	562,58	498,30	585,27	665,47	Semakin besar substitus <i>fly ash</i> maka nilai <i>MQ</i> meningkat. Campuran yang menggunakan Starbit PG-70 lebih baik dibandingkan Pen 60/70.

Lanjutan Tabel 5.50 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik pada Keseluruhan Parameter

Parameter	Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)						Keterangan
	Pen 60/70			Starbit PG-70			
	0	50	100	0	50	100	
Density	2,260	2,261	2,258	2,253	2,253	2,251	<i>Fly ash</i> tidak memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai density begitupun penggunaan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 tidak memiliki perbedaan nilai yang signifikan.
Stabilitas	1263,507	1417,002	1526,347	1395,270	1520,412	1606,850	<i>Fly ash</i> mampu memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai stabilitas begitupun penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dibandingkan Pen 60/70.
Kecepatan Deformasi	0,082	0,080	0,079	0,032	0,031	0,028	<i>Fly ash</i> tidak mampu memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai kecepatan deformasi. Penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dibandingkan Pen 60/70.
ITS	78,409	91,094	100,413	90,752	102,324	107,187	<i>Fly ash</i> mampu memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai ITS begitupun penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dibandingkan Pen 60/70.
IDP	0,364	0,321	0,212	0,340	0,225	0,109	<i>Fly ash</i> mampu memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai IDP begitupun penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dibandingkan Pen 60/70.

Lanjutan Tabel 5.50 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik pada Keseluruhan Parameter

Parameter	Substitusi <i>Fly Ash</i> (%)						Keterangan
	Pen 60/70			Starbit PG-70			
	0	50	100	0	50	100	
IDK	4,188	3,698	2,442	3,914	2,587	1,254	<i>Fly ash</i> mampu memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai IDK begitupun penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dibandingkan Pen 60/70.
IRS	91,447	92,446	95,012	92,005	94,716	97,439	<i>Fly ash</i> mampu memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai IRS begitupun penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dibandingkan Pen 60/70.
TSR	92,910	93,812	96,958	97,317	94,317	94,087	<i>Fly ash</i> mampu memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai TSR begitupun penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dibandingkan Pen 60/70.
<i>Cantabro</i>	4,73	3,81	3,41	4,04	2,28	1,76	<i>Fly ash</i> mampu memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai <i>cantabro</i> begitupun penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dibandingkan Pen 60/70.
Kecepatan Deformasi	0,082	0,080	0,079	0,032	0,031	0,028	<i>Fly ash</i> tidak mampu memberi pengaruh yang berbeda secara signifikan terhadap nilai kecepatan deformasi. Penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih unggul dibandingkan Pen 60/70.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran *Superpave* dengan variasi substitusi *fly ash* sebagai *Filler* sebesar 0%, 50% dan 100% dengan variasi berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70 dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* berpengaruh terhadap karakteristik parameter *Marshall* dimana nilai *VITM*, *density* dan *flow* akan semakin turun seiring bertambahnya substitusi *fly ash*, sedangkan nilai *VMA* dan *VFWA* semakin meningkat seiring bertambahnya substitusi *fly ash*.
2. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* berpengaruh terhadap karakteristik *marshall* seperti *VITM*. Semakin banyak *fly ash* yang digunakan, maka nilai stabilitas akan semakin naik. Penggunaan aspal Starbit PG-70 dalam campuran ini lebih baik dalam segi stabilitas yang dihasilkan.
3. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* menyebabkan nilai ITS semakin baik atau semakin meningkat. Penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 juga mampu meningkatkan nilai ITS dibandingkan dengan aspal Pen 60/70.
4. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* menyebabkan nilai IRS semakin baik atau semakin meningkat seiring dengan naiknya substitusi *fly ash*. Selain itu penggunaan aspal Starbit PG-70 juga mampu meningkatkan nilai IRS lebih baik dibandingkan dengan aspal Pen 60/70.
5. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* menyebabkan nilai TSR semakin baik atau semakin meningkat seiring dengan naiknya substitusi *fly ash*. Penggunaan aspal Starbit PG-70 juga menyebabkan peningkatan nilai TSR menjadi lebih baik dibandingkan aspal Pen 60/70.

6. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* menyebabkan nilai *Cantabro* semakin baik. Penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 lebih kaku dan memiliki kekuatan ikatan kohesi yang lebih besar sehingga ikatan antara agregat dan aspal menjadi lebih kuat dibandingkan bahan ikat Pen 60/70.
7. Penggunaan *fly ash* sebagai substitusi *filler* mampu meningkatkan nilai stabilitas dinamis dan mengurangi nilai kecepatan deformasi. Penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 mampu memperlambat laju deformasi dan memberikan deformasi yang lebih kecil dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70.
8. Sensitivitas akan kerusakan pada jenis perkerasan *Superpave* pada kedua jenis bahan ikat memiliki kecenderungan yang sama, yaitu kerusakan yang paling cepat terjadi adalah *permanent deformation* dan paling lambat adalah *fatigue cracking* campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit PG-70 memiliki masa layanan yang lebih lama dibandingkan Pen 60/70.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan *fly ash* sebagai variasi substitusi *filler* dan penggunaan berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70, maka penulis memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, Adapun saran dari peneliti sebagai berikut.

1. Penggunaan jenis campuran bergradasi *Superpave* dapat digunakan untuk mengantisipasi jumlah lalu lintas yang tinggi dan beban yang berlebihan, khususnya di Indonesia.
2. Penggunaan *fly ash* dapat menggantikan 100% abu batu pada campuran yang digunakan untuk lalu lintas berat.
3. Penggunaan bahan ikat Starbit PG-70 dapat digunakan pada lalu lintas berat dan suhu yang ekstrem dan daerah yang memiliki kerentanan banjir akibat dari pengaruh intensitas curah hujan yang tinggi dan durasi yang lama.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO *Designation: M 323-07. Superpave Volumetric Mix design.* 2017.
- Ahmad Uwwes Al Qurny, Imam Hagni Puspito, Nuryani Tinumbia, 2022. Pengaruh Penambahan Bahan Pengisi (*Filler*) *Fly Ash* Terhadap Campuran Aspal Beton Lapis Aus (*Asphalt Concrete Wearing Course/AC-WC*). Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pancasila, Jakarta.
- Al-Khateeb, G.G., et al. 2017. *Effect of Superpave restricted zone on volumetric and compaction properties of asphalt mixtures. International Journal of Pavement Research and Technology 2017.*
- Anas Tahir. 2009. Karakteristik Campuran Beton Aspal (AC-WC) dengan Menggunakan Variasi Kadar *Filler* Abu Terbang Batubara. Jurnal SMARTek. Universitas Tadulako Palu.
- Ari S. Adi. 2017. Penggunaan Abu Batubara Hasil Pembakaran *Asphalt Mixing Plant (AMP)* Sebagai Bahan Campuran Lapis Aspal Beton (LASTON). Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara Vol.13 No. 1. Badan Penelitian dan Pengembangan Provinsi Kalimantan Timur.
- Arkan, N., dan Subarkah. 2018. Pemanfaatan Limbah Gerabah Kasongan Sebagai Pengganti Bahan Pengisi Pada Campuran Lapisan AW-WC. Jurnal Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Asmael, N. M., and Waheed, M. Q. 2014. *Investigation of Using Polymers to Improve Asphalt Pavement Performance Development Bearing Capacity of Piles Embedded in Clayey Soil View project Bus demand estimation View project.* <http://orcid.org/0000-0002-8871-7983>.
- Asphalt Institute.* 1982. *Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual. (MS-1), Ninth Edition, Research Report kR 82-2, College Park. Maryland.*
- Bagas Novika Ardi. 2020. Pengaruh Penggunaan Serbuk Batu Gamping Sebagai Substitusi *Filler* Terhadap Karakteristik Campuran Bergradasi *Superpave*

- dengan Bahan Ikat Starbit E-55. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, 2008, Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus, SNI: 1970-2008, Penerbit Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, 2008, Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar, SNI: 1969-2008, Penerbit Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, 2008, Metode Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal, SNI: 06-2439-1991, Penerbit Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, 1991, Metoda pengujian Penetrasi Bahan-Bahan Bitumen, SNI: 06-2456-1991, Penerbit Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Desi Hari Buanti. 2018. Analisis Pengaruh Penggunaan *Fly Ash* dan *ASBUTON* Sebagai *Filler* Pada *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*. Artikel Ilmiah. Universitas Mataram.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1983. Manual Pemeliharaan Jalan No. 03/MN/B/1983. Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 2018. Spesifikasi Umum Divisi 6. Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Fadlan. 2013. Evaluasi Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga Pt T-01-2002-B dengan Menggunakan Program KENPAVE. Jurnal Teknik Sipil USU Vol. 2, No.2. Universitas Sumatera Utara. Medan
- Faisal, D., Styawan, A., Sumarsono, A. 2018. Pemilihan Beberapa Campuran Lapis Tipis Aspal Panas Untuk Aplikasi di Lapangan. e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/September 2018/419. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Fauziah, M., Kushari, B., dan Ransky, F. 2014. Pengaruh Abu Ampas Tebu sebagai *Filler* pengganti Terhadap Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave*, *Proc of 17th International Symposium FSTPT*. Universitas Jember. Jember.

- Fauziah, M. dan F. S. Wijayati 2016. Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat. *Jurnal Teknisia*, XXI. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Fauziah, M., dan Handaka, A. 2017. Pemanfaatan Aspal Starbit PG-70 Untuk Menahan Penurunan Kinerja Akibat Rendaman Air Hujan Pada Campuran Split Mastic Asphalt. *Jurnal Transportasi*, Vol. 17, No. 1, Hal. 11-20, April 2017, ISSN: 1411-2442.
- Fauziah, M., dan Safitri, A.D. 2016. Perbandingan Karakteristik Campuran Superpave Dengan Berbahan ikat Pen 60/70 Dan Retona Blend 55 Pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Hujan, Prosiding The 19th International Symposium of FSTPT, Islamic University of Indonesia, ISBN:979-95721-2-19. Yogyakarta.
- Fauziah, Sukarno, Syaifurrohman, Marzuko, dan Denny. 2012. Studi Eksperimental Penggunaan Fly Ash sebagai Additive Terhadap Kinerja Beton Aspal Sebagai Upaya Pemanfaatan Material Limbah. *Jurnal Rekayasa Sipil Vol.2 No.1_ Studi Eksperimental*
- Gusti, I. 2018. Perancangan *Warm Mix Asphalt* untuk Campuran Lapis AUS (AC-WC) Menggunakan Aspal Pen 60/70 dengan *Aditif Zycotherm*. *INERSIA*, XIV (1), 48-60.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. 2019. Perbandingan Karakteristik Campuran Superpave Antara yang Menggunakan Bahan Ikat Starbit PG-70 dengan Pen 60/70 pada Variasi Durasi Rendaman Air Payau. *Civil Engineering and Environment Symposium 2019*. ISBN: 978-623-7263-09-8. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. 2021. Studi Komparasi Karakteristik Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan Antara Perkerasan *Superpave* dengan *AC-WC* Akibat Jenis Berbahan ikat Starbit E-55 dan PEN 60/70. Tesis Universitas Islam Indonesia Yogyakarta.
- Hainin, M. R., Rusbintardjo, G., Anwar, M., Hameed, S., Hassan, A., & Yusoff, I. M. 2014. Utilisation of Steel Slag as an Aggregate Replacement in Porous Asphalt Mixtures (Vol. 69). www.jurnalteknologi.utm.my

- Hakim, I. N., dan Kushari, B. 2019. Kaji Ulang Desain Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Pakem-Prambanan Untuk Mengantisipasi Peningkatan Status Jalan. Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun – FTSP UII 2019. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Huang, Y.H. 2004. *Pavement Analysis and Design. 2nd edition. Pearson Prentice-Hall: New Jersey*
- Intari, D. E., Fathonah, W., dan Kirana, F.W. 2018. Analisis Karakteristik Campuran Laston (HRS-WC) Akibat Rendaman Air Laut Pasang (Rob) Dengan Aspal Modifikasi Polimer Starbit PG-70. Jurnal Fondasi. Vol. 7 No. 3 2018. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.
- Karahancer, S., et al. 2018. *Superpave Volumetric Mix Design Of Hot Mix Asphalt: Case Study Of Isparta. Journal of Engineering Sciences and Design. e-ISSN: 1308-6693. Turkey.*
- Lia Wahyuningsih. 2007. Komparasi Penggunaan *Filler Fly Ash* (Abu Terbang Batubara), *Filler Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash)* dan *Filler Abu Batu* pada Kinerja Lapis Aspal Beton (LASTON). Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Mutohar Yazid (2002). Pengaruh Penggunaan *Filler Fly Ash* Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR). Tesis Universitas Diponegoro. Semarang.
- M. Iqbal Herdiansyah Permana, Tahadjuddin dan Euis Kania Kurniawati, 2019. Pemanfaatan Pasir Kuarsa dan *Fly Ash* pada Campuran Laston AC-BC. Jurnal Ilmiah SANTIKA Vol.9. Universitas Muhammadiyah Sukabumi.
- M.Sadillah, 2018. Penggunaan *Fly Ash* Sebagai *Filler* Terhadap Modulus Resilien Beton Aspal Lapis AUS (AC-WC). Thesis Universitas Brawijaya. Malang
- M.Zainul Arifin, M.Sadillah dan Achmad Wicaksono, 2018. Pengaruh Penggunaan Abu Terbang Batubara Sebagai Pengisi Terhadap Modulus Resilien Beton Aspal Lapis Aus. Jurnal HPJI Vol.4. Universitas Brawijaya.
- Mia. Pemanfaatan Abu Batubara. (online), (<http://mheanck.blogspot.com/2011/01/pemanfaatan-abu-batubara.html>), diakses 13 November 2022, 2011.

- Miagi, E.Z.E. 2015. Evaluasi Kinerja Stabilitas Dinamis Pada Campuran Superpave dengan Tambahkan Serat Serabut Kelapa Menggunakan Uji *Marshall* dan Uji *Wheel Tracking*. Tugas Akhir. Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- Navarro, F.M., Sanchez, M.A., Gamesz, M.C.R., Martinez, M.Z. 2014. The use of additives for the improvement of the mechanical behavior of high modulus asphalt mixes. Construction Engineering Laboratory of the University of Granada (LabIC.UGR). Elsevier – Construction and Building Material 70 (2014) 65-70. Granada, Spain.
- Nono. 2010. Rentang Kadar Aspal Campuran Beraspal Panas Sesuai Spesifikasi Berbasis *Superpave*. Puslitbang Jalan dan Jembatan. Bandung.
- Nugroho, A., dan Subarkah. 2019. Perbandingan Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt (HRA) Berbahan ikat Pertamina Pen 60/70 dan Starbit PG-70. Jurnal Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Nugroho, Eko Hindaryanto. Analisis Porositas dan Permeabilitas Beton dengan Bahan Tambah *Fly Ash* untuk Perkerasan Kaku (*Rigid Pavement*). Surakarta: Universitas Sebelas Maret, 2010.
- Pangaraya, D. K. 2015. Laboratorium Study of Asphalt Starbit PG-70 Polymer Modified Application on Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Journal of The Civil Engineering Forum. Vol. 1 No.3 (September 2015).
- Piter Octaviano Sukarno, Jhon Gayus Mangalla, Afni K. Tambing, Leonardo Suro, Enma Mediawati Sebayang. 2017. Jurnal Teknik dan Ilmu Komputer. Universitas Kristen Krida Wacana, Jakarta.
- Pradani, N. 2013. Pengaruh Penambahan Polimer Elastomer Terhadap Indeks Penetrasi Aspal yang Mengandung Aspal Daur Ulang. Jurnal Infrastruktur. Vol. 3 No.1 Juni 2013: 9-15
- Prastanto, H., A. Cifriadi dan A. Ramadhan 2015. Karakteristik dan Hasil Uji Marshall Aspal Termodifikasi Dengan Karet Alam Terdepolimerisasi Sebagai Aditif. Jurnal Penelitian Karet, 33 (1), 75-82.
- PT Bintang Jaya. 2013. Latar Belakang Pengembangan Aspal Modifikasi Starbit E-55, PT Bintang Djaja. Semarang.

- Tm, Suprpto. Bahan dan Struktur Jalan Raya. Yogyakarta: Biro Penerbit KMTS FT UGM, 2004.
- PT Bintang Jaya. 2013. Latar Belakang Pengembangan Aspal Modifikasi Starbit E-55, PT Bintang Djaja. Semarang.
- Putra, D. W. T., dan Subarkah. 2018. Pengaruh Lama Rendaman Air Sungai Terhadap Karakteristik Campuran AC - WC dengan Bahan Ikat Starbit E-60 dan Pen 60/70. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ramadhan, F., 2020. Pengaruh Penggunaan Pasir Pantai Indramayanti Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA). Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ramadhani, R.I., dan Fauziah, M. 2018. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Jogja–Solo. *Civil Engineering and Environment Symposium 2018*. Univeritas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Triyono N. S. A. 2023. Laporan Praktik Kerja. Proyek Pembangunan Jalan Tepus – Jerukwudel. Yogyakarta.
- Riyanto, A., & Prasetya, R. D. 2020. Pengaruh Kadar Filler Fly Ash Dalam Campuran Ac-Wc Dengan Pasir Pantai Takisung Sebagai Agregat Halus Ditinjau Dari Aspek Ketidakrataan Dan Properties Marshall Effect Of Fly Ash Filler Levels In The Ac-Wc Mixture With Takisung Beach Sand As Fine Aggregate In Terms Of Unevenness And Marshall Properties.
- Sinuhaji, V. A. C., Subagio, S. B., Rahman, H., 2018 Kinerja Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Dari Campuran Lataston Gradasi Senjang (HRS-WC) Dengan Bahan Aspal Modifikasi Starbit E-55. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. SNI 06 – 2432 – 1991 Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. SNI 03 – 2439 – 1991 Metode Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. SNI 06 – 2433 – 1991 Metode Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar dengan Cleve Land Open Cup. Bahan Standarisasi Nasional.

- Standar Nasional Indonesia. 1991. SNI 06 – 2434 – 1991 Metode Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. SNI 06 – 2441 -1991 Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. SNI 1969 – 2008 Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. Sni 2417 – 2008 Cara Uji Keausan dengan Mesin Abrasi Los Angeless. Badan Standarisasi Nasional.
- Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407*. 1994. The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays. Strategic Highway Research Program National Research Council. Washington
- Subarkah. 2008. Materi Perkuliahan Bahan Perkerasan Jalan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Subarkah., Bale, H. A., Nugraha, A. A. 2020. Pemanfaatan Batu Zeolite Sebaai Agregat Kasar Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Dengan Berbahan ikat Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-60. Jurnal Teknisia. P-ISSN 0853-8557. E-ISSN 2746-0185. Yogyakarta.
- Sukirman, S. 1992. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Penerbit Nova. Bandung.
- Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Jakarta: Yayasan Obor. Indonesia.
- Suwanda, A., dan Kushari, B. 2019. Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pendekatan Viskoelastik Dan Elastik Linier Pada Ruas Jalan Tempel – Pakem. Jurnal Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Tahir, A., Kunci, K., Beton, C., Terbang Batubara, A., & Marshall, K. 2009. Karakteristik Campuran Beton Aspal (Ac-Wc) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Abu Terbang Batu Bara.
- Wahyuningsih. 2007. Komparasi Penggunaan Filler Fly Ash (Abu Terbang Batu Bara), Filler Sekam Padi (Rice Husk Ash), dan Filler Abu Batu Pada Kinerja Lapos Aspal Beton (LASTON).

- Widajat, J., dan Nono. 2011. *Propertis Bahan dan Campuran Beraspal Panas Beton*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Penerbit Informatika. Bandung
- Wardani, S.P.R. 2008. *Pemanfaatan Limbah Batubara (Fly Ash) Untuk Stabilisasi Tanah Maupun Keperluan Teknik Sipil Lainnya Dalam Mengurangi Pencemaran Lingkungan*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Yogantari, L. dan Sulistyani. 2016. *Purifikasi Silika Dari Pasir Vulkanik Gunung Merapi Sebagai Bahan Baku Sel Fotovoltaik*. Universitas Negeri Yogyakarta. Yogyakarta.
- Yusuf, N., dan Fauziah, M. 2018. *Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Terhadap Kinerja Campuran Stone Matrix Asphalt Yang menggunakan Berbahan ikat Pen 60/70 dan Starbit E-70*. Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 12, Batam, Volume 2, September 2018, ISBN: 978-602-60662-3-7.
- Yulienda, P., dan Fauziah, M. 2017. *Pengaruh Rendaman Air Rawa Terhadap Karakteristik Campuran Superpave dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70*. Jurnal Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Zumrawi, M. M. E., and Edrees, S. A. S. 2019. *Comparison of Marshall and Superpave Asphalt Design Methods for Sudan Pavement Mixes*. *International Journal of Scientific and Technical Advancements, Volume 2, Issue 1*, pp. 29-35, 2016.

LAMPIRAN



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK
SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Pertamina 60/70
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
1	Pemanasan Benda Uji	Mulai	10.00 WIB
		Selesai	10.30 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang	Mulai	10.30 WIB
		Selesai	13.00 WIB
3	Diperiksa	Mulai	13.00 WIB
		Selesai	13.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	62	61		
2	70	64,5		
3	62	65		
4	63,5	70		
5	67	70		
Rata2	64,9	66,1		
Rerata	65,5			

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.,
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK
SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 2. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Starbit PG-70

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Starbit PG-70
Sumber : PT. Bintang Djaja
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu	
1	Pemanasan Benda Uji			
		Mulai	27	10.00 WIB
		Selesai	130	10.30 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
		Mulai	130	10.30 WIB
		Selesai	27	13.00 WIB
3	Diperiksa			
		Mulai	25	13.00 WIB
		Selesai	25	13.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	55	55		
2	56	56		
3	55	56		
4	56	56		
5	55	55		
Rata2	55,4	55,6		
Rerata	55,5			

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.,
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 3. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Starbit PG-70

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Aspal Starbit PG-70
Sumber : PT. Bintang Djaja
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu	
1	Pemanasan Benda Uji	Mulai	25	09.00 WIB
		Selesai	150	09.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang	Mulai	150	09.15 WIB
		Selesai	25	10.45 WIB
3	Diperiksa	Mulai	25	10.45 WIB
		Selesai	25	11.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	% terselimuti Aspal	Keterangan
1	Benda Uji 1	97%	Memenuhi
2	Benda Uji 2	96%	Memenuhi
3	Rata-Rata	96,5%	Memenuhi

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.,
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 4.. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Aspal Pertamina 60/70
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2023

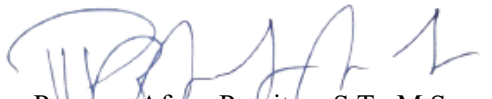
PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu	
1	Pemanasan Benda Uji	Mulai	25	09.00 WIB
		Selesai	150	09.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang	Mulai	150	09.15 WIB
		Selesai	25	10.45 WIB
3	Diperiksa	Mulai	25	10.45 WIB
		Selesai	25	11.30 WIB


HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	% terselimuti Aspal	Keterangan
1	Benda Uji 1	95%	Memenuhi
2	Benda Uji 2	94%	Memenuhi
3	Rata-Rata	94,5%	Memenuhi

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti


Indriasti Yustika Rahman, S.T.,
NIM: 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 5. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pertamina Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL DAN TER

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu (°C)	Pembacaan Waktu
1	Pemanasan Benda Uji	Mulai	27
		Selesai	50
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang	Mulai	13.30 WIB
		Selesai	13.15 WIB
3	Diperiksa	Mulai	13.30 WIB
		Selesai	15.00 WIB
		Mulai	15.00 WIB
		Selesai	15.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemasanan (dtk)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5°C				
2	10°C	138	139		
3	15°C	209	210		
4	20°C	310	310		
5	25°C	373	374		
6	30°C	443	443		
7	35°C	516	515		
8	40°C	612	611		
9	45°C	680	677		
10	50°C	762	763	47	49

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.,
NIM : 21914030



Lampiran 6. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Starbit PG-70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL DAN TER

Material : Aspal Starbit PG-70
Sumber : PT. Bintang Djaja
Tahun Uji : 2023

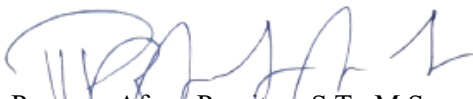
PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu (°C)	Pembacaan Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27	13.30 WIB
	Selesai	50	13.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	50	13.30 WIB
	Selesai	27	15.00 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	5	15.00 WIB
	Selesai	55	15.30 WIB

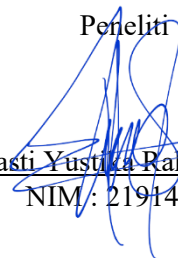
HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemasanan (dtk)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5°C				
2	10°C	138	139		
3	15°C	209	210		
4	20°C	310	310		
5	25°C	373	374		
6	30°C	443	443		
7	35°C	516	515		
8	40°C	612	611		
9	45°C	680	677		
10	50°C	762	763	55	56

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti


Indriasti Yustika Rahman, S.T.,
NIM: 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 7. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pertamina Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Pembacaan Suhu Oven $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath pada suhu 25°C	60 Menit	Pembacaan Suhu waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Daktilitas pada suhu 25°C , kecepatan 5 cm per menit	20 menit	Pembacaan Suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Hasil Pengujian	keterangan
1	Sampel 1	165	Tidak Putus
2	Sampel 2	165	Tidak Putus

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.,
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 8. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Starbit PG-70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS

Material : Aspal Starbit PG-70
Sumber : PT. Bintang Djaja
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Pembacaan Suhu Oven $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath pada suhu 25°C	60 Menit	Pembacaan Suhu waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Daktilitas pada suhu 25°C , kecepatan 5 cm per menit	20 menit	Pembacaan Suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Hasil Pengujian	keterangan
1	Sampel 1	130	Putus
2	Sampel 2	130	Putus

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.,
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 9. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Starbit PG-70

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL

Material : Aspal Starbit PG-70
Sumber : PT. Bintang Djaja
Tahun
Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu	
1	Pemanasan Benda Uji			
		Mulai	27	13.00 WIB
		Selesai	130	13.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
		Mulai	130	13.15 WIB
		Selesai	27	13.45 WIB
3	Diperiksa			
		Mulai	27	13.45 WIB
		Selesai	300	14.15 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	315	325

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

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

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.

NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 10. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Starbit PG-70

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL

Material : Aspal Starbit PG-70
Sumber : PT. Bintang Djaja
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27	13.00 WIB
	Selesai	130	13.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130	13.15 WIB
	Selesai	27	13.45 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27	13.45 WIB
	Selesai	300	14.15 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	315	325

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM: 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 11. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 Dalam CCL4

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan Waktu	
			Waktu	Suhu (°C)
1	Penimbangan	Mulai	14.30	27
2	Pelarutan	Mulai	14.40	27
3	Penyaringan	Mulai	14.45	27
		Selesai	15.15	27
4	Di Oven	Mulai	15.15	110
5	Penimbangan	Selesai	15.30	27

HASIL PENGAMATAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat Erlen Mayer Kosong	63,57	63,59
2	Berat Erlen Mayer Kosong + Aspal	65,02	65,44
3	Berat Aspal (2-1)	1,45	1,85
4	Berat Kertas Saring Basah	0,58	0,57
5	Berat Kertas Saring Basah + Mineral	0,58	0,57
6	Berat Mineral (5-4)	0	0,00
7	Persentase Mineral (6/3 x 100%)	0,00	0,00
8	Aspal yang Larut (100%-7)	100,00	100,00
9	Rata-Rata Aspal Yang Larut	100,00	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 12. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Starbit PG-70

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4

Material : Aspal Starbit PG-70
Sumber : PT. Bintang Djaja
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan Waktu	
			Waktu	Suhu (°C)
1	Penimbangan	Mulai	14.30	27
2	Pelarutan	Mulai	14.40	27
3	Penyaringan	Mulai	14.45	27
		Selesai	15.15	27
4	Di Oven	Mulai	15.15	110
5	Penimbangan	Selesai	15.30	27

HASIL PENGAMATAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat Erlen Mayer Kosong	63,57	63,59
2	Berat Erlen Mayer Kosong + Aspal	65,02	65,44
3	Berat Aspal (2-1)	1,45	1,85
4	Berat Kertas Saring Basah	0,58	0,57
5	Berat Kertas Saring Basah + Mineral	0,58	0,58
6	Berat Mineral (5-4)	0	0,01
7	Persentase Mineral (6/3 x 100%)	0,00	0,54
8	Aspal yang Larut (100%-7)	100,00	99,46
9	Rata-Rata Aspal Yang Larut	99,73	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 13. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2023

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Piknometer Kosong (gr)	24,73	23,72
2	Berat Piknometer + Aquadest (gr)	47,41	47,41
3	Berat Aquadest (gr)	22,68	23,69
4	Berat Piknometer + Aspal (gr)	31,9	28,04
5	Berat Aspal (gr)	7,17	4,32
6	Berat Piknometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,57	47,49
7	Berat Aquadest (gr)	15,67	19,45
8	Volume Aspal (gr)	7,01	4,24
9	Berat Jenis Aspal	1,02	1,02
10	Rata-Rata BJ Aspal	1,02	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

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

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman. S.T.

NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 14. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Starbit PG-70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Starbit PG-70
Sumber : PT. Bintang Djaja
Tahun Uji : 2023

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Piknometer Kosong (gr)	24,73	23,72
2	Berat Piknometer + Aquadest (gr)	47,41	47,41
3	Berat Aquadest (gr)	22,68	23,69
4	Berat Piknometer + Aspal (gr)	28,9	26,2
5	Berat Aspal (gr)	4,17	2,48
6	Berat Piknometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,57	47,49
7	Berat Aquadest (gr)	18,67	21,29
8	Volume Aspal (gr)	4,01	2,4
9	Berat Jenis Aspal	1,040	1,033
10	Rata-Rata BJ Aspal	1,037	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

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

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman. S.T.

NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 15. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tahun Uji : 2023

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Jenuh (BJ)	1657,47	1660,58
2	Berat benda Uji Dalam Air (BA)	1005,98	1007,86
3	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1573,90	1596,14
4	Berat Jenis (Bulk)	2,42	2,45
5	Berat Jenis (SSD)	2,54	2,54
6	Berat Jenis (Semu)	2,77	2,71
7	Penyerapan Air	5,31	4,04
8	Berat Jenis Efektif	2,59	2,58
9	Rerata	2,59	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 16. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tahun Uji : 2023

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Jenuh (BJ)	501,86	501,06
2	Berat Piknometer + Air (B)	692,34	668,42
3	Berat Piknometer + Air + Benda Uji (BT)	995,27	973,03
4	Berat Benda Uji Kering (BK)	494,55	492,57
5	Berat Jenis (Bulk)	2,51	2,52
6	Berat Jenis (SSD)	2,54	2,56
7	Berat Jenis (Semu)	2,58	2,62
8	Penyerapan Air	1,10	1,51
9	Berat Jenis Efektif	2,55	2,57
10		2,56	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 17. Pemeriksaan Sand Equivalent

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

Sumber : Clereng Kulonprogo

Tahun Uji : 2023

No	Pemeriksaan	Benda Uji		
		1	2	
1	Persiapan dan perendaman benda uji dalam larutan CaCL ₂ (± 10,1 menit)	Mulai	11.25	11.25
		Selesai	11.35	11.35
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x dan ditambah larutan CaCL ₂)	Mulai	11.37	11.37
		Selesai	11.40	11.40
3	Clay reading (inch)		3,65	3,80
4	Sand reading		3,30	3,55
5	Sand equivalent ((sand reading/clay reading)*100)		90,41	93,42
6	Sand Equivalent Rata - Rata		91,9	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

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

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.

NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 18. Pemeriksaan Keausan Agregat

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT

Sumber : Clereng Kulonprogo

Tahun Uji : 2023

No	Jenis Gradasi		F	
	Saringan		Benda Uji (gram)	
	Lolos	Tertahan	1	2
1	72,2 mm (3")	63,5 mm (2,5")		
2	63,5 mm (2,5")	50,8 mm (2")		
3	50,8 mm (2")	37,5 mm (1,5")		
4	37,5 mm (1,5")	25,4 mm (1")		
5	25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")		
6	19,0 mm (3/4")	12,5 mm (0,5")	2500	2500
7	12,5 mm (0,5")	9,5 mm (3/8")	2500	2500
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	5000
12	Jumlah Tertahan Di Sieve 12 (B)		4350	4360
13	Keausan (%) = $\frac{A-B}{A} \times 100$		13	12,8
14	Rata-rata Keausan		12,9	

Mengetahui

Kepala Lab. Jalan Raya UII

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

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.

NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 19. Pemeriksaan Berat Jenis Debu Batu

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DEBU BATU

Material : Debu Batu
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tahun Uji : 2023

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Piknometer Kosong (gr)	52,07	39,06
2	Berat Piknometer + Aquadest (gr)	151,44	138,27
3	Berat Aquadest (gr)	99,37	99,21
4	Berat Piknometer + Debu Batu (gr)	72,90	62,74
5	Berat Debu Batu (gr)	20,83	23,68
6	Berat Piknometer + Debu Batu + Aquadest (gr)	164,15	152,64
7	Berat Aquadest (gr)	91,25	89,90
8	Volume Debu Batu (gr)	8,12	9,31
9	Berat Jenis Debu Batu	2,565	2,544
10	Rata-rata BJ Debu Batu	2,55	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



Lampiran 20. Pemeriksaan Berat Jenis Debu Batu

PEMERIKSAAN BERAT JENIS DEBU BATU


Material : Debu Batu Bara
Sumber : PLTU Pacitan, Jawa Timur
Tahun Uji : 2023

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Piknometer Kosong (gr)	52,07	39,06
2	Berat Piknometer + Aquadest (gr)	151,44	138,27
3	Berat Aquadest (gr)	99,37	99,21
4	Berat Piknometer + Debu Batu (gr)	72,39	62,04
5	Berat Debu Batu (gr)	20,32	22,98
6	Berat Piknometer + Debu Batu + Aquadest (gr)	164,15	152,64
7	Berat Aquadest (gr)	91,76	90,60
8	Volume Debu Batu (gr)	7,61	8,61
9	Berat Jenis Debu Batu	2,670	2,669
10	Rata-rata BJ Debu Batu	2,670	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti


Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

**Lampiran 21. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 0% dengan Bahan Ikat Pen 60/70
SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL**

Tanggal Pengujian : FEBRUARI 2023
Tipe Campuran : SUPERPAVE
: PEN 60/70

Dikerjakan oleh : Indriasti Yustika Rahman, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., P.h.d.

SAMPSEL	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
4.5A	6.700	4.712	4.5	1158,700	1175,97	655,21	520,76	2,2250	2,4089	9,8163	82,552	7,632	17,448	56,260	7,632	59	857,2816528	0,923	790,842	2,46	321,481
4.5B	6.610	4.712	4,5	1173,960	1176,72	653,38	523,34	2,2432	2,4089	9,8965	83,227	6,877	16,773	59,003	6,877	68	988,0534303	0,941	930,005	2,95	315,256
4.5C	6.707	4.712	4,5	1157,590	1175,39	658,37	517,02	2,2390	2,4089	9,8778	83,070	7,053	16,930	58,344	7,053	70	1017,113825	0,921	936,592	3,15	297,331
								2,2411					16,8517	58,6731	6,9645		1002,5836		933,2988	3,0500	306,2935
5A	6.730	5.263	5	1172,470	1175,96	652,44	523,52	2,2396	2,3918	10,9784	82,658	6,364	17,342	63,304	6,364	73	1060,704418	0,915	970,545	3,25	298,629
5B	6.757	5.263	5	1170,400	1172,98	656,26	516,72	2,2651	2,3918	11,1032	83,598	5,299	16,402	67,693	5,299	69	1002,583628	0,908	910,680	2,45	371,706
5C	6.653	5.263	5	1180,810	1173,46	654,12	519,34	2,2737	2,3918	11,1455	83,916	4,939	16,084	69,294	4,939	63	915,4024428	0,933	854,185	0,91	938,665
								2,2523					16,8723	65,4985	5,8315		1031,6440		940,6123	2,8500	335,1676
5.5A	6.587	5.820	5,5	1181,810	1182,32	658,67	523,65	2,2569	2,3750	12,1694	82,857	4,973	17,143	70,988	4,973	65	944,4628378	0,946	893,108	0,95	940,113
5.5B	6.600	5.820	5,5	1178,840	1180,69	657,11	523,58	2,2515	2,3750	12,1404	82,660	5,200	17,340	70,014	5,200	75	1089,764813	0,943	1027,784	3,05	336,979
5.5C	6.473	5.820	5,5	1166,560	1170,93	661,77	509,16	2,2911	2,3750	12,3542	84,116	3,530	15,884	77,775	3,530	78	1133,355405	0,969	1098,410	2,8	392,289
								2,2713					16,6123	73,8946	4,3649		1111,5601		1063,0974	2,9250	364,6339
6A	6.410	6.383	6	1175,060	1178,4	661,55	516,85	2,2735	2,3584	13,3735	83,026	3,600	16,974	78,789	3,600	71	1031,644023	0,985	1016,169	2,2	461,895
6B	6.663	6.383	6	1175,600	1178,11	672,1	506,01	2,3233	2,3584	13,6663	84,844	1,490	15,156	90,169	1,490	65	944,4628378	0,931	879,531	2,3	382,405
6C	6.357	6.383	6	1177,810	1180,65	660,66	519,99	2,2651	2,3584	13,3239	82,718	3,958	17,282	77,097	3,958	71	1031,644023	0,998	1029,925	2,4	429,135
								2,2693					17,1280	77,9428	3,7793		1031,6440		1023,0470	2,3000	445,5152
6.5A	6.713	6.952	6,5	1186,580	1187,78	667,18	520,6	2,2793	2,3421	14,5247	82,793	2,682	17,207	84,414	2,682	67	973,5232328	0,919	894,830	2,3	389,057
6.5B	6.837	6.952	6,5	1173,340	1178,08	673,14	504,94	2,3237	2,3421	14,8080	84,409	0,783	15,591	94,976	0,783	66	958,9930353	0,890	853,504	2,68	318,472
6.5C	6.303	6.952	6,5	1186,010	1190,75	665,33	525,42	2,2573	2,3421	14,3845	81,995	3,621	18,005	79,890	3,621	67	973,5232328	1,012	984,881	2,75	358,139
								2,2905					17,6060	82,1516	3,1514		973,5232		939,8556	2,5250	373,5976

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030

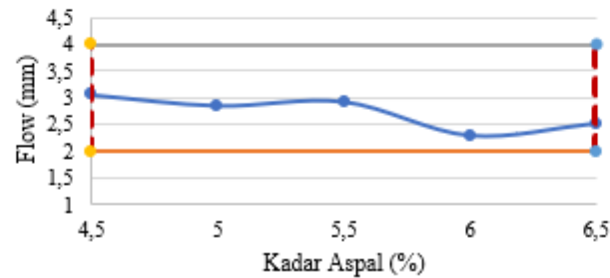
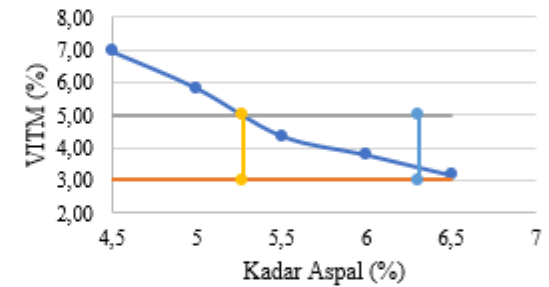
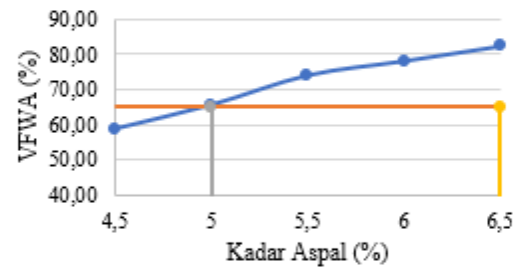
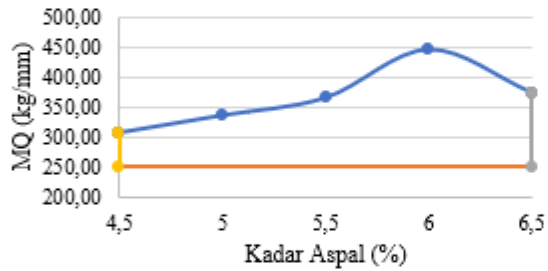
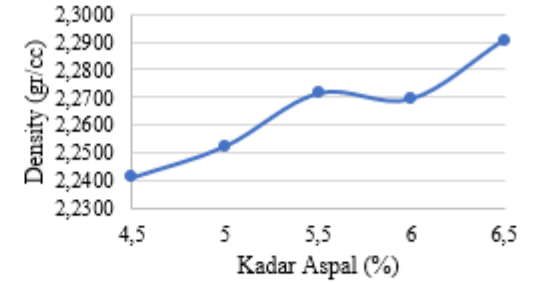
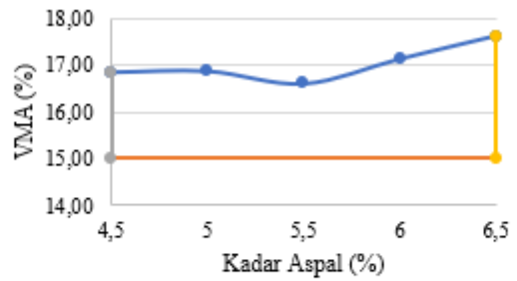
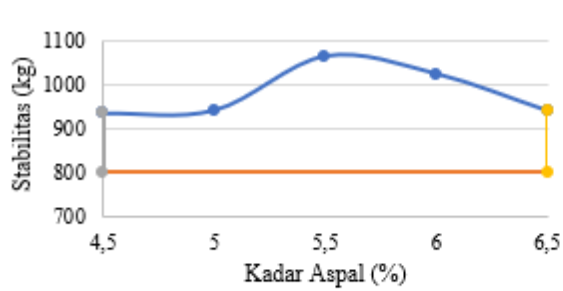


**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lanjutan Lampiran 21. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 0% dengan Bahan Ikat Pen 60/70





**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
TEKNIK SIPIL Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
& **PERENCANAAN** Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 22. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 50% dengan Bahan Ikat Pen 60/70

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : FEBRUARI 2023
Tipe Campuran : SUPERPAVE
: PEN 60/70 (SUBSTITUSI Fly Ash 50%)

Dikerjakan oleh : Indriasti Yustika Rahman, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., P.h.d.

SAMPOL	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density													
4,5A	6,850	4,712	4,5	1178,01	1184,05	650,95	533,1	2,2097	2,4124	9,7488	81,852	8,400	18,148	53,717	8,400	68	988,0534303	0,923	911,479	4,4	207,154
4,5B	6,703	4,712	4,5	1181,79	1182,62	662,79	519,83	2,2734	2,4124	10,0298	84,210	5,760	15,790	63,521	5,760	67	973,5232328	0,941	916,329	3,1	295,590
4,5C	6,753	4,712	4,5	1181,77	1182,71	662,82	519,89	2,2731	2,4124	10,0285	84,199	5,772	15,801	63,468	5,772	69	1002,583628	0,921	923,212	2,9	318,349
								2,2733					15,7952	63,4948	5,7661		988,0534		919,7706	3,0000	306,9695
5A	6,583	5,263	5	1178,87	1186,48	653,97	532,51	2,2138	2,3952	10,8520	81,573	7,575	18,427	58,891	7,575	73	1060,704418	0,915	970,545	1,8	539,191
5B	6,757	5,263	5	1188,57	1196,96	673,8	523,16	2,2719	2,3952	11,1368	83,714	5,149	16,286	68,382	5,149	75	1089,764813	0,908	989,870	3,3	299,961
5C	6,513	5,263	5	1184,63	1192,48	670,68	521,8	2,2703	2,3952	11,1288	83,654	5,217	16,346	68,082	5,217	72	1046,17422	0,933	976,211	3,2	305,066
								2,2711					16,3162	68,2319	5,1834		1067,9695		983,0405	3,2500	302,5133
5,5A	6,527	5,820	5,5	1176,87	1186,48	648,97	537,51	2,1895	2,3784	11,8060	80,252	7,942	19,748	59,784	7,942	80	1162,4158	0,946	1099,209	3,55	309,636
5,5B	6,573	5,820	5,5	1182,57	1196,96	678,8	518,16	2,2822	2,3784	12,3062	83,652	4,041	16,348	75,278	4,041	75	1089,764813	0,943	1027,784	3,1	331,543
5,5C	6,540	5,820	5,5	1181,63	1196,48	677,68	518,8	2,2776	2,3784	12,2813	83,483	4,236	16,517	74,354	4,236	78	1133,355405	0,969	1098,410	3,1	354,326
								2,2799					16,4324	74,8164	4,1387		1111,5601		1063,0974	3,1000	342,9346
6A	6,727	6,383	6	1177,870	1186,79	663,09	523,7	2,2491	2,3617	13,2302	82,002	4,768	17,998	73,510	4,768	85	1235,066788	0,985	1216,541	3,3	368,649
6B	6,513	6,383	6	1177,460	1180,85	662,91	517,94	2,2734	2,3617	13,3727	82,885	3,742	17,115	78,136	3,742	80	1162,4158	0,931	1082,500	3	360,833
6C	6,397	6,383	6	1172,820	1180,05	663,06	516,99	2,2686	2,3617	13,3444	82,710	3,945	17,290	77,182	3,945	83	1206,006393	0,998	1203,996	3,1	388,386
								2,2588					17,6436	75,3463	4,3563		1220,5366		1210,2686	3,2000	378,5173
6,5A	6,510	6,952	6,5	1176,430	1184,04	663,43	520,61	2,2597	2,3453	14,4001	81,950	3,650	18,050	79,779	3,650	73	1060,704418	0,919	974,964	2,8	348,201
6,5B	6,347	6,952	6,5	1178,420	1184,86	662,43	522,43	2,2557	2,3453	14,3742	81,803	3,823	18,197	78,991	3,823	75	1089,764813	0,890	969,891	2,7	359,219
6,5C	6,413	6,952	6,5	1183,150	1190,98	665,26	525,72	2,2505	2,3453	14,3416	81,617	4,041	18,383	78,015	4,041	72	1046,17422	1,012	1058,380	1,8	587,989
								2,2577					18,1237	79,3847	3,7365		1075,2346		972,4274	2,7500	353,7101

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030

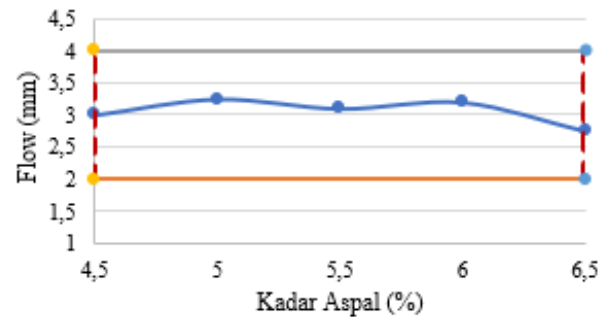
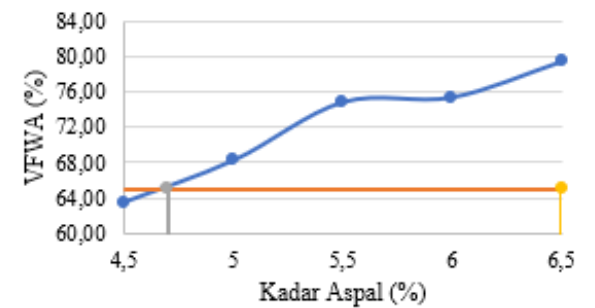
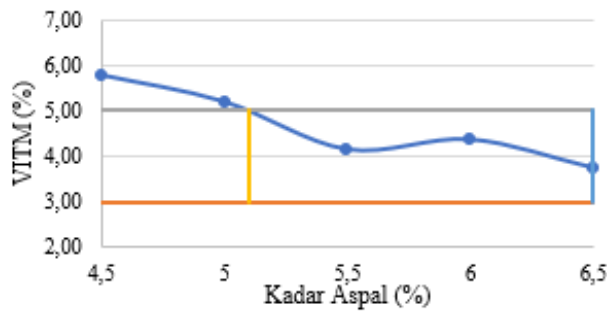
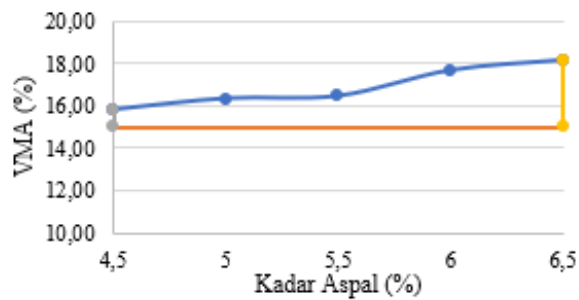
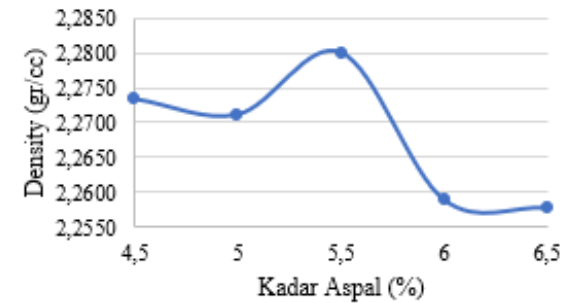
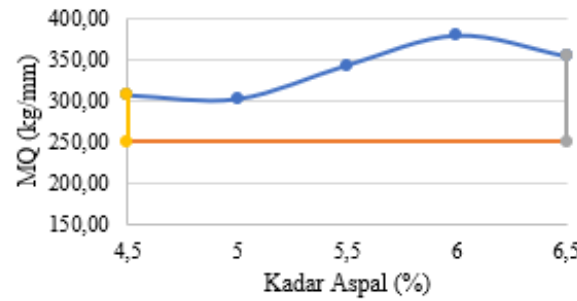
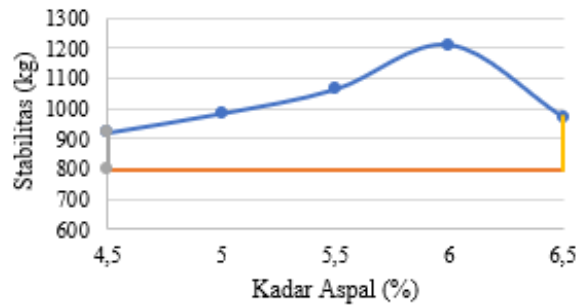


**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lanjutan Lampiran 22. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 50% dengan Bahan Ikat Pen 60/70





**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 23. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 100% dengan Bahan Ikat Pen 60/70

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : FEBRUARI 2023
Tipe Campuran : SUPERPAVE
: PEN 60/70

Dikerjakan oleh : Indriasti Yustika Rahman, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., P.hd.

SAMPel	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
													VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas	Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)	
4.5A	6.563	4.712	4.5	1183,34	1190,64	667,75	522,89	2,2631	2,4106	9,9842	83,894	6,121	16,106	61,992	6,121	76	1104,29501	0,923	1018,712	2,2	463,051
4.5B	6.390	4.712	4.5	1183,59	1193,29	668,61	524,68	2,2558	2,4106	9,9522	83,626	6,422	16,374	60,780	6,422	74	1075,234615	0,941	1012,065	3	337,355
4.5C	6.470	4.712	4.5	1180,8	1189,58	661,64	527,94	2,2366	2,4106	9,8674	82,914	7,219	17,086	57,750	7,219	73	1060,704418	0,921	976,732	2,7	361,753
								2,2498					16,2398	61,3863	6,2716		1089,7648		1015,3884	2,6000	400,2029
5A	6.487	5.263	5	1183,34	1190,64	670,75	519,89	2,2761	2,3936	11,1575	83,937	4,906	16,063	69,460	4,906	76	1104,29501	0,915	1010,430	3,6	280,675
5B	6.463	5.263	5	1183,59	1193,29	671,61	521,68	2,2688	2,3936	11,1216	83,666	5,212	16,334	68,091	5,212	75	1089,764813	0,908	989,870	2,3	430,378
5C	6.393	5.263	5	1180,8	1189,58	661,64	527,94	2,2366	2,3936	10,9638	82,480	6,557	17,520	62,577	6,557	78	1133,355405	0,933	1057,562	2,4	440,651
								2,2527					16,9270	65,3339	5,8843		1111,5601		1023,7160	2,3500	435,5145
5.5A	6.397	5.820	5,5	1183,91	1193,43	669,41	524,02	2,2593	2,3767	12,1824	82,877	4,941	17,123	71,146	4,941	76	1104,29501	0,946	1044,249	4,2	248,631
5.5B	6.660	5.820	5,5	1185,97	1196,04	670,82	525,22	2,2580	2,3767	12,1757	82,831	4,993	17,169	70,919	4,993	80	1162,4158	0,943	1096,303	2,2	498,320
5.5C	6.347	5.820	5,5	1182,7	1192,04	668,23	523,81	2,2579	2,3767	12,1748	82,825	5,000	17,175	70,889	5,000	83	1206,006393	0,969	1168,821	2,5	467,528
								2,2580					17,1716	70,9037	4,9963		1184,2111		1132,5623	2,3500	482,9241
6A	6.420	6.383	6	1185	1184,45	658,19	526,26	2,2517	2,3601	13,2455	82,163	4,591	17,837	74,259	4,591	86	1249,596985	0,985	1230,853	2,5	492,341
6B	6.473	6.383	6	1181,52	1187,43	664,08	523,35	2,2576	2,3601	13,2801	82,377	4,343	17,623	75,358	4,343	85	1235,066788	0,931	1150,156	2,3	500,068
6C	6.623	6.383	6	1179,93	1189,72	666,61	523,11	2,2556	2,3601	13,2683	82,304	4,428	17,696	74,980	4,428	80	1162,4158	0,998	1160,478	4	290,120
								2,2547					17,7298	74,8084	4,4670		1242,3319		1190,5045	2,4000	496,2045
6.5A	6.253	6.952	6,5	1178,72	1197,74	674,52	523,22	2,2528	2,3437	14,3562	81,765	3,879	18,235	78,730	3,879	84	1220,53659	0,919	1121,877	3	373,959
6.5B	6.443	6.952	6,5	1171,95	1189,28	657,26	532,02	2,2028	2,3437	14,0376	79,951	6,011	20,049	70,017	6,011	90	1307,717775	0,890	1163,869	1,9	612,563
6.5C	6.543	6.952	6,5	1174,01	1192,49	672,9	519,59	2,2595	2,3437	14,3987	82,007	3,594	17,993	80,026	3,594	85	1235,066788	1,012	1249,476	3,7	337,696
								2,2562					18,1136	79,3781	3,7362		1227,8017		1185,6762	3,3500	355,8275

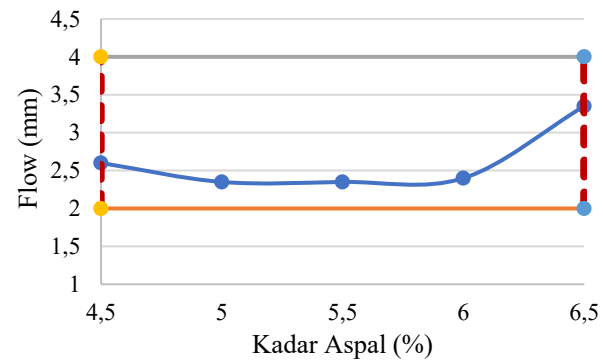
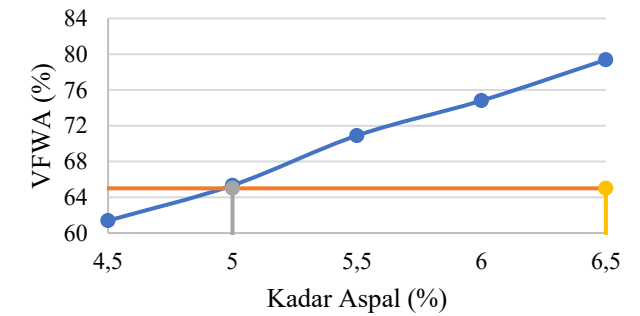
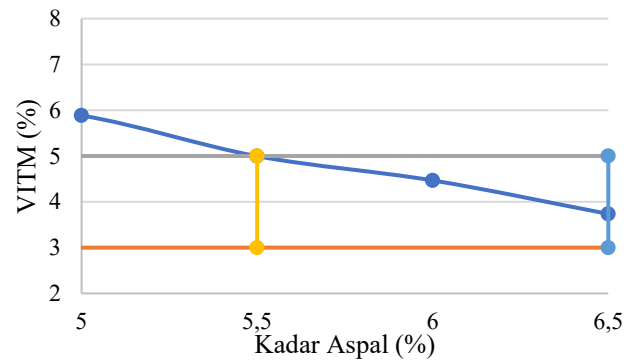
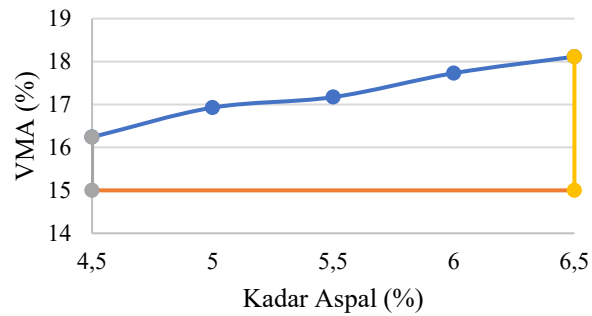
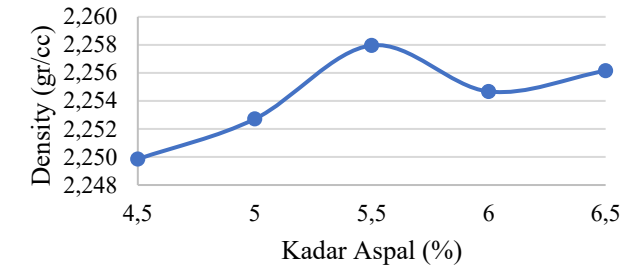
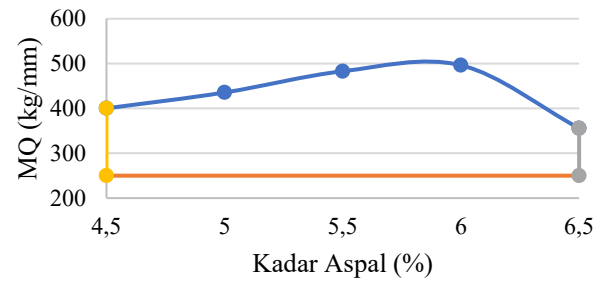
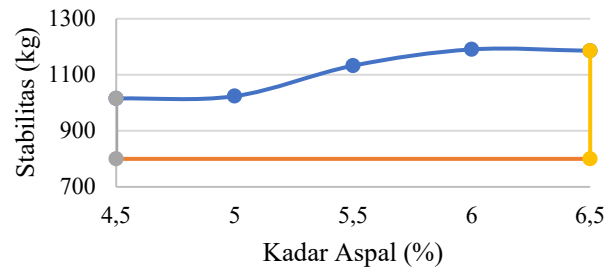
Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030

Lanjutan Lampiran 23. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 100% dengan Bahan Ikat Pen 60/70





**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 24. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 0% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70


SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : Februari 2023
Tipe Campuran : SUPERPAVE
ASPAL STARBIT PG-70


Dikerjakan oleh : Indriasti Yustika Rahman, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

SAMPSEL	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
4.5A	6,700	4,712	4,5	1170,93	1182,32	660,67	521,65	2,2447	2,4131	9,7406	83,281	6,978	16,719	58,261	6,978	70	1017,113825	0,923	938,288	2,46	381,418
4.5B	6,610	4,712	4,5	1173,8	1185,69	662,11	523,58	2,2419	2,4131	9,7285	83,178	7,094	16,822	57,830	7,094	70	1017,113825	0,941	957,358	2,95	324,528
4.5C	6,707	4,712	4,5	1177,69	1183,93	665,77	518,16	2,2728	2,4131	9,8628	84,326	5,811	15,674	62,925	5,811	70	1017,113825	0,921	936,592	3,15	297,331
								2,2587					16,7707	58,0456	7,0362		1017,1138		947,8229	2,8533	352,9730
5A	6,730	5,263	5	1173,84	1190,96	668,44	522,52	2,2465	2,3964	10,8317	82,913	6,256	17,087	63,390	6,256	73	1060,704418	0,915	970,545	3,25	298,629
5B	6,757	5,263	5	1165,27	1182,98	667,56	515,42	2,2608	2,3964	10,9008	83,441	5,658	16,559	65,830	5,658	73	1060,704418	0,908	963,473	2,45	393,254
5C	6,653	5,263	5	1171,39	1189,46	669,12	520,34	2,2512	2,3964	10,8544	83,086	6,059	16,914	64,175	6,059	63	915,4024428	0,933	854,185	0,91	938,665
								2,2560					16,8231	64,6104	5,9568		1060,7044		967,0089	2,8500	345,9417
5.5A	6,587	5,820	5,5	1185,07	1188,72	653,38	535,34	2,2137	2,3800	11,7408	81,271	6,988	18,729	62,689	6,988	65	944,4628378	0,946	893,108	0,95	940,113
5.5B	6,600	5,820	5,5	1189,37	1193,4	666,55	526,85	2,2575	2,3800	11,9733	82,881	5,146	17,119	69,940	5,146	80	1162,4158	0,943	1096,303	3,05	359,444
5.5C	6,473	5,820	5,5	1186,82	1190,65	665,66	524,99	2,2607	2,3800	11,9900	82,996	5,014	17,004	70,513	5,014	80	1162,4158	0,969	1126,575	2,8	402,348
								2,2372					17,0617	70,2264	5,0800		1162,4158		1111,4390	2,9250	380,8959
6A	6,410	6,383	6	1181,96	1187,78	664,18	523,6	2,2574	2,3638	13,0610	82,437	4,502	17,563	74,367	4,502	71	1031,644023	0,985	1016,169	1,95	521,112
6B	6,663	6,383	6	1190,64	1198,08	673,14	524,94	2,2681	2,3638	13,1233	82,830	4,046	17,170	76,434	4,046	65	944,4628378	0,931	879,531	2,3	382,405
6C	6,357	6,383	6	1177,01	1183,75	660,33	523,42	2,2487	2,3638	13,0108	82,120	4,869	17,880	72,767	4,869	71	1031,644023	0,998	1029,925	2,4	429,135
								2,2628					17,7215	73,5669	4,6856		1031,6440		1023,0470	2,1750	475,1239
6.5A	6,713	6,952	6,5	1180,85	1185,97	660,21	525,76	2,2460	2,3478	14,0780	81,585	4,337	18,415	76,449	4,337	67	973,5232328	0,919	894,830	2,3	389,057
6.5B	6,837	6,952	6,5	1178,07	1181,72	653,38	528,34	2,2298	2,3478	13,9763	80,995	5,028	19,005	73,542	5,028	66	958,9930353	0,890	853,504	2,68	318,472
6.5C	6,303	6,952	6,5	1186,78	1195,39	656,37	539,02	2,2017	2,3478	13,8007	79,978	6,222	20,022	68,926	6,222	67	973,5232328	1,012	984,881	2,75	358,139
								2,2157					18,7098	74,9953	4,6826		966,2581		874,1670	2,4900	353,7641

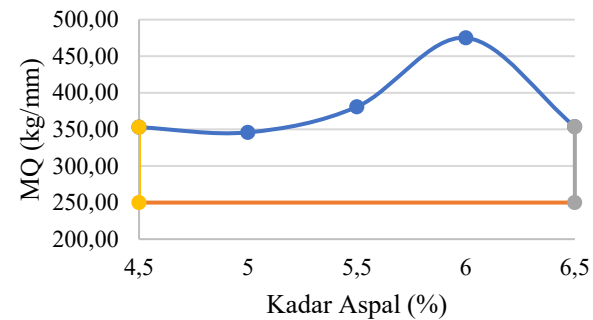
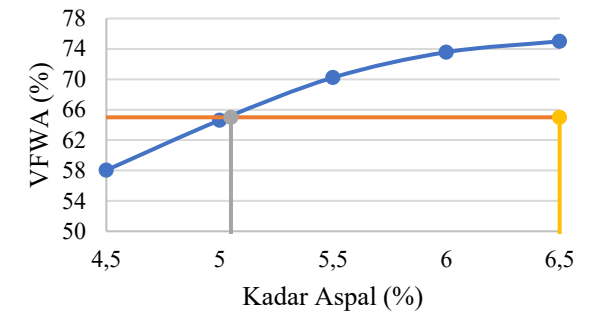
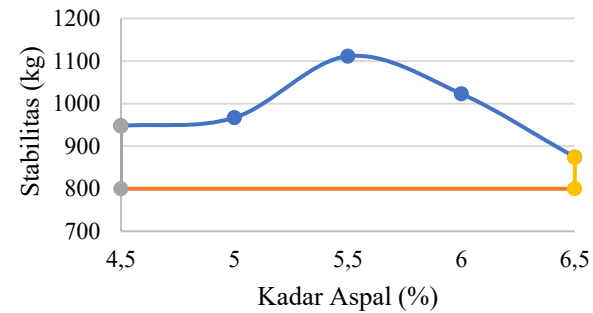
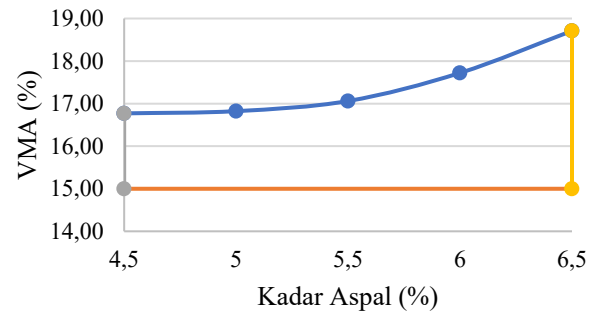
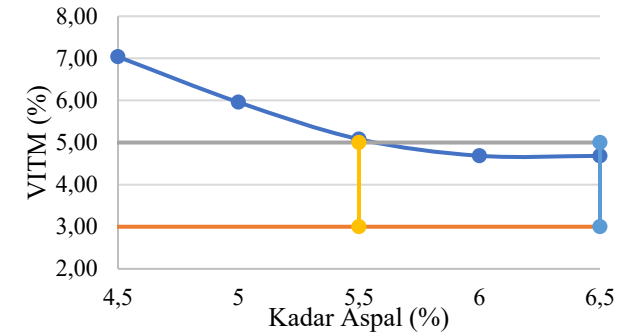
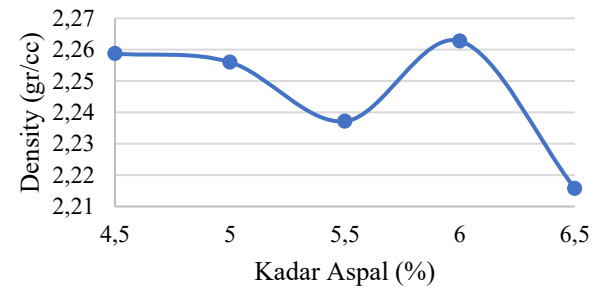
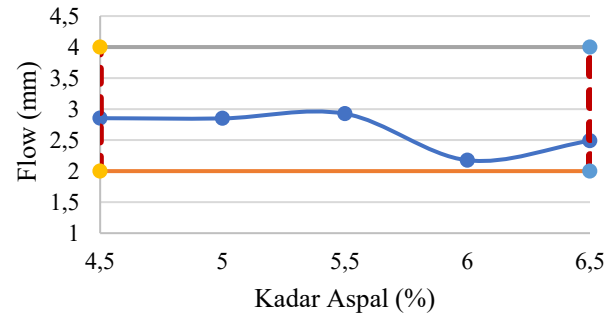
Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti


Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030

Lanjutan Lampiran 24. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 0% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70





**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 25. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 50% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70

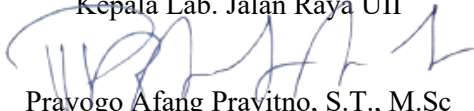
SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : Februari 2023
Tipe Campuran : SUPERPAVE
ASPAL STARBIT PG-70

Dikerjakan oleh : Indriasti Yustika Rahman, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.d.

SAMPLER	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
													VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
4.5A	6,550	4,712	4,5	1180,980	1188,22	667,22	521	2,2668	2,4166	9,8365	83,964	6,200	16,036	61,339	6,200	78	1133,355405	0,923	1045,520	2,73	382,974
4.5B	6,717	4,712	4,5	1175,310	1182,51	662,84	519,67	2,2616	2,4166	9,8143	83,774	6,411	16,226	60,487	6,411	78	1133,355405	0,941	1066,771	2,52	423,322
4.5C	6,790	4,712	4,5	1178,230	1184,86	664,15	520,71	2,2627	2,4166	9,8190	83,815	6,366	16,185	60,667	6,366	54	784,6306653	0,921	722,514	3,02	239,243
								2,2642					16,1309	60,9126	6,3056		1133,3554		1056,1456	2,6250	403,1481
5A	6,940	5,263	5	1181,810	1182,32	660,67	521,65	2,2655	2,3999	10,9234	83,479	5,598	16,521	66,117	5,598	79	1147,885603	0,915	1050,315	2,82	372,452
5B	6,633	5,263	5	1179,660	1187,18	667,8	519,38	2,2713	2,3999	10,9512	83,691	5,358	16,309	67,148	5,358	79	1147,885603	0,908	1042,663	2,49	418,740
5C	6,650	5,263	5	1181,810	1182,32	655,67	526,65	2,2440	2,3999	10,8197	82,686	6,494	17,314	62,492	6,494	71	1031,644023	0,933	962,653	4,24	227,041
								2,2684					16,4152	66,6327	5,4778		1147,8856		1046,4890	2,6550	395,5962
5.5A	6,610	5,820	5,5	1179,660	1187,18	659,8	527,38	2,2368	2,3834	11,8636	81,988	6,149	18,012	65,864	6,149	85	1235,066788	0,946	1167,910	2,83	412,689
5.5B	6,607	5,820	5,5	1182,350	1197,36	674,97	522,39	2,2633	2,3834	12,0043	82,960	5,036	17,040	70,446	5,036	85	1235,066788	0,943	1164,822	2,88	404,452
5.5C	6,537	5,820	5,5	1174,220	1182,59	663	519,59	2,2599	2,3834	11,9860	82,833	5,181	17,167	69,820	5,181	85	1235,066788	0,969	1196,986	2,92	409,927
								2,2616					17,1037	70,1329	5,1086		1235,0668		1180,9040	2,9000	407,1894
6A	6,517	6,383	6	1180,21	1190,38	667,22	523,16	2,2559	2,3671	13,0526	82,250	4,697	17,750	73,536	4,697	90	1307,717775	0,985	1288,102	2,18	590,872
6B	6,650	6,383	6	1170,71	1180,09	660,52	519,57	2,2532	2,3671	13,0370	82,152	4,811	17,848	73,043	4,811	90	1307,717775	0,931	1217,812	2,15	566,424
6C	6,537	6,383	6	1170,71	1180,1	660,02	520,08	2,2510	2,3671	13,0242	82,071	4,905	17,929	72,644	4,905	90	1307,717775	0,998	1305,538	2,57	507,992
								2,2535					17,8886	72,8436	4,8580		1307,7178		1261,6752	2,3600	537,2079
6.5A	6,497	6,952	6,5	1182,78	1188,79	660,96	527,83	2,2408	2,3511	14,0457	81,265	4,689	18,735	74,972	4,689	80	1162,4158	0,919	1068,454	2,86	373,585
6.5B	6,440	6,952	6,5	1187,94	1192,81	668,02	524,79	2,2636	2,3511	14,1887	82,093	3,719	17,907	79,234	3,719	80	1162,4158	0,890	1034,550	2,54	407,303
6.5C	6,447	6,952	6,5	1178,84	1183,37	662,66	520,71	2,2639	2,3511	14,1904	82,102	3,708	17,898	79,285	3,708	80	1162,4158	1,012	1175,977	2,62	448,846
								2,2522					18,1800	77,8301	4,0384		1162,4158		1092,9937	2,6733	409,9116

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

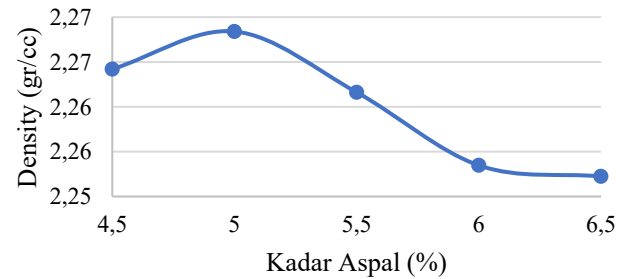
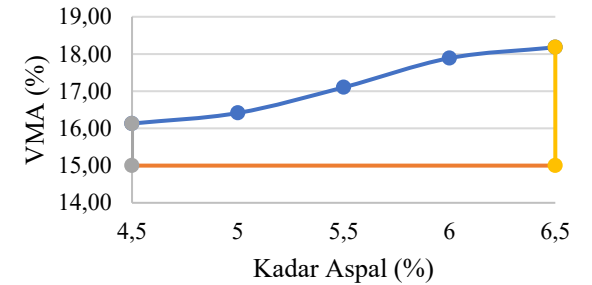
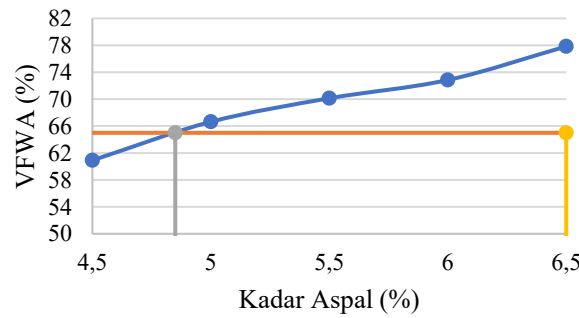
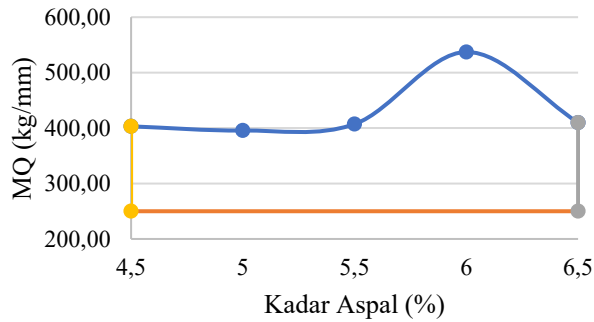
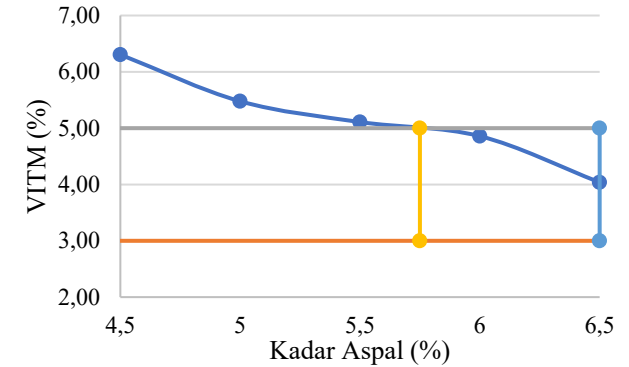
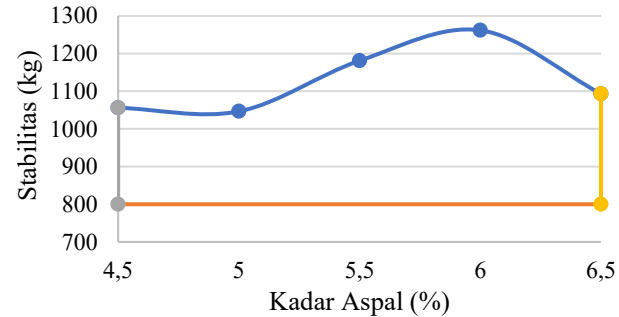
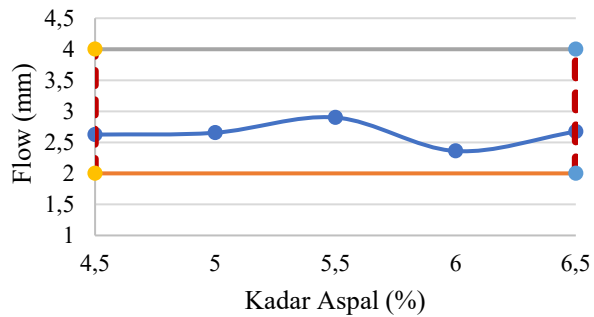

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
 GEDUNG MOHAMAD NATSIR
 Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
 Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
 Tlp : (0274) 898444 ext 3228
 Fax : (0274) 895330
 Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lanjutan Lampiran 25. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 50% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70





**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 26. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL


Tanggal Pengujian : Februari 2023
Tipe Campuran : SUPERPAVE
ASPAL STARBIT PG-70

Dikerjakan oleh : Indriasti Yustika Rahman, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., P.h.d.


SAMPLER	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas	Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)	
4,5A	6,607	4,712	4,5	1187	1192	665,77	526,23	2,2557	2,4149	9,7883	83,620	6,592	16,380	59,757	6,592	75	1089,764813	0,923	1005,308	2,75	365,567
4,5B	6,717	4,712	4,5	1179	1184	658,83	525,17	2,2450	2,4149	9,7420	83,224	7,034	16,776	58,071	7,034	75	1089,764813	0,941	1025,741	2,75	372,997
4,5C	6,673	4,712	4,5	1186	1191	662,02	528,98	2,2421	2,4149	9,7292	83,115	7,156	16,885	57,621	7,156	75	1089,764813	0,921	1003,492	2,35	427,018
								2,2435					16,8305	57,8458	7,0949		1089,7648		1014,6164	2,5500	400,0073
5A	6,477	5,263	5	1188,34	1190,64	670,75	519,89	2,2858	2,3982	11,0210	84,291	4,688	15,709	70,159	4,688	78	1133,355405	0,915	1037,020	2,12	489,160
5B	6,520	5,263	5	1188,59	1193,29	664,61	528,68	2,2482	2,3982	10,8400	82,907	6,252	17,093	63,420	6,252	78	1133,355405	0,908	1029,464	2,84	362,487
5C	6,673	5,263	5	1185,8	1189,58	661,64	527,94	2,2461	2,3982	10,8297	82,829	6,341	17,171	63,069	6,341	78	1133,355405	0,933	1057,562	2,74	385,972
								2,2472					17,1319	63,2445	6,2970		1133,3554		1043,5134	2,7900	374,2296
5,5A	6,590	5,820	5,5	1188,91	1193,43	667,41	526,02	2,2602	2,3817	11,9876	82,910	5,102	17,090	70,146	5,102	85	1235,066788	0,946	1167,910	2,55	458,004
5,5B	6,597	5,820	5,5	1190,97	1196,04	662,82	533,22	2,2335	2,3817	11,8462	81,933	6,221	18,067	65,567	6,221	85	1235,066788	0,943	1164,822	3,12	373,341
5,5C	6,460	5,820	5,5	1187,7	1192,04	662,23	529,81	2,2417	2,3817	11,8897	82,234	5,877	17,766	66,922	5,877	85	1235,066788	0,969	1196,986	2,31	518,176
								2,2510					17,4280	68,5340	5,4893		1235,0668		1182,4478	2,4300	488,0898
6A	6,510	6,383	6	1190	1184,45	654,19	530,26	2,2442	2,3655	12,9847	81,887	5,128	18,113	71,688	5,128	91	1322,247973	0,985	1302,414	2,52	516,831
6B	6,427	6,383	6	1186,52	1187,43	659,08	528,35	2,2457	2,3655	12,9935	81,943	5,063	18,057	71,958	5,063	91	1322,247973	0,931	1231,343	3,24	380,044
6C	6,557	6,383	6	1184,93	1189,72	666,61	523,11	2,2652	2,3655	13,1061	82,653	4,241	17,347	75,552	4,241	91	1322,247973	0,998	1320,044	2,38	554,640
								2,2547					17,7298	73,6202	4,6845		1322,2480		1311,2292	2,4500	535,7357
6,5A	6,630	6,952	6,5	1184,72	1197,74	669,52	528,22	2,2429	2,3495	14,0584	81,404	4,538	18,596	75,597	4,538	88	1278,65738	0,919	1175,299	2,64	445,189
6,5B	6,507	6,952	6,5	1176,95	1189,28	657,26	532,02	2,2122	2,3495	13,8664	80,292	5,842	19,708	70,360	5,842	88	1278,65738	0,890	1138,005	2,63	432,702
6,5C	6,427	6,952	6,5	1179,01	1192,49	672,9	519,59	2,2691	2,3495	14,2230	82,357	3,420	17,643	80,614	3,420	88	1278,65738	1,012	1293,575	3,32	389,631
								2,2560					18,1198	78,1058	3,9792		1278,6574		1234,4371	2,9800	417,4101

Mengetahui

Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

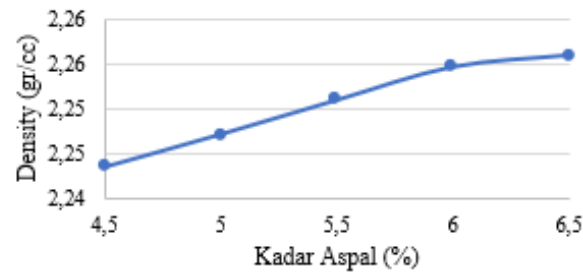
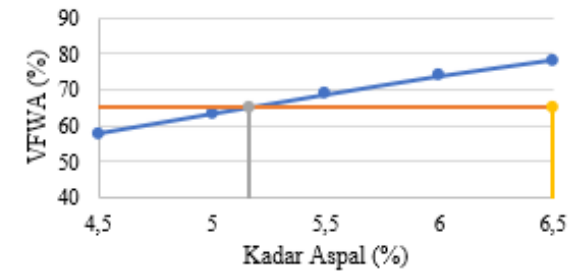
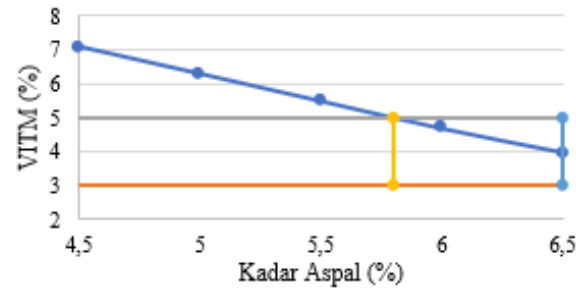
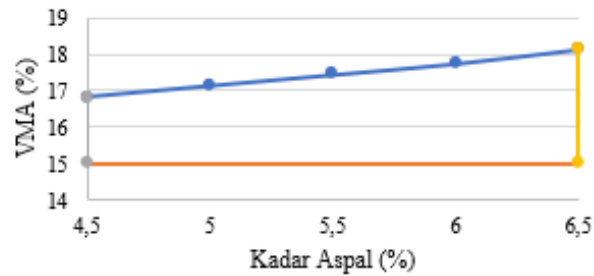
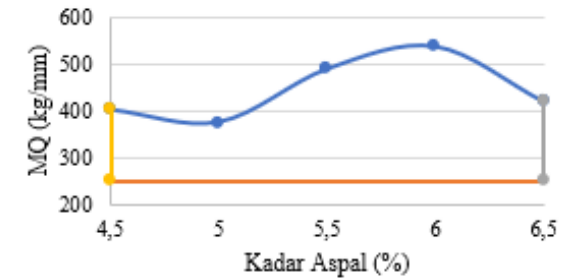
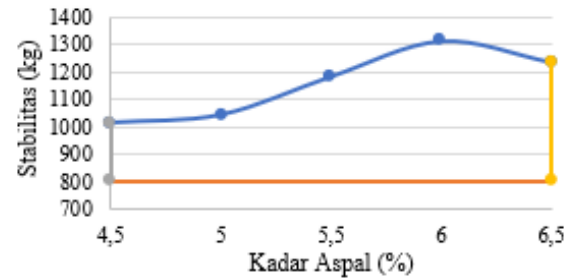
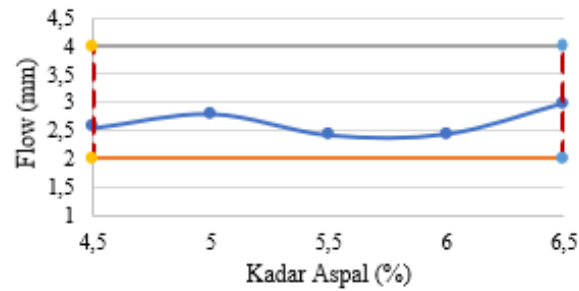

Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
 GEDUNG MOHAMAD NATSIR
 Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
 Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
 Tlp : (0274) 898444 ext 3228
 Fax : (0274) 895330
 Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lanjutan Lampiran 26. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO pada Substitusi Fly Ash 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70





**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

Lampiran 27. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Pen 60/70

Substitusi Fly Ash 0%

Kadar Aspal (Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	933,2988	3,0500	306,2935	6,9645	58,6731	16,8517	2,2411
5	940,6123	2,8500	335,1676	5,8315	65,4985	16,8723	2,2523
5,5	1063,0974	2,9250	364,6339	4,3649	73,8946	16,6123	2,2713
6	1023,0470	2,3000	445,5152	3,7793	77,9428	17,1280	2,2693
6,5	939,8556	2,5250	373,5976	3,1514	82,1516	17,6060	2,2905
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	

Substitusi Fly Ash 50%

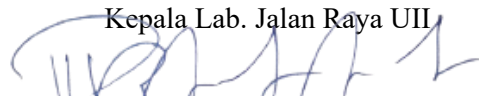
Kadar Aspal (Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	919,7706	3,0000	306,9695	5,7661	63,4948	15,7952	2,2733
5	983,0405	3,2500	302,5133	5,1834	68,2319	16,3162	2,2711
5,5	1063,0974	3,1000	342,9346	4,1387	74,8164	16,4324	2,2799
6	1210,2686	3,2000	378,5173	4,3563	75,3463	17,6436	2,2588
6,5	972,4274	2,7500	353,7101	3,7365	79,3847	18,1237	2,2577
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	

Substitusi Fly Ash 100%

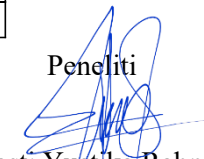
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	1015,3884	2,6000	400,2029	6,2716	61,3863	16,2398	2,2498
5	1023,7160	2,3500	435,5145	5,8843	65,3339	16,9270	2,2527
5,5	1132,5623	2,3500	482,9241	4,9963	70,9037	17,1716	2,2580
6	1190,5045	2,4000	496,2045	4,4670	74,8084	17,7298	2,2547
6,5	1185,6762	3,3500	355,8275	3,7362	79,3781	18,1136	2,2562
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	

Mengetahui

Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti


Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

Lampiran 28. Hasil Pengujian Marshall untuk Mencari KAO dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70

Substitusi Fly Ash 0%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	947,8229	2,8533	352,9730	7,0362	58,0456	16,7707	2,2587
5	967,0089	2,8500	345,9417	5,9568	64,6104	16,8231	2,2560
5,5	1111,4390	2,9250	380,8959	5,0800	70,2264	17,0617	2,2372
6	1023,0470	2,1750	475,1239	4,6856	73,5669	17,7215	2,2628
6,5	874,1670	2,4900	353,7641	4,6826	74,9953	18,7098	2,2157
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	

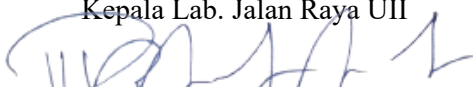
Substitusi Fly Ash 50%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	1056,1456	2,6250	403,1481	6,3056	60,9126	16,1309	2,2642
5	1046,4890	2,6550	395,5962	5,4778	66,6327	16,4152	2,2684
5,5	1180,9040	2,9000	407,1894	5,1086	70,1329	17,1037	2,2616
6	1261,6752	2,3600	537,2079	4,8580	72,8436	17,8886	2,2535
6,5	1092,9937	2,6733	409,9116	4,0384	77,8301	18,1800	2,2522
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	


Substitusi Fly Ash 100%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	1014,6164	2,5500	400,0073	7,0949	57,8458	16,8305	2,2435
5	1043,5134	2,7900	374,2296	6,2970	63,2445	17,1319	2,2472
5,5	1182,4478	2,4300	488,0898	5,4893	68,5340	17,4280	2,2510
6	1311,2292	2,4500	535,7357	4,6845	73,6202	17,7298	2,2547
6,5	1234,4371	2,9800	417,4101	3,9792	78,1058	18,1198	2,2560
Spesifikasi	> 800	2 – 4	>250	4-5	>65	>15	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti


Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030

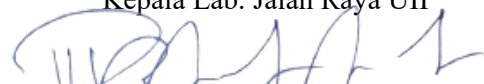


**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**


Lampiran 29. Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70

Fly Ash (%)	Stabilitas (kg)		Flow (mm)		MQ (kg/mm)		VITM (%)		VFWA (%)		VMA (%)		Density (gr/cc)	
	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70	Pen 60/70	Starbit PG-70
0	1263,5072	1395,2703	3,00	2,80	421,6	498,30	4,19	4,92	76,05	71,94	17,48	17,52	2,260	2,253
50	1417,002	1520,4120	2,88	2,60	491,49	585,27	4,14	4,93	76,57	72,22	17,66	17,75	2,261	2,253
100	1526,3470	1606,8497	2,72	2,42	562,58	665,47	4,06	4,79	77,20	73,11	17,78	17,82	2,258	2,251
	> 800		2 – 4		>250		4-5		>65		>15			

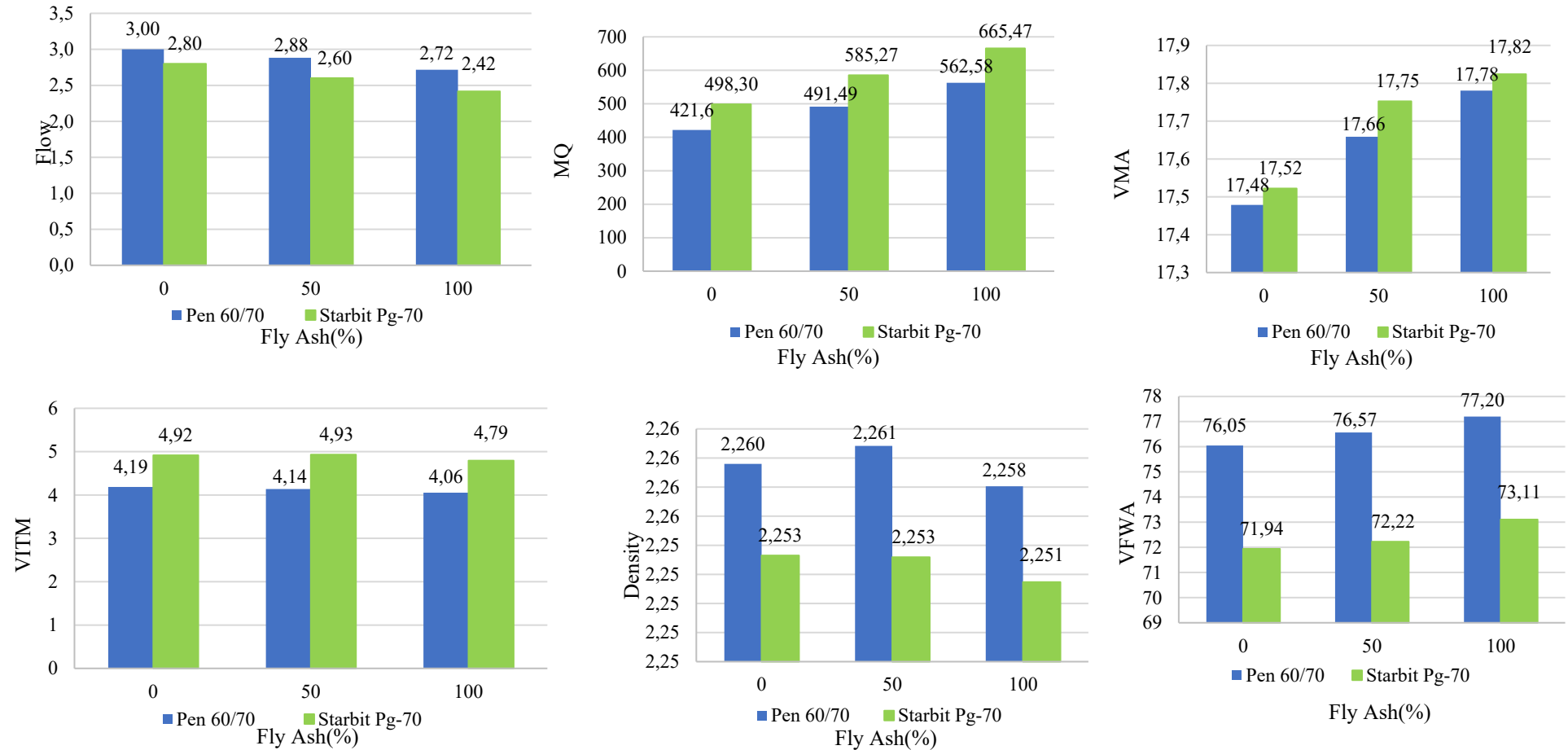
Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti


Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM: 21914030

Lanjutan Lampiran 29. Hasil Pengujian Marshall dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70



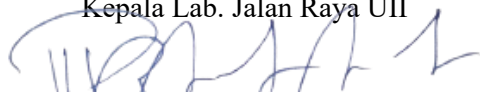


Lampiran 30. Hasil Pengujian IRS dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70

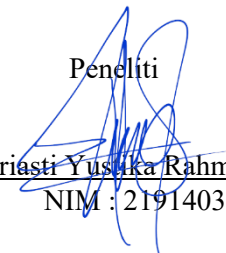
Hasil Pengujian Immersion

Kadar Fly Ash (%)	0,5 Starbit	0,5 Pen	24 Starbit	24 Pen	Starbit PG-70	Pen 60/70
0	1395,27	1263,51	1283,72	1155,44	92,00	91,45
50	1520,41	1417,00	1440,07	1309,97	94,72	92,45
100	1606,85	1526,35	1565,69	1450,21	97,44	95,01

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

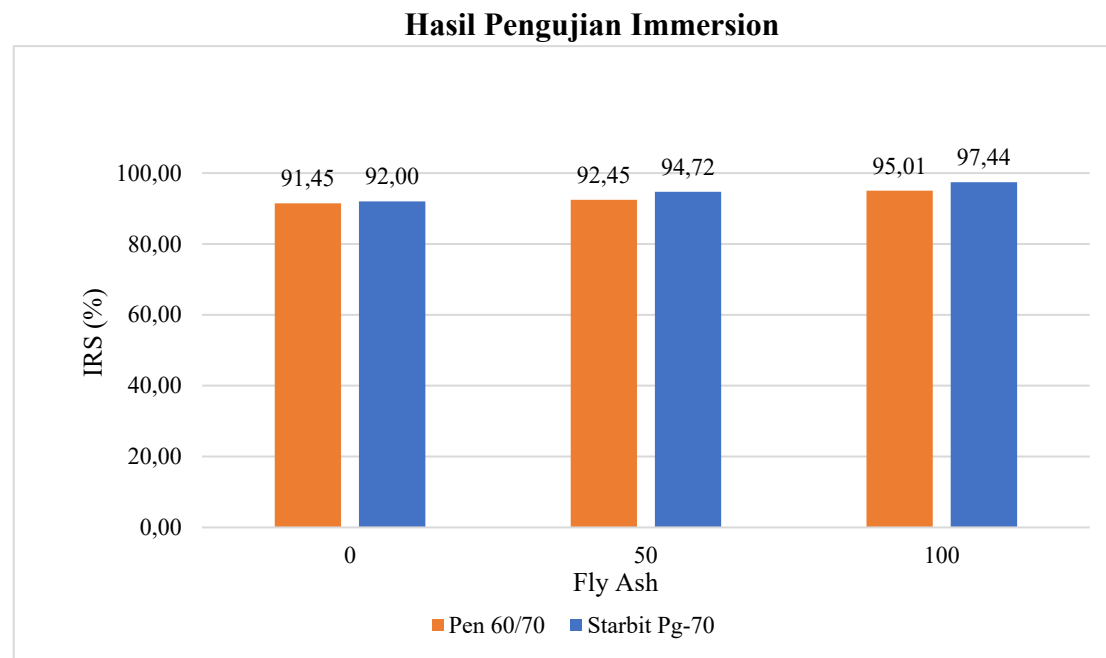

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti


Indriasti Yulika Rahman, S.T.
NIM : 21914030



Lanjutan Lampiran 30. Hasil Pengujian IRS dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70





Lampiran 31. Hasil Pengujian ITS dan TSR dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70

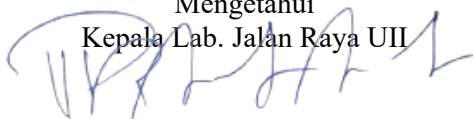
Hasil Pengujian ITS dan TSR dengan Bahan Ikat Starbit PG-70

Kadar Fly Ash	Indirect Tensile Strenght (ITS)		Tensile Strenght Ratio (TSR)
	Rendaman 0,5 Jam	Rendaman 24 Jam	
(%)	(KPa)	(KPa)	(%)
100	107,187	104,311	97,317
50	102,324	96,564	94,371
0	90,752	85,386	94,087

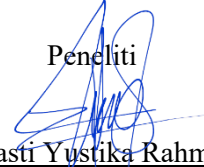
Hasil Pengujian ITS dan TSR dengan Bahan Ikat Pen 60/70

Kadar Karet	Indirect Tensile Strenght (ITS)		Tensile Strenght Ratio (TSR)
	Rendaman 0,5 Jam	Rendaman 24 Jam	
(%)	(KPa)	(KPa)	(%)
100	100,413	96,455	96,058
50	91,054	85,428	93,821
0	78,409	72,850	92,910

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

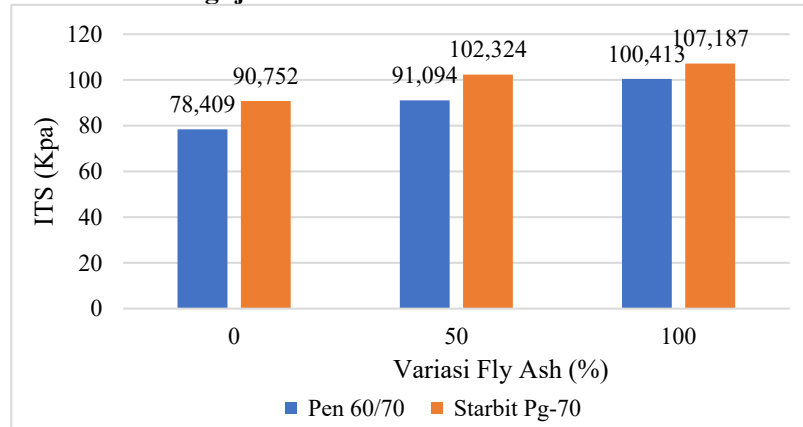
Peneliti


Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030

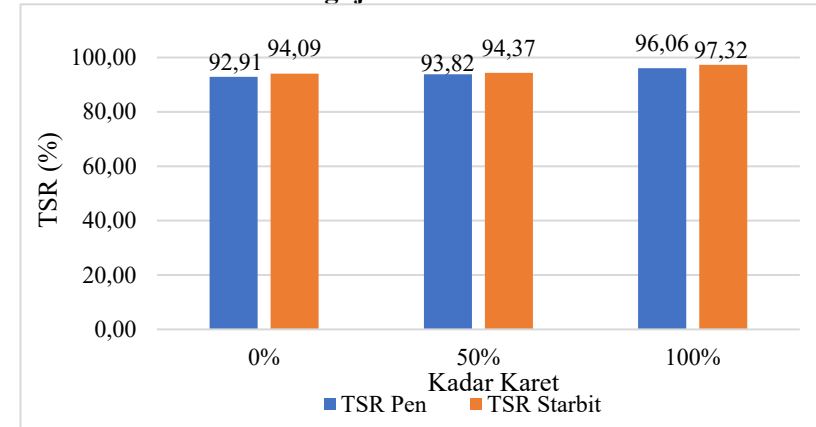


Lanjutan Lampiran 31. Hasil Pengujian ITS dan TSR dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70

Hasil Pengujian ITS



Hasil Pengujian TSR






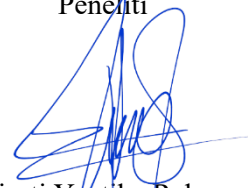
Lampiran 32. Hasil Pengujian Cantabro dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70

Jenis Aspal	Kadar Fly Ash	KEHILANGAN BERAT
Starbit PG-70	0	4,04
	50	2,28
	100	1,76
Pen 60/70	0	4,73
	50	3,81
	100	3,41
SPESIFIKASI		< 35

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII


Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

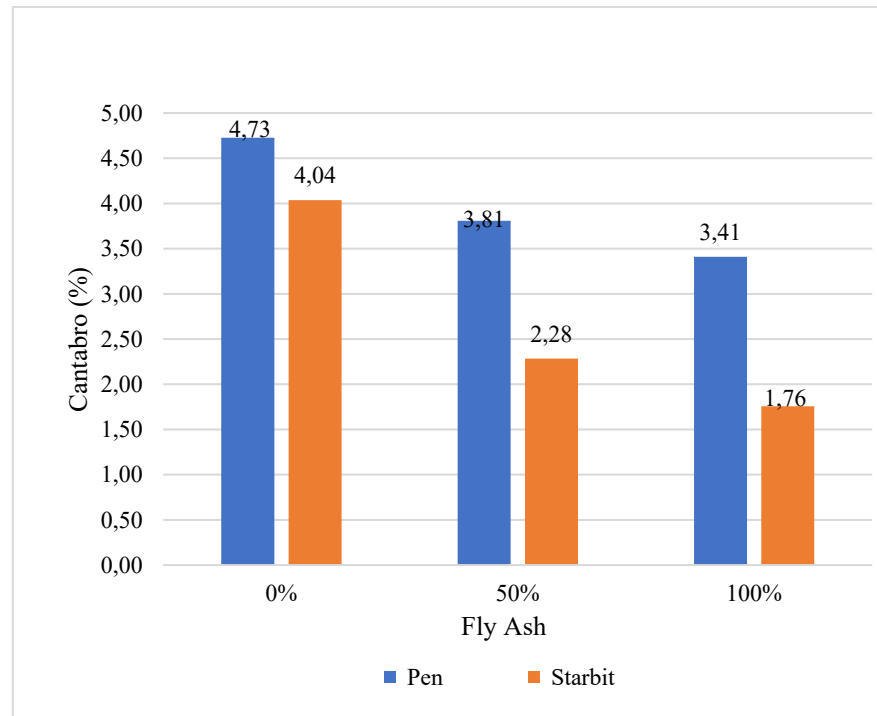
Peneliti


Indriasti Yustika Rahman, S.T.
NIM : 21914030




Lanjutan Lampiran 32. Hasil Pengujian Cantabro dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70

Hasil Pengujian Cantabro

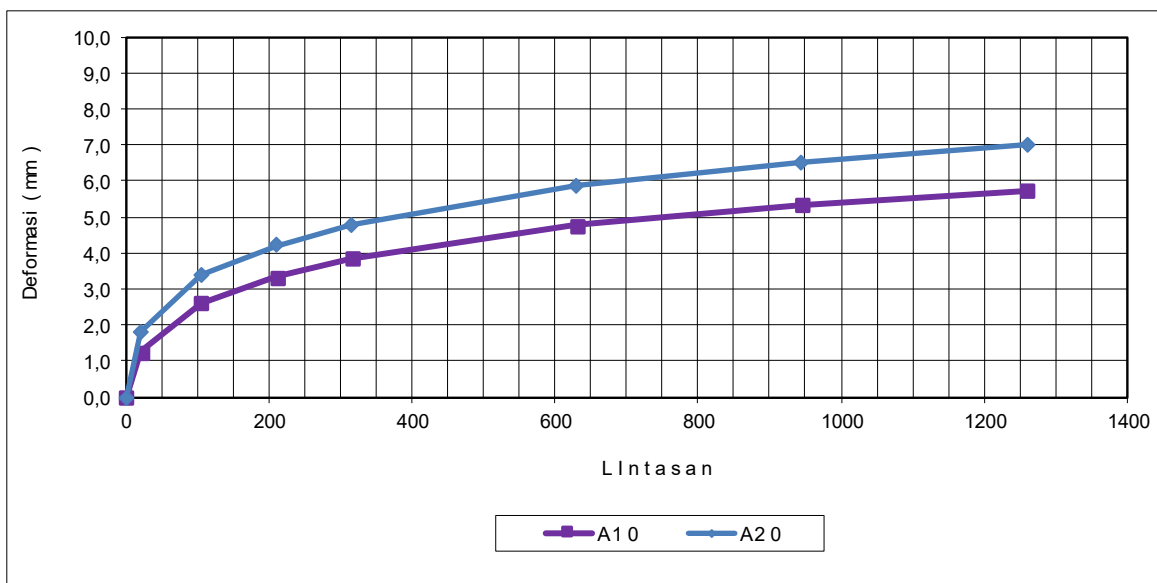


Lampiran 33. Hasil Pengujian *Wheel Tracking* Substitusi Fly Ash 0%, dengan Bahan Ikat Starbit PG-70


 LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN JALAN	<h1>FORMULIR</h1>	No. Formulir	
		Terbitan/Revisi	
	PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS	Tanggal Revisi	
		Halaman 1 dari 1	

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Ull a.n Indriasti
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Beraspal Panas Superpave Temperatur Suhu 60 C **KODE 0%** Fly Ash
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Aspal Starbit Pg-70
4. Diterima tanggal : April 2023
5. Di uji tanggal : April 2023
6. Metode uji : **JRA, 1980**
7. Hasil pengujian :

Waktu	Passing	Jenis contoh uji			Satuan
		A1 0	A2 0		
0	0	0,00	0,00		mm
1	21	1,26	1,79		mm
5	105	2,61	3,40		mm
10	210	3,34	4,21		mm
15	315	3,86	4,77		mm
30	630	4,76	5,85		mm
45	945	5,34	6,53		mm
60	1260	5,73	7,01		mm
DO = Ren Awal		3,8	4,9		mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,0260	0,0320	0,0290	mm/menit
DS = Dinamis Stabilitas		1615,4	1312,5		lintasan/mm

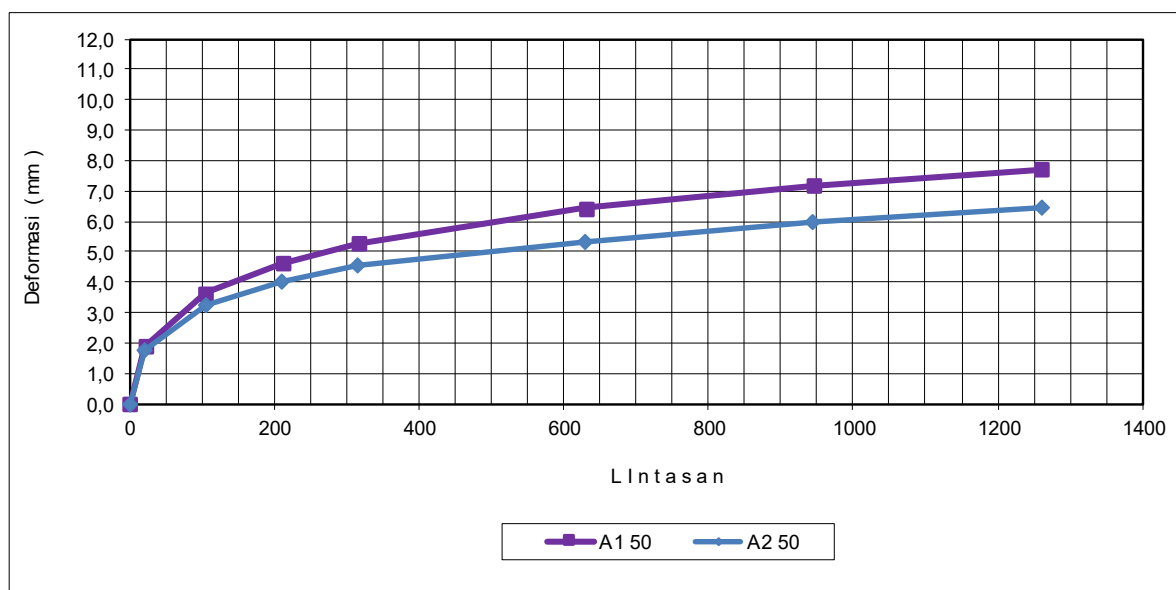


Lampiran 34. Hasil Pengujian *Wheel Tracking* Substitusi Fly Ash 50%, dengan Bahan Ikat Starbit PG-70

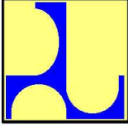
 LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN JALAN	<h1>FORMULIR</h1>	No. Formulir	
		Terbitan/Revisi	
	PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS	Halaman 1 dari 1	

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Ull a.n Indriasti
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Beraspal Panas Superpave Temperatur Suhu 60 C **KODE 50%** Fly Ash
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Aspal Starbit Pg-70
4. Diterima tanggal : April 2023
5. Di uji tanggal : April 2023
6. Metode uji : **JRA, 1980**
7. Hasil pengujian :

Waktu	Passing	Jenis contoh uji			Satuan
		A1 50	A2 50		
0	0	0,00	0,00		mm
1	21	1,89	1,76		mm
5	105	3,65	3,22		mm
10	210	4,63	4,01		mm
15	315	5,26	4,56		mm
30	630	6,43	5,31		mm
45	945	7,17	6,00		mm
60	1260	7,71	6,46		mm
DO = Ren Awal		5,2	4,4		mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,0360	0,0307	0,0333	mm/menit
DS = Dinamis Stabilitas		1166,7	1369,6		lintasan/mm

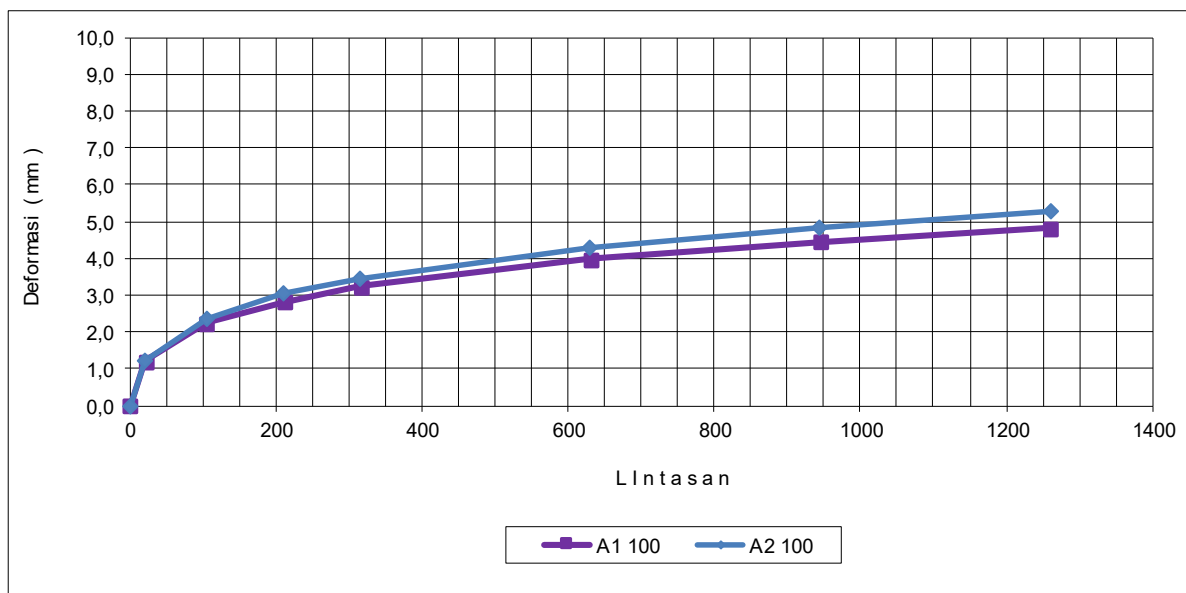


Lampiran 35. Hasil Pengujian *Wheel Tracking* Substitusi Fly Ash 100%, dengan Bahan Ikat Starbit PG-70

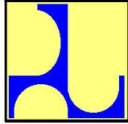
 LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN JALAN	<h1>FORMULIR</h1>	No. Formulir	
		Terbitan/Revisi	
		Tanggal Revisi	
	PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS		Halaman 1 dari 1

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Ull a.n Indriasti
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Beraspal Panas Superpave Temperatur Suhu 60 C **KODE 100%** Fly Ash
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Aspal Starbit Pg-70
4. Diterima tanggal : April 2023
5. Di uji tanggal : April 2023
6. Metode uji : **JRA, 1980**
7. Hasil pengujian :

Waktu	Passing	Jenis contoh uji			Satuan
		A1 100	A2 100		
0	0	0,00	0,00		mm
1	21	1,21	1,22		mm
5	105	2,23	2,37		mm
10	210	2,82	3,03		mm
15	315	3,22	3,46		mm
30	630	3,97	4,30		mm
45	945	4,45	4,83		mm
60	1260	4,81	5,25		mm
DO = Ren Awal		3,1	3,0		mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,0237	0,0280	0,0259	mm/menit
DS = Dinamis Stabilitas		1769,7	1500,0		lintasan/mm

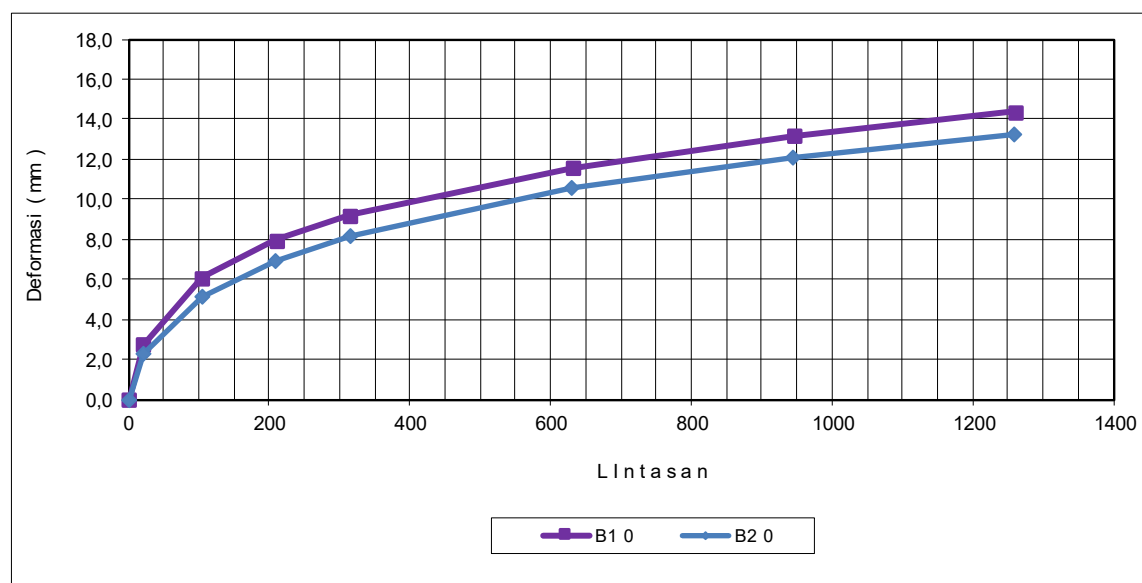


Lampiran 36. Hasil Pengujian *Wheel Tracking* Substitusi Fly Ash 0%, dengan Bahan Ikat Pen 60/70

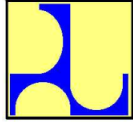
 LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN JALAN	<h1>FORMULIR</h1>	No. Formulir	
		Terbitan/Revisi	
	PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS	Halaman 1 dari 1	

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Ull a.n Indriasti
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Beraspal Panas ACWC Temperatur Suhu 60 C **KODE 0%** fly ash
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Aspal Pen 60/70
4. Diterima tanggal : April 2023
5. Di uji tanggal : April 2023
6. Metode uji : **JRA, 1980**
7. Hasil pengujian :

Waktu	Passing	Jenis contoh uji			Satuan
		B1 0	B2 0		
0	0	0,00	0,00		mm
1	21	2,73	2,31		mm
5	105	6,10	5,16		mm
10	210	7,94	6,91		mm
15	315	9,21	8,19		mm
30	630	11,58	10,56		mm
45	945	13,15	12,05		mm
60	1260	14,38	13,25		mm
DO = Ren Awal		8,9	8,0		mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,0820	0,0800		mm/menit
DS = Dinamis Stabilitas		512,2	525,0		lintasan/mm

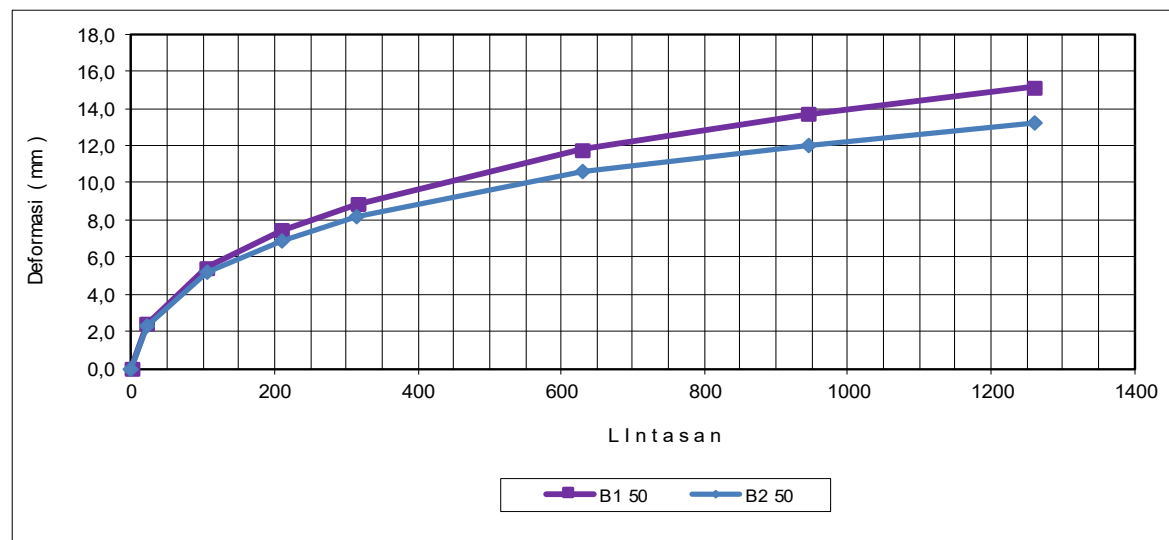


Lampiran 37. Hasil Pengujian *Wheel Tracking* Substitusi Fly Ash 50%, dengan Bahan Ikat Pen 60/70

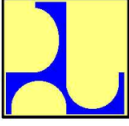
 LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN JALAN	<h1>FORMULIR</h1>	No. Formulir	
		Terbitan/Revisi	
	PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS		Tanggal Revisi
		Halaman 1 dari 1	

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Ull a.n Indriasti
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Beraspal Panas ACWC Temperatur Suhu 60 C **KODE 50%** fly ash
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Aspal Pen 60/70
4. Diterima tanggal : April 2023
5. Di uji tanggal : April 2023
6. Metode uji : **JRA, 1980**
7. Hasil pengujian :

Waktu	Passing	Jenis contoh uji			Satuan
		B1 50	B2 50		
0	0	0,00	0,00		mm
1	21	2,39	2,31		mm
5	105	5,45	5,16		mm
10	210	7,45	6,91		mm
15	315	8,87	8,19		mm
30	630	11,78	10,56		mm
45	945	13,70	12,05		mm
60	1260	15,15	13,25		mm
DO = Ren Awal		8,5	8,0		mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,0967	0,0800	0,0883	mm/menit
DS = Dinamis Stabilitas		434,5	525,0		lintasan/mm

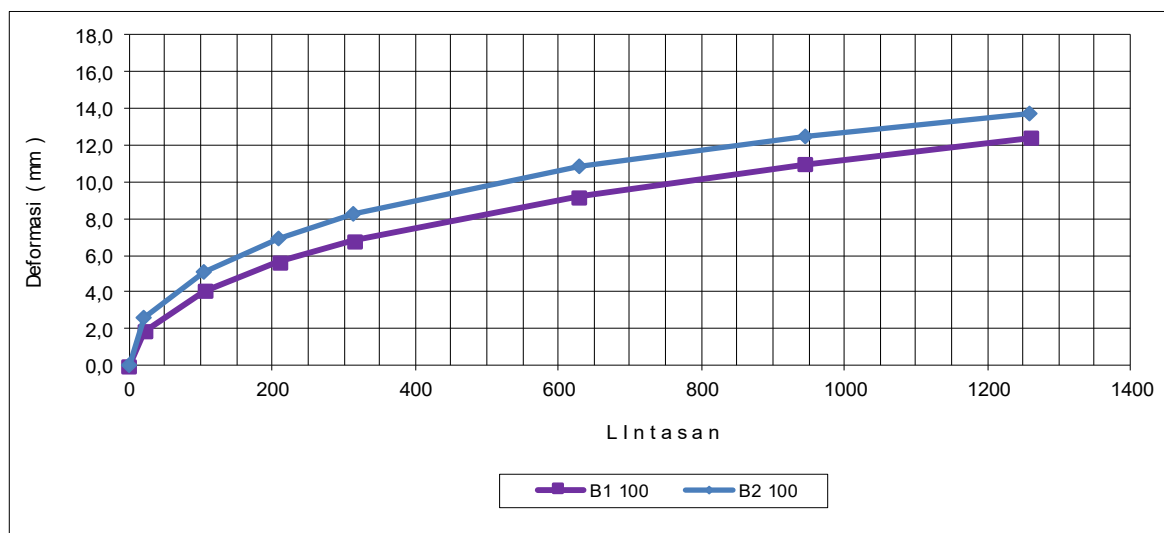


Lampiran 38. Hasil Pengujian *Wheel Tracking* Substitusi Fly Ash 100%, dengan Bahan Ikat Pen 60/70

 LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN JALAN	<h1>FORMULIR</h1>	No. Formulir	
		Terbitan/Revisi	
	PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS		Tanggal Revisi
		Halaman 1 dari 1	

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) UII a.n Indriasti
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Beraspal Panas ACWC Temperatur Suhu 60 C **KODE 100%** fly ash
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Beraspal Panas dengan Aspal Pen 60/70
4. Diterima tanggal : April 2023
5. Di uji tanggal : April 2023
6. Metode uji : **JRA, 1980**
7. Hasil pengujian :

Waktu	Passing	Jenis contoh uji			Satuan
		B1 100	B2 100		
0	0	0,00	0,00		mm
1	21	1,86	2,60		mm
5	105	4,07	5,06		mm
10	210	5,65	6,93		mm
15	315	6,80	8,30		mm
30	630	9,20	10,89		mm
45	945	10,99	12,52		mm
60	1260	12,41	13,71		mm
DO = Ren Awal		6,0	8,0		mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,0947	0,0793	0,0870	mm/menit
DS = Dinamis Stabilitas		443,7	529,4		lintasan/mm





**LABORATORIUM JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta E-mail: lab.jlraya@yahoo.com



Lampiran 39. Nilai *Stiffness Modulus* dengan Substitusi Fly Ash 0%, 50% dan 100% dengan Bahan Ikat Starbit PG-70 dan Pen 60/70

Nilai *Stiffness Modulus*

Fly Ash (%)	Jenis Aspal	Sbit	n	VMA (%)	Smix (Mpa)
0	Aspal Pen 60/70	17,832	7,761	17,479	3674,177
50				17,659	3504,505
100				17,781	3395,431
0	Aspal Starbit PG-70	23,272	7,665	17,522	4938,035
50				17,752	4648,437
100				17,824	4562,998



**LABORATORIUM JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta E-mail: lab.jlraya@yahoo.com



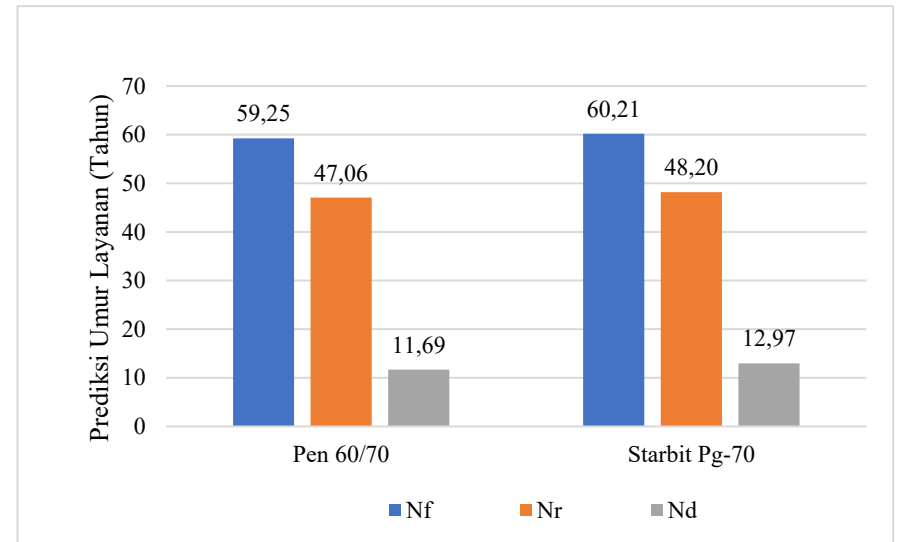
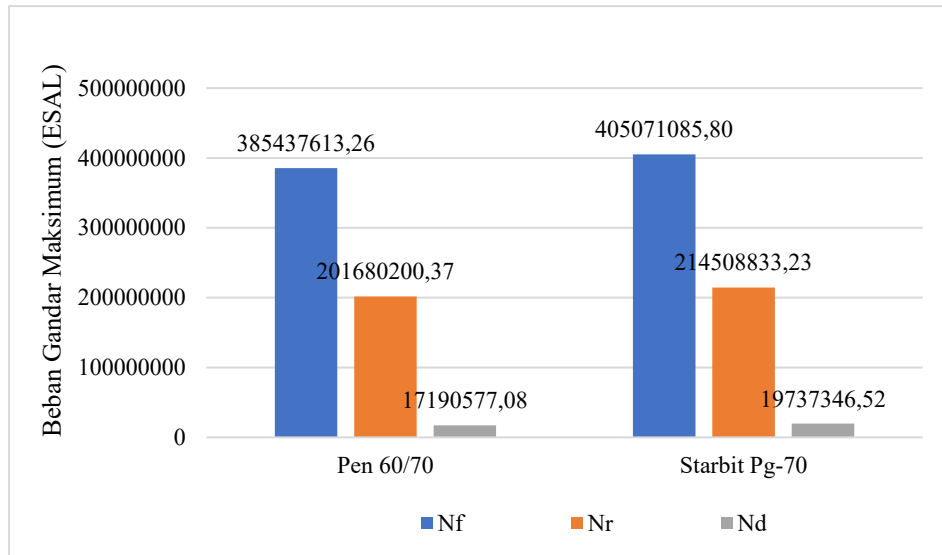
Lampiran 40. Nilai Analisis Kenpave dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70

Hasil Analisis Kenpave

Jenis Bahan Ikat	Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Prediksi Umur Pelayanan (Tahun)
Pen 60/70	<i>Fatigue Cracking</i>	385.437.613	59,3
	<i>Rutting</i>	201.680.200	47,1
	<i>Permanent Deformation</i>	17.190.577	11,7
Starbit PG-70	<i>Fatigue Cracking</i>	405.071.086	60,2
	<i>Rutting</i>	214.508.833	48,2
	<i>Permanent Deformation</i>	19.737.347	13,0

Lanjutan Lampiran 40. Nilai Analisis Kenpave dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit PG-70

Hasil Analisis Kenpave



Lampiran 41. Hasil Analisis *T-test* Pengujian Sifat Fisik Aspal Starbit PG-70 Terhadap Pen 60/70

Penetrasi					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	149,500	1	149,500	560626,562	,000
Within Groups	,001	4	,000		
Total	149,501	5			

Daktalitas					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1344,605	1	1344,605	707687,053	,000
Within Groups	,008	4	,002		
Total	1344,613	5			

Titik Nyala					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3037,365	1	3037,365	3037365001,428	,000
Within Groups	,000	4	,000		
Total	3037,365	5			

Titik Bakar					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2407,205	1	2407,205	1266950,211	,000
Within Groups	,008	4	,002		
Total	2407,213	5			

Lanjutan Lampiran 41. Hasil Analisis *T-test* Pengujian Sifat Fisik Aspal Starbit PG-70 Terhadap Pen 60/70

Kelarutan					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,302	1	,302	302401,500	,000
Within Groups	,000	4	,000		
Total	,302	5			

Berat Jenis					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	,000	1	,000	384,000	,000
Within Groups	,000	4	,000		
Total	,000	5			

Titik Lembek					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	73,500	1	73,500	73,500	,001
Within Groups	4,000	4	1,000		
Total	77,500	5			

Penetration Index					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	2,586	1	2,586	2585953,500	,000
Within Groups	,000	4	,000		
Total	2,586	5			

Lampiran 42. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Karakteristik Marshall

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Flow					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,651 ^a	5	,130	1302,500	,000
Intercept	135,301	1	135,301	1353012,500	,000
Jenis Aspal	,296	1	,296	2964,500	,000
Fly Ash	,347	2	,173	1734,500	,000
Jenis Aspal * Fly Ash	,008	2	,004	39,500	,000
Error	,001	12	,000		
Total	135,954	18			
Corrected Total	,652	17			
a. R Squared = ,998 (Adjusted R Squared = ,997)					

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Lanjutan Lampiran 42. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Karakteristik Marshall

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: MQ					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	109114,427 ^a	5	21822,885	218228854,400	,000
Intercept	5199409,539	1	5199409,539	51994095392,095	,000
Jenis Aspal	37368,312	1	37368,312	373683122,001	,000
Fly Ash	71215,718	2	35607,859	356078589,501	,000
Jenis Aspal * Fly Ash	530,397	2	265,199	2651985,500	,000
Error	,001	12	1,000E-4		
Total	5308523,968	18			
Corrected Total	109114,428	17			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = 1,000)

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: VITM					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2,596 ^a	5	,519	5191,700	,000
Intercept	364,770	1	364,770	3647700,500	,000
Jenis Aspal	2,531	1	2,531	25312,500	,000
Fly Ash	,061	2	,030	303,500	,000
Jenis Aspal * Fly Ash	,004	2	,002	19,500	,000
Error	,001	12	,000		
Total	367,367	18			
Corrected Total	2,597	17			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = ,999)

Lanjutan Lampiran 42. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Karakteristik Marshall

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: VFWA					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	83,142 ^a	5	16,628	166283,600	,000
Intercept	99949,205	1	99949,205	999492050,000	,000
Jenis Aspal	78,877	1	78,877	788768,000	,000
Fly Ash	4,205	2	2,102	21024,500	,000
Jenis Aspal * Fly Ash	,060	2	,030	300,500	,000
Error	,001	12	,000		
Total	100032,348	18			
Corrected Total	83,143	17			
a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = 1,000)					

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Lanjutan Lampiran 42. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Karakteristik Marshall

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: VMA					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,299 ^a	5	,060	597,600	,000
Intercept	5620,120	1	5620,120	56201202,000	,000
Jenis Aspal	,013	1	,013	128,000	,000
Fly Ash	,284	2	,142	1422,000	,000
Jenis Aspal * Fly Ash	,002	2	,001	8,000	,006
Error	,001	12	,000		
Total	5620,420	18			
Corrected Total	,300	17			

a. R Squared = ,996 (Adjusted R Squared = ,994)

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Density					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,000 ^a	5	5,810E-5	58,100	,000
Intercept	91,625	1	91,625	91625184,500	,000
Jenis Aspal	,000	1	,000	264,500	,000
Fly Ash	2,500E-5	2	1,250E-5	12,500	,001
Jenis Aspal * Fly Ash	1,000E-6	2	5,000E-7	,500	,619
Error	1,200E-5	12	1,000E-6		
Total	91,625	18			
Corrected Total	,000	17			

a. R Squared = ,960 (Adjusted R Squared = ,944)

Lampiran 43. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Uji *Immersion*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro*, Kecepatan Deformasi, Stabilitas Dinamis, IDP dan IDK

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Stabilitas					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	222325,114 ^a	5	44465,023	6,301	,004
Intercept	38101101,587	1	38101101,587	5398,819	,000
Jenis Aspal	49825,459	1	49825,459	7,060	,021
Fly Ash	170521,500	2	85260,750	12,081	,001
Jenis Aspal * Fly Ash	1978,155	2	989,077	,140	,871
Error	84687,641	12	7057,303		
Total	38408114,342	18			
Corrected Total	307012,755	17			

a. R Squared = ,724 (Adjusted R Squared = ,609)

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Lanjutan Lampiran 43. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Uji *Immersion*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro*, Kecepatan Deformasi, Stabilitas Dinamis, IDP dan IDK

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: ITS					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1621,272 ^a	5	324,254	21,761	,000
Intercept	162524,962	1	162524,962	10907,041	,000
Jenis Aspal	461,418	1	461,418	30,966	,000
Fly Ash	1133,720	2	566,860	38,042	,000
Jenis Aspal * Fly Ash	26,134	2	13,067	,877	,441
Error	178,811	12	14,901		
Total	164325,045	18			
Corrected Total	1800,083	17			

a. R Squared = ,901 (Adjusted R Squared = ,859)

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: IRS					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	78,369 ^a	5	15,674	15,943	,000
Intercept	158527,103	1	158527,103	161254,854	,000
Jenis Aspal	13,804	1	13,804	14,042	,003
Fly Ash	61,325	2	30,663	31,190	,000
Jenis Aspal * Fly Ash	3,239	2	1,620	1,647	,233
Error	11,797	12	,983		
Total	158617,269	18			
Corrected Total	90,166	17			

a. R Squared = ,869 (Adjusted R Squared = ,815)

Lanjutan Lampiran 43. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Uji *Immersion*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro*, Kecepatan Deformasi, Stabilitas Dinamis, IDP dan IDK

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: TSR					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	44,225 ^a	5	8,845	158,739	,000
Intercept	161250,283	1	161250,283	2893898,644	,000
Jenis Aspal	6,693	1	6,693	120,115	,000
Fly Ash	37,527	2	18,763	336,739	,000
Jenis_Aspal * Fly Ash	,006	2	,003	,051	,950
Error	,669	12	,056		
Total	161295,177	18			
Corrected Total	44,894	17			

a. R Squared = ,985 (Adjusted R Squared = ,979)

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Lanjutan Lampiran 43. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Uji *Immersion*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro*, Kecepatan Deformasi, Stabilitas Dinamis, IDP dan IDK

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Cantabro					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	18,741 ^a	5	3,748	31,775	,000
Intercept	200,739	1	200,739	1701,727	,000
Jenis Aspal	7,459	1	7,459	63,236	,000
Fly Ash	10,466	2	5,233	44,361	,000
Jenis_Aspal * Fly Ash	,816	2	,408	3,457	,065
Error	1,416	12	,118		
Total	220,896	18			
Corrected Total	20,157	17			

a. R Squared = ,930 (Adjusted R Squared = ,901)

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Stabilitas Dinamis					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3474482,679 ^a	5	694896,536	142832,084	,000
Intercept	16519744,336	1	16519744,336	3395540,749	,000
Jenis Aspal	3418357,678	1	3418357,678	702624,239	,000
Fly Ash	32601,025	2	16300,512	3350,479	,000
Jenis_Aspal * Fly Ash	23523,976	2	11761,988	2417,611	,000
Error	58,382	12	4,865		
Total	19994285,397	18			
Corrected Total	3474541,061	17			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = 1,000)

Lanjutan Lampiran 43. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Uji *Immersion*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro*, Kecepatan Deformasi, Stabilitas Dinamis, IDP dan IDK

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: Kecepatan Deformasi					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,011 ^a	5	,002	2258,000	,000
Intercept	,055	1	,055	55112,000	,000
Jenis Aspal	,011	1	,011	11250,000	,000
Fly Ash	3,700E-5	2	1,850E-5	18,500	,000
Jenis_Aspal * Fly Ash	3,000E-6	2	1,500E-6	1,500	,262
Error	1,200E-5	12	1,000E-6		
Total	,066	18			
Corrected Total	,011	17			

a. R Squared = ,999 (Adjusted R Squared = ,998)

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Lanjutan Lampiran 43. Hasil Analisis *Anova* Terhadap Uji *Immersion*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro*, Kecepatan Deformasi, Stabilitas Dinamis, IDP dan IDK

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: IDP					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,142 ^a	5	,028	5669,620	,000
Intercept	1,234	1	1,234	246804,100	,000
Jenis Aspal	,025	1	,025	4972,900	,000
Fly Ash	,111	2	,056	11113,900	,000
Jenis_Aspal * Fly Ash	,006	2	,003	573,700	,000
Error	6,000E-5	12	5,000E-6		
Total	1,376	18			
Corrected Total	,142	17			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = ,999)

Between-Subjects Factors			
		Value Label	N
Jenis Aspal	1	Starbit	9
	2	Pen	9
Kadar Fly Ash	1	0%	6
	2	50%	6
	3	100%	6

Tests of Between-Subjects Effects					
Dependent Variable: IDK					
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	18,790 ^a	5	3,758	3757946,900	,000
Intercept	163,497	1	163,497	163497444,500	,000
Jenis Aspal	3,310	1	3,310	3310164,500	,000
Fly Ash	14,709	2	7,354	7354311,500	,000
Jenis Aspal * Fly Ash	,771	2	,385	385473,500	,000
Error	1,200E-5	12	1,000E-6		
Total	182,287	18			
Corrected Total	18,790	17			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = 1,000)