TUGAS AKHIR

KARAKTERISTIK CAMPURAN *SUPERPAVE* DENGAN PENGGUNAAN LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI *FILLER*
(CHARACTERISTIC OF SUPERPAVE MIXTURE WITH WASTE GLASS USED AS FILLER SUBSTITUTION)

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

Muhammad Dani Taufiq

12511212

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2017

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

KARAKTERISTIK CAMPURAN *SUPERPAVE* DENGAN PENGGUNAAN LIMBAH KACA SEBAGAI PENGGANTI *FILLER*
(CHARACTERISTIC OF SUPERPAVE MIXTURE WITH WASTE GLASS USED AS FILLER SUBSTITUTION)

disusun oleh :

Muhammad Dani Taufiq

12511212

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

oleh Dewan Penguji

Pembimbing	Penguji I	Penguji II
Subarkah,Ir., M.T.	Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.	Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.
17/10 2017		

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

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

PERNYATAAN BEBAS PLAGIAT

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

Yogyakarta, Agustus 2017

Yang membuat pernyataan,

Muhammad Dani Taufiq

(12511212)

iii

DEDIKASI

Saya dedikasikan Tugas Akhir ini kepada:

1. Ibu dan Bapak yang selalu memberikan dorongan baik dari segi materiil maupun non materiil.
2. Bapak/Ibu Dosen dan seluruh karyawan Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan yang telah memberikan pembelajaran hidup di kampus.
3. Teman-teman seperjuangan Teknik Sipil UII 2012.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh.

Alhamdulillah puji syukur penyusun panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayahnya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir tentang Karakteristik Campuran *Superpave* dengan Penggunaan Limbah Kaca sebagai Pengganti *Filler*. Penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari bimbingan dan pengarahan Bapak/Ibu dosen serta pihak yang ikut serta membantu, untuk itu penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Subarkah, M.T. selaku dosen pembimbing,
2. Ibu Miftahul Fauziah., S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen penguji,
3. Ibu Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji,
4. Bapak Kamto dan Bapak Pranoto selaku karyawan Laboratorium Jalan Raya,
5. Semua pihak yang telah membantu terlaksananya Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir tentang Karakteristik Campuran *Superpave* dengan Penggunaan Limbah Kaca sebagai Pengganti *Filler* masih belum sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun, agar dalam penulisan karya ilmiah berikutnya akan lebih baik.

Wassalamu'alaikum Warrahmatullahi Wabarokatuh.

Yogyakarta, September 2017

Penulis,

Muhamad Dani Taufiq

12511212

DAFTAR ISI

Halaman Judul	I
Halaman Pengesahan	II
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	III
DEDIKASI	IV
KATA PENGANTAR	V
DAFTAR ISI	VI
DAFTAR TABEL	IX
DAFTAR GAMBAR	XI
DAFTAR LAMPIRAN	XV
DAFTAR NOTASI	XVI
DAFTAR ISTILAH	XVIII
ABSTRAK	XXI
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	2
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1 Perkerasan Jalan	5
2.2 Penggunaan Kaca Pada Perkerasan Jalan	5
2.3 Campuran *Superpave*	5
2.4 Perbandingan Penelitian	7
BAB III LANDASAN TEORI	9
3.1 Umum	9
3.2 Karakteristik Material Penyusun Perkerasan	9
3.2.1 Aspal	9
3.2.2 Agregat	11

3.2.3 Garadasi Agregat 12
3.2.4 Bahan Pengisi *(Filler)* 12
3.3 Campuran *Superpave* 13
3.4 Karakteristik *Marshall Test* 15
3.3.1 Stabilitas *(Stability)* 15
3.3.2 Kelelehan Plastis *(Flow)* 15
3.3.3 Kepadatan *(Density)* 16
3.3.4 *Void In Material Agregate (VMA)* 16
3.3.5 *Void In The MIX (VITM)* 17
3.3.6 *Void Filled With Asphalt (VFWA)* 17
3.3.7 *Marshall Quotient (MQ)* 18
3.5 *Immersion Test* 19
3.6 *Indirect Tensile Strength (ITS)* 20
3.7 *Permeabilitas (Permeability)* 20
BAB IV METODE PENELITIAN 22
4.1 Bagan Alir Metode Penelitian 22
4.2 Metode Penelitian 23
4.3 Metode Pengambilan Sampel 23
4.4 Metode Pengambilan Data 24
4.5 Tahapan Penelitian 24
4.6 Langkah – Langkah Penelitian 24
4.6.1 Pemeriksaan Bahan 25
4.6.2 Persiapan Alat 27
4.6.3 Rencana Campuran Penelitian 28
4.6.4 Pengujian *Marshall* Standar 33
4.6.5 Pengujian *Marshall* Rendaman *(Immersion Test)* 34
4.6.6 Pengujian *Indirect Tensile Strenght* 35
4.6.7 Pengujian Permeabilitas 35
4.7 Analisis Data 35
BAB V HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN 37
5.1 Hasil Pengujian Dan Spesifikasi Campuran 37

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal 37
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan *Filler* 37
5.1.3 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan Kadar Optimum 38
5.1.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum 61
5.1.5 Kebutuhan *Filler* Kaca pada Kadar Aspal Optimum 64
5.2 Pembahasan 64
5.2.1 Karakteristik Aspal 64
5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar 66
5.2.3 Karakteristik Agregat Halus 67
5.2.4 Karakteristik *Marshall* untuk Mencari KAO 68
5.2.5 Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave* Pada KAO dengan Menggunakan Kaca Sebagai *Filler* Pengganti 82
5.2.6 Karakteristik *Immersion Test* 89
5.2.7 Karakteristik *Indirect Tensile Strength* 91
5.2.8 Permeabilitas 92
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN 94
6.1 Simpulan 94
6.2 Saran 95
DAFTAR PUSTAKA 96
LAMPIRAN 98

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Perbandingan Penelitian Terdahulu	8
Tabel 3. 1	Persyaratan AC 60/70, Spesifikasi Bina Marga	10
Tabel 3. 2	Ketentuan Agregat Kasar	11
Tabel 3. 3	Ketentuan Agregat Halus	12
Tabel 3. 4	Ketentuan *Filler*	13
Tabel 3. 5	Spesifikasi Gradasi Campuran *Superpave*	14
Tabel 3. 6	Klasifikasi Campuran Aspal Berdasarkan Angka Permeabilitas	21
Tabel 4. 1	Batas Gradasi Agregat Campuran *Superpave* Ukuran Nominal Maksimum 25 mm	28
Tabel 4. 2	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 4 %	30
Tabel 4. 3	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 4,5 %	30
Tabel 4. 4	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5 %	31
Tabel 4. 5	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5 %	31
Tabel 4. 6	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6 %	32
Tabel 4. 7	Proporsi *Filler* pada Tiap Kadar Aspal	32
Tabel 4. 8	Jumlah Benda Uji untuk Pengujian KAO	33
Tabel 4. 9	Jumlah Benda Uji untuk Variasi Kadar Aspal dan Kadar *Filler*	33
Tabel 5. 1	Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70	37
Tabel 5. 2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	37
Tabel 5. 3	Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng	38
Tabel 5. 4	Hasil Pengujian *Filler* Clereng	38
Tabel 5. 5	Hasil Pengujian *Filler* Kaca	38
Tabel 5. 6	Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 0%	38
Tabel 5. 7	Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 25%	43

Tabel 5. 8	Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 50%	47
Tabel 5. 9	Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 75%	52
Tabel 5. 10	Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 100%	56
Tabel 5. 11	Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum	61
Tabel 5. 12	Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 0% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,200 %	61
Tabel 5. 13	Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 25% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,225 %	62
Tabel 5. 14	Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 50% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,325 %	62
Tabel 5. 15	Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 75% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,375 %	63
Tabel 5. 16	Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 100% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,350 %	63
Tabel 5. 17	Jumlah *Filler* Kaca pada Kadar Optimum	64
Tabel 5. 18	Nilai Stabilitas dengan Variasi campuran *Filler* Kaca	69
Tabel 5. 19	Nilai *Flow* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca	71
Tabel 5. 20	Nilai *Marshall Quotient* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca	73
Tabel 5. 21	Nilai *VITM* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca	75
Tabel 5. 22	Nilai *VFWA* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca	77
Tabel 5. 23	Nilai *VMA* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca	79
Tabel 5. 24	Nilai *Density* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca	81

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1	Spesifikasi Titik Kontrol dan Daerah Larangan Gradasi *Superpave* untuk Gradasi Agregat Ukuran Nominal Maksimun 25 mm	14
Gambar 4. 1	Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir	22
Gambar 4. 2	Gradasi Agregat *Superpave* Ukuran Nominal Maksimum 25 mm	29
Gambar 5. 1	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 0%	39
Gambar 5. 2	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 0%	39
Gambar 5. 3	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshall* Quotient pada Kadar *Filler* Kaca 0%	40
Gambar 5. 4	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Kadar *Filler* Kaca 0%	40
Gambar 5. 5	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 0%	41
Gambar 5. 6	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Kadar *Filler* Kaca 0%	41
Gambar 5. 7	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 0%	42
Gambar 5. 8	Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 0%	42
Gambar 5. 9	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 25%	43
Gambar 5. 10	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 25%	44
Gambar 5. 11	Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshall Quotient* pada Kadar *Filler* Kaca 25%	44

Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Kadar *Filler* Kaca 25% 45
Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 25% 45
Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Kadar *Filler* Kaca 25% 46
Gambar 5. 15 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 25% 46
Gambar 5. 16 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 25% 47
Gambar 5. 17 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 50% 48
Gambar 5. 18 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 50% 48
Gambar 5. 19 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshall Quotient* pada Kadar *Filler* Kaca 50% 49
Gambar 5. 20 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Kadar *Filler* Kaca 50% 49
Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 50% 50
Gambar 5. 22 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VMA pada Kadar Filler Kaca 50% 50
Gambar 5. 23 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 50% 51
Gambar 5. 24 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 50% 51
Gambar 5. 25 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 75% 52
Gambar 5. 26 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 75% 53

Gambar 5. 27 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshall Quotient* pada Kadar *Filler* Kaca 75% 53
Gambar 5. 28 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Kadar *Filler* Kaca 75% 54
Gambar 5. 29 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 75% 54
Gambar 5. 30 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Kadar *Filler* Kaca 75% 55
Gambar 5. 31 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 75% 55
Gambar 5. 32 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 75% 56
Gambar 5. 33 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 100% 57
Gambar 5. 34 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 100% 57
Gambar 5. 35 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshall Quotient* pada Kadar Filler Kaca 100% 58
Gambar 5. 36 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Kadar *Filler* Kaca 100% 58
Gambar 5. 37 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 100% 59
Gambar 5. 38 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Kadar *Filler* Kaca 100% 59
Gambar 5. 39 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 100% 60
Gambar 5. 40 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 100% 60
Gambar 5. 41 Grafik Hubungan Persentase Kadar Aspal dengan Stabilitas pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca 69

Gambar 5. 42 Grafik Hubungan Persentase Kadar Aspal dengan *Flow* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca 71
Gambar 5.43 Grafik Hubungan Persentase Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca 73
Gambar 5.44 Grafik hubungan persentase kadar aspal dengan *VITM* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca 75
Gambar 5.45 Grafik hubungan persentase kadar aspal dengan *VFWA* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca 77
Gambar 5.46 Grafik hubungan persentase kadar aspal dengan *VMA* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca 79
Gambar 5.47 Grafik hubungan persentase kadar aspal dengan *Density* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca 81
Gambar 5. 48 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan Stabilitas 82
Gambar 5. 49 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *Flow* 83
Gambar 5. 50 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *Marshall Quotient* 84
Gambar 5. 51 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *VITM* 85
Gambar 5. 52 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *VFWA* 86
Gambar 5. 53 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *VMA* 87
Gambar 5. 54 Grafik Hubungan Kadar *Filler* Kaca dengan 88
Gambar 5. 55 Grafik Hubungan Kadar *Filler* Kaca dengan Stabilitas Standar dan *Immersion* 89
Gambar 5. 56 Grafik hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan Nilai *IRS* 90
Gambar 5. 57 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *Indirect Tensile Strength* 91
Gambar 5. 58 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan Koefisien Permeabilitas. 92

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

Lampiran 2 Kelekatan Aspal Terhadap Batuan

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

Lampiran 4 Pemeriksaan Daktilitas

Lampiran 5 Titik Nyala & Titik Bakar Aspal

Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam *Ccl4*

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

Lampiran 8 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Lampiran 9 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Clereng

Lampiran 11 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Kaca

Lampiran 12 Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Lampiran 13 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

Lampiran 14 Pemeriksaan Keausan Agregat

Lampiran 15 Hasil Perhitungan *Marshall Test* Variasi Kadar *Filler* Kaca 0%

Lampiran 16 Hasil Perhitungan *Marshall Test* Variasi Kadar *Filler* Kaca 25%

Lampiran 17 Hasil Perhitungan *Marshall Test* Variasi Kadar *Filler* Kaca 50%

Lampiran 18 Hasil Perhitungan Marshall Test Variasi Kadar *Filler* Kaca 75%

Lampiran 19 Hasil Perhitungan *Marshall Test* Variasi Kadar *Filler* Kaca 100%

Lampiran 20 Rekapitulasi Perhitungan *Immersion Test* Perendaman 0,5 Jam

Lampiran 21 Rekapitulasi Perhitungan *Immersion Test* Perendaman 24 Jam

Lampiran 22 Rekapitulasi Perhitungan *Indirect Tensile Strength Test*

Lampiran 23 Pemeriksaan Permeabilitas Campuran *Superpave*

DAFTAR NOTASI

a	=	Persentase aspal terhadap batuan (%)
b	=	Persentase aspal terhadap campuran (%)
c	=	Berat kering sebelum direndam (gr)
d	=	Berat benda uji jenuh *SSD* (gr)
e	=	Berat benda uji didalam air (gr)
f	=	Volume benda uji (cc)
g	=	Berat isi sampel (gr/cc)
h	=	Berat jenis maksimum teoritis campuran
i	=	Persen aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji dibagi berat jenis aspal (%)
j	=	Persentase hasil pengurangan 100 dengan prosentase aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji dibagi berat jenis agregat (%)
k	=	Jumlah kandungan rongga (%)
l	=	Rongga terhadap agregat (*VMA*) (%)
m	=	Rongga terisi aspal (*VFWA*) (%)
n	=	Rongga dalam campuran (*VITM*) (%)
o	=	Nilai pembacaan arloji stabilitas
p	=	Nilai pembacaan arloji stabilitas dikalikan dengan kalibrasi *proving ring*
q	=	Stabilitas (kg)
r	=	*Flow* (mm)
t	=	Tebal benda uji (cm)
s	=	Angka koreksi tebal benda uji
S_1	=	Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam
S_2	=	Stabilitas setelah direndam selama 24 jam
P runtuh	=	Beban puncak (kg)
h	=	Tinggi sampel (cm)

A_0	=	Konstanta (tabel A_0 terlampir pada lampiran)
K	=	Koefisien permeabilitas (cm/dtk)
V	=	Volume rembesan (cm^3)
γ_{Air}	=	Berat jenis air ($dyne/cm^3$)
L	=	Panjang atau tinggi sampel (cm)
T	=	Lama waktu rembesan (dtk)
P	=	Tekanan air ($kgcm/det^2/cm^2$)
A	=	Luas penampang sampel (cm^2)

DAFTAR ISTILAH

Agregat	:	Sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasiratau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan.
Agregat Halus	:	Butiran yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm).
Agregat Kasar	:	Butiran yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm).
Aspal	:	Bahan padat atau semi padat yang merupakan senyawa hidrokarbon, berwarna cokelat gelap atau hitam pekat yang tersusun atas *aspaltenes*, *maltenes*, dan *oil.*
Asphalt Concrete	:	Lapisan aspal beton.
Bahan Pengisi / *Filler*	:	Butiran yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).
Bleeding	:	Naiknya aspal ke permukaan.
Daktilitas	:	Keuletan, nilai elastisitas aspal.
Deformasi	:	Perubahan bentuk suatu perkerasan setelah menerima beban.
Density	:	Kepadatan, berat campuran yang diukur tiap satuan volume.
Durabilitas	:	Kemampuan lapisan perkerasan menahan keausan dari pengaruh cuaca, air, dan suhu serta gesekan roda kendaraan.
Fleksibilitas	:	Kelenturan, kemampuan beton aspal untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalulintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.
Flexible Pavement	:	Perkerasan Lentur,perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahanikat.

Flow	:	Kelelehan plastis, perubahan bentuk suatu campuran akibat suatu beban sampai batas runtuh, yang dinyatakan dalam satuan milimeter.
Gradasi	:	Susunan butir agregat sesuai ukurannya.
Immersion Test	:	Pengujian perendaman untuk mencari rasio nilai stabilitas.
Index of Retained Strength	:	Indeks perendaman, rasio nilai stabilitas terhadap rendaman standar 0,5 jam.
Indirect Tensile Strength Test	:	Pengujian untuk mengetehui kemampuan material dalam menerima gaya tarik.
Kadar Aspal Optimum	:	Kadar aspal tengah dari rentang gradasi pada spesifikasi gradasi agregat.
Laston	:	Lapisan Aspal Beton, beton aspal bergradasi menerus.
Marshall Test	:	Pengujian untuk mengetehui nilai stabilitas dan nilai kelelehan plastis.
Marshall Quotient	:	Hasil bagi dari stabilitas dan *flow.*
Maximum size	:	Satu saringan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum dimana agregat yang lolos saringan sebanyak 100%.
Permeabilitas	:	Kemampuan lapis perkerasan untuk mengalirkan air
Rigid Pavement	:	Perkerasan Kaku, perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan ikat.
Sand Equivalent	:	Pemeriksaan yang dilakukan untuk mengetahui kadar debu yang menyerupai lempung pada agregat halus.
Stabilitas	:	Kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk seperti gelombang, alur, dan *bleeding.*

VFWA	:	Volume aspal yang dapat mengisi rongga yang ada dalam campuran, dinyatakan dalam % volume.
VITM	:	Volume rongga terhadap volume total campuran setelah dipadatkan, dinyatakan dalam % volume.
VMA	:	Volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat dalam campuran perkerasan, dinyatakan dalam % volume.

ABSTRAK

Bahan pengisi (*filler*) adalah agregat yang lolos pada saringan no.200 pada campuran aspal panas. *Filler* bertujuan untuk meningkatkan kerapatan dan stabilitas massa campuran. Bahan pengisi yang digunakan dalam perkerasan pada umumnya adalah debu batu atau semen. Harga yang cukup tinggi menjadi salah satu faktor untuk mencari inovasi baru memanfaatkan limbah di lapangan. Mengingat pentingnya kegunaan *filler* pada campuran maka perlu dilakukan inovasi bahan penggati *filler* . Salah satunya dengan memanfaatkan limbah kaca. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kelayakan limbah kaca sebagai pengganti *filler* pada campuran *Superpave* ukuran nominal 25 mm dengan melihat karakteristik *Marshall, Index of Retained Strength, Indirect Tensile Strength,* dan Permeabilitas.

Penelitian dilakukan 4 tahap, yaitu tahap pertama pengujian sifat material yang terdiri dari pengujian agregat, aspal dan *filler* kaca. Tahap kedua menentukan kadar aspal optimum pada proporsi *filler* pengganti 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% *filler* kaca. Tahap ketiga melakukan uji *Marshall,* uji *Immersion,* uji *Indirect Tensile Strength,* dan uji Permeabilitas. Tahap keempat melakukan analisis, pembahasan dan pengambilan kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *filler* kaca dapat digunakan sebagai *filler* pengganti dalam campuran *Superpave* ukuran nominal 25 mm. Hasil pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa campuran mengalami perubahan karakteristik *Marshall* cukup signifikan yaitu pada kemampuan campuran menahan beban semakin meningkat dan kelelehan semakin menurun. Hal ini dapat dilihat pada nilai stabilitas mengalami peningkatan, *flow* mengalami penurunan, nilai *MQ* mengalami kenaikan, *VITM* mengalami penurun, *density* mengalami peningkatan, *VFWA* mengalami peningkatan dan *VMA* mengalami penurunan. Keawetan campuran *Superpave* yang diukur ketahananya dalam mempertahankan stabilitas setelah mengalami rendaman yang diukur dengan nilai *Index of Retained Strength* mengalami peningkatan seiring dengan penambahan proporsi *filler* kaca. Hal ini menunjukan bahwa keawetan (*Durability*) semakin meningkat. Kemampuan menahan gaya tarik (*Indirect Tensile Strength*) campuran *Superpave* seiring peningkatan proporsi *filler* kaca menurun. Hal ini menunjukan bahwa campuran dalam menahan kuat tarik semakin menurun sehingga campuran cenderung mudah terjadi retak. Pada pengujian permeabilitas menujukan bahwa campuran termasuk drainase jelek air setelah di tambahkan proporsi *filler* kaca. Nilai permeabilitas pada campuran *Superpave* yang menggunakan kaca sebagai *filler* mengalami peningkatan cukup signifikan mulai dari kadar *filler* kaca 50% sampai 100%.

Kata Kunci : *Superpave*, *Filler* Kaca, Karakteristik *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength,* Permeabilitas.

ABSTRACT

Filler (filler) is an aggregate that passes on filter no.200 on hot asphalt mixture. Filler aims to increase mixed mass density and stability. The fillers used in pavement are generally stone or cement dust. The price is high enough to be one factor to find new innovations utilizing waste in the field. Given the importance of the use of filler in the mixture, it is necessary to innovate the filler material. One of them is by utilizing glass waste. The purpose of this research is to find out the feasibility of glass waste as a substitute of filler on the superpave mixture of nominal size 25 mm by looking at Marshall characteristics, Index of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, and Permeability.

The study was conducted in 4 stages, namely the first phase of testing the material properties consisting of aggregate testing, asphalt and glass filler. The second stage determines the optimum bitumen content in the proportion of replacement filler 0%, 25%, 50%, 75% and 100% glass filler. The third stage performs Marshall test, Immersion test, Indirect Tensile Strength test, and Permeability test. The fourth stage performs analysis, discussion and conclusion from the test results that have been done.

The results showed that the glass filler can be used as a replacement filler in a 25 mm nominal Superpave mixture. The Marshall test results show that the mixture undergoes a change in Marshall characteristics, on the mixture of weight-bearing and melting capabilities. This can be seen in the value of stability increased, flow decreased, MQ value increased, VITM decreased, density increased, VFWA increased and VMA decreased. The durability of the Superpave mixture measured in order to maintain stability after having a bath measured by the value of Index of Retained Strength increased with the addition of glass filler proportions. This shows that durability (Durability) increases. Ability to withstand tensile strength (Indirect Tensile Strength) of Superpave mixture as the proportion of glass filler decreases. This shows that the mixture in holding the tensile strength decreases so that the mixture tends to be easy to crack. The permeability test indicates that the mixture includes poor drainage of water after the added proportion of glass filler. The permeability value of the Superpave mixture that uses glass as filler has increased significantly start from proportion of replacement filler 50% to 100%.

***Keywords**: Superpave, Glass Filler, Marshall Characteristics, Index of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, Permeability.*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut data statistik, Indonesia mendapat gelar menjadi salah satu negara konsumtif terbesar di dunia sehingga tidak mengherankan Indonesia sebagai ladang untuk mencari peruntungan dari produsen dalam negeri maupun luar negeri. Sebagai negara berkembang, dibutuhkan faktor lain guna meningkatkan perekonomian salah satunya yaitu alat transportasi. Melihat kondisi demikian, jumlah volume kendaraan semakin meningkat setiap tahunnya. Maka dari itu, diperlukan saran dan prasaran yang baik guna mendukung kebutuhan tersebut. Salah satu prasarana yang sangat berpengaruh adalah jalan raya.

Jalan raya sebagai salah satu prasaran mempunyai peran penting dalam perkembangan di sektor sosial dan ekonomi. Maka dari itu, diperlukan pengembangan penyediaan prasarana untuk mendapatkan kualitas jalan yang bagus guna melayani pengguna jalan raya agar nyaman dan aman. Salah satu solusi untuk mendapatkan kualitas jalan yang bagus adalah dengan merekayasa jenis campuran, sebagai contoh adalah dengan campuran aspal *Superpave* (*Superior Performing Asphalt Pavements*).

Superpave (*Superior Performing Asphalt Pavements*) adalah sebuah metode yang dikembangkan oleh para peneliti *Strategic Highway Research Program* (*SHRP*) dengan keunggulan dibawah rentang suhu yang beragam dan beban lalu lintas yang tinggi. Para peneliti *Strategic Highway Research Program* (*SHRP*) menitik beratkan 2 bahasan yaitu deformasi permanen (*rutting*) dan suhu rendah yang mengakibatkan retak.

Mengingat permasalahan di atas, menempatkan Indonesia menjadi salah satu negara penyumbang limbah terbanyak di dunia. Salah satu limbah yang sulit untuk di daur ulang dan banyak memakan tempat yaitu kaca.

Kaca berasal dari bahan yang bersifat cair namun memiliki kepadatan tinggi. Atom-atom di dalamnya tidak membentuk suatu jalinan yang beraturan,

seperti kristal, atau biasa disebut gelas. Kaca kebanyakan dibuat dari silika (SiO_2), campuran batu pasir dengan fluks yang menghasilkan kekentalan dan tilik leleh yang tidak terlalu tinggi, untuk kemudian dicampur lagi dengan bahan stabilisator supaya kuat.

Penggantian *filler* telah umum digunakan dalam dunia konstruksi dan memerlukan biaya yang cukup mahal, akan tetapi limbah kaca bisa menjadi solusi sebagai bahan pengisi dan tidak memerlukan biaya yang mahal. Selama ini limbah kaca yang susah didaur ulang selalu dihancurkan agar tidak memakan banyak tempat, dan jarang digunakan untuk hal-hal yang bermanfaat.

Berdasarkan pemikiran tersebut, penulis melihat bahwa pemanfaat limbah kaca pada konstruksi perkerasan sebagai pengganti *filler* bisa menjadi solusi terhadap permasalah limbah kaca yang ada di Indonesia.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggantian *filler* limbah kaca terhadap karakteristik *Marshall* campuran *superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm?
2. Bagaimana pengaruh penggantian *filler* limbah kaca terhadap durabilitas campuran *superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm?
3. Bagaimana pengaruh penggantian *filler* limbah kaca terhadap nilai *Indirect Tensile Strenght* (*ITS*) campuran *superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm?
4. Bagaimana pengaruh penggantian *filler* limbah kaca terhadap nilai permeabilitas pada campuran *superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penggantian *filler* limbah kaca terhadap karakteristik *Marshall* campuran *superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm.

2. Menegetahui pengaruh penggantian *filler* limbah kaca terhadap durabilitas campuran *superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm.
3. Mengetahui pengaruh penggantian *filler* limbah kaca terhadap nilai *Indirect Tensile Strenght* (*ITS*) pada campuran *superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm.
4. Mengetahui pengaruh penggantian *filler* limbah kaca terhadap nilai permeabilitas pada campuran *superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm?

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan tentang teknologi perkerasan lentur khususnya pada campuran *superpave*.
2. Menambah variasi bahan pengganti / *subtitusi* pada campuran *superpave*.
3. Menjadi salah satu solusi untuk permasalahan pengolahan limbah kaca.

1.5 Batasan Penelitian

Mengingat bahwa waktu penelitian ini sangat terbatas dan untuk lebih terfaktornya penelitian ini sehingga tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka penelitian ini hanya di batasi pada hal-hal berikut:

1. *superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm adalah jenis campuran yang digunakan,
2. jenis aspal yang digunakan yaitu aspal keras dengan penetrasi 60/70 dari PT. Pertamina,
3. agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Clereng,
4. bahan substitusi *filler* yang digunakan adalah limbah kaca,
5. pengujian dan analisis kimia terhadap limbah kaca tidak dilakukan,
6. ukuran limbah kaca yang digunakan adalah lolos saringan 200,
7. variasi kadar *filler* Clereng yang diganti adalah 25%, 50 %, 75%, dan 100%,
8. pengujian terdiri dari *Marshal Testl, Immersion Test,* ITS *(Indirect Tensile Strength),* dan *Permeability Test,*

9. penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

BAB II
STUDI PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Sukirman, 2003).

2.2 Penggunaan Kaca Pada Perkerasan Jalan

Setyawan (2013) menunjukan bahwa hasil analisa nilai *Marshall* dengan kadar *filler* kaca 0%, 25%, 50%, 75%, 100% menunjukkan bahwa campuran *HRS - WC* dan *SMA* 0/11 nilai stabilitas, *VFWA, MQ* cenderung mengalami kenaikan, sedangkan nilai *flow, VIM, VMA* cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar *filler*. Dari hasil analisa diperoleh kadar *filler* optimum sebesar 22,75% untuk campuran *HRS - WC* dan 31,50% untuk campuran *SMA* 0/11. Besarnya nilai workabilitas berdasarkan tinjauan faktor kepadatan pada campuran *HRS – WC* dan *SMA* 0/11 cenderung mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar *filler* kaca, sedangkan berdasarkan metode *Cabrera* didapatkan nilai *Workability Index (WI)* yang cenderung mengalami penurunan pada campuran *HRS – WC,* dan cenderung stabil pada campuran *SMA* 0/11 seiring dengan bertambahnya kadar *filler* kaca.

2.3 Campuran *Superpave*

Aminah (2015) menunjukkan bahwa limbah batu andesit dapat digunakan sebagai *filler* pengganti dalam campuran *Superpave,* karena memenuhi semua spesifikasi. Hasil pengujian *marshall* menunjukkan bahwa semakin besar proporsi *filler* batu andesit ke dalam campuran membuat nilai *Marshall Quotient, VITM*

dan nilai *density* mengalami peningkatan, namun tidak signifikan. Nilai stabilitas mengalami penurunan yang signifikan, sedangkan nilai *flow*, *VFWA*, dan *VMA* mengalami penurunan yang tidak signifikan. Penggantian *filler* batu andesit kedalam campuran membuat campuran menjadi lebih tahan terhadap gaya tarik, lebih kedap air dan meningkatkan kemampuan campuran *Superpave* menahan benturan.

Zeelliin (2015) melakukan penelitian dengan judul Evaluasi Kinerja Stabilitas Dinamis Pada Campuran *Superpave* Dengan Tambahan Serat Serabut Kelapa Menggunakan Uji *Marshall* Dan *Uji Wheel Tracking*. Hasil penelitian didapatkan kadar aspal optimum untuk campuran superpave tanpa serat sebesar 6% didapatka nilai stabilitas sebesar 1520 kg untuk perendaman 30 menit dan 1507 kg untuk perendaman 24 jam, setelah didapatkan kadar optimum 6% selanjutnya ditambahakan panjang serat dan mendapatkan kadar panjang serat optimum 1 cm didapatkan nilai stabilitas *Marshall* untuk perendaman 30 menit didapatkan 2723 kg sedangkan untuk perendaman 24 jam didapatkan nilai 2663 kg. Dari data stabilitas pada marshall dengan nilai perendaman yang berbeda maka dapat diketahui nilai indeks kekuatan sisa (IKS) sebesar 97,80%. Untuk pengujian *wheel tracking* didapatkan nilai *dynamic stability (DS)* sebesar 2739,1 lintasan/mm dengan deformasi sebesar 1,98 mm dan kecepatan dinamis sebesar 0,0153 mm/menit. Jika dibandingkan nilai stabilitas pada campuran *superpave* tanpa serat dengan campuran *superpave* yang ditambahkan serat dapat dilihat bahwa dengan penambahan serat nilai dari stabilitas naik sekitar 10% dan dapat diartikan bahwa campuran ini menjadi lebih baik dan lebih kuat dari sebelumnya Hasil studi menunjukan bahwa campuran *superpave* ini dapat digunakan untuk lalu lintas berat kelas 1 (jalan utama) dengan berstandard kan jika nilai stabilitas dinamis lebih besar dari 2500 lintasan/mm maka dapat digolongkan ke kelas jalan utama. Campuran S*uperpave* dengan penambahan serat serabut kelapa ini dapat direkomendasikan untuk diterapkan di jalan utama di wilayah Indonesia walaupun untuk penyiapan bahannya cukup rumit.

Ranski (2014) menunjukkan bahwa secara umum abu ampas tebu layak digunakan sebagai *filler* pengganti untuk campuran S*uperpave*. Semakin besar

persentase penggantian *filler* debu batu Clereng oleh abu ampas tebu ke dalam campuran *Superpave* menghasilkan nilai stabilitas, *VITM, VMA* yang semakin menurun, sedangkan nilai *flow, VFWA, MQ* dan dan *Index of Retained Strength* campuran yang semakin tinggi. Semakin besar proporsi abu ampas tebu semakin besar pula kadar aspal optimum yang dibutuhkan.

2.4 Perbandingan Penelitian

Agregat Clereng merupakan agregat yang sengaja dibuat dengan ukuran yang telah disesuaikan menggunakan mesin *stone crusher*. Ketersediaan agregat tersebut sangat terbatas untuk memenuhi kebutuhan konstruksi. Maka dari itu dibutuhkan alternatif baru guna memenuhi kebutuhan konstruksi. Salah satunya penggantian *filler* pada konstruksi jalan.

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan limbah kaca sebagai pengganti *filler*. Kaca berasal dari bahan yang bersifat cair namun memiliki kepadatan tinggi. Atom-atom di dalamnya tidak membentuk suatu jalinan yang beraturan, seperti kristal, atau biasa disebut gelas. Kaca kebanyakan dibuat dari silika (SiO_2), campuran batu pasir dengan *fluks* yang menghasilkan kekentalan dan tilik leleh yang tidak terlalu tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kaca sebagai pengganti *filler* Clereng terhadap Karakteristik *Marshall* pada campuran *Superpave,* untuk mengetahui nilai KAO (Kadar Aspal Optimum) pada karakteristik nilai uji *Marshall*, sifat-sifat dan karakteristik *Immersion Test*, mengetahui nilai *Indirect Tensile Strength Test*, dan untuk mengetahui nilai Permeabilitas. Adapun persamaan dan perbedaan dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

No.	Aspek	(Setyawan, 2013)	(Aminah, 2015)	(Zeelliin, 2011)	(Ranski, 2014)	(Peneliti, 2017)
1.	Judul	Komparasi Penggunaan *Filler* Kaca pada Campuran *HRS-WC* dan *SMA* terhadap Karakteristik *Marshal* dan Workabilitas	Pengaruh Kadar Limbah Batu Andesit Sebagai *Filler* Pengganti Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave*	Evaluasi Kinerja Stabilitas Dinamis Pada Campuran *Superpave* Dengan Tambahan Serat Serabut Kelapa Menggunakan Uji *Marshall* Dan Uji *Wheel Tracking*	Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai *Filler* Pengganti Terhadap Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave*	Karakteristik Campuran *Superpave* Dengan Penggunaan Limbah Kaca Sebagai Pengganti *Filler*
2.	Jenis Campuran	*HRS* – WC dan *SMA*	*Superpave*	*Superpave*	*Superpave*	*Superpave*
3.	Jenis Aspal	Pertamina pen 60/70	Pertamina pen 60/70	Pertamina pen 60/70	Pertamina pen 60/70	Pertamina pen 60/70
4.	*Filler*	Kaca	Batu Andesit	Serbuk Batu	Ampas Tebu	Kaca

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Umum

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak diantara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanan diharapkan tidak terjadi kerusakan. Agar perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang baik saat pelayanan jalan, maka perkerasan dibuat berlapis-lapis yang diletakkan diatas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Lapisan paling atas disebut juga lapisan permukaan merupakan lapisan yang paling baik mutunya, kemudian lapis pondasi yang terletak di atas lapisan tanah dasar (Sukirman, 2003).

Di dalam konstruksi jalan, ada dua jenis perkersan, yaitu perkerasan kaku *(rigid pavement)* dan perkerasan lentur *(flexible pavement).*

Perkerasan lentur jalan adalah perkerasan campuran beraspal panas yang terdiri dari kombinasi agregat yang dicampur dengan aspal. Pencampuran dilakukan sedemikian rupa sehingga permukaan agregat terselimuti aspal dengan maksimal. Untuk mengeringkan agregat dan mengerjakannya, maka keduanya harus dipadatkan masing-masing pada suhu tertentu (Bina Marga, 1999).

3.2 Karakteristik Material Penyusun Perkerasan

3.2.1 Aspal

Aspal adalah material *thermoplastis* yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2007).

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan menjadi aspal minyak dan aspal alam.

1. Aspal Minyak

Aspal minyak bumi adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Hasil destilasi minyak bumi menghasilkan bensin, minyak tanah, dan solar yang diperoleh pada temperatur berbeda-beda, sedangkan aspal merupakan residunya. Residu aspal berbentuk padat, tetapi dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperatur ruang.

2. Aspal Alam

Aspal alam ada yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di pulau buton, dan ada pula yang diperoleh di pulau Trinidad berupa aspal danau. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau. Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Pulau Buton).

Pada penelitian ini, akan digunakan aspal pen 60/70. Aspal Pertamina Pen 60/70 termasuk aspal hasil residu minyak bumi yang berbentuk padat atau biasa disebut aspal keras. Adapun persyarata aspal pen 60 / 70 dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Persyaratan AC 60/70, Spesifikasi Bina Marga

No	Jenis Pemeriksaan	Metode	Persyaratan
1	Penetrasi 25°C; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60 – 70
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	≥ 48
3	Titik Nyala; °C	SNI 06-2433-1991	≥ 232
4	Kelarutan $CCL_{4,}$ % berat	RSNI M-04-2004	≥ 99
5	Daktilitas 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	≥ 100
6	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	≥ 1,0
7.	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010

3.2.2 Agregat

ASTM *(American Society for Testing And Materials)* 1995 mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar atau berupa fragmen-fragmen.

Pembagian agregat berdasarkan ukuran butiran.

1. Agregat kasar, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih besar dari saringan No. 8 (2,36),
2. Agregat Halus, adalah agregat dengan ukuran butiran lebih halus dari saringan No.8 (2,36),
3. Bahan Pengisi *(filler)*, adalah bagian dari agregat halus yang minimum 75% lolos saringan No.200 (0,0075).

Adapun persyaratan agregat kasar dan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.2 dan Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3. 2 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian	**Standar**	**Nilai**
Abrasi dengan mesin Los Angeles	SNI 2417-2008	Maks. 30%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	SNI 03-6877-2002	95/90
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)		80/75
Partikel pipih dan lonjong	ASTM D4791	Maks. 10%
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%
Berat jenis	SNI-03-1959-1990	Maks.0,2 dari agregat halus
Penyerapan air	SNI-03-1959-1990	Maks. 3%

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010

Tabel 3. 3 Ketentuan Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4428-1997	Maks. 8%
Angularitas (kedalaman dari permukaan <10cm)	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥10cm)		Min. 40
Berat jenis	SNI 03-1970-1990	Mak. 0,2 dari agregat kasar
Penyerapan air	SNI 03-1970-1990	Maks. 3%

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010

3.2.3 Garadasi Agregat

Gradasi agregat adalah suatu campuran agregat yang dinyatakan dalam presentase terhadap berat total. Gradasi agregat diperoleh dari hasil saringan dengan satu set saringan. Hasil dari berat masing-masing material yang tertahan saringan kemudian dinyatakan dalam persen berat agregat.

3.2.4 Bahan Pengisi *(Filler)*

Filler merupakan material pengisi dalam lapisan aspal. Disamping itu, kadar dan jenis *filler* akan berpengaruh terhadap kepadatan lapis perkerasan tersebut.

Adapun ketentuan *filler* pada campuran aspal menurut Bina Marga 2010 adalah:

1. bahan pengisi yang ditambahkan terdiri atas debu batu kapur *(limestone dust)*, kapur padam *(hydrated lime)*, semen atau abu terbang yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaaan,
2. bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 *micron*) tidak kurang dari 75 % terhadap beratnya,

3. semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan tidak kurang dari 1% dan maksimum 2% dari berat total agregat.

   Adapun persyaratan *filler* dapat dilihat Tabel 3.4 di bawah ini.

Tabel 3. 4 Ketentuan *Filler*

Pengujian	Standar	Nilai
Material lolos saringan no.200	SNI 03-6723-2002	Min. 75%

Sumber : Kementrian Pekerjaan Umum Direktorat Jendral Bina Marga, 2010

Pada penelitian ini bermaksud untuk menggunakan limbah kaca sebagai bahan pengganti *filler* pada campuran *Superpave*. Limbah kaca diambil dari sisa-sisa kaca jendela kemudian dihancurkan dengan menggunakan mesin *Los Angels*. Pecahan kaca yang digunakan adalah yang lolos ayakan No.200.

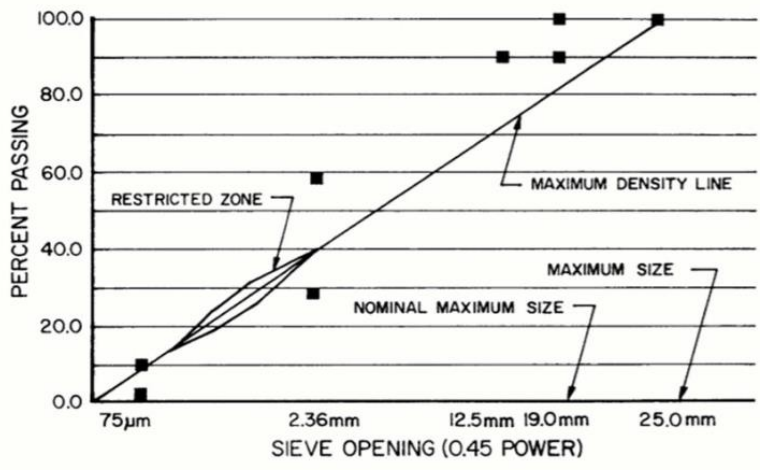
3.3 Campuran *Superpave*

Superpave (*Superior Performing Asphalt Pavements*) adalah salah satu metode perkerasan lentur (*flexible pavment*) yang dikembangkan oleh para peneliti *Strategic Highway Research Program* (*SHRP*). Jenis campuran ini memiliki beberapa keunggulan yaitu tahan dibawah rentang suhu beragam dan beban lalu lintas tinggi. Ciri utama dari gradasi *Superpave* adalah daerah penolakan tertentu (*restricted zone*) yang tidak boleh dilewati target suatu gradasi. *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 oleh pengulangan beban kendaraan lalu lintas. Adapun spesifikasi gradasi yang ditetapkan *superpave* dapat dilihat pada Tabel 3.5 dan Gambar 3.1 dibawah ini.

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	2-10	2-8	1-7	0-0,6
Recomended Restricted Zone					
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

Sumber : SHRP A-407 1994



Sumber: SHRP A-407 1994

Gambar 3. 1 Spesifikasi Titik Kontrol dan Daerah Larangan Gradasi *Superpave* untuk Gradasi Agregat Ukuran Nominal Maksimun 25 mm

Berikut ini penjelasan dari istilah tersebut.

1. *Maximum density line* adalah garis gradasi dimana kondisi campuran memiliki kepadatan maksimum dengan rongga diantara material agregat *(VMA)* yang minimum,
2. *Nominal maximum size* adalah ukuran saringan terbesar dimana agregat yang tertahan saringan tersebut tidak lebih dari 10%,
3. *Maximum size* adalah satu saringan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum dimana agregat yang lolos saringan sebanyak 100%.

3.4 Karakteristik *Marshall Test*

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh campuran aspal beton campuran panas adalah sebagai berikut.

3.4.1 Stabilitas *(Stability)*

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur *(rutting)*, dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas setingkat dengan jumlah lalu lintas dan beban kemdaraan yang akan memakai jalan tersebut. Nilai stabilitas yang dipakai dihitung dengan Persamaan 3.1 sebagai berikut.

$$q = p \times s \times 0{,}4536 \qquad (3.1)$$

Keterangan :

q = stabilitas (kg)

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

s = koreksi tebal benda uji

0,4536 = konversi satuan dari lb ke kg

3.4.2 Kelelehan Plastis *(Flow)*

Kelelehan plastis merupakan keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam

mm atau 0,01 inch. Angka *flow* didapatkan dari pembacaan arloji yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm).

3.4.3 Kepadatan (*Density*)

Density adalah berat campuran yang diukur tiap satuan volume. Meningkatnya kadar aspal diikuti oleh meningkatnya *density*, hal ini dikarenakan aspal melumasi partikel sehingga memudahkan usaha pemadatan untuk mendesak partikel saling berdekatan dan saling mengisi rongga. Nilai kepadatan atau *density* dapat dihitung dengan Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3 sebagai berikut.

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

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

Keterangan:
g = nilai *density* (gr/cc)
c = berat benda uji sebelum direndam (g)
d = berat benda uji dalam keadaan jenuh (g)
e = berat dalam air
f = volume benda uji (cm^3)

3.4.4 *Void In Material Agregate* (*VMA*)

VMA adalah ruang diantara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat) yang dinyatakan dalam persen terhadap volume. Nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal optimum. Bila nilai *VMA* naik, nilai *flow* akan naik, tetapi stabilitasnya akan menurun. Nilai *VMA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.4 dan Persamaan 3.5 sebagai berikut.

$$l = 100 - j \tag{3.4}$$

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

Keterangan :

l = nilai *VMA* (%)

b = presentase aspal terhadap campuran (%)

g = berat isi sempel (gr/cc)

3.4.5 *Void In The MIX* (*VITM*)

Nilai *VITM* (*Void in The Mix)* berkaitan dengan prosentase rongga dalam campuran diantara partikel berselimut aspal. Semakin besar jumlah rongga maka tingkat kepadatannya semakin rendah, dan begitu pula sebaliknya. Nilai *VITM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7 sebagai berikut.

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

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

Keterangan :

n = nilai *VITM*

g = berat isi sampel (gr/cc)

h = berat jenis maksimum teoritis campuran

3.4.6 *Void Filled With Asphalt* (*VFWA*)

VFWA yaitu persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.8 sampai Persamaan 3.12 sebagai berikut.

1. Persentase aspal terhadap campuran

$$b = \frac{a}{100+ a} \, x \, 100 \tag{3.8}$$

Keterangan :

a = persentasi aspal terhadap batuan

b = persentasi aspal terhadap campuran

2. Persentase aspal terhadap agregat

$$m = 100 \; x \frac{i}{l} \tag{3.9}$$

$$i = \frac{b \; x \; g}{BJ \; Aspal} \tag{3.10}$$

$$l = 100 \; - \; j \tag{3.11}$$

$$j = \frac{(100-b \,) x \; g}{BJ \; Agregat} \tag{3.12}$$

Keterangan :

m = *VFWA* (%)

g = berat isi sampel (gr/cc)

b = persentase aspal terhadap campuran

3.4.7 *Marshall Quotient* (*MQ*)

Marshall Quotient (*MQ*) yaitu nilai pendekatan yang hampir menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. Nilai *MQ* diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas yang telah dikoreksi terhadap nilai kelelehan *(flow)*, dan dinyatakan dalam satuan kg/mm atau kN/mm. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.13 sebagai berikut.

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

Keterangan :

MQ = nilai *Marshall Quotient*

q = nilai stabilitas (kg)

r = nilai *flow* (mm)

3.5 *Immersion Test*

Immersion Test atau uji perendaman *marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *marshall* standar, hanya waktu perendaman didalam *waterbath* yang berbeda. Menurut *AASHTO* T.165-74 atau *ASTM* D.1075-54 (1969) ada dua metode uji perendaman *marshall (Immersion Test)* yaitu uji perendaman selama 4 x 24 jam dengan suhu ± 50^{o} C dan uji perendaman selama 1 x 24 jam dengan suhu ± 60^{o} C. Pada penelitian ini dipakai metode uji perendaman *(Marshall)* selama 24 jam dan suhu konstan 60^{o} C sebelum pembebanan diberikan.

Hasil perhitungan indeks tahanan campuran aspal *(Index of Retained Strength)* adalah persentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam (S2) yang dibandingkan dengan stabilitas campuran biasa (S1). Seperti tercantum pada Persamaan 3.14 dibawah ini.

$$\textit{Index of retained strength} = \frac{S2}{S1} \text{ X } 100\% \quad (3.14)$$

Keterangan :

S_1 = stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam

S_2 = stabilitas setelah direndam selama 24 jam

Apabila indeks tahanan campuran lebih atau sama dengan 75%, campuran tersebut dapat dikatakan memiliki tahanan yang cukup baik dari kerusakan akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca.

3.6 *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect Tensile Strength (*ITS*) adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak dilapangan. Gaya tarik biasanya digunakan untuk mengevaluasi potensi retakan pada campuran aspal, sifat dari pengujian ini adalah kegagalan gaya tarik yang berguna untuk memperkirakan potensi retakan.

Inderect Tensile Strenght (*ITS*) *Test* adalah kuat tarik maksimum yang dihitung dari puncak beban. Seperti yang tercantum pada Persamaan 3.15 dibawah ini.

$$ITS = \frac{Pruntuh}{h} \times A_0 \qquad (3.15)$$

Keterangan :

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

P_{runtuh} = beban puncak (kg)

h = tinggi sampel (cm)

A_0 = konstanta

3.7 Permeabilitas *(Permeability)*

Permeabilitas merupakan salah satu dari karakteristik campuran aspal. Menurut Mutohar (2002), permeabilitas yaitu kemampuan permukaan perkerasan untuk menahan rembesan air kedalam perkerasan. Test permeabilitas ini merujuk pada hukum permabilitas dengan Persamaan 3.16 sebagai berikut.

$$K = \frac{V \,.\, L \,.\, \gamma Air}{P \,.A.\, T} \qquad (3.16)$$

Keterangan :

K = koefisien permeabilitas (cm/dtk)

V = volume rembesan (cm^3)

T = lama waktu rembesan terukur (detik)

L = panjang atau tunggi sampel (cm)

P = tekanan air ($kgcm/det^2/cm^2$)

A = luas penampang sampel (cm^2)

γ_{Air} = berat jenis air (gr/cm^3)

Berdasarkan koefisien permeabilitas campuran aspal dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat permeabilitasnya sendiri. Mullen (1967) menetapkan pembagian campuran aspal berdasarkan permeabilitas seperti pada Tabel 3.6 dibawah ini.

Tabel 3. 6 Klasifikasi Campuran Aspal Berdasarkan Angka Permeabilitas

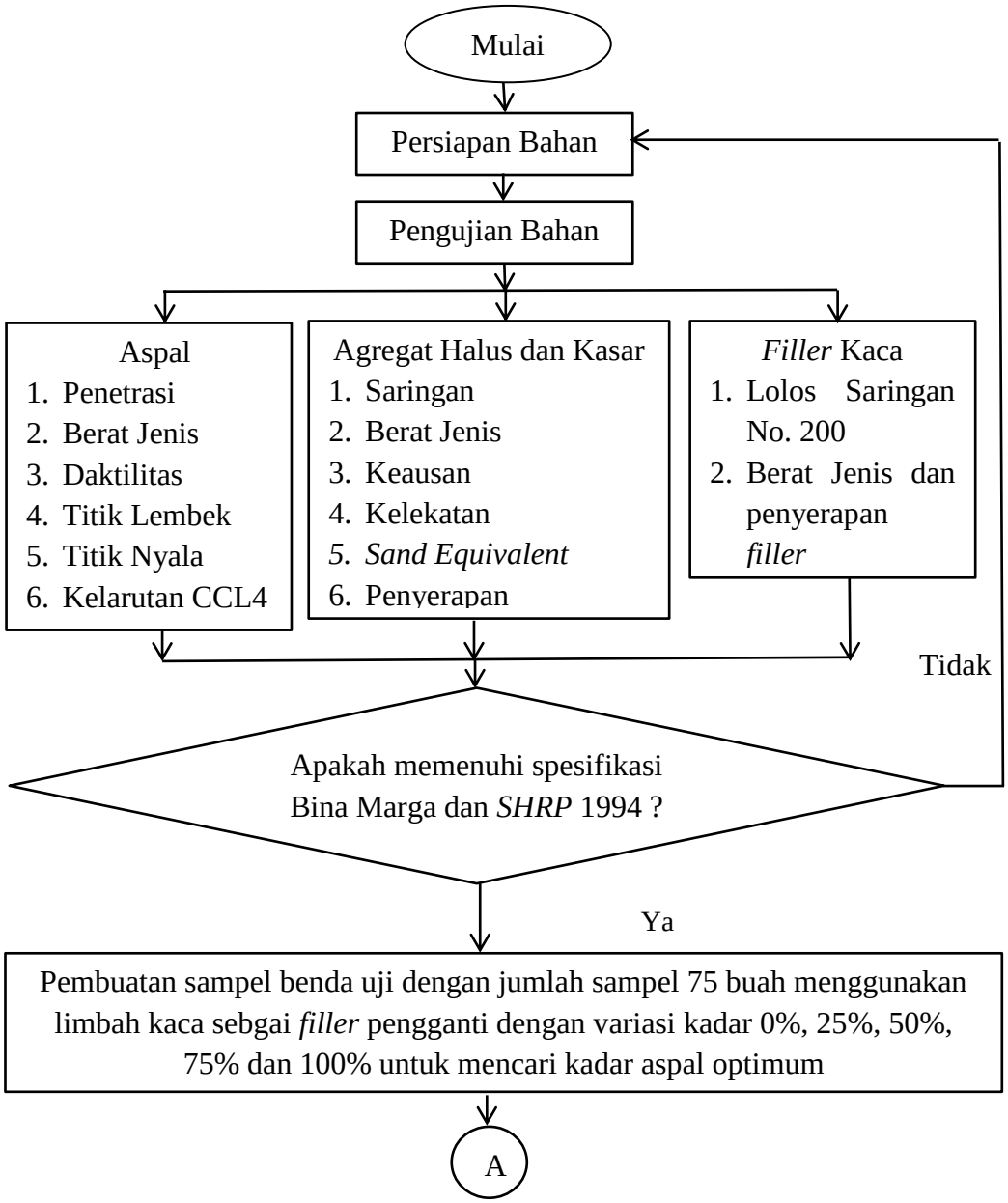
k (cm/detik)	Permeabilitas
1×10^{-8}	*Impervious* (Kedap)
1×10^{-6}	*Practically impervious* (Hampir Kedap)
1×10^{-4}	*Poor drainage* (Drainasi Jelek)
1×10^{-2}	*Fair drainage* (Drainasi Sedang)
1×10^{-1}	*Good drainage* (Drainasi Baik)

Sumber : Mullen (1967) dalam Nur'ubay (2010)

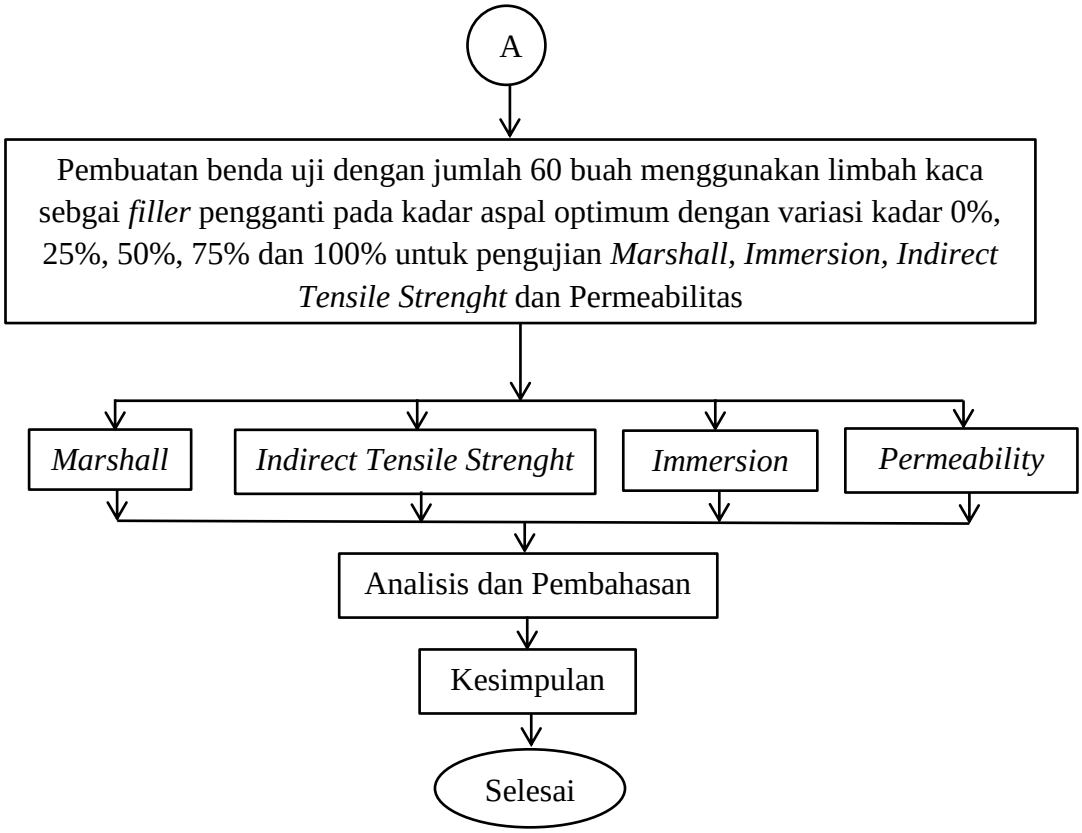
BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Bagan Alir Metode Penelitian

Bagan alir *(flowchart)* adalah gambaran singkat tentang tahapan-tahapan dalam penelitian tugas akhir ini, yang dapat dilihat pada Gambar 4.1



Gambar 4. 1 Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir



Gambar 4.1 Lanjutan Bagan Alir Penelitian Tugas Akhir

4.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen dalam pengambilan maupun pengolahan data dengan memperhatikan syarat – syarat atau standar spesifikasi yang ada. Persyaratan tersebut mengacu pada peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Bina Marga 2010.

4.3 Metode Pengambilan Sampel

Pada penelitian ini menggunakan sampel kaca yang didapat dari limbah kaca jendela. Kaca tersebut dihancurkan sampai menjadi butiran – butiran abu terbang yang mana nanti dicampurkan ke dalam campuran S*uperpave* sebagai pengganti *filler.* Pengambilan sampel dilakukan dengan *nonprobability sampling,* dimana probabilitas elemen populasi yang dipilih tidak diketahui,

teknik ini tidak memberikan peluang yang sama bagi setiap anggota populasi untuk dipilih menjadi sampel yang mana pengambilan sampel berdasarkan tujuan *(purposive sampling)*.

4.4 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan cara melakukan pengujian sampel. Sampel tersebut kemudian dikelompokkan dan selanjutnya dilakukan pengujian terhadap benda uji sehingga diperoleh data yang berupa nilai stabilitas, *Flow*, *Density*, *VITM*, *VFWA*, *Marshall Quotient, VMA, Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength* dan *Permeability*.

4.5 Tahapan Penelitian

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

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. persiapan bahan,
2. pemeriksaan bahan,
3. persiapan alat,
4. langkah-langkah penelitian,
5. pengujian *Marshall* Standar,
6. pengujian perendaman *Marshall (Immersion Test),*
7. pengujian *Indirect Tensile Strength*, dan
8. pengujian *Permeability*.

4.6 Langkah – Langkah Penelitian

Bahan-bahan dan alat – alat yang digunakan dalam penelitian ini perlu diuji terlebih dahulu sebelum digunakan. Hal ini dilakukan untuk mengetahui apakah bahan-bahan dan alat – alat tersebut telah memenuhi syarat-syarat yang telah ditetapkan. Penelitian ini berpedoman pada SNI, *AASHTO, SHRP, ASTM* dan Bina Marga 2010.

4.6.1 Pemeriksaan Bahan

Pengujian bahan dilakukan sebelum digunakan pada campuran perkerasan, pengujian ini meliputi pengujian agregat dan pengujian aspal yang akan dijelaskan sebagai berikut.

1. Pengujian Agregat

   Agregat merupakan salah satu dari komponen utama pada campuran lapis perkerasan jalan raya. Dikarenakan agregat sangat menentukan kualitas, daya dukung, mutu dan keawetan suatu perkerasan maka pengujian terhadap agregat sangat diperlukan baik agregat kasar maupun agregat halus. Pengujian-pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

   a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air oleh Agregat (SNI 1969 :2008 dan SNI 1970 : 2008)

      Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis *(bulk specific grafit)*, berat kering permukaan jenuh *(Saturated Surface Dry = SSD)* dan berat jenis semu *(apparentspecific grafity)*, serta penyerapan dari agregat.

   b. Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal (SNI 06-2439-1991)

      Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kelengketan agregat oleh aspal yang merupakan presentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap keseluruhan luas permukaan.

   c. Pengujian Analisa Saringan

      Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan kasar dengan menggunakan saringan.

   d. Pengujian Keauasan Agregat (SNI-2417 :2008)

      Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Keausan tersebut dinyatakan dalam perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan terhadap berat semula dalam persen.

   e. Pengujian *Sand Eqivalent* (SNI 3423 : 2008)

      Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar debu dan lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah aau agregat halus.

2. Pengujian Aspal

Kualitas aspal yang digunakan dapat diketahui dari pengujian-pengujian sebagai berikut.

a. Pengujian Berat Jenis Aspal (SNI 06-2441-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mencari berat jenis bitumen dengan picnometer. Berat jenis bitumen merupakan perbandingan antara berat bitumen dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.

b. Pengujian Penetrasi (SNI 06-2456-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan tingkat kekerasan aspal dengan cara memasukan jarum yang memiliki ukuran, beban dan waktu tertentu kedalam aspal bersuhu yang telah ditetapkan.

c. Pengujian Daktilitas (SNI 06-2432-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Aspal dengan nilai daktilitas yang lebih besar dapat mengikat butir-butir agregat lebih baik tetapi akan lebih peka terhadap perubahan temperatur.

d. Pengujian Kelarutan dalam TCE (ASTM D5546)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar bitumen yang larut dalam TCE.

e. Pengujian Titik Lembek (SNI 06-2434-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titil lembek aspal. Titik lembek merupakan suhu pada saat bola-bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun kesuatu lapisan aspal yang tertekan dalam cincin ukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak dibawah cincin pada ketinggian yang telah ditentukan sebagai akibat dari kecepatan pemanasan.

f. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI 06-2433-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan titik nyala dan titik bakar dari semua jenis hasil minyak bumi, kecuali minyak bakar dan bahan

lainnya yang mempunyai titik nyala *open cup*. Titik nyala merupakan suhu yang terlihat nyala singkat pada suatu titik diatas permukaan aspal, sedangkan titik bakar adalah suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik pada suatu permukaan aspal.

4.6.2 Persiapan Alat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Adapun alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Alat tekan *Marshall* yang terdiri sebagai berikut.
   a. Kepala penekan yang berbentuk lengkung *(breaking head).*
   b. Cincin penguji yang berkapasitas 2500 kg (5000 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001”).
   c. Arloji penunjuk kelelehan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01”) dengan perlengkapannya.
2. *Oven*, alat untuk memansaskan bahan yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai (200 ± 3)°C.
3. Cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm (4”) dan tinggi 7,5 cm (3”) dilengkapi dengan pelat atas dan leher sambung.
4. *Ejector*, alat untuk mengeluarkan benda uji yang telah dipadatkan dari cetakan.
5. *Compactor*, alat penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg (10 pound) dan tinggi jatuh beban 45,7 cm (18”).
6. Bak perendam *(waterbath)* dengan pengatur suhu minimum 20°C.
7. Perlengkapan-perlengkapan lainnya, seperti :
   a. panci-panci untuk memanasi agregat, aspal, dan campuran aspal,
   b. pengukur suhu dari logam *(metal thermometer)* berkapasitas 250°C dan 100°C,
   c. timbangan kapasitas 5 kg dengan ketelitian 0,1 gram,

d. spatula,
e. sarung tangan karet,
f. sendok pengaduk,
g. kompor, dan
h. perlengkapan lainnya.

4.6.3 Rencana Campuran Penelitian

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

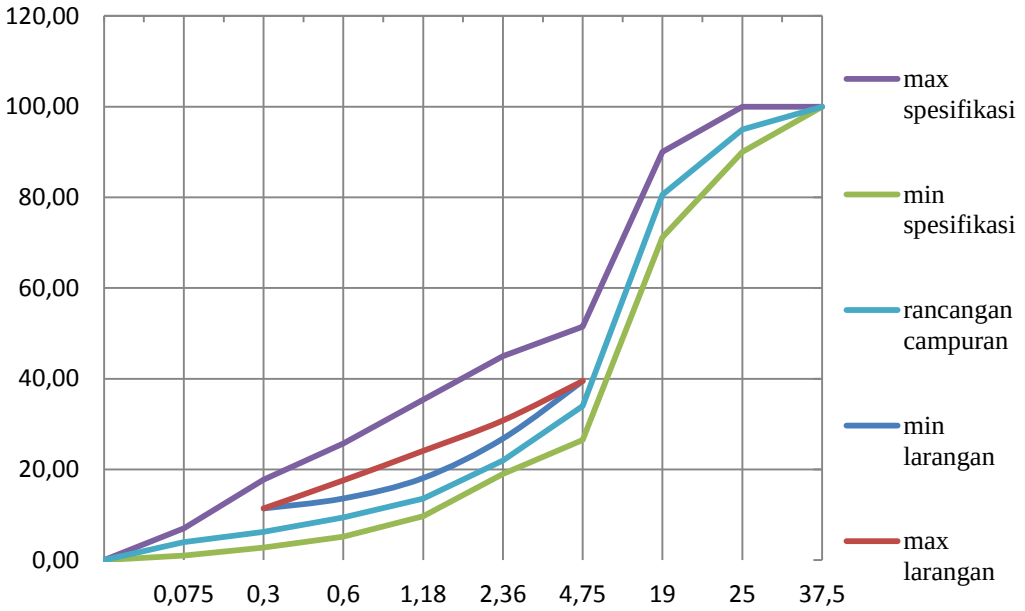
Gradasi agregat yang digunakan dalam campuran adalah gradasi menerus *Superpave* dengan ukuran nominal maksimum 25 mm yang ditujukan pada perhitungan % gradasi rencana gradasi tengah dari gradasi agregat gabungan.

Rencana gradasi agregat dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.2 di bawah ini.

Tabel 4. 1 Batas Gradasi Agregat Campuran Superpave Ukuran Nominal Maksimum 25 mm

Ukuran saringan			Zona Larangan		Spesifikasi		Jumlah Persen (%)	
			Min	Max	Min	Max	Lolos	Tertahan
1 1/2 "	37,5	mm			100,00	100,00	100,00	0,00
1 "	25	mm			90,00	100,00	95,00	5,00
3/4 "	19	mm			71,18	90,00	80,59	19,41
No. 4	4,75	mm	39,5	39,5	26,50	51,46	33,98	66,02
No. 8	2,36	mm	26,8	30,8	19,00	45,00	22,00	78,00
No. 16	1,18	mm	18,1	24,1	9,70	35,38	13,54	86,46
No. 30	0,6	mm	13,6	17,6	5,14	25,73	9,43	90,57
No. 50	0,3	mm	11,4	11,4	2,77	17,74	6,26	93,74
No. 200	0,075	mm			1,00	7,00	4,00	96,00
pan					0,00	0,00	0,00	100,00

Sumber: *SHRP* A-407 1994



Sumber: *SHRP* A-407 1994

Gambar 4. 2 Gradasi Agregat *Superpave* Ukuran Nominal Maksimum 25 mm

Setelah perencanaan gradasi agregat, selanjutnya dicari perkiraan kadar aspal optimum rencana. Perkiraan kadar aspal optimum dapat dicari memakai Persamaan 4.1 di bawah ini.

$$Pb = 0{,}035\,(\%CA) + 0{,}045\,(\%FA) + 0{,}18\,(\%FF) + Konstanta \quad (4.1)$$

Keterangan:

Pb = kadar aspal perkiraan

CA = agregat kasar tertahan saringan no. 8

FA = agregat halus lolos saringan no. 8 dan tertahan no. 200

FF = agregat halus lolos saringan no. 200

Konstanta = 0,5 – 1

Pb = *0,035 (%CA) + 0,045 (% FA) + 0,18 (% Filler) + Konstanta*

= 0,035 (62.1 %) + 0,045 (33.9%) + 0,18 (4 %) + 0,6

= 5,02%

Dari hasil perhitungan didapatkan kadar aspal optimum perkiraan adalah 5.02 % sehingga, pada pengujian untuk mencari kadar aspal optimum kadar aspal yang dipakai adalah 4 %, 4,5%, 5%, 5,5% dan 6% terhadap berat total campuran. Adapun kebutuhan agregat pada tiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 4 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	57,60	57,60
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	165,98	223,58
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	536,97	760,55
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	138,01	898,56
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	97,46	996,02
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	47,35	1043,37
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	36,52	1079,88
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	26,04	1105,92
pan			0,00	0,00	0,00	100,00	46,08	1152,00
Jumlah							1152	

Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 4,5 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	57,30	57,30
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	165,12	222,42
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	534,17	756,59
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	137,29	893,88
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	96,95	990,83
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	47,10	1037,93
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	36,33	1074,26
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	25,90	1100,16
pan			0,00	0,00	0,00	100,00	45,84	1146,00
Jumlah							1146	

Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00		0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	57,00	57,00
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	164,25	221,25
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	531,38	752,63
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	136,57	889,20
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	96,44	985,64
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	46,85	1032,50
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	36,14	1068,64
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	25,76	1094,40
pan	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00	45,60	1140,00
Jumlah							1140	

Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00		0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	56,70	56,70
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	163,39	220,09
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	528,58	748,67
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	135,85	884,52
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	95,94	980,46
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	46,61	1027,06
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	35,95	1063,01
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	25,63	1088,64
pan	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00	45,36	1134,00
Jumlah							1134	

Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	56,40	56,40
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	162,52	218,92
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	525,78	744,71
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	135,13	879,84
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	95,43	975,27
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	46,36	1021,63
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	35,76	1057,39
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	25,49	1082,88
pan	0	0	0,00	0,00	0,00	100,00	45,12	1128,00
Jumlah							1128	

Tabel 4. 7 Proporsi *Filler* pada Tiap Kadar Aspal

Kadar Aspal	%	4,0%	4,5%	5,0%	5,5%	6,0%
Berat Benda Uji	gram	1200	1200	1200	1200	1200
Berat Aspal	gram	48	54	60	66	72
Berat Total Agregat	gram	1152	1146	1140	1134	1128
0 % *Filler* Limbah Kaca		0	0	0	0	0
Debu Batu		46,08	45,84	45,60	45,36	45,12
Berat Total *Filler*		46,08	45,84	45,60	45,36	45,12
25% *Filler* Limbah Kaca		11,52	11,46	11,4	11,34	11,28
Debu Batu		34,56	34,38	34,20	34,02	33,84
Berat Total *Filler*		46,08	45,84	45,60	45,36	45,12
50% *Filler* Limbah Kaca		23,04	22,92	22,8	22,68	22,56
Debu Batu		23,04	22,92	22,80	22,68	22,56
Berat Total *Filler*		46,08	45,84	45,60	45,36	45,12
75% *Filler* Limbah Kaca		34,56	34,38	34,2	34,02	33,84
Debu Batu		11,52	11,46	11,40	11,34	11,28
Berat Total *Filler*		46,08	45,84	45,60	45,36	45,12
100% *Filler* Limbah Kaca		46,08	45,84	45,60	45,36	45,12
Debu Batu		0	0	0	0	0
Berat Total *Filler*		46,08	45,84	45,60	45,36	45,12

Tabel 4. 8 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian KAO

Kadar Aspal (%)	Variasi Kadar *Filler* Limbah Kaca				
	0%	25%	50%	75%	100%
4,0	3	3	3	3	3
4,5	3	3	3	3	3
5,0	3	3	3	3	3
5,5	3	3	3	3	3
6,0	3	3	3	3	3
Jumlah	75				

Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji untuk Variasi Kadar Aspal dan Kadar *Filler*

Jenis Pengujian	Variasi Kadar *Filler* Limbah Kaca				
	0%	25%	50%	75%	100%
Marshall Standar	3	3	3	3	3
Immersiom	3	3	3	3	3
ITS	3	3	3	3	3
Permeabilitas	3	3	3	3	3
Jumlah	60				

Setelah mendapatkan kadar aspal optimum selanjutnya dilakukan pengujian *Marshall* Standar, *Immersion Test*, *ITS*, dan Permeabilitas. Total benda uji yang dipakai pada penelitian ini adalah 135 benda uji. Jumlah berat campuran untuk masing-masing benda uji sebesar 1200 gram, sedangkan untuk masing-masing agregat dan aspal tergantung dari variasi kadar aspal yang dipakai pada penelitian.

4.6.4 Pengujian *Marshall* Standar

Runtutan langkah yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel,
2. pemberian tanda pengenal pada masing-masing benda uji,
3. ketinggian benda uji diukur sebanyak 3 kali dan mengambil rata-rata untuk ketinggiannya dengan kerelitian 0,01 mm,
4. benda uji ditimbang sehingga dapat diketahui berat keringnya,
5. benda uji direndam didalam air selama 24 jam pada suhu ruang agar menjadi jenuh air,
6. benda uji ditimbang dalam air,

7. permukaan benda uji dilap lalu ditimbang pada kondisi kering permukaan jenuh (*SSD*),
8. benda uji direndam ke *waterbath* pada suhu 60℃selama 0,5 jam,
9. terlebih dulu kepala penekanan benda uji dibersihkan kemudian permukaan diberi pelembab untuk mempermudah melepas benda uji,
10. *flow meter* dipasang dengan posisi diatas salah satu batang penuntun (*guide rod),*
11. kepala penekan dinaikan sehingga menyentuh alas cincin pengunci, kemudian diataur pada kedudukan arloji tekan pada angka nol,
12. pembebanan dilakukan dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, hingga pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti maka mulai berputar turun dan dibaca arloji kelelahannya,
13. benda uji dikeluarkan dari alat uji setelah pembebanan selesai dilakukan, dan
14. selanjutnya hasil dari percobaan dapat diketahui dari proses pengolahan data.

4.6.5 Pengujian *Marshall* Rendaman *(Immersion Test)*

Pengujian ini dilakukan hampir sama dengan pengujian Marshall Standar, hal yang membedakan hanya terletak pada lama perendaman yang dilakukan dalam waterbath. Pada uji perendaman *Marshall* ini lama perendaman selama 0 jam , 24 jam dan 48 jam dengan suhu 60°C. Adapun cara pengujian adalah sebagai berikut:

1. mempersiapkan bahan,
2. membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapat dari *Marshall test*, menguji Immersion dengan lama perendaman 0 jam ,24 jam dan 48 jam,
3. menganalisis dan membuat pembahasan hasil-hasil dari pengujian *Immersion Test,*dan
4. membuat kesimpulan.

4.6.6 Pengujian *Indirect Tensile Strenght (ITS)*

Langkah-langkah pengujian *ITS* adalah sebagai berikut:

1. membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapat dari pengujian *Marshall*,
2. meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian,
3. mendapatkan nilai dial dari hasil pengujian, dan
4. menganalisis dan membuat pembahasan.

4.6.7 Pengujian Permeabilitas

Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut:

1. membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapat dari pengujian *Marshall*,
2. meletakkan benda uji pada alat uji permeabilitas untuk dilakukan pengujian,
3. membebani dengan tekanan 1-1 dan 2-2,
4. menghitung waktu lolosnya air pada gelas ukur,
5. mendapatkan nilai dari hasil pengujian,
6. menganalisis dan membuat pembahasan.

4.7 Analisis Data

Analisis data terdiri dari beberapa data-data dibawah ini.

1. Analisis karakteristik Marshall

   Nilai karakteristi *Marshall* didapat dengan cara menganalisi data-data yang diperoleh dari hasil percobaan laboraturium antara lain sebagai berikut :

   a. berat benda uji sebelum direndam (gram),
   b. berat benda uji di dalam air (gram),
   c. berat benda uji dalam keaadaan jenuh air (gram),
   d. tebal benda uji (gram),
   e. pembacaan arloji stabilitas (kg),
   f. pembacaan arloji kelelehan *flow* (mm).

Nilai-nilai karakteristik *Marshall* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.1 sampai dengan Persamaan 3.13. Nilai-nilai karakteristik uji *Marshall* didapatkan dengan bantuan data lainnya yang dihitung menggunakan Persamaan 4.2 dan Persamaan 4.3.

1) Berat Jenis Agregat

$$\text{BJ Agregat} = \frac{(F1\ x\ A)+(F2\ x\ B)}{100} \quad (4.2)$$

Keterangan :

F1 = persentase agregat kasar

F2 = persentase agregat halus

A = berat jenis agregat kasar

B = berat jenis agregat halus

2) Berat Jenis Aspal

$$\text{BJ Aspal} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (4.3)$$

Keterangan :

A = berat piknometer dengan penutup (gr)

B = berat piknometer berisi air (gr)

C = berat piknometer berisi aspal (gr)

D = berat piknometer berisi aspal dan air (gr)

2. Analisis *Immersiom Test*

Nilai *index of retained strength* diperoleh dari hasil *Immersion Test* kemudian dianalisi menggunakan Persamaan 3.14.

3. Analisis *Indirect Tensile Strength Test*

Indirect Tensile Strength Test adalah kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban kemudian dianalisi menggunakan Persamaan 3.15.

4. Analisis Permeabilitas

Nilai permeabilitas didapat dari perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.16.

BAB V
HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Dan Spesifikasi Campuran

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina AC 60/70 yang tersedia di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, UII, Yogyakarta. Hasil pengujian tersebut menghasilkan data-data yang telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga (2010) seperti yang tercantum dalam Tabel 5.1. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1,0	1,035	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 – 70	64,5	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥100	164	Memenuhi
4	Titik Nyala (°C)	≥232	325	Memenuhi
5	Kelarutan TCE (%)	≥99	99,46	Memenuhi
6	Titik Lembek (°C)	≥48	51,5	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan *Filler*

Pengujian agregat meliputi pengujian agregat kasar, agregat halus, dan *filler* dimana agregat yang digunakan adalah agregat dari Clereng. Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, UII, Yogyakarta dan diperoleh data – data yang tercantum dalam Tabel 5.2 sampai Tabel 5.5. dibawah ini. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran.

Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,627	Memenuhi
2	Penyerapan air oleh agregat (%)	< 3	1,54	Memenuhi
3	Kelekatan agregat terhadap aspal (%)	> 95	98,5	Memenuhi
4	Keausan dengan mesin *Los Angeles* (%)	< 40	21,32	Memenuhi

Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Agregat Halus Clereng

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,69	Memenuhi
2	Penyerapan air oleh agregat (%)	< 3	1,19	Memenuhi
4	*Sand Equivalent* (%)	> 50	87,31	Memenuhi

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian *Filler* Clereng

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,638	Memenuhi

Tabel 5. 5 Hasil Pengujian *Filler* Kaca

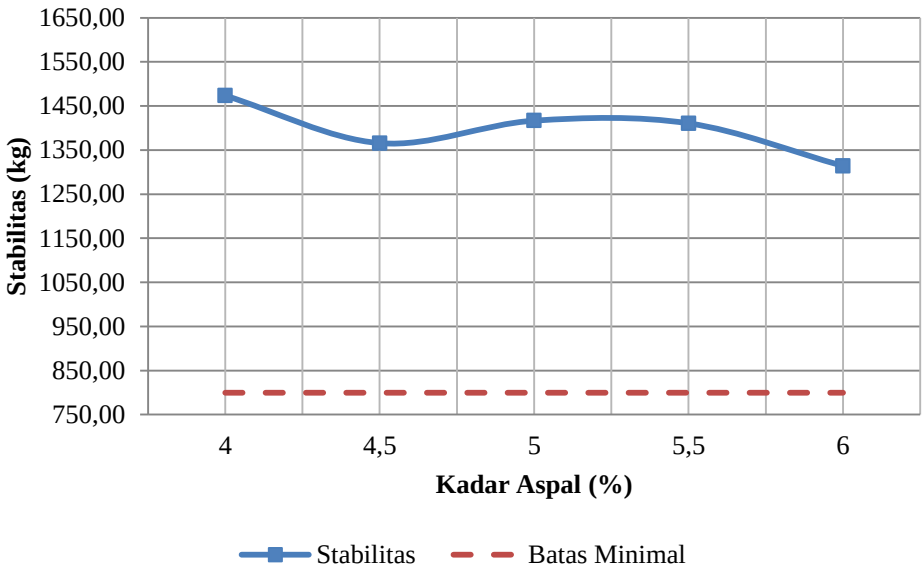
No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,5	2,517	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan Kadar Optimum

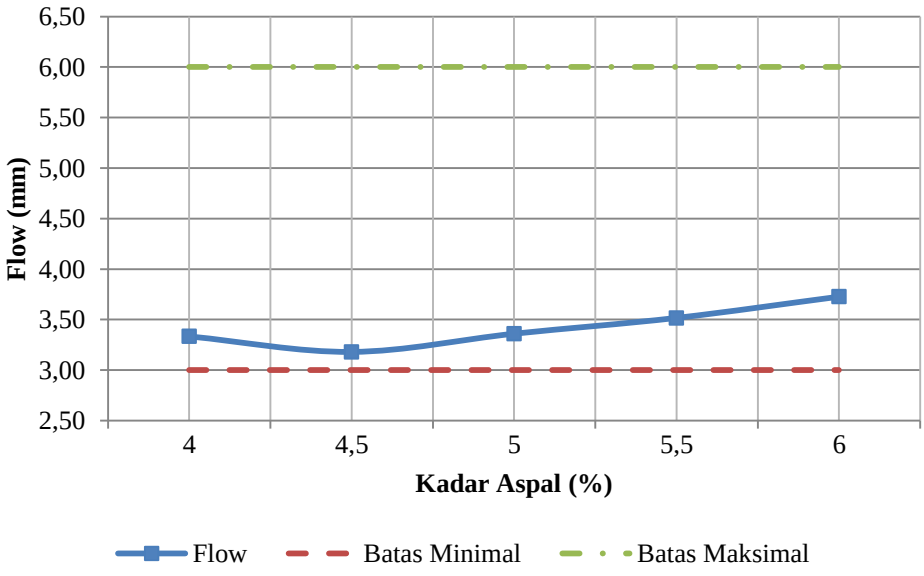
Hasil pengujian karakteristik *Marshall* meliputi stabilitas *(stability)*, kelelehan *(flow), VMA (Void in Mineral Agregate), VFWA (Void Filled With Asphalt), VITM (Void In The Total Mix), MQ (Marshall Quotient),* dan kepadatan *(density)* dari campuran *Superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, UII dengan variasi *filler* kaca 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dapat dilihat pada Tabel 5.6 sampai dengan Tabel 5.10. Hasil dari analisis tersebut digambarkan yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.40.

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 0%

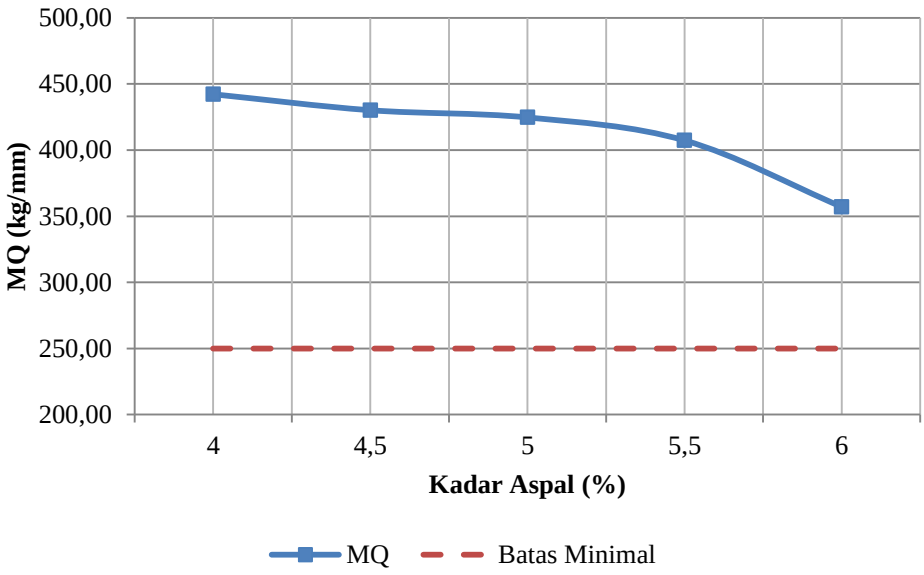
Kadar Aspal	Stabilitas	*Flow*	*MQ*	*VITM*	*VFWA*	*VMA*	*Density*
(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	*(gr/cc)*
4	1473,47	3,33	442,20	6,80	56,85	15,75	*2,32*
4,5	1365,80	3,18	430,13	5,41	65,32	15,55	*2,33*
5	1416,74	3,36	424,68	4,71	70,71	15,98	*2,33*
5,5	1410,69	3,52	407,30	4,35	74,32	16,70	*2,33*
6	1314,06	3,73	357,11	3,38	80,06	16,90	2,33
Spesifikasi	**> 800**	**3-6**	**> 250**	**3,5-5,5**	**> 63**	**> 14**	**> 2,3**



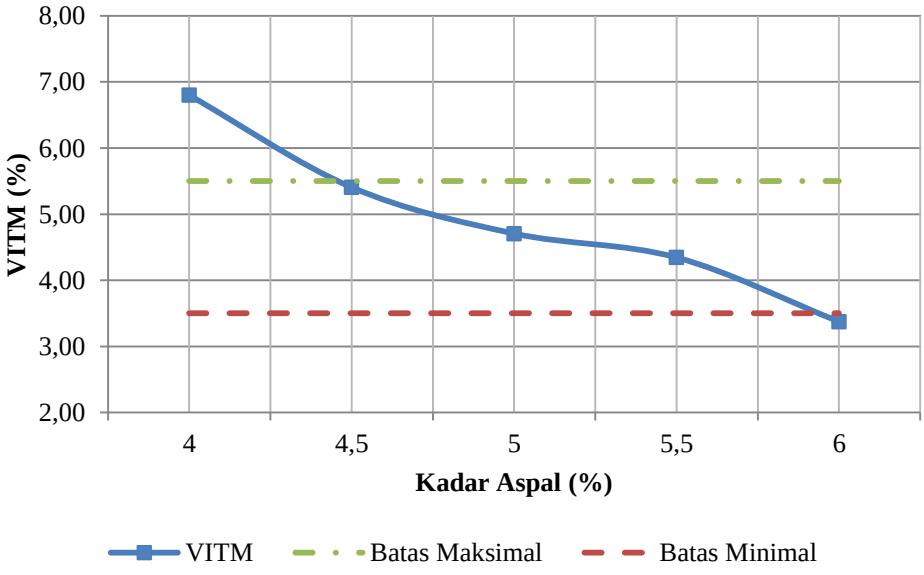
Gambar 5. 1 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 0%



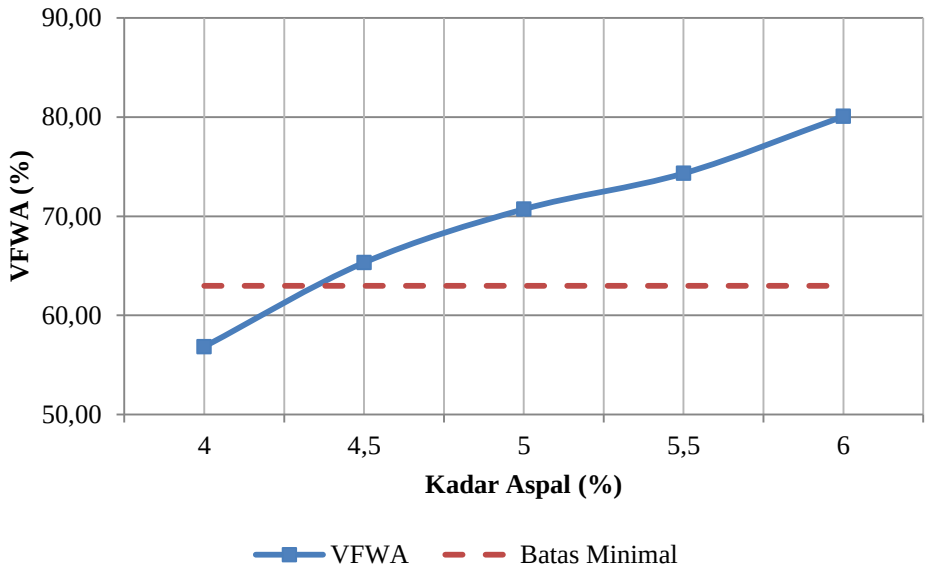
Gambar 5. 2 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 0%



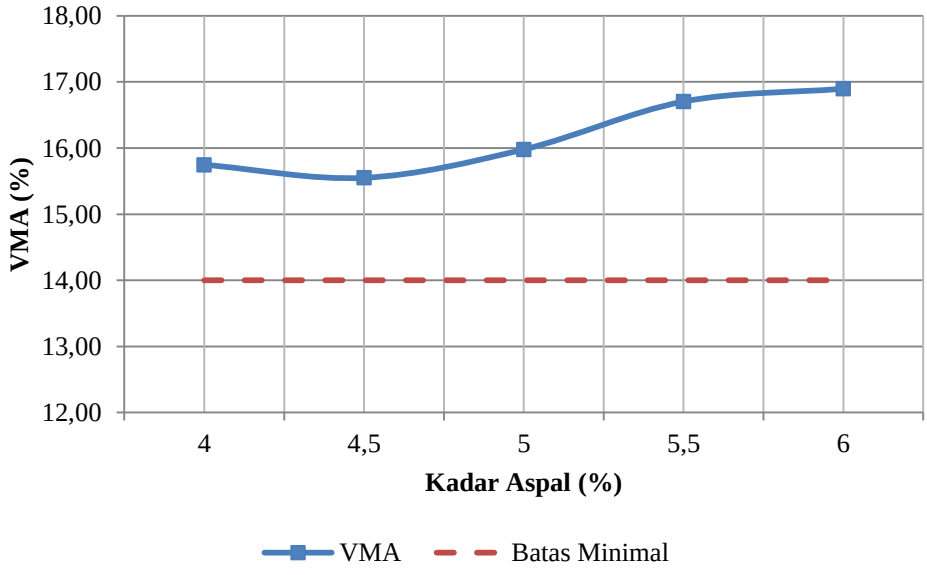
Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshal Quotient* pada Kadar *Filler* Kaca 0%



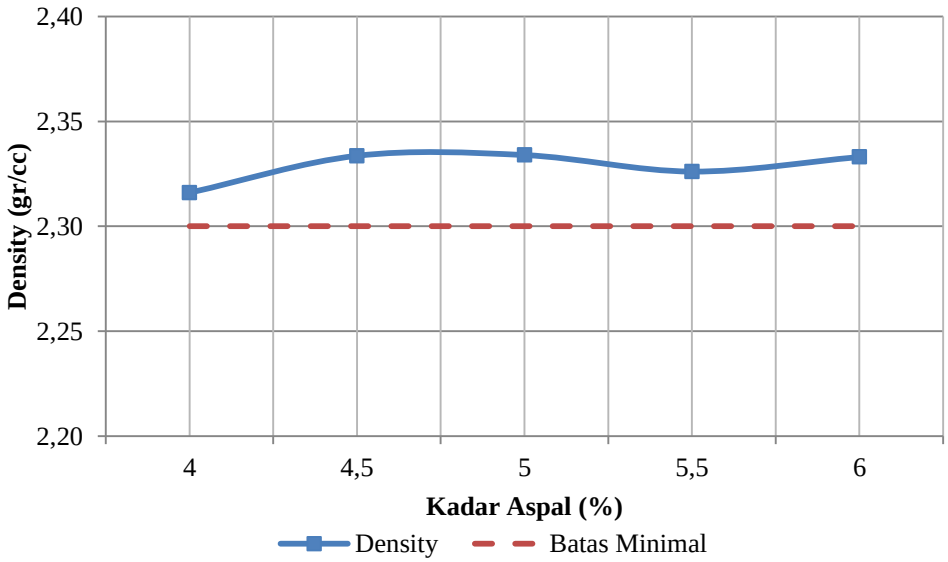
Gambar 5. 4 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Kadar *Filler* Kaca 0%



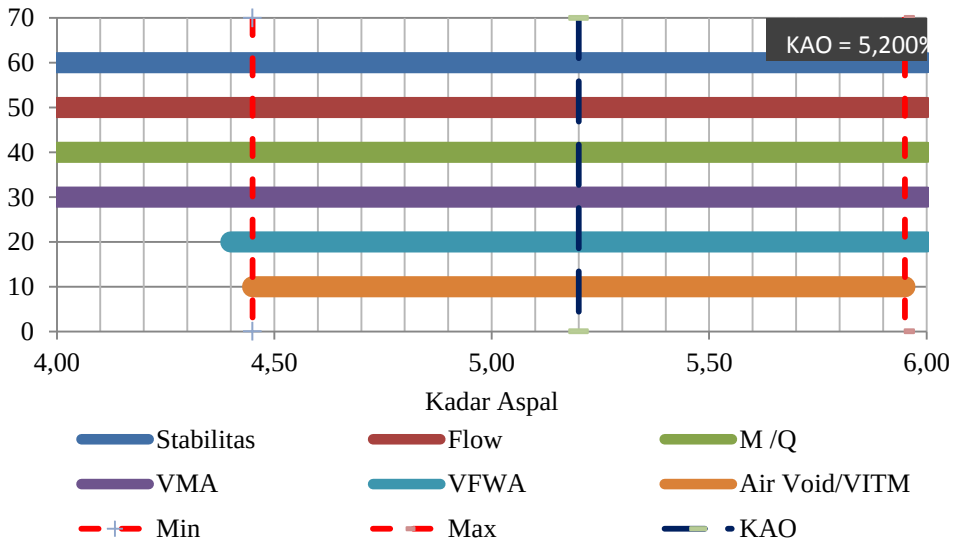
Gambar 5. 5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 0%



Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Kadar *Filler* Kaca 0%



Gambar 5. 7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 0%

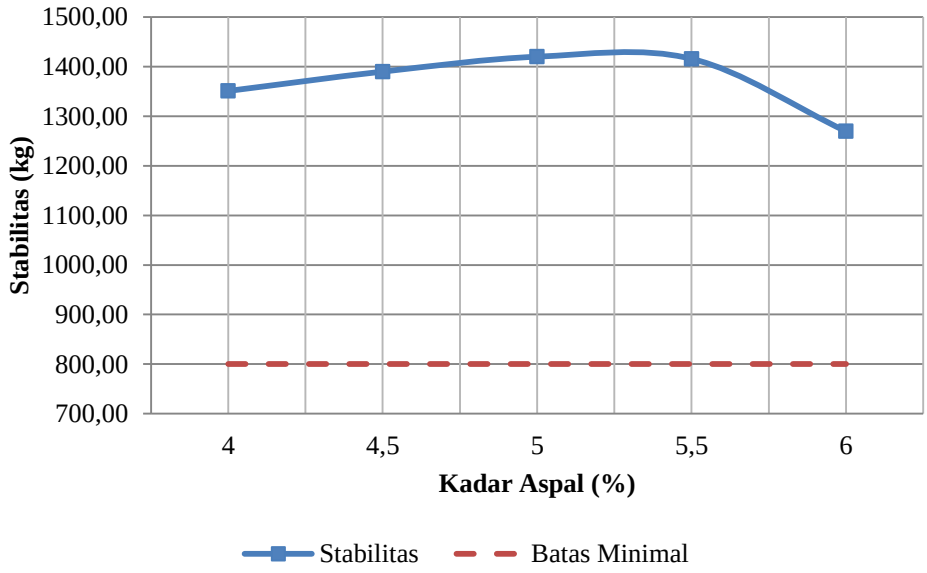


Gambar 5. 8 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 0%

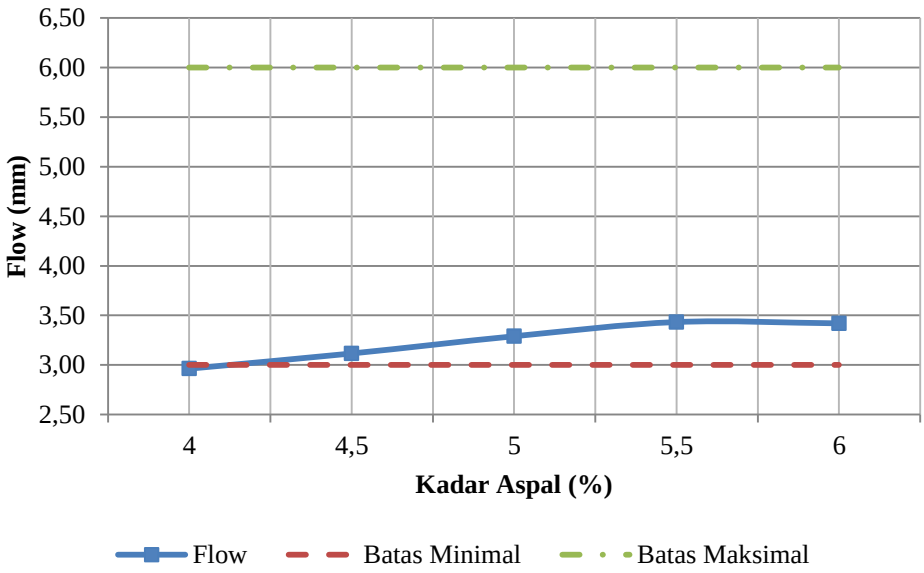
Pada Gambar 5.8 di atas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran 0% kaca dan 100% clereng didapat nilai KAO sebesar 5,200%.

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 25%

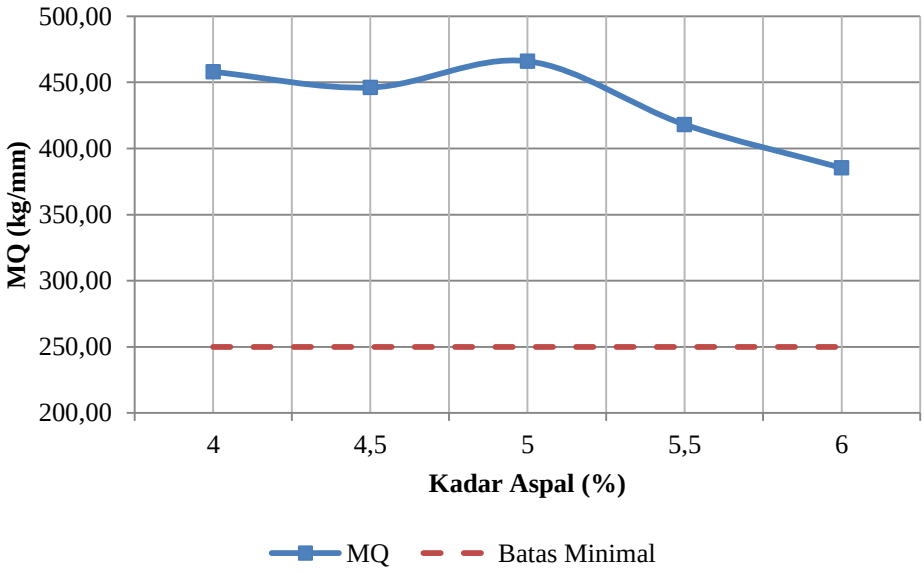
Kadar Aspal	Stabilitas	*Flow*	*MQ*	*VITM*	*VFWA*	*VMA*	*Density*
(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	*(gr/cc)*
4	1350,79	2,96	457,94	6,64	57,52	15,60	*2,32*
4,5	1389,78	3,12	446,09	5,40	65,59	15,54	*2,33*
5	1419,81	3,29	465,96	5,46	67,17	16,64	*2,31*
5,5	1415,60	3,43	418,12	5,28	69,88	17,51	*2,30*
6	1269,43	3,42	385,32	4,39	75,62	17,76	2,31
Spesifikasi	**> 800**	**3-6**	**> 250**	**3,5-5,5**	**> 63**	**> 14**	> 2,3



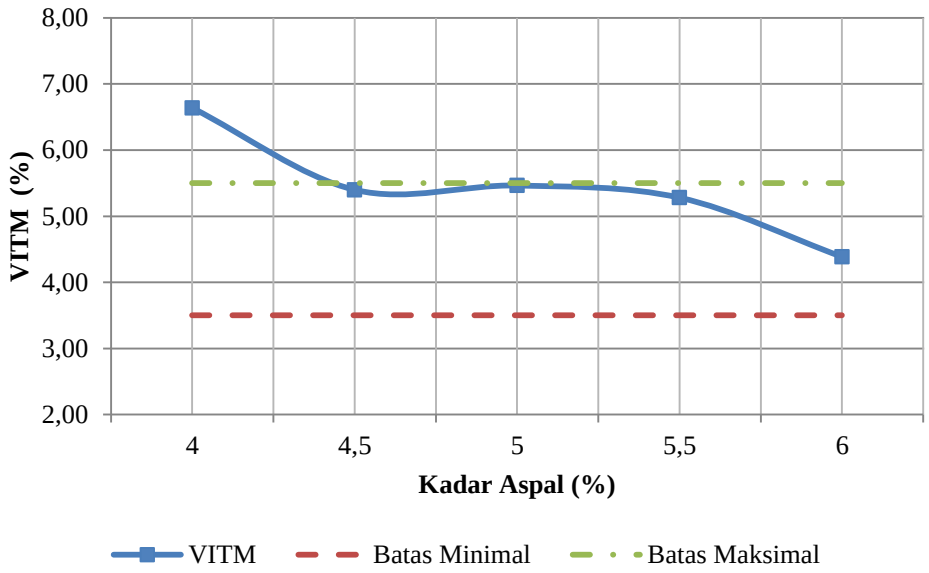
Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 25%



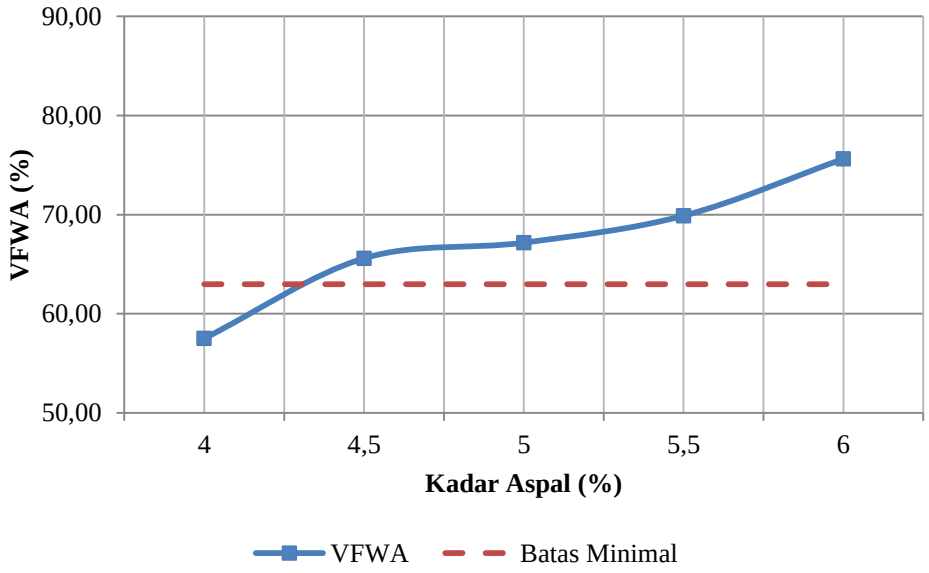
Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 25%



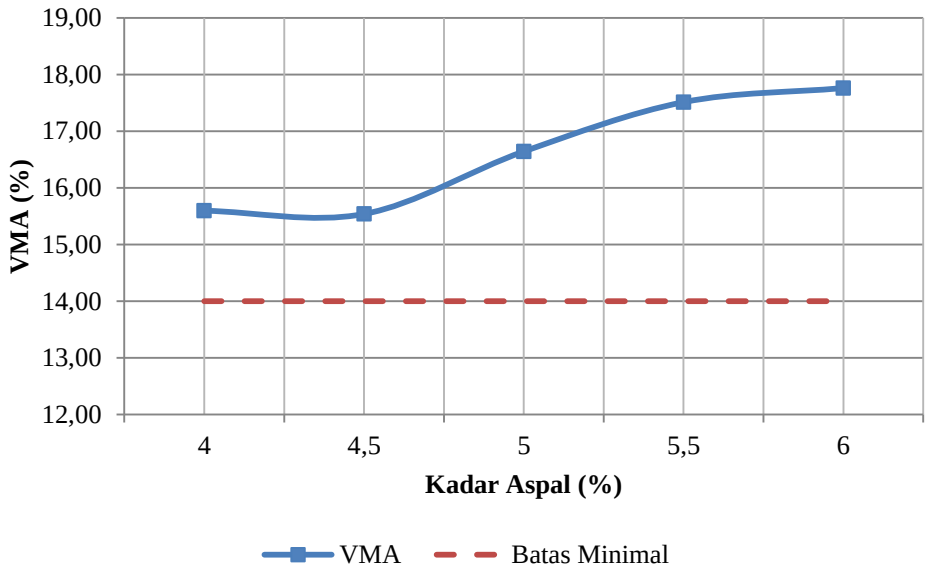
Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshal Quotient* pada Kadar *Filler* Kaca 25%



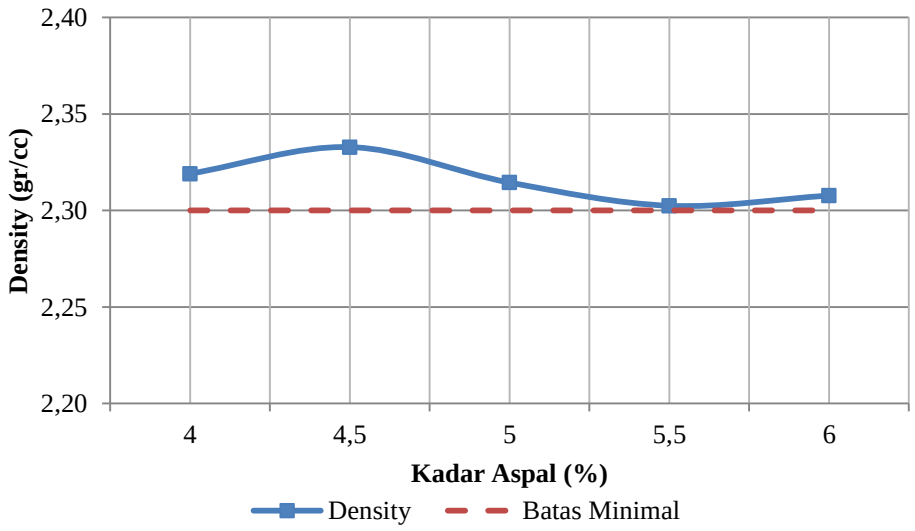
Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VITM pada Kadar *Filler* Kaca 25%



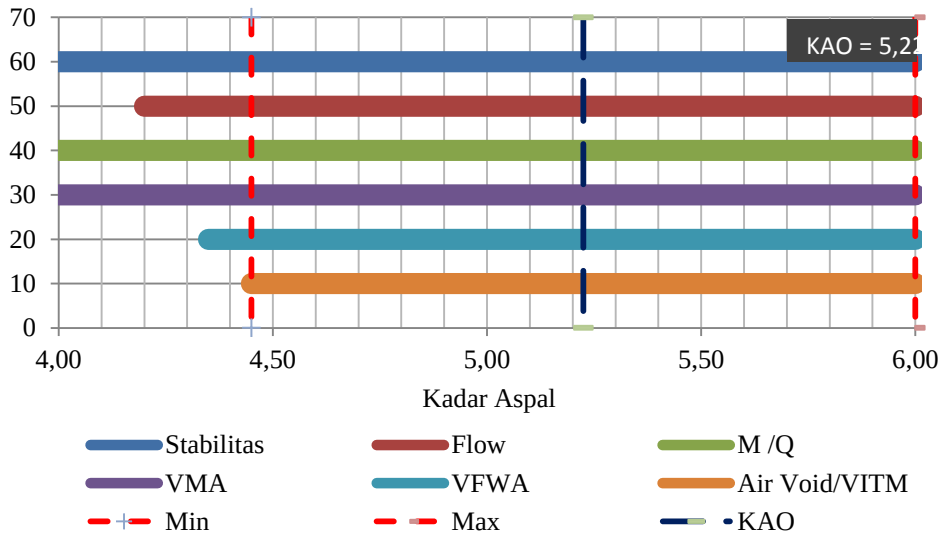
Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 25%



Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Kadar *Filler* Kaca 25%



Gambar 5. 15 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 25%

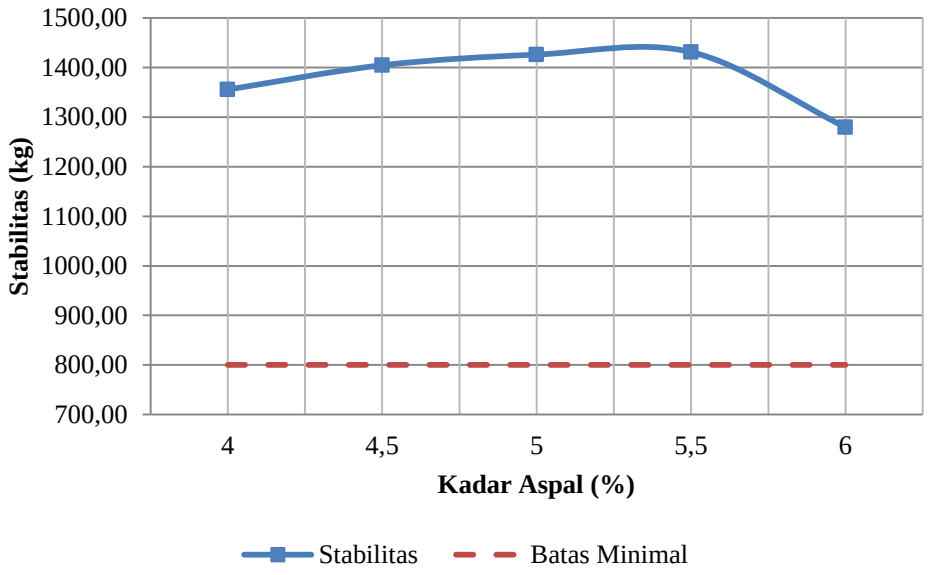


Gambar 5. 16 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 25%

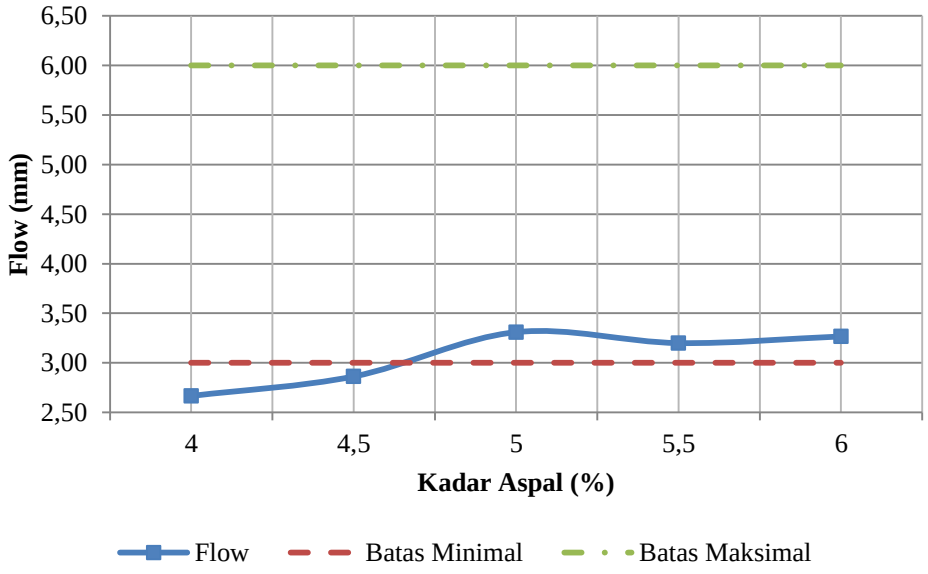
Pada Gambar 5.16 di atas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran 25% kaca dan 75% clereng didapat nilai KAO sebesar 5,225%.

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 50%

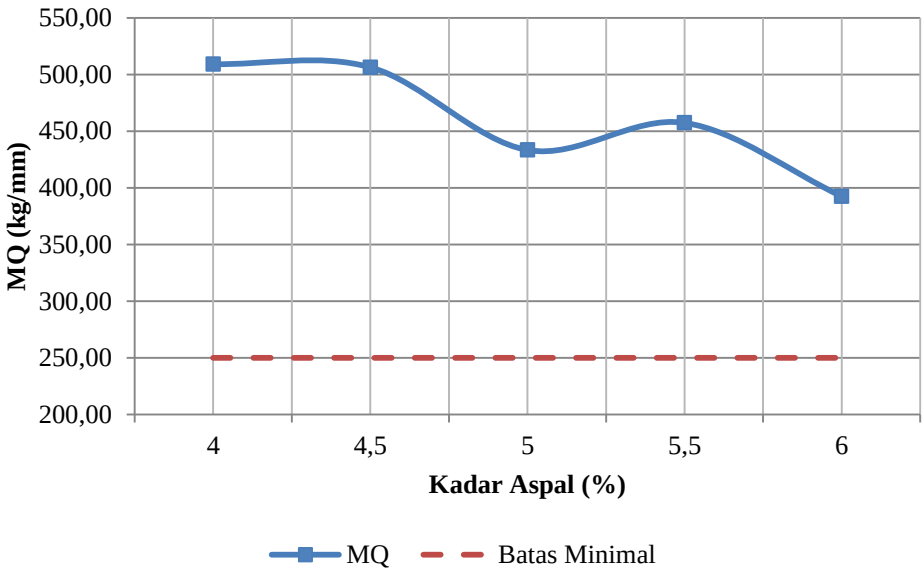
Kadar Aspal	Stabilitas	*Flow*	*MQ*	*VITM*	*VFWA*	*VMA*	*Density*
(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	*(gr/cc)*
4	1355,32	2,67	509,15	6,50	57,99	15,47	*2,32*
4,5	1404,38	2,86	506,34	5,79	63,57	15,88	*2,32*
5	1425,85	3,31	433,37	5,00	69,20	16,23	*2,32*
5,5	1430,95	3,20	457,38	4,91	71,47	17,19	*2,31*
6	1279,46	3,27	392,55	3,76	78,25	17,22	*2,32*
Spesifikasi	**> 800**	**3-6**	**> 250**	**3,5-5,5**	**> 63**	**> 14**	**> 2,3**



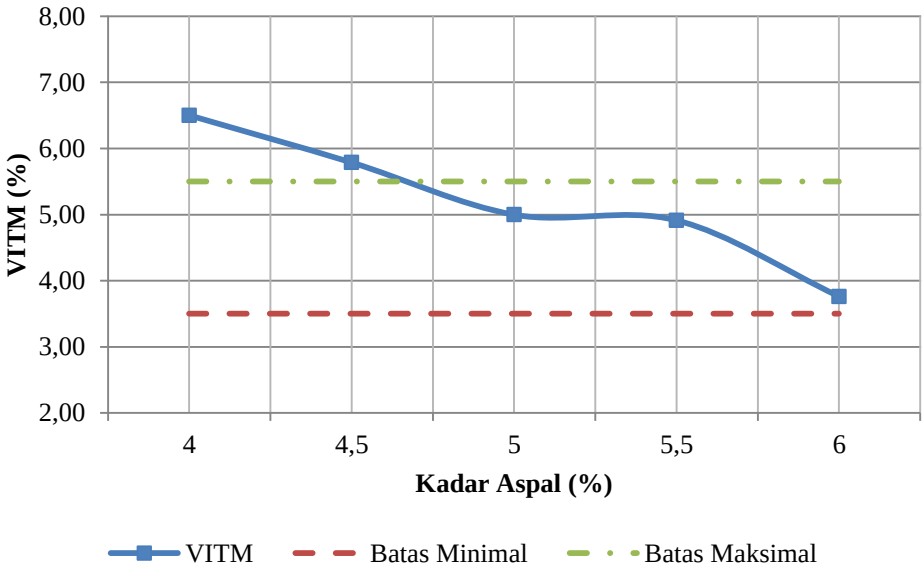
Gambar 5. 17 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 50%



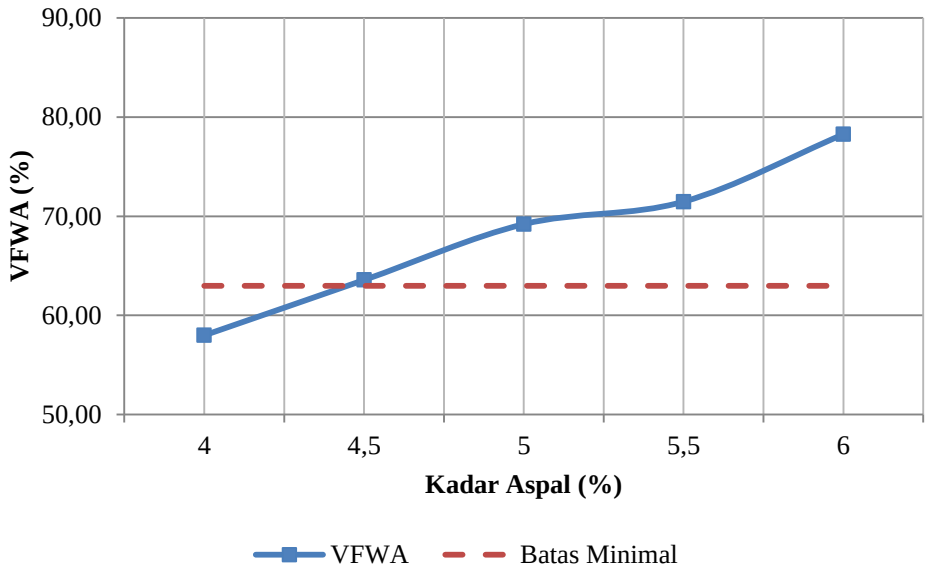
Gambar 5. 18 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 50%



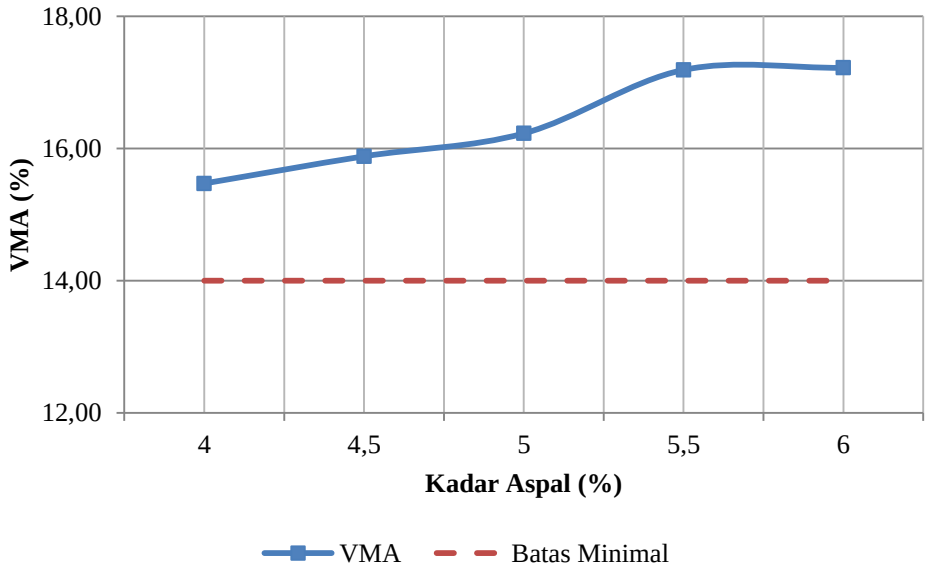
Gambar 5. 19 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshal Quotient* pada Kadar *Filler* Kaca 50%



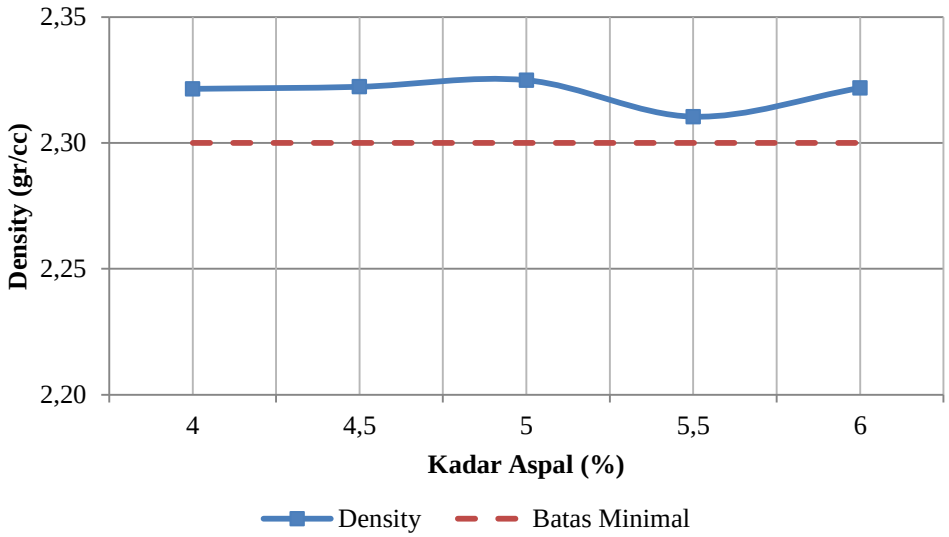
Gambar 5. 20 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Kadar *Filler* Kaca 50%



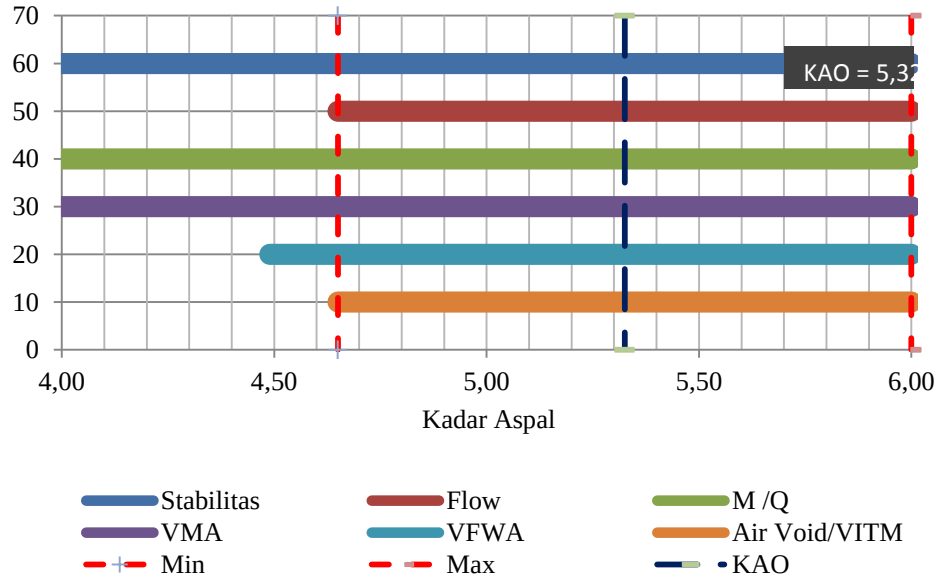
Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 50%



Gambar 5. 22 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Kadar *Filler* Kaca 50%



Gambar 5. 23 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 50%

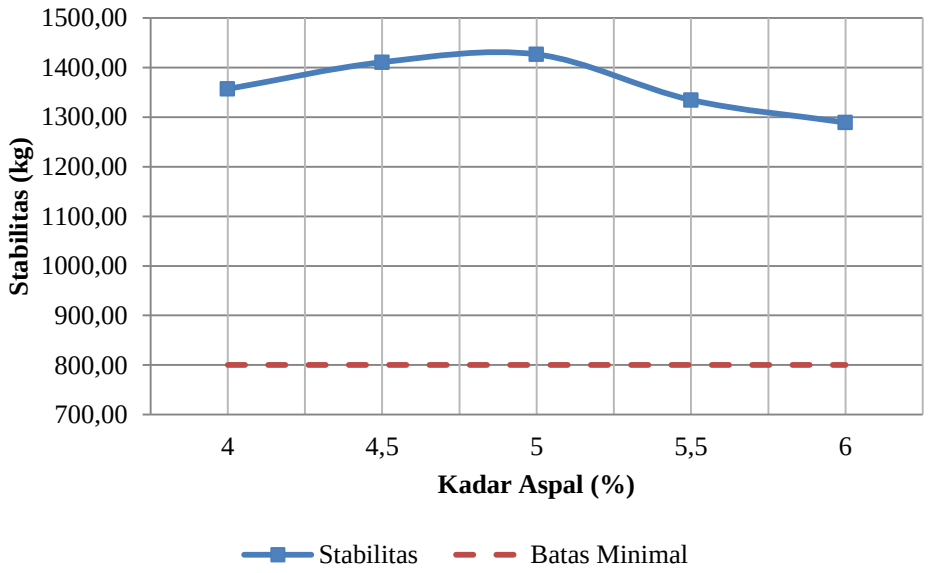


Gambar 5. 24 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 50%

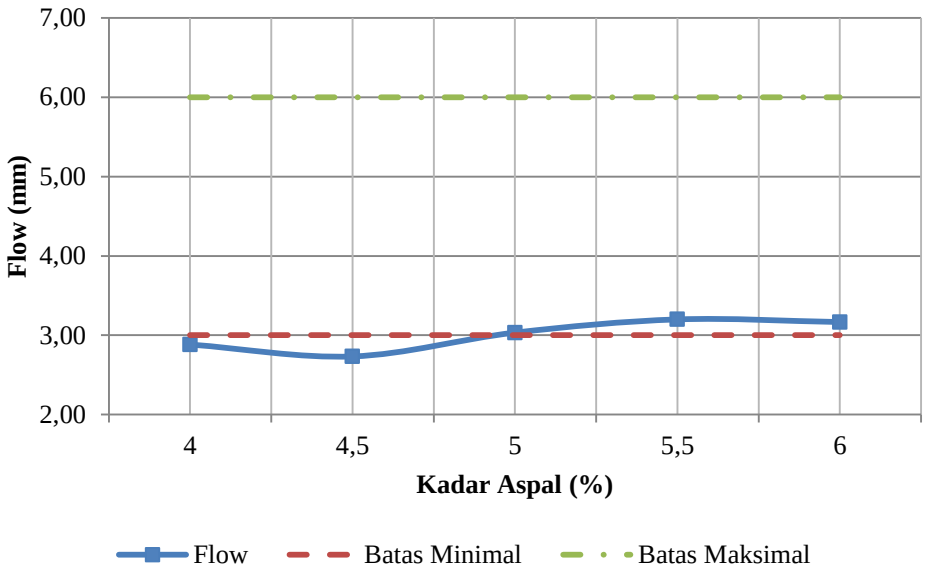
Pada Gambar 5.24 di atas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran 50% kaca dan 50% clereng didapat nilai KAO sebesar 5,325%.

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 75%

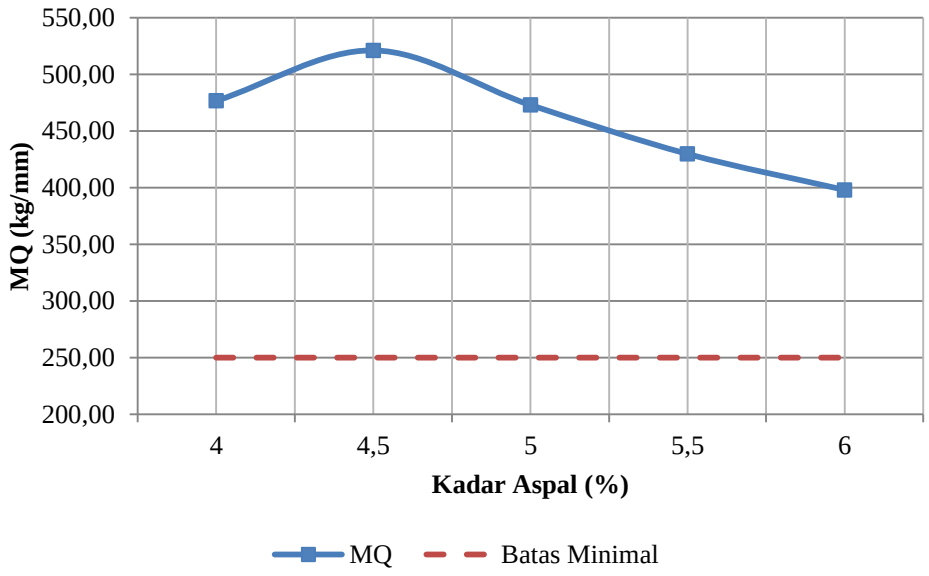
Kadar Aspal	Stabilitas	*Flow*	*MQ*	*VITM*	*VFWA*	*VMA*	*Density*
(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	*(gr/cc)*
4	1356,67	2,88	476,59	5,72	61,28	14,76	*2,34*
4,5	1410,62	2,73	521,06	5,64	64,17	15,75	*2,32*
5	1426,39	3,03	472,94	4,92	69,57	16,16	*2,33*
5,5	1334,55	3,20	429,75	3,88	76,22	16,29	*2,33*
6	1289,00	3,17	398,00	3,20	80,91	16,73	*2,33*
Spesifikasi	**> 800**	**3-6**	**> 250**	**3,5-5,5**	**> 63**	**> 14**	> 2,3



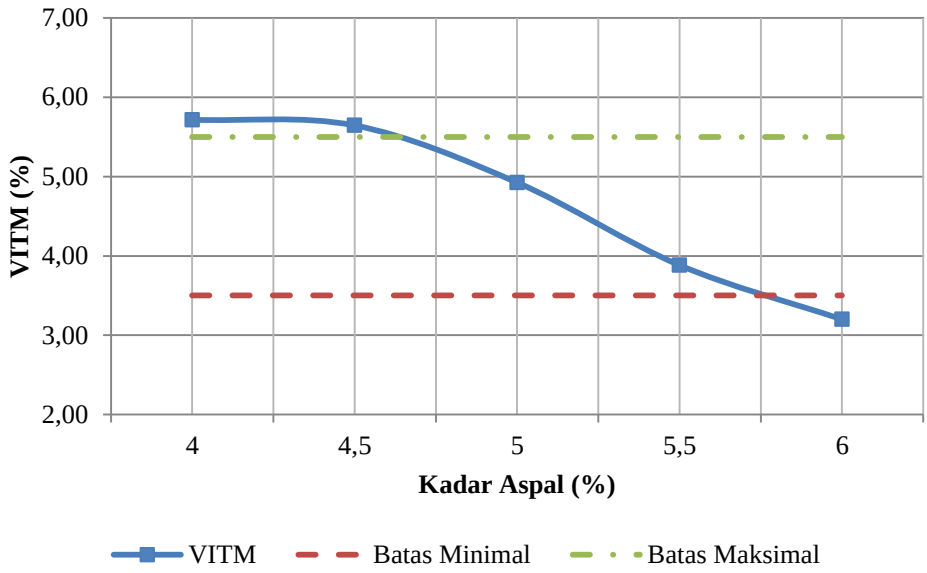
Gambar 5. 25 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 75%



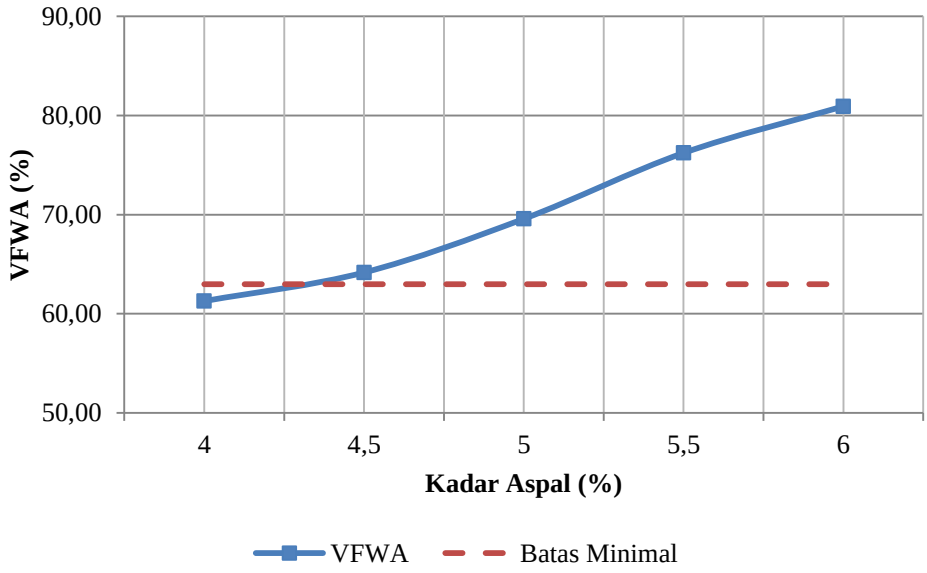
Gambar 5. 26 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 75%



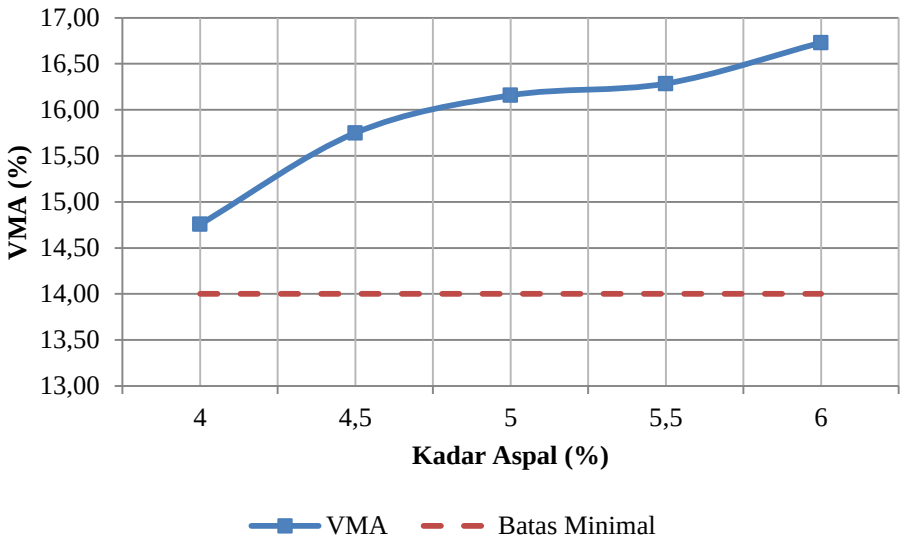
Gambar 5. 27 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshall Quotient* pada Kadar *Filler* Kaca 75%



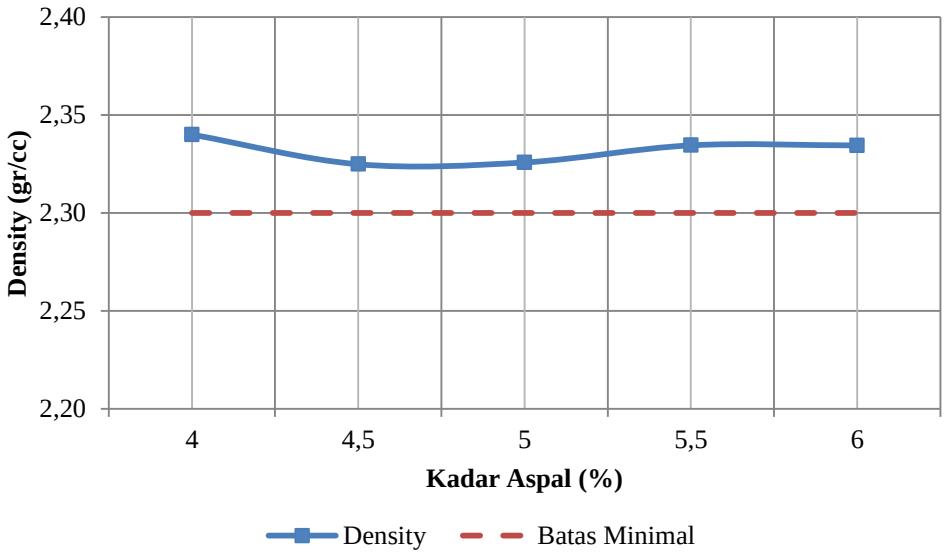
Gambar 5. 28 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Kadar *Filler* Kaca 75%



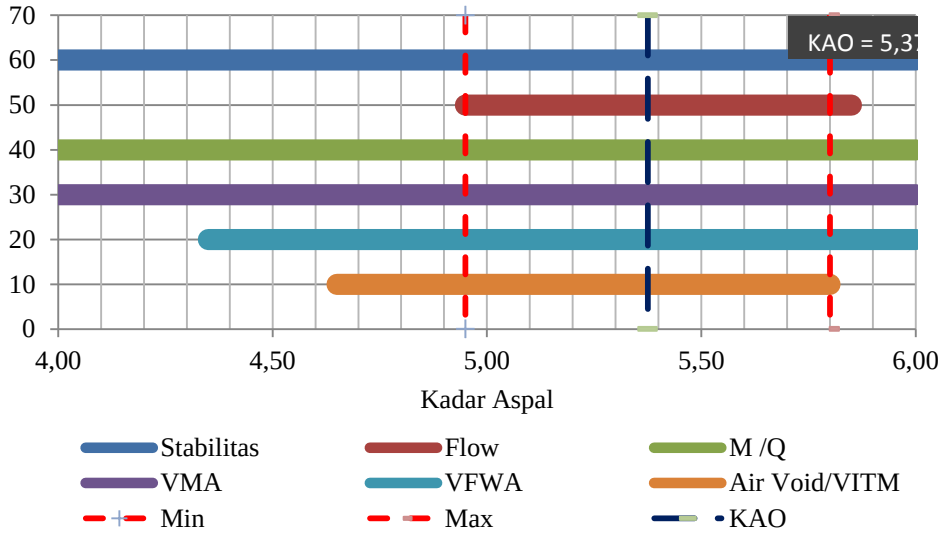
Gambar 5. 29 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 75%



Gambar 5. 30 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Kadar *Filler* Kaca 75%



Gambar 5. 31 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 75%

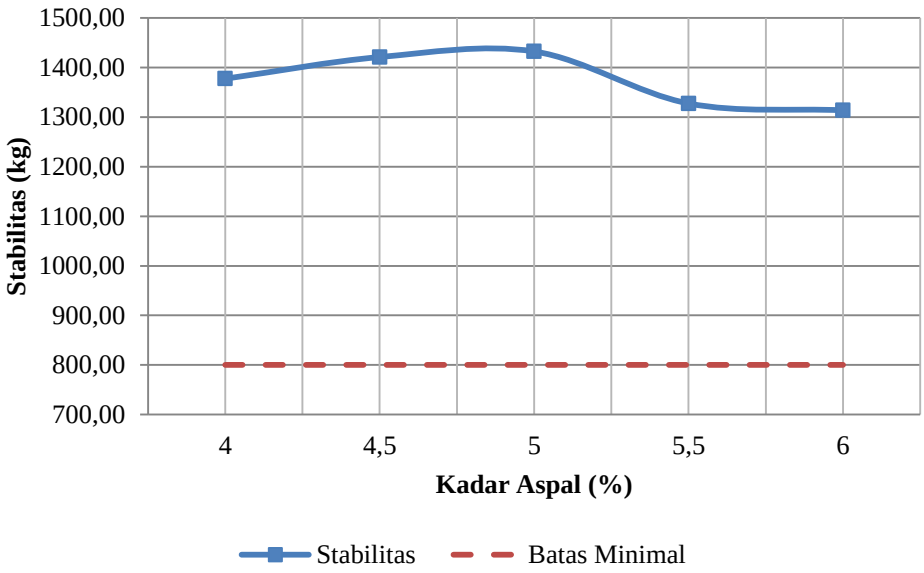


Gambar 5. 32 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 75%

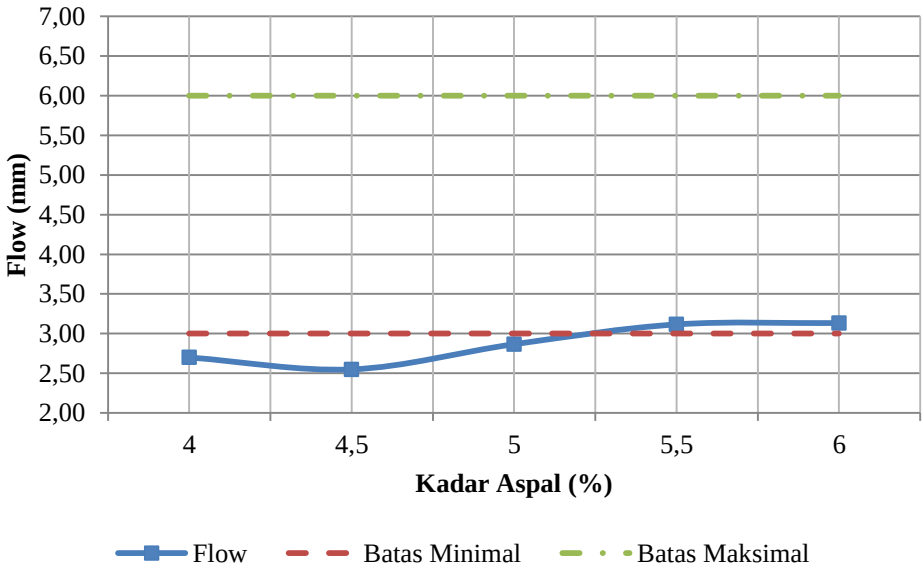
Pada Gambar 5.32 di atas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran 75% kaca dan 25% clereng didapat nilai KAO sebesar 5,375%.

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* dengan Kadar *Filler* Kaca 100%

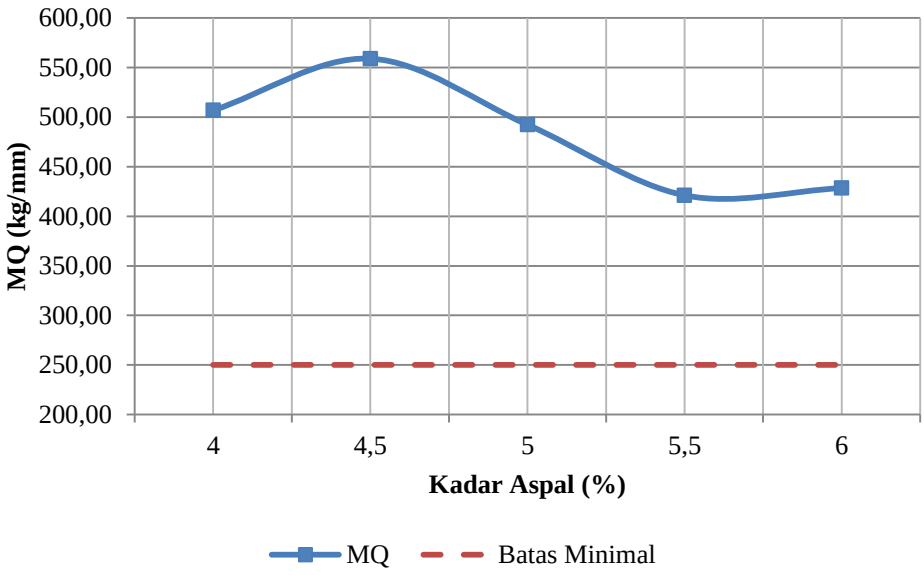
Kadar Aspal	Stabilitas	*Flow*	*MQ*	*VITM*	*VFWA*	*VMA*	*Density*
(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(%)	(%)	(%)	*(gr/cc)*
4	1377,21	2,70	506,76	5,71	61,43	14,75	*2,34*
4,5	1420,89	2,55	558,82	5,62	64,34	15,72	*2,32*
5	1432,19	2,87	492,23	4,56	71,28	15,83	*2,33*
5,5	1327,34	3,12	421,09	3,62	77,45	16,05	*2,34*
6	1313,54	3,13	428,33	3,20	80,87	16,72	*2,33*
Spesifikasi	**> 800**	**3-6**	**> 250**	**3,5-5,5**	**> 63**	**> 14**	> 2,3



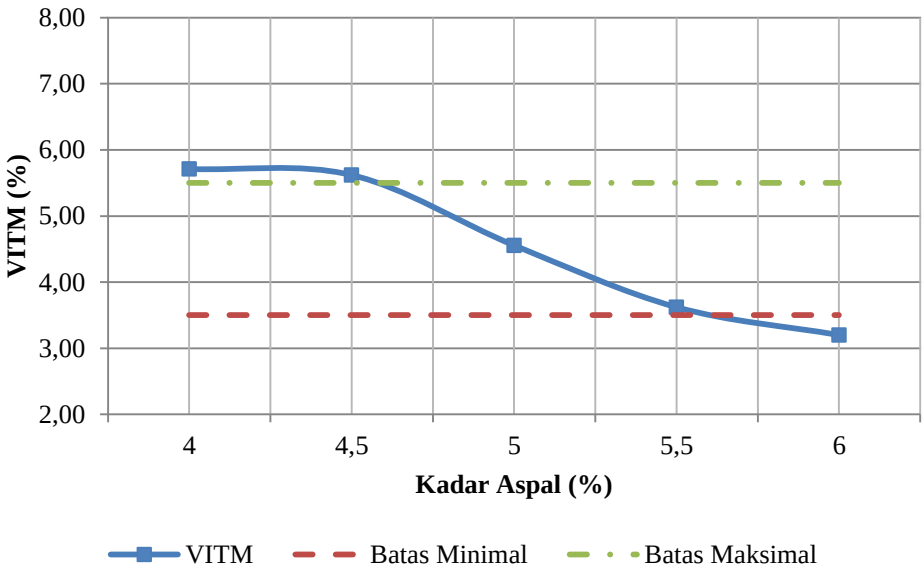
Gambar 5. 33 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Kadar *Filler* Kaca 100%



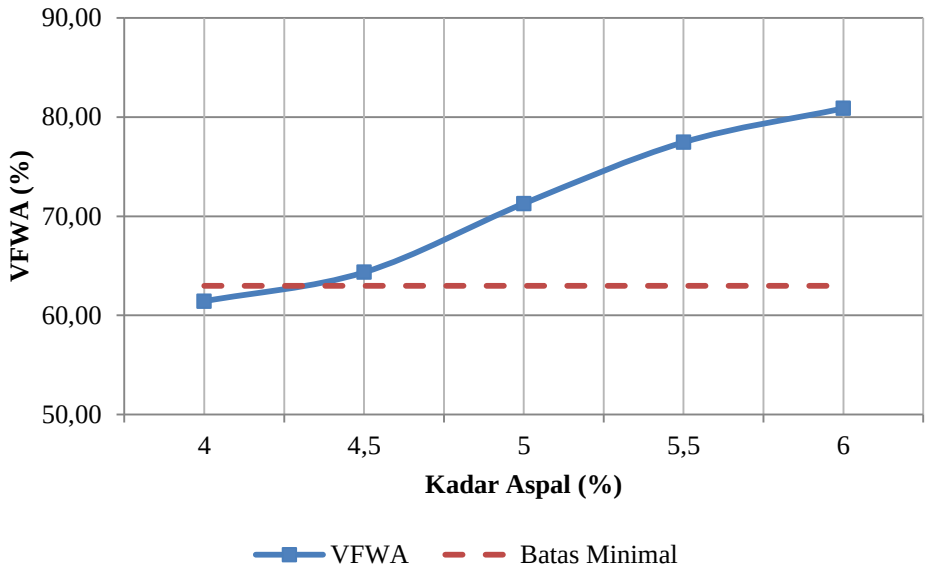
Gambar 5. 34 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Kadar *Filler* Kaca 100%



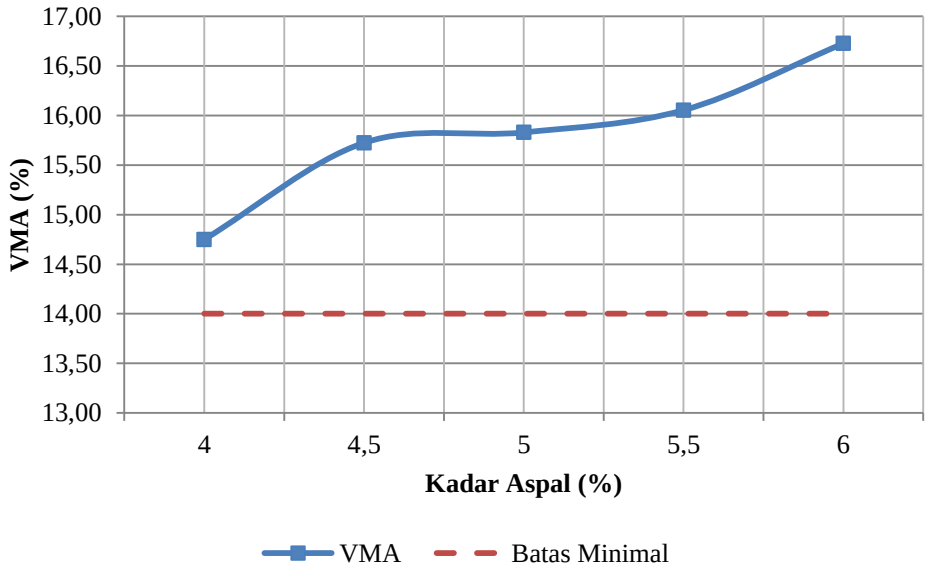
Gambar 5. 35 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Marshal Quotient* pada Kadar *Filler* Kaca 100%



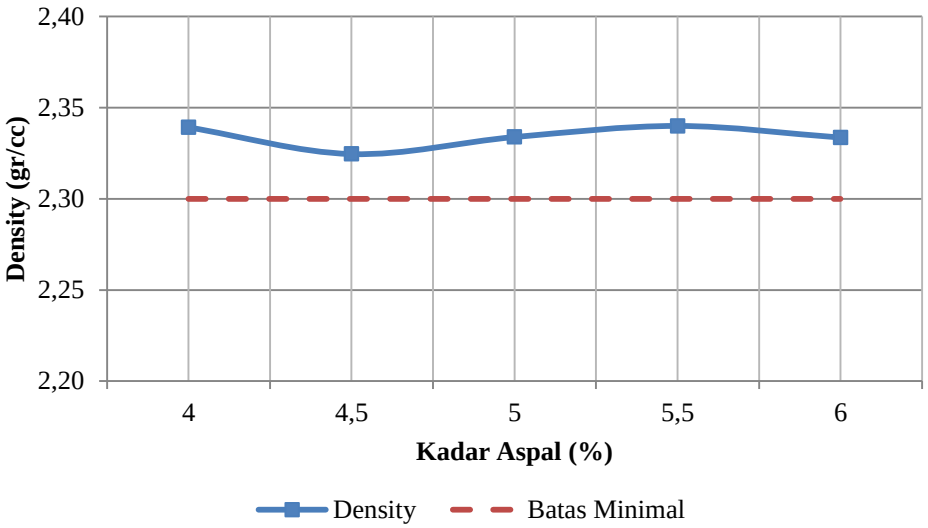
Gambar 5. 36 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Kadar *Filler* Kaca 100%



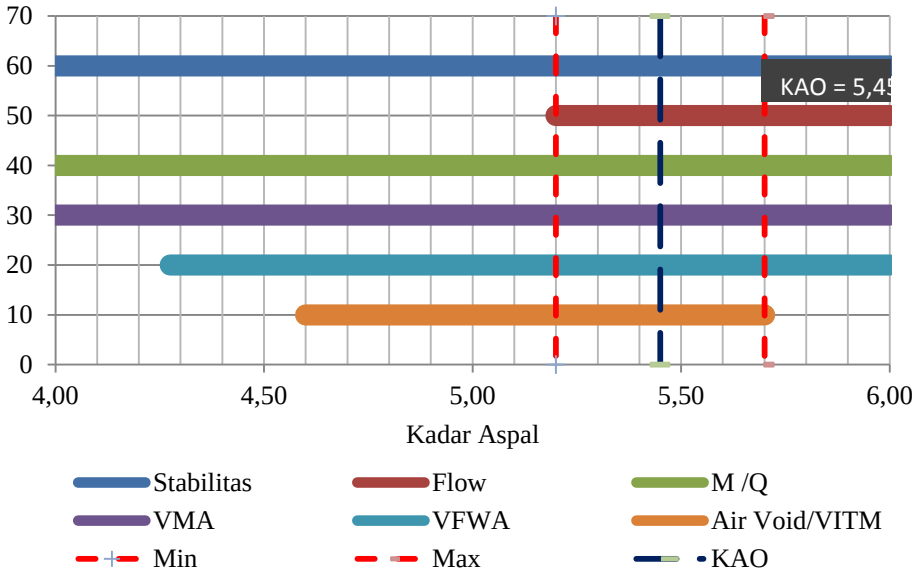
Gambar 5. 37 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Kadar *Filler* Kaca 100%



Gambar 5. 38 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Kadar *Filler* Kaca 100%



Gambar 5. 39 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Kadar *Filler* Kaca 100%



Gambar 5. 40 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada Kadar *Filler* Kaca 100%

Pada Gambar 5.40 di atas menunjukkan bahwa dengan proporsi campuran 100% kaca dan 0% clereng didapat nilai KAO sebesar 5,450%.

Tabel 5. 11 Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum

Campuran	Kadar Aspal Minimum	Kadar Aspal Maksimum	Kadar Aspal Optimum
KAO 0% Filler Kaca	4,45	5,95	5,200
KAO 25% Filler Kaca	4,45	6,00	5,225
KAO 50% Filler Kaca	4,65	6,00	5,325
KAO 75% Filler Kaca	4,95	5,80	5,375
KAO 100% Filler Kaca	5,20	5,70	5,450

Berdasarkan Tabel 5.11 dapat disimpulkan bahwa semakin besar kadar *filler* kaca pada campuran *Superpave* ukuran nominal maksimum 25 mm, maka semakin tinggi pula kadar aspalnya. Hal ini disebabkan karena berat jenis *filler* kaca lebih besar dari berat jenis *filler* Clereng. Sehingga pada berat yang sama, *filler* kaca mempunyai volume lebih besar dari *filler* Clereng.

5.1.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Adapun kebutuhan agregat pada Kadar Aspal Optimum dapat dilihat pada Tabel 5.12 sampai dengan Tabel 5.16.

Tabel 5. 12 Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 0% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,200 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	56,88	56,88
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	163,91	220,79
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	530,26	751,04
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	136,28	887,33
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	96,24	983,57
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	46,76	1030,32
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	36,06	1066,39
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	25,71	1092,10
pan			0,00	0,00	0,00	100,00	45,50	1137,60
Jumlah							1138	

Tabel 5. 13 Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 25% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,225 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	56,87	56,87
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	163,86	220,73
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	530,12	750,85
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	136,25	887,09
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	96,22	983,31
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	46,74	1030,05
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	36,05	1066,11
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	25,70	1091,81
pan			0,00	0,00	0,00	100,00	45,49	1137,30
Jumlah							1137	

Tabel 5. 14 Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 50% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,325 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00		0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	56,81	56,81
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	163,69	220,50
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	529,56	750,05
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	136,10	886,16
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	96,11	982,27
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	46,69	1028,97
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	36,01	1064,98
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	25,68	1090,66
pan			0,00	0,00	0,00	100,00	45,44	1136,10
Jumlah							1136	

Tabel 5. 15 Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 75% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,375 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00		0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	56,78	56,78
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	163,60	220,38
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	529,28	749,66
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	136,03	885,69
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	96,06	981,75
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	46,67	1028,42
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	36,00	1064,42
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	25,66	1090,08
pan			0,00	0,00	0,00	100,00	45,42	1135,50
Jumlah							1136	

Tabel 5. 16 Jumlah Agregat pada Kadar *Filler* 100% Kaca dengan Kadar Aspal Optimum 5,450 %

Ukuran saringan			Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
1 1/2 "	37,5	mm	100,00	100,00	100,00	0,00	0,00	0,00
1 "	25	mm	90,00	100,00	95,00	5,00	56,73	56,73
3/4 "	19	mm	71,18	90,00	80,59	19,41	163,47	220,20
No. 4	4,75	mm	26,50	51,46	33,98	66,02	528,86	749,06
No. 8	2,36	mm	19,00	45,00	22,00	78,00	135,93	884,99
No. 16	1,18	mm	9,70	35,38	13,54	86,46	95,99	980,98
No. 30	0,6	mm	5,14	25,73	9,43	90,57	46,63	1027,61
No. 50	0,3	mm	2,77	17,74	6,26	93,74	35,97	1063,57
No. 200	0,075	mm	1,00	7,00	4,00	96,00	25,64	1089,22
pan			0,00	0,00	0,00	100,00	45,38	1134,60
Jumlah							1135	

5.1.5 Kebutuhan *Filler* Kaca pada Kadar Aspal Optimum

Adapun kebutuhan *filler* pada Kadar Aspal Optimum dapat dilihat pada Tabel 5.17.

Tabel 5. 17 Jumlah *Filler* Kaca pada Kadar Optimum

Kadar Aspal Optimum	%	5,20%	5,23%	5,33%	5,38%	5,45%
Berat Benda Uji	gram	1200	1200	1200	1200	1200
Berat Aspal	gram	62,4	62,7	63,9	64,5	65,4
Berat Total Agregat	gram	1152	1146	1140	1134	1128
0 % *Filler* Limbah Kaca		0				
Debu Batu		45,50				
		45,50				
25% *Filler* Limbah Kaca			11,38			
Debu Batu			34,13			
			45,50			
50% *Filler* Limbah Kaca				22,74		
Debu Batu				22,74		
				45,48		
75% *Filler* Limbah Kaca					34,10	
Debu Batu					11,37	
					45,47	
100% *Filler* Limbah Kaca						45,43
Debu Batu						0
						45,43

5.2 Pembahasan

5.2.1 Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal penetrasi 60/70 di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, UII.

1. Berat Jenis Aspal

   Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat aquades dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Hasil pengujian aspal penetrasi 60/70 diperoleh nilai 1,035 gr/cc. Hasil ini menunjukkan bahwa

pengujian aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu ≥ 1,00.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai penetrasi aspal dengan memasukkan jarum pada aspal dengan beban dan waktu tertentu. Hasil pengujian penetrasi aspal menunjukkan nilai sebesar 64,5 mm. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu antara 60 sampai dengan 70 mm.

3. Daktilitas

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi pada aspal yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Hasil pengujian daktilitas menunjukkan nilai sebesar 164 cm. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu > 100 cm.

4. Kelarutan dalam *TCE*

Pengujian kelarutan dalam *Tetra Choro Ephilen (TCE)* bertujuan untuk mengetahui persentase kandungan mineral lain dalam aspal. Semakin besar persentase kelarutannya maka semakin kecil kandungan mineral lainnya yang dapat menggangu ikatan aspal dengan batuan. Hasil pengujian kelarutan dalam *TCE* menunjukkan nilai sebesar 99,46. Hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar > 99%.

5. Titik Lembek

Titik lembek adalah suhu pada saat bola-bola baja dengan berat tertentu mendesak turun ke suatu lapisan aspal yang tertekan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak dibawah cincin pada ketinggian tertentu,sebagai akibat kecepatan pada pemanasan suhu tertentu. Hasil pengujian titik lembek menunjukkan nilai sebesar 51,5°C. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu > 48°.

6. Titik Nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk mengetahui pada suhu berapa aspal mulai menyala dan mengetahui batas temperatur dimana aspal masih cukup aman untuk dipanaskan. Hasil pengujian titik nyala menunjukkan nilai sebesar 325°C. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu > 232°C.

Hasil pengujian aspal penetrasi 60/70 yang berasal dari Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, UII memenuhi persyaratan sehingga layak digunakan sebagai bahan pengujian.

5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat kasar Clereng.

1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Material dengan berat jenis yang lebih kecil mempunyai pori yang lebih besar sehingga membutuhkan aspal yang lebih banyak dan begitu pula sebaliknya. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar Clereng sebesar 2,627. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu > 2,5.

2. Penyerapan Air oleh Agregat

Pengujian ini betujuan untuk mengetahui prosentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Agregat yang mempunyai kadar pori yang besar lebih banyak membutuhkan aspal karena nilai penyerapanya semakin besar. Hasil pengujian penyerapan agregat kasar Clereng terhadap air sebesar 1,54%. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu < 3%.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal. Kelekatan agregat terhadap aspal adalah prosentase luas permukaan

batuan yang tertutup aspal terhadap keseluruhan permukaan. Hasil pengujian kelekatan agregat Clereng terhadap aspal sebesar 99%. Hasil ini memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu sebesar > 95%.

4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian ini bertujuan untuk menetukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Nilai keausan agregat diperoleh dari perbandingan antara berat bahan yang aus terhadap saringan no.12 terhadap berat semula. Hasil pengujian keausan dengan mesin Los Angeles pada campuran agregat kasar Clereng sebesar 21,32 %. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu < 40%.

Hasil pengujian agregat kasar Clereng memenuhi spesifikasi sehingga layak digunakan sebagai bahan penelitian.

5.2.3 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat halus Clereng.

1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Material dengan berat jenis yang lebih kecil mempunyai pori yang lebih besar sehingga membutuhkan aspal yang lebih banyak dan begitu pula sebaliknya. Pengujian berat jenis agregat halus Clereng didapatkan hasil sebesar 2,69. Nilai berat jenis dari agregat halus diatas memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu > 2,5.

2. Penyerapan Air oleh Agregat

Pengujian ini betujuan untuk mengetahui prosentase berat air yang dapat diserap pori terhadap berat agregat kering. Agregat yang mempunyai kadar pori yang besar lebih banyak membutuhkan aspal karena nilai penyerapanya semakin besar. Pada pengujian penyerapan agregat halus

Clereng terhadap air sebesar 1,19%. Nilai penyerapan agregat halus memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu < 3%.

3. *Sand Equivalent*

Nilai *sand equivalent* agregat halus menunjukkan tingkat kebersihan agregat terhadap debu, lumpur atau kotoran lainnya. Pada pengujian *sand equivalent* dengan campuran agregat halus Clereng didapatkan hasil sebesar 87,31%. Nilai *sand equivalent* pada agregat halus Clereng memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu > 50%.

Hasil pengujian agregat halus sudah memenuhi spesisifikasi, sehingga layak digunakan sebagai bahan uji penelitian.

5.2.4 Karakteristik *Marshall* untuk Mencari KAO

Karakteristik *Marshall* merupakan parameter yang penting yang sering digunakan pada pengujian campuran aspal. Adapun nilai-nilai yang dapat ditinjau dari hasil pengujian *Marshall* yaitu.

1. Stabilitas

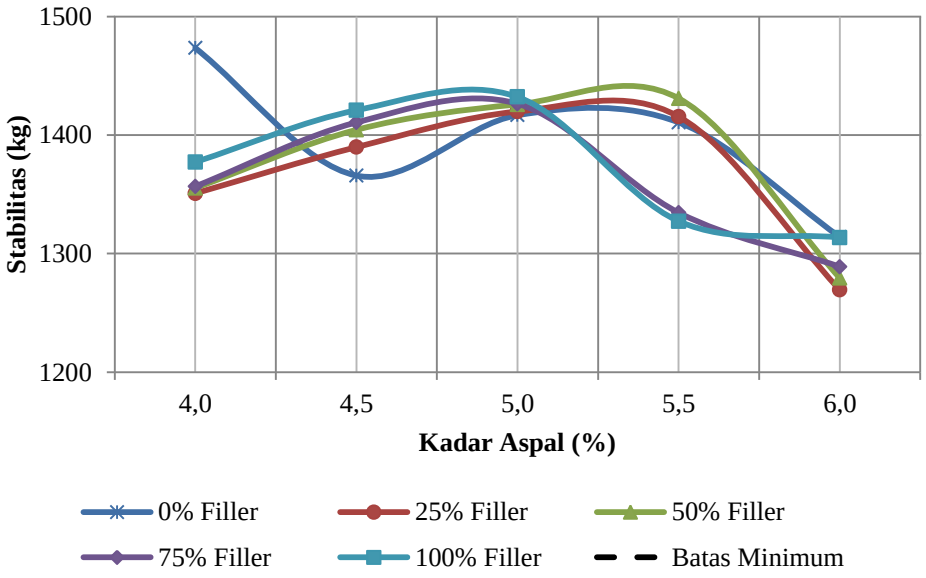
Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang dan alur sampai terjadinya kelelehan plastis yang dinyatakan dalam satuan kilogram. Nilai stabilitas tergantung dari tekstur permukaan agregat, gradasi agregat, kepadatan campuran, dan kadar aspal.

Semakin tinggi nilai stabilitas menyebabkan perkerasan akan menjadi kaku dan bersifat getas, sedangkan stabilitas yang rendah mengakibatkan perkerasan cenderung lebih fleksibel sehingga mudah mengalami *rutting.*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik stabilitas seperti ditunjukkan pada Tabel 5.18 dan Gambar 5.41 berikut ini.

Tabel 5. 18 Nilai Stabilitas dengan Variasi campuran *Filler* Kaca

Stabilitas (Kg)					
Kadar Aspal %	**Kadar *Filler* Kaca**				
	0%	25%	50%	75%	100%
4,0	1473,473	1350,787	1355,323	1356,674	1377,215
4,5	1365,799	1389,779	1404,381	1410,620	1420,893
5,0	1416,741	1419,811	1425,853	1426,389	1432,188
5,5	1410,685	1415,597	1430,946	1334,553	1327,342
6,0	1314,060	1269,427	1279,457	1288,995	1313,537



Gambar 5. 41 Grafik Hubungan Persentase Kadar Aspal dengan Stabilitas pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.41 menunjukkan nilai stabilitas mengalami peningkatan seiring penambahan kadar aspal sampai pada batas optimum, akan tetapi mengalami penurunan setelah melewati batas optimum. Hal ini disebabkan karena aspal yang pada awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat berubah menjadi pelicin setelah melewati batas optimum.

Secara umum, nilai stabilitas pada campuran penggunaan *filler* kaca 100% dibandingkan penggunaan *filler* clereng 100% pada kadar aspal sama cenderung mengalami peningkatan. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu perbedaan berat jenis *filler* kaca dengan *filler* Clereng. Pada berat yang sama campuran yang

menggunakan *filler* kaca mempunyai volume yang lebih banyak dan rongga udara pada campuran terisi lebih banyak *filler* seperti hasil *VITM* sehingga meningkatkan *interlocking*.

Hasil pengujian di laboraturium menunjukkan bahwa nilai stabilitas dengan kadar *filler* kaca 0% memiliki nilai paling rendah sebesar 1314,060 kg dan nilai stabilitas paling tinggi sebesar 1473,473 kg. Nilai stabilitas untuk kadar *filler* kaca 25% memiliki nilai paling rendah sebesar 1269,427 kg dan nilai stabilitas paling tinggi sebesar 1419,811 kg. Campuran dengan kadar *filler* kaca 50% memiliki nilai stabilitas paling rendah sebesar 1279,457 kg dan nilai stabilitas paling tinggi 1430,946 kg. Campuran dengan kadar *filler* kaca 75% memiliki nilai stabilitas paling rendah sebesar 1288,995 kg dan nilai stabilitas paling tinggi sebesar 1426,389 kg. Sedangkan pada campuran kadar *filler* kaca 100% memiliki nilai stabilitas paling rendah sebesar 1313,537 kg dan memiliki nilai stabilitas paling tinggi sebesar 1432,188 kg.

Dari hasil pengujian diatas dapat dilihat dari penggunaan 0% *filler* kaca sampai dengan 100% telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010, yaitu minimal 800 kg.

2. *Flow*

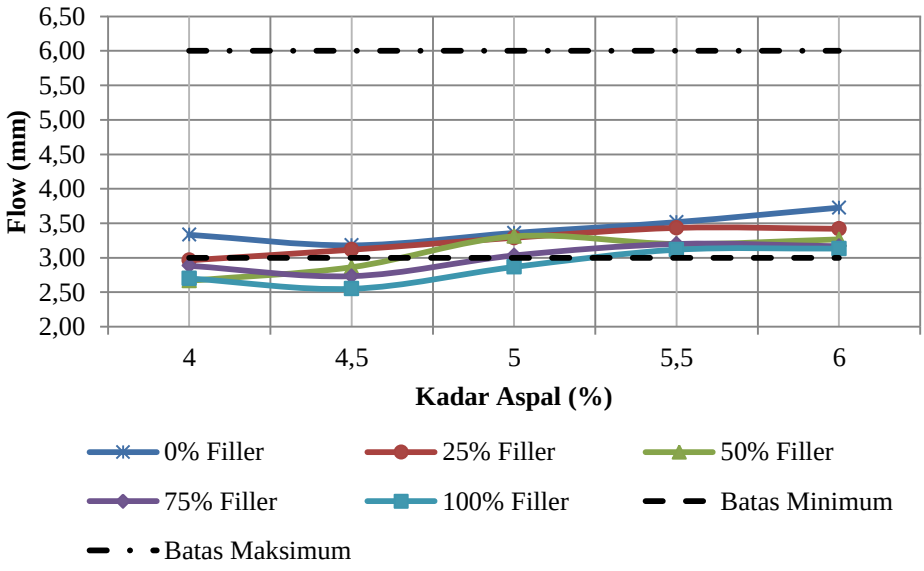
Kelelehan (*Flow*) merupakan keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan panjang (mm). Kelelehan suatu campuran menunjukkan tingkat kelenturan lapisan perkerasan, tingkat kelelehan tersebut lebih banyak ditentukan oleh aspalnya, terutama sifat daktalitas, aspal yang mempunyai sifat daktalitas rendah dalam campuran akan menghasilkan lapis perkerasan yang fleksibilitasnya rendah.

Campuran yang mempunyai *flow* rendah dengan stabilitas tinggi cenderung kaku sehingga mudah mengalami retak apabila menerima beban yang melebihi daya dukungnya. Sebaliknya nilai *flow* yang tinggi dengan stabilitas yang rendah cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk bila menerima beban lalu lintas. Menurut Bina Marga 2010, nilai *flow* untuk beton aspal dengan lalu lintas tinggi yaitu > 3mm.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *flow* seperti ditunjukkan pada Tabel 5.19 dan Gambar 5.42 berikut ini.

Tabel 5. 19 Nilai *Flow* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca

***Flow* (mm)**					
Kadar Aspal %	**Kadar *Filler* Kaca**				
	0%	25%	50%	75%	100%
4	3,33	2,96	2,67	2,88	2,70
4,5	3,18	3,12	2,86	2,73	2,55
5	3,36	3,29	3,31	3,03	2,87
5,5	3,52	3,43	3,20	3,20	3,12
6	3,73	3,42	3,27	3,17	3,13



Gambar 5. 42 Grafik Hubungan Persentase Kadar Aspal dengan *Flow* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.42 secara umum dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar aspal, nilai *flow* semakin menigkat. Hal ini disebabkan rongga pada campuran semakin kecil karena terisi oleh aspal.

Semakin besar presentase *filler* kaca yang digunakan pada campuran *Superpave* maka nilai *flow* pada campuran semakin rendah. Hal ini disebabkan

bahwa pada campuran yang menggunakan *filler* kaca lebih tinggi volume butiran semakin besar, sehingga semakin banyak butiran *filler* yang dapat mengisi celah diantara agregat, sehingga campuran menjadi semakin rapat dan kaku.

Dari hasil pengujian dilaboratorium, diketahui bahwa pada campuran dengan kadar *filler* kaca 0% memiliki nilai paling rendah yaitu sebesar 3,18 mm dan nilai *flow* paling tinggi sebesar 3,73 mm. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 25% memiliki nilai *flow* paling rendah sebesar 2,96 mm dan paling tinggi sebesar 3,43 mm. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 50% memiliki nilai *flow* paling rendah sebesar 2,67 mm dan paling tinggi sebesar 3,31 mm. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 75% memiliki nilai *flow* paling rendah sebesar 2,73 mm dan paling tinggi sebesar 3,20 mm. Sedangkan pada campuran dengan kadar *filler* kaca 100% memiliki nilai *flow* paling rendah sebesar 2,55 mm dan paling tinggi sebesar 3,13 mm.

Dari hasil pengujian diketahui terdapat nilai *flow* yang tidak memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu minimal 3,0 mm, yaitu campuran dengan kadar *filler* 25% pada kadar aspal 4%, pada campuran dengan kadar *filler* 50% pada kadar aspal 4% dan 4,5%, pada campuran dengan kadar *filler* 75% dan kadar aspal 4% dan 4,5%, kemudian pada campuran dengan kadar *filler* 100% pada kadar aspal 4%; 4,5%; dan 5%.

3. *Marshall Quotient*

Nilai *Marshall Quotient* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*). Nilai *Marshall Quotient* digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Stabilitas yang tinggi disertai nilai *flow* yang rendah menyebabkan perkerasan menjadi kaku dan getas. Sebaliknya stabilitas yang rendah dan *flow* yang tinggi menunjukkan campuran lebih bersifat plastis dan apabila menerima beban lalu lintas, maka perkerasan akan mengalami deformasi.

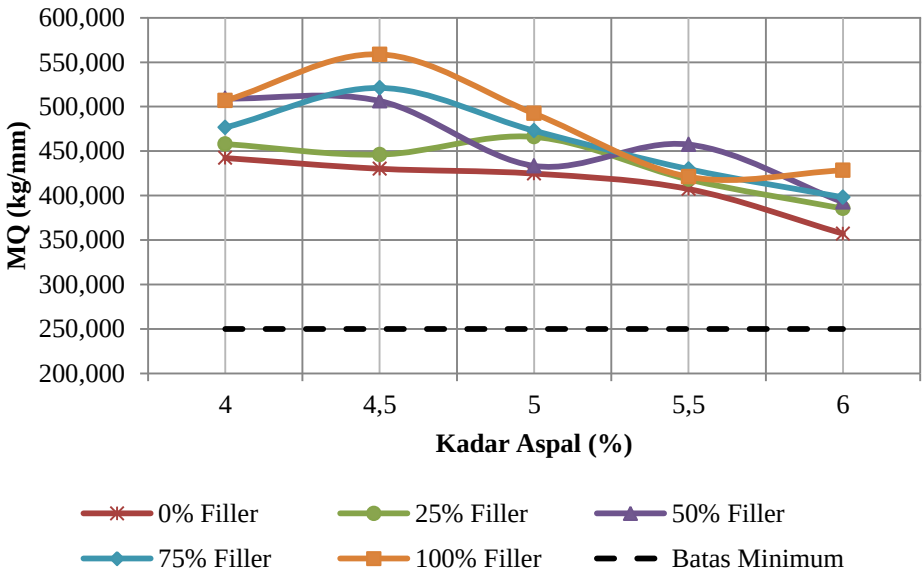
Faktor-faktor yang mempengaruhi *Marshall Quotient* adalah stabilitas dan *flow*. Hal ini berarti bahwa nilai *Marshall Quotient* juga tergantung pada faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas dan *flow,* seperti bentuk agregat, tekstur

permukaan, gradasi agregat, daya lekat, kadar aspal, viskositas aspal, jumlah dan temperature pemadatan.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *Marshall Quotient* seperti ditunjukkan pada Tabel 5.20 dan Gambar 5.43 berikut ini.

Tabel 5.20 Nilai *Marshall Quotient* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca

***Marshall Quotient* (kg/mm)**					
Kadar Aspal %	**Kadar *Filler* Kaca**				
	0%	25%	50%	75%	100%
4	442,199	457,938	509,149	476,590	506,758
4,5	430,131	446,091	506,342	521,061	558,822
5	424,679	465,961	433,375	472,939	492,232
5,5	407,297	418,115	457,381	429,751	421,092
6	357,108	385,319	392,551	397,999	428,335



Gambar 5.43 Grafik Hubungan Persentase Kadar Aspal dengan *Marshall Quotient* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.43 dapat disimpulkan bahwa nilai *Marshall Quotient* semakin menurun seiring bertambahnya penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan seiring dengan bertambahnya penggantian *filler* kaca

terhadap *filler* Clereng nilai stabilitas mengalami peningkatan dan nilai *flow* mengalami penurunan sehingga nilai perbandingan stabilitas dan *flow* mengalami peningkatan. Campuran dengan nilai stabilitas yang tinggi dan *flow* yang rendah mengakibatkan campuran memiliki kekakuan yang tinggi sehingga cenderung bersifat kaku.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *Marshall Quotient* pada campuran *Superpave* dengan kadar *filler* kaca 0% memiliki nilai paling rendah yaitu sebesar 357,108 kg/mm dan nilai paling tinggi sebesar 424,679 kg/mm. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 25% memiliki nilai *Marshall Quotient* paling rendah sebesar 385,319 kg/mm dan paling tinggi sebesar 465,961 kg/mm. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 50% memiliki nilai *Marshall Quotient* paling rendah sebesar 392,551 kg/mm dan paling tinggi sebesar 509,149 kg/mm. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 75% memiliki nilai *Marshall Quotient* paling rendah sebesar 397,999 kg/mm dan paling tinggi sebesar 521,061 kg/mm. Sedangkan pada campuran dengan kadar *filler* kaca 100% memiliki nilai *Marshall Quotient* paling rendah sebesar 421,092 kg/mm dan paling tinggi sebesar 558,822 kg/mm.

Dari hasil pengujian campuran *Superpave* dengan menggunakan kaca sebagai *filler* pengganti didapatkan bahwa pada semua campuran nilai *Marshall Quotient* lebih besar dari batas minimum persyaratan Bina Marga 2010, yaitu 250 (kg/mm).

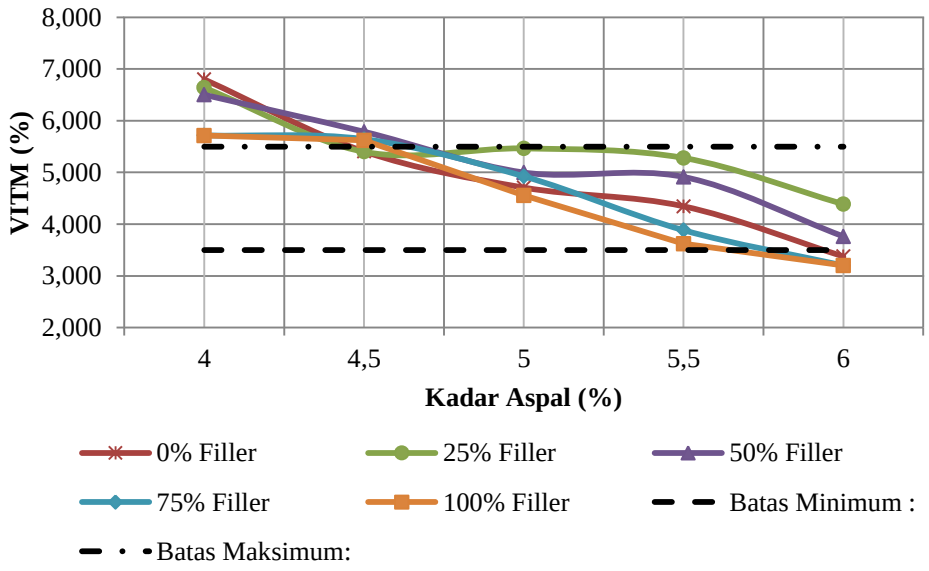
4. *VITM (Void in the Total Mix*)

VITM menunjukkan persentase banyaknya rongga yang terdapat dala suatu cmpuran terhadap total volume aspal dan agregat. Campuran yang mempunyai nilai *VITM* kecil akan memperbesar kemungkinan terjadinya *bleeding.* Akibat tingginya temperatur, aspal dalam campuran akan mencair sehingga saat perkerasan menerima beban, aspal akan mengalir di antara rongga agregat. Sebaliknya jika nilai *VITM* tinggi menunjukkan rongga yang terdapat didalam campuran besar sehingga campuran tidak rapat dan tidak kedap terhadap udara dan air. Hal ini mengakibatkan aspal mudah teroksidasi sehingga melemahkan

ikatan aspal terhadap agregat. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *VITM* seperti ditunjukkan pada Tabel 5.21 dan Gambar 5.44 berikut ini.

Tabel 5.21 Nilai *VITM* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca

***VITM* (%)**					
Kadar Aspal %	**Kadar *Filler* Kaca**				
	0%	25%	50%	75%	100%
4	6,799	6,637	6,501	5,716	5,712
4,5	5,406	5,399	5,787	5,644	5,619
5	4,707	5,464	4,999	4,925	4,557
5,5	4,345	5,280	4,913	3,883	3,621
6	3,376	4,386	3,763	3,200	3,200



Gambar 5.44 Grafik hubungan persentase kadar aspal dengan *VITM* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.44 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal nilai *VITM* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan rongga udara yang terisi aspal semakin besar dan memperkecil volume rongga udara, berarti campuran tersebut semakin rapat.

Secara umum dapat disimpulkan bahwa pada penggunaan *filler* kaca mengalami penurunan nilai *VITM*. Penurunan *VITM* menunjukan rongga yang ada dalam campuran semakin kecil. Berat jenis kaca *filler* kaca yang lebih kecil dibandingkan berat jenis *filler* Clereng sehingga pada berat yang sama menyebabkan volume butir *filler* kaca lebih besar dibandingkan volume butir *filler* Clereng. Hal ini menyebabkan rongga udara pada campuran *Superpave* ukuran nominal 25 mm banyak terisi oleh butir *filler* sehingga menurunkan nilai *VITM*.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *VITM* pada campura *Superpave* dengan kadar *filler* kaca 0% paling rendah sebesar 3,376% dan nilai paling tinggi sebesar 6,799%. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 25% memiliki nilai *VITM* paling rendah sebesar 4,386% dan paling tinggi sebesar 6,637%. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 50% memiliki nilai *VITM* paling rendah sebesar 3,763% dan paling tinggi sebesar 6,501%. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 75% memiliki nilai *VITM* paling rendah sebesar 3,200% dan paling tinggi sebesar 5,716%. %. Sedangkan pada campuran dengan kadar *filler* kaca 100% memiliki nilai *VITM* paling rendah sebesar 3,200% dan paling tinggi sebesar 5,712%.

Dapat dilihat bahwa nilai *VITM* yang tidak memenuhi batas minimum dan batas maksimum persyaratan Bina Marga 2010, yaitu sebesar 3,5% - 5,5% adalah campuran dengan kadar *filler* kaca 0% pada kadar aspal 4% dan 6%, campuran dengan kadar *filler* kaca 25% pada kadar aspal 4%, campuran dengan kadar *filler* kaca 50% pada kadar aspal 4% dan 4,5%, campuran dengan kadar *filler* kaca 75% pada kadar aspal 4%; 4,5% dan 6% kemudian campuran dengan kadar *filler* kaca 100% pada kadar aspal 4%; 4,5 dan 6%.

5. *VFWA (Void Filled With Asphalt)*

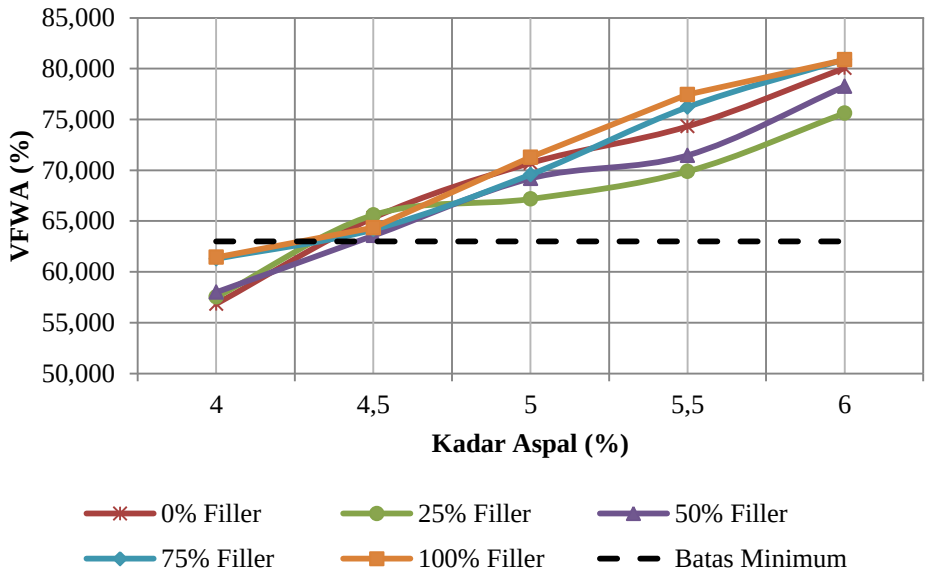
Nilai *VFWA* menunjukkan persentase rongga terisi aspal pada suatu campuran setelah dipadatkan. Besarnya nilai *VFWA* berpengaruh pada kekedapan campuran terhadap keawetan suatu perkerasan. Faktor – faktor yang

mempengaruhi nilai *VFWA* adalah gradasi agregat, kadar aspal, jumlah dan temperature pemadatan.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *VFWA* seperti ditunjukkan pada Tabel 5.22 dan Gambar 5.45 berikut ini.

Tabel 5.22 Nilai *VFWA* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca

***VFWA* (%)**					
Kadar Aspal %	**Kadar *Filler* Kaca**				
	0%	25%	50%	75%	100%
4	56,851	57,517	57,992	61,283	61,431
4,5	65,319	65,592	63,566	64,167	64,345
5	70,706	67,170	69,198	69,571	71,276
5,5	74,318	69,885	71,466	76,215	77,455
6	80,063	75,617	78,254	80,911	80,870



Gambar 5.45 Grafik hubungan persentase kadar aspal dengan *VFWA* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.45 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai *VFWA* semakin meningkat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kadar aspal yang sama, campuran *Superpave* yang

menggunakan *filler* kaca nilai *VFWA* yang lebih besar dibandingkan campuran *Superpave* dengan *filler* Clereng. Hal ini disebabkan oleh fungsi aspal selain sebagai bahan ikat, juga sekaligus sebagai pengisi rongga dalam campuran, sehingga semakin bertambah aspal optimum maka campuran semakin rapat dan rongga terisi aspal semakin tinggi. Penurunan jumlah rongga dalam campuran ini diakibatkan oleh perbedaan berat jenis *filler* kaca yang lebih rendah dari *filler* Clereng sehingga pada berat yang sama, *filler* kaca memiliki volume butiran yang lebih besar sehingga rongga semakin rapat dan rongga terisi aspal semakin besar.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *VFWA* pada campura *Superpave* dengan kadar *filler* kaca 0% memiliki nilai paling rendah sebesar 56,851% dan nilai paling tinggi sebesar 80,063%. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 25% memiliki nilai *VFWA* paling rendah sebesar 57,517% dan paling tinggi sebesar 75,517%. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 50% memiliki nilai *VFWA* paling rendah sebesar 57,992% dan paling tinggi sebesar 78,254%. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 75% memiliki nilai *VFWA* paling rendah sebesar 61,283% dan paling tinggi sebesar 80,911%. Sedangkan pada campuran dengan kadar *filler* kaca 100% memiliki nilai *VFWA* paling rendah sebesar 61,431% dan paling tinggi sebesar 80,870%.

Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* yang menggunakan *filler* pengganti kaca maupun *filler* Clereng tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2010, yaitu sebesar 63% adalah campuran *Superpave* dengan kadar aspal 4%.

6. *VMA (Void in Mineral Agregate)*

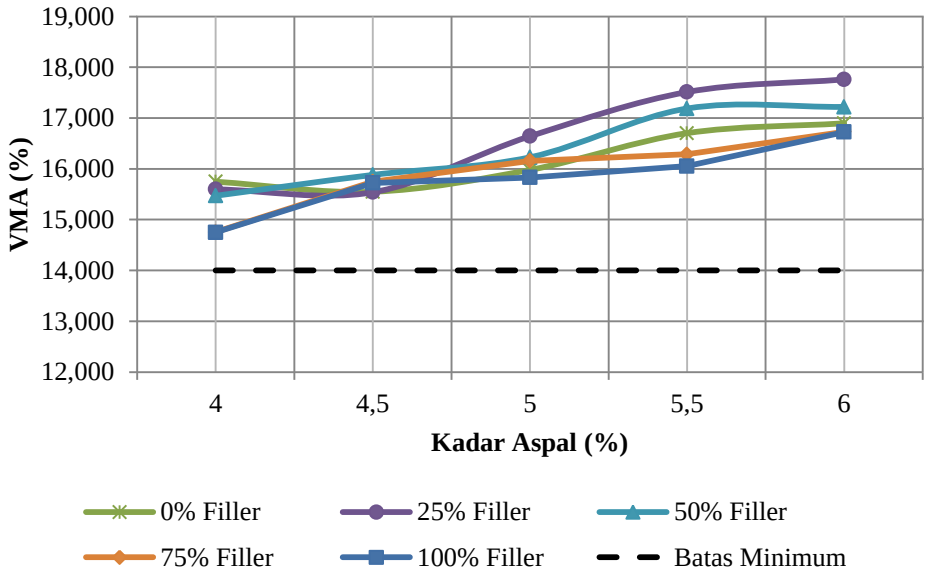
Persentase banyaknya pori antara butir-butir agregat dalam campuran, atau bisa dinyatakan sebagai persentase rongga yang dapat ditempati aspal dan udara. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, jumlah tumbukan, dan kadar aspal. Nilai *VMA* berpengaruh terhadap sifat kekedapan dan keawetan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, namun nilai *VMA* yang terlalu tinggi dapat mengakibatkan potensi terjadinya *bleeding* pada saat perkerasan menerima beban pada temperatur yang tinggi. Nilai *VMA* yang terlalu rendah akan menyebabkan

lapisan kurang dapat mengikat aspal sehingga akan mudah terjadi *raveling*, *striping* dan lain sebagainya.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *VMA* seperti ditunjukkan pada Tabel 5.23 dan Gambar 5.46 berikut ini.

Tabel 5.23 Nilai *VMA* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca

***VMA* (%)**					
Kadar Aspal %	**Kadar *Filler* Kaca**				
	0%	25%	50%	75%	100%
4	15,747	15,597	15,471	14,757	14,750
4,5	15,550	15,539	15,881	15,749	15,724
5	15,979	16,642	16,227	16,158	15,829
5,5	16,703	17,512	17,188	16,286	16,053
6	16,897	17,761	17,220	16,730	16,725



Gambar 5.46 Grafik hubungan persentase kadar aspal dengan *VMA* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.46 campuran *Superpave* yang menggunakan *filler* kaca mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal dan pada campuran menggunakan *filler* kaca memiliki nilai *VMA* yang lebih kecil dibandingkan dengan campuran *Superpave* yang menggunakan *filler* Clereng.

Penurunan nilai *VMA* ini menunjukkan semakin berkurangnya rongga antar butiran agregat dimana campuran semakin padat karena rongga-rongga telah terisi oleh *filler* sehingga ruang yang tersedia untuk aspal dan udara semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena campuran dengan proporsi *filler* kaca yang harus diselimuti oleh aspal pada berat yang sama memiliki jumlah volume butiran yang semakin besar dibandingkan volume *filler* Clereng.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *VMA* pada campuran *Superpave* dengan kadar *filler* kaca 0% memiliki nilai *VMA* paling rendah sebesar 15,55% dan nilai paling tinggi sebesar 16,897%. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 25% memiliki nilai *VMA* paling rendah sebesar 15,539% dan paling tinggi sebesar 17,761%. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 50% memiliki nilai *VMA* paling rendah sebesar 15,471% dan paling tinggi sebesar 17,22%. Pada campuran dengan kadar *filler* kaca 75% memiliki nilai *VMA* paling rendah sebesar 14,757% dan paling tinggi sebesar 16,730%. Sedangkan pada campuran dengan kadar *filler* kaca 100% memiliki nilai *VMA* paling rendah sebesar 14,750% dan paling tinggi sebesar 16,725%.

Berdasarkan dari hasil pengujian, dapat dilihat bahwa nilai *VMA* pada campuran *Superpave* dengan semua variasi kadar *filler* kaca sebagai pengganti *filler* Clereng memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu sebesar 14%.

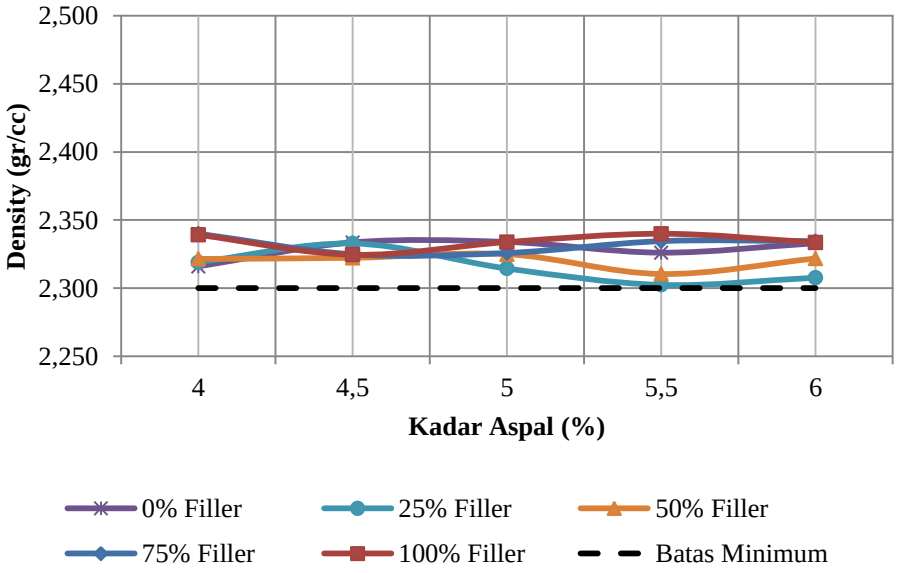
7. *Density* (Kepadatan)

Density menunjukan kepadatan suatu campuran setelah mengalami pemadatan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan kerapatanya semakin baik. Nilai dari *density* dipengaruhi oleh bahan penyusun, gradasi campuran, jumlah pemadatan, temperatur pemadatan, kadar aspal suatu campuran. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar dibandingkan dengan campuran yang memiliki nilai *density* yang rendah.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik *Density* seperti ditunjukkan pada Tabel 5.24 dan Gambar 5.47 berikut ini.

Tabel 5.24 Nilai *Density* dengan Variasi campuran *Filler* Kaca

***Density* (gr/cc)**					
Kadar Aspal %	**Kadar *Filler* Kaca**				
	0%	25%	50%	75%	100%
4	2,316	2,319	2,321	2,340	2,339
4,5	2,334	2,333	2,322	2,325	2,325
5	2,334	2,314	2,325	2,326	2,334
5,5	2,326	2,302	2,310	2,335	2,340
6	2,333	2,308	2,322	2,335	2,334



Gambar 5.47 Grafik hubungan persentase kadar aspal dengan *Density* pada Penambahan Kadar *Filler* Kaca

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.47 dapat dilihat bahwa nilai *density* pada campuran *Superpave* meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan *filler* kaca mempunyai berat jenis yang lebih rendah dibandingkan dengan *filler* Clereng sehingga pada berat yang sama, rongga pada campuran lebih banyak terisi oleh *filler* kaca. Penggantian *filler* kaca kedalam campuran *Superpave* menghasilkan nilai *density* yang relatif meningkat.

5.2.5 Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave* Pada KAO dengan Menggunakan Kaca Sebagai *Filler* Pengganti

Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai bahwa berat jenis *filler* kaca memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan *filler* Clereng dan penyerapan *filler* kaca lebih besar dari pada *filler* Clereng. Hal ini akan berpengaruh terhadap campuran *Superpave*.

Hasil penelitian penggantian *filler* Clereng dengan *filler* kaca yang digunakan pada campuran *Superpave* terlihat bahwa mengalami perubahan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada pembahasan berikut ini.

1. Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* kaca dengan nilai stabilitas pada campuran *Superpave* seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.48 berikut ini.

Gambar 5. 48 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan Stabilitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.48 di atas dapat dilihat bahwa semakin besar persentase penambahan *filler* kaca nilai stabilitas mengalami peningkatan.

Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor yaitu perbedaan berat jenis *filler* kaca dengan *filler* Clereng. Pada berat yang sama campuran yang menggunakan *filler* kaca mempunyai volume yang lebih banyak dan rongga udara pada campuran terisi lebih banyak *filler* seperti hasil *VITM* pada Gambar 5.51 sehingga meningkatkan *interlocking*.

Pada penelitian Setyawan (2013) menunjukan hasil yang sama dengan penulis. Hal ini disebabkan karena friksi / gaya gesek *filler* kaca yang tinggi dibandingikan dengan abu batu. Namun dengan pemakaian *filler* kaca yang terlalu banyak dapat menyebabkan campuran cenderung kaku.

2. *Flow*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* kaca dengan nilai *flow* pada campuran *Superpave* seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.49 berikut ini.

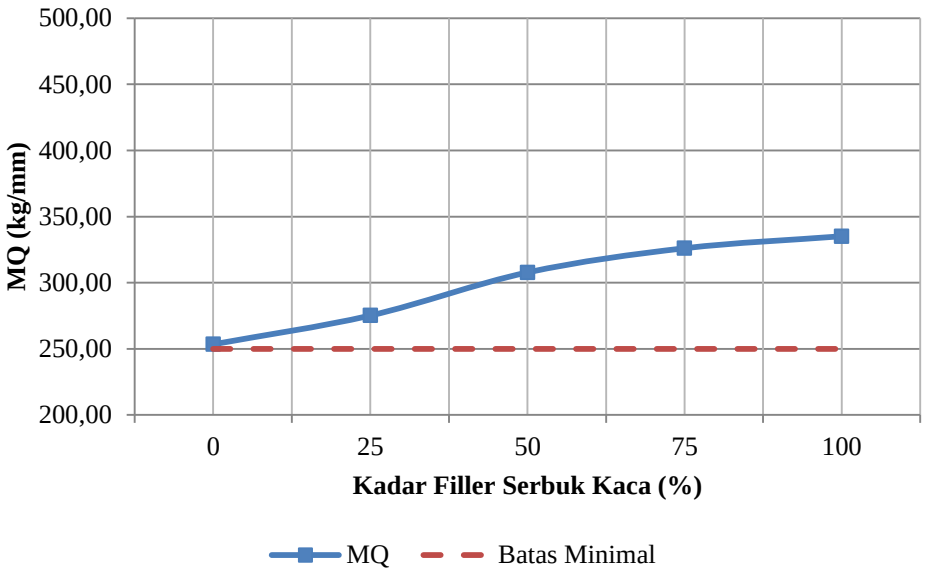
Gambar 5. 49 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *Flow*.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.49 di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* semakin menurun seiring dengan meningkatnya proporsi kadar *filler* kaca dalam

campuran *Superpave*. Hasil tersebut menunjukan kesamaan pada penelitian Setyawan (2013) dengan campuran *HRS-WC* dan *SMA*. Sejalan dengan uraian diatas, bahwa pada campuran yang menggunakan *filler* kaca lebih tinggi volume butiran semakin besar, sehingga semakin banyak butiran *filler* yang dapat mengisi celah diantara agregat, sehingga campuran menjadi semakin rapat dan kaku.

3. *Marshall Quotient*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* kaca dengan nilai *Marshall Quotient* pada campuran *Superpave* seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.50 berikut ini.



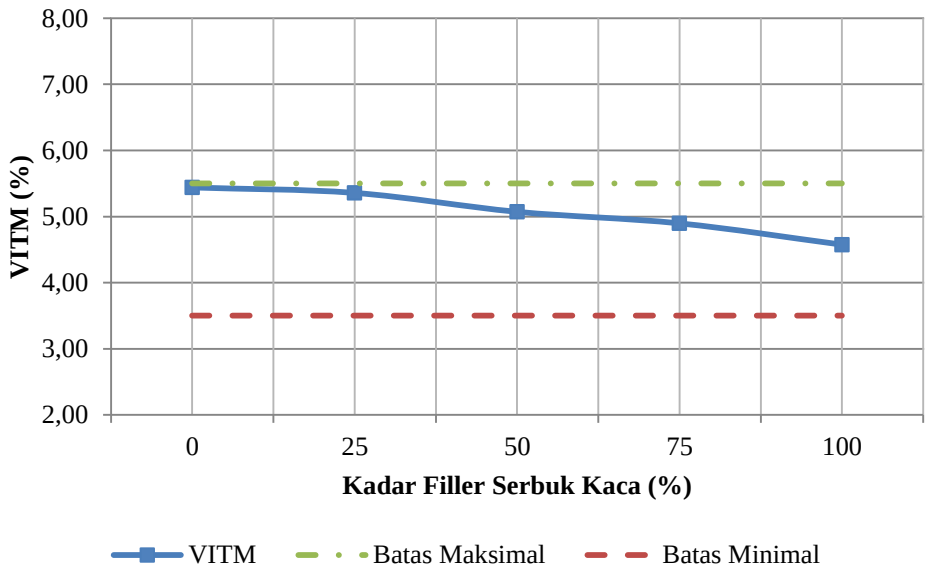
Gambar 5. 50 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *Marshall Quotient*

Berdasarkan Gambar 5.50 dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan. Hasil tersebut menunjukan kesamaan pada penelitian Setyawan (2013) dengan campuran *HRS-WC* dan *SMA.* Hal ini disebabkan seiring dengan bertambahnya penggantian *filler* kaca terhadap *filler* Clereng nilai stabilitas mengalami peningkatan dan nilai *flow* mengalami penurunan sehingga nilai perbandingan stabilitas dan *flow* mengalami peningkatan. Campuran dengan

nilai stabilitas yang tinggi dan *flow* yang rendah mengakibatkan campuran memiliki kekakuan yang tinggi sehingga cenderung bersifat kaku.

4. *VITM* (*Void in the Total Mix*)

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* kaca dengan nilai *VITM* pada campuran *Superpave* seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.51 berikut ini.



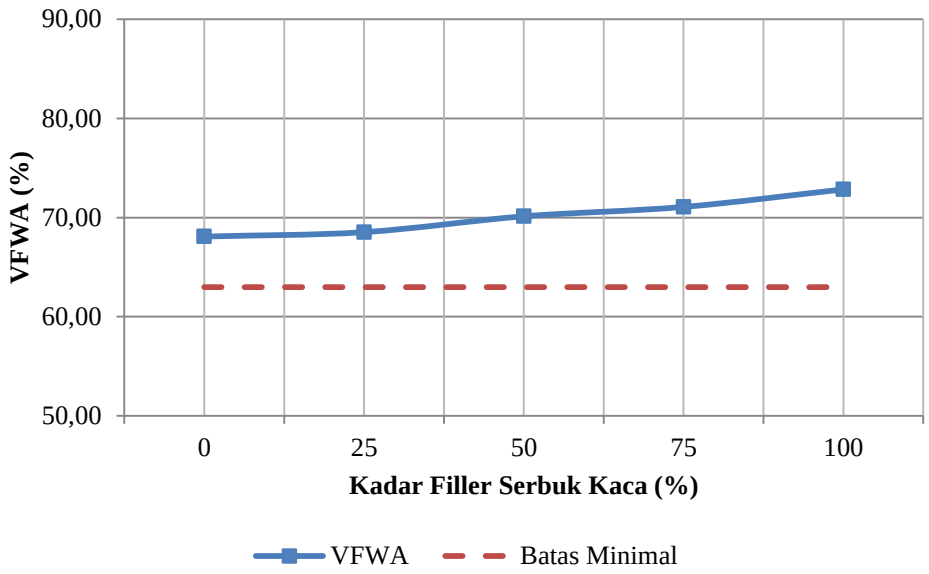
Gambar 5. 51 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *VITM*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.51 dapat dilihat semakin besar persentase penggatian *filler* kaca terhadap *filler* Clereng dalam campuran *Superpave* ukuran nominal 25 mm menghasilkan nilai *VITM* yang cenderung turun. Hasil tersebut menunjukan kesamaan pada penelitian Setyawan (2013) dengan campuran *HRS-WC* dan *SMA*. Campuran *Superpave* yang menggunakan *filler* kaca mempunyai nilai *VITM* yang cenderung lebih kecil dibandingkan campuran *Superpave* yang menggunakan *filler* Clereng begitu juga pada campuran *HRS-WC* dan *SMA*. Penurunan *VITM* menunjukan rongga yang ada dalam campuran semakin kecil. Berat jenis kaca *filler* kaca yang lebih kecil dibandingkan berat jenis *filler* Clereng sehingga pada berat yang sama menyebabkan volume butir *filler* kaca lebih besar dibandingkan volume butir

filler Clereng. Hal ini menyebabkan rongga udara pada campuran *Superpave* ukuran nominal 25 mm banyak terisi oleh butir *filler* sehingga menurunkan nilai *VITM*.

5. *VFWA (Void Filled With Asphalt)*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* kaca dengan nilai *VFWA* pada campuran *Superpave* seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.52 berikut ini.



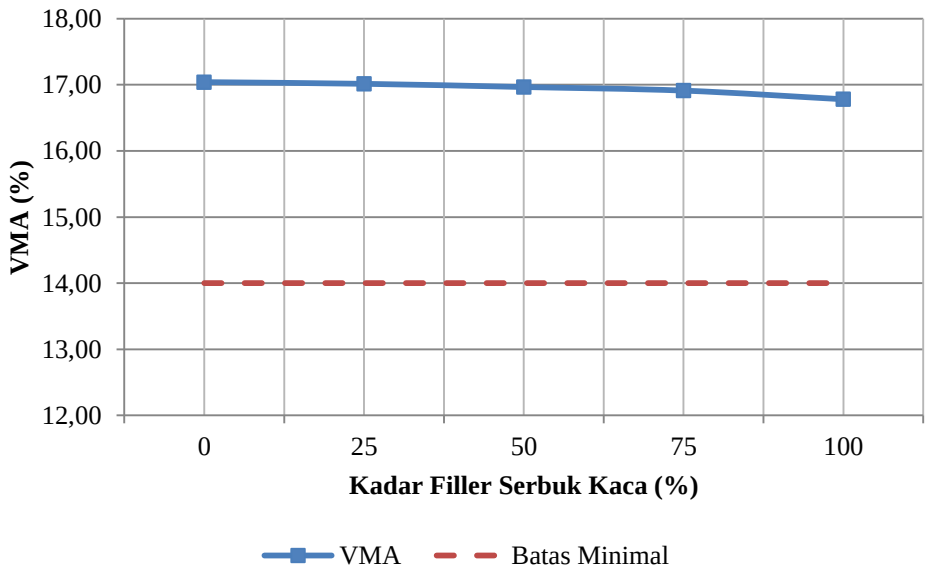
Gambar 5. 52 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.52 nilai *VFWA* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar filler kaca. Hasil tersebut menunjukan kesamaan pada penelitian Setyawan (2013) dengan campuran *HRS-WC* dan *SMA*. Grafik hubungan antara nilai *VITM* dan nilai *VFWA* pada berbagai kadar aspal optimum dan kadar *filler* kaca ditunjukkan pada Gambar 5.51 dan Gambar 5.52. Dari Grafik tersebut dapat dilihat bahwa nilai *VITM* semakin menurun dengan bertambahnya kadar *filler* kaca, sebaliknya nilai *VFWA* semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh fungsi aspal selain sebagai bahan ikat juga sekaligus sebagai

pengisi rongga dalam campuran sehingga semakin bertambah aspal optimum maka campuran semakin rapat dan rongga terisi aspal semakin tinggi. Penurunan jumlah rongga dalam campuran ini diakibatkan oleh perbedaan berat jenis *filler* kaca yang lebih rendah dari *filler* Clereng sehingga pada berat yang sama, *filler* kaca memiliki volume butiran yang lebih besar sehingga rongga semakin rapat dan rongga terisi aspal semakin besar.

6. *VMA (Void in Mineral Agregate)*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *filler* kaca dengan nilai *VMA* pada campuran *Superpave* seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.53 berikut ini.



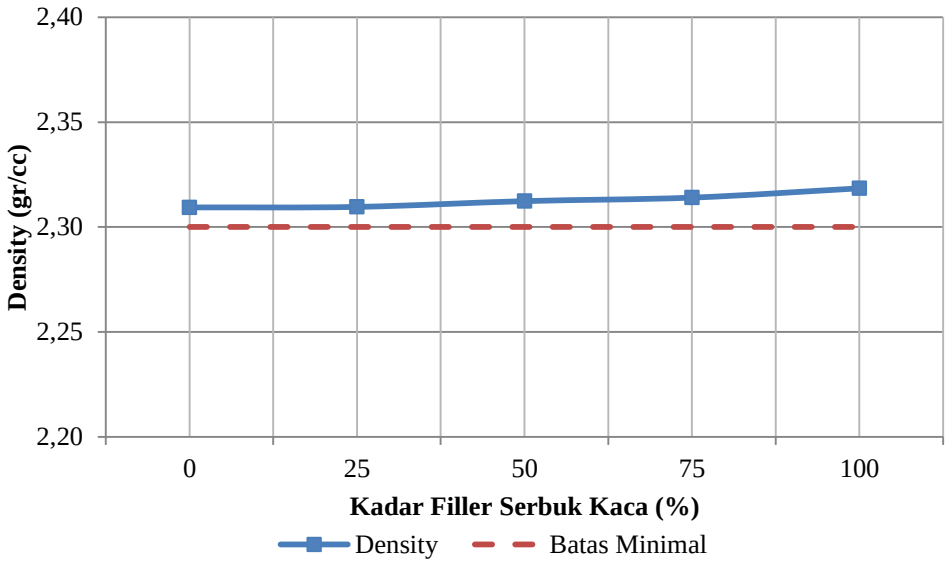
Gambar 5. 53 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *VMA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.53 dapat dilihat bahwa semakin besar persentase penggantian *filler* kaca ke dalam campuran *Superpave* nilai *VMA* semakin menurun. Hasil tersebut menunjukan kesamaan pada penelitian Setyawan (2013) dengan campuran *HRS-WC* dan *SMA.* Penurunan nilai *VMA* ini menunjukkan semakin berkurangnya rongga antar butiran agregat dimana

campuran semakin padat karena rongga-rongga telah terisi oleh *filler* sehingga ruang yang tersedia untuk aspal dan udara semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena campuran dengan proporsi *filler* kaca yang harus diselimuti oleh aspal pada berat yang sama memiliki jumlah volume butiran yang semakin besar dibandingkan volume *filler* Clereng.

7. *Density*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium didapatkan hasil hubungan antara kadar *filler* kaca dengan nilai *density* pada campuran *Superpave* seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.54 berikut ini.



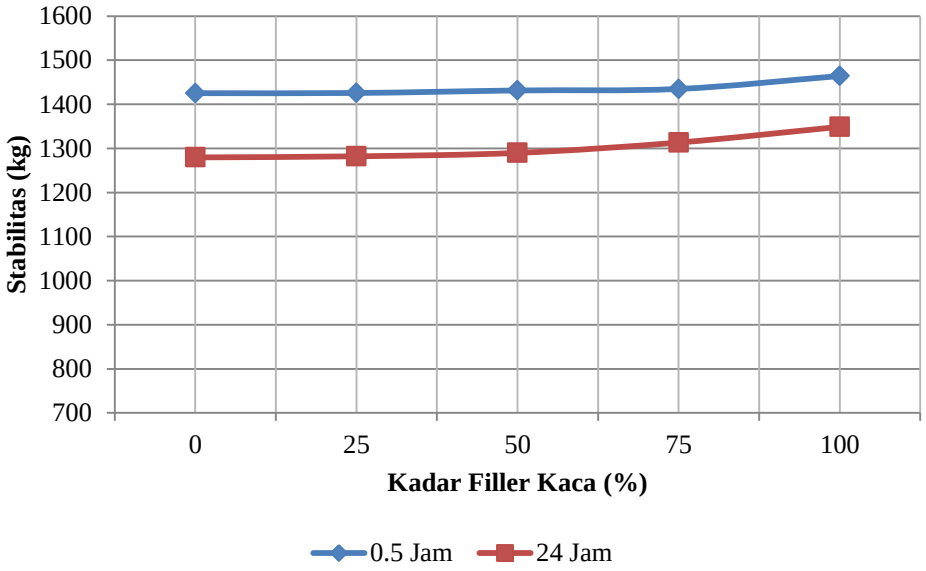
Gambar 5. 54 Grafik Hubungan Kadar *Filler* Kaca dengan *Density*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.54 dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya proporsi penggantian *filler* kaca kedalam campuran *Superpave* maka nilai *density* pada campuran *Superpave* semakin meningkat. Hal ini disebabkan *filler* kaca mempunyai berat jenis yang lebih rendah dibandingkan dengan *filler* Clereng sehingga pada berat yang sama, rongga pada campuran lebih banyak terisi oleh *filler* kaca.

5.2.6 Karakteristik *Immersion Test*

1. Stabilitas Rendaman

Immersion test atau uji perendaman sama dengan uji *Marshall* standar, hanya waktu perendamaan di dalam *waterbath* yang berbeda. Lama waktu perendahan benda uji pada pengujian ini adalah 24 jam pada suhu konstan 60ºC. Hal ini bertujuan untuk mengetahui stabilitas campuran aspal terhadap pengaruh suhu, cuaca dan air. Nilai stabilitas rendaman 0,5 jam dan rendaman 24 jam dapat dilihat pada Gambar 5.55 berikut ini.



Gambar 5. 55 Grafik Hubungan Kadar *Filler* Kaca dengan Stabilitas Standar dan *Immersion*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.55 diketahui bahwa nilai stabilitas pada *Marshall* rendaman 24 jam lebih rendah dibandingkan dengan stabilitas pada rendaman *marshall* standar. Hal ini dikarenakan proses perendaman yang mencapai waktu 24 jam menyebabkan air masuk ke dalam pori-pori campuran sehingga mengurangi ikatan adhesi antara aspal dan agregat.

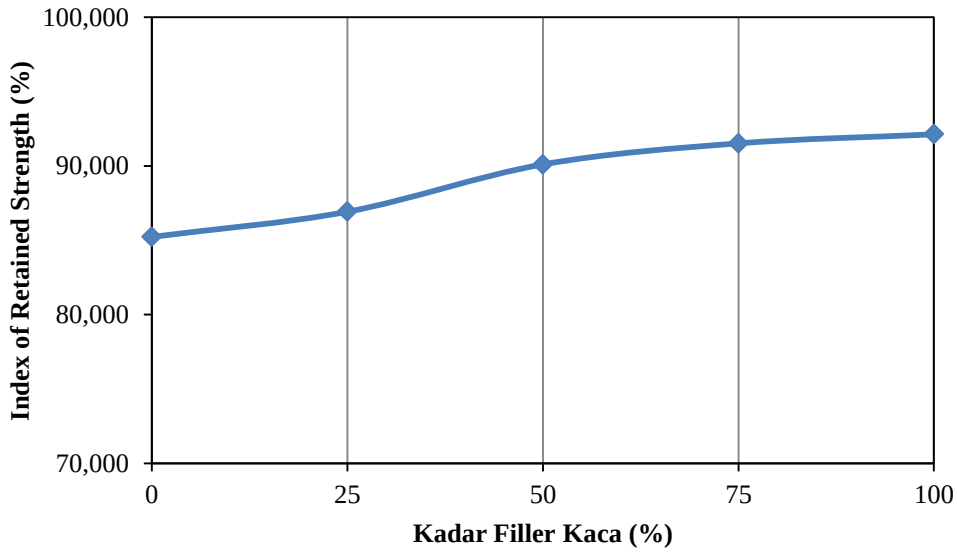
2. *Index of Retained Strength*

Index of retained strength (Indeks Tahan Sisa) perbandingan nilai stabilitas perendaman campuran yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan *(strength)* dan kekakuan *(stifness)*. Perendaman dalam penelitian ini yaitu perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C terhadap perendaman selama 0,5 jam pada suhu 60°C.

Nilai minimum *index of retained strength* telah ditentukan oleh Bina Marga yaitu ≥90%. Apabila suatu campuran perkerasan yang memiliki nilai *index of retained strength* ≥90% berarti campuran perkerasan tersebut tahan terhadap kerusakan oleh kehadiran air.

Nilai *index of retained strength* dihitung dengan membandingkan nilai stabilitas dari campuran *Superpave* dengan masing-masing kadar *filler* kaca setelah direndam 24 jam dengan nilai stabilitas dari campuran *Superpave* dengan masing-masing kadar *filler* yang direndam selama 0,5 jam.

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh dari hasil perhitungan dapat dilihat hubungan antara nilai IRS dengan variasi kadar *filler* kaca sebagai pengganti dalam campuran *Superpave* seperti pada Gambar 5.56 di bawah ini.

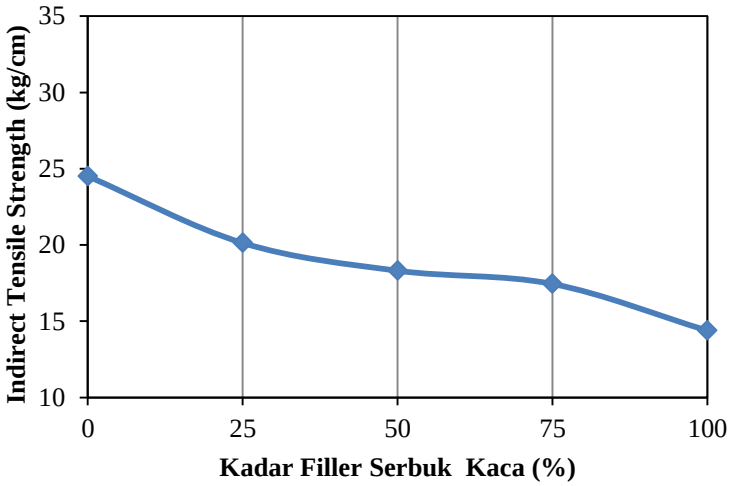


Gambar 5. 56 Grafik hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan Nilai IRS

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.56 dapat dilihat bahwa seiring dengan semakin besar kadar penggantian *filler* kaca kedalam campuran *Superpave* nilai *Index of Retained Strength* semakin meningkat. Peningkatan pada nilai *Index of Retained Strength* menunjukan bahwa ketahanan campuran akibat pengaruh air, suhu dan cuaca cenderung semakin meningkat. Hal ini disebabkan rongga pada campuran *Superpave* yang semakin kecil dengan penambahan *filler* kaca ini dapat dilihat pada nilai *VFWA* yang semakin tinggi dan *VITM* mengalami penurunan.

5.2.7 Karakteristik *Indirect Tensile Strength*

Indirect Tensile Strength adalah pengujian untuk mengetahui kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban, yang diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 3.15. Dari hasil pengujian *Indirect Tensile Strength Test* terhadap variasi penggantian kadar *filler* kaca kedalam campuran *Superpave*. Adapun hubungan kadar penggantian *filler* kaca dengan nilai *Indirect Tensile Strength* pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Gambar 5.57 berikut ini.



Gambar 5. 57 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan *Indirect Tensile Strength*

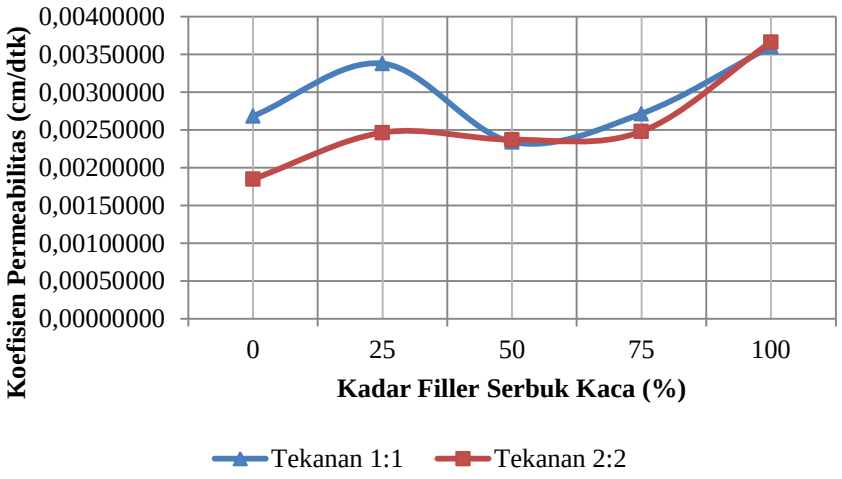
Berdasarkan Gambar 5.57 dapat dilihat bahwa penggantian *filler* kaca kedalam campuran *Superpave* menurunkan nilai *Indirect Tensile Strengt.*

Penurunan pada nilai *Indirect Tensile Strengt* menujukan bahwa kuat tarik pada campuran *Superpave* menggunakan persentase *filler* yang semakin banyak menyebabkan kuat tarik cenderung semakin menurun dan menggambarkan bahwa potensi terjadi retakan semakin besar.

Hal ini disebabakan karena semakin besar proporsi penggantian *filler* kaca ke dalam campuran, maka nilai kadar aspal optimum yang dihasilkan semakin meningkat. Nilai Kadar aspal optimum yang semakin besar dengan meningkatnya kadar *filler* kaca menyebabkan nilai *VITM* menurun nilai *VFWA* meningkat dan nilai *VMA* menurun. Hal ini disebabkan rongga telah terisi oleh *filler* kaca namun aspal yang berada dalam campuran tidak seluruhnya menyelimuti agregat.

5.2.8 Permeabilitas

Permeabilitas aspal adalah derajat kerapatan konstruksi campuran aspal untuk dapat ditambus oleh zat cair, nilai permeabilitas aspal didapatkan berdasarkan hasil pengujian yang selanjutnya dianalisis menggunakan Persamaan 3.16. Hasil pengujian permeabilitas campuran *Superpave* pada kadar aspal optimum dengan menggunakan *filler* kaca sebagai pengganti dapat dilihat pada Gambar 5.58 berikut ini.



Gambar 5. 58 Grafik Hubungan antara Kadar *Filler* Kaca dengan Koefisien Permeabilitas.

Berdasarkan Gambar 5.58 dapat dilihat bahwa semakin besar penggantian *filler* kaca kedalam campuran maka nilai koefisien permeabilitas semakin besar. Peningkatan nilai koefisien permeabilitas tekanan 2-2 terjadi secara signifikan, namun peningkatan nilai koefisien permeabilitas pada tekanan 1-1 terjadi tidak signifikan. Pada pengujian permaeabilitas pada campuran *Superpave* menggunakan *filler* kaca menunjukan bahwa campuran tersebut masuk pada kategori drainase jelek terhadap air baik pada tekanan 1000 dyne/cm^2 maupun pada tekanan 2000 dyne/cm^2.

Pada campuran *Superpave* dengan menggunakan *filler* kaca sebagai pengganti *filler* Clereng banyak mengandung silika menghasilkan nilai *VITM* semakin kecil dan nilai *VFWA* semakin meningkat. Sukirman (2007) menyatakan bahwa granit dan agregat yang mengandung silika merupakan agregat yang bersifat *hydrophilic*, yaitu agregat yang mudah diresapi air. Hal ini mengakibatkan agregat tersebut tidak mudah dilekati aspal sehingga ikatan aspal mudah lepas. Ikatan aspal yang lepas tersebut menyebabkan campuran mudah dilewati oleh air. Pada penelitian Setyawan (2013) dengan campuran *HRS-WC* dan *SMA* tidak melakukan uji permeabilitas. Tetapi, pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Putranto (2011) menggunakan material Koripan banyak mengandung silika menghasilkan nilai koefisien permeabilitas vertikal aspal porous agregat Koripan lebih besar 26,98% dibanding aspal porous batu pecah. Perbedaan nilai permeabilitas disebabkan karena aspal banyak terserap ke dalam agregat Koripan yang mempunyai pori yang besar sehingga lapisan aspal lebih tipis yang menjadikan porositas campuran lebih besar sehingga relatif lebih mudah dilalui oleh air.

BAB VI
SIMPULAN DAN SARAN

6.1 Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan dari karakteristik campuran *Superpave* ukuran nominal maksimal 25 mm dengan kaca sebagai pengganti *filler* Clereng dapat disimpulkan bahwa campuran mengalami perubahan karakteristik. Hal tersebut dapat dilihat dari perubahan nilai *Marshall*, *IRS*, *ITS*, dan Permeabilitas. Secara khusus berdasarkan hasil penelitian dan analisis dari pengaruh kaca sebagai pengganti *filler* pada campuran *Superpave* dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Campuran *Superpave* ukuran nominal maksimal 25 mm menggunakan kaca sebagai *filler* pengganti mengalami perubahan karakteristik *Marshall* yaitu pada kemapuan campuran menahan beban semakin meningkat dan kelelehan semakin menurun. Hal ini dapar dilihat pada nilai stabilitas mengalami peningkatan, *flow* mengalami penurunan, nilai *MQ* mengalami peningkatan, *VITM* mengalami penurun, density mengalami peningkatan, *VFWA* mengalami peningkatan dan *VMA* mengalami penurunan.
2. Keawetan campuran *Superpave* ukuran nominal maksimal 25 mm yang diukur ketahananya dalam mempertahankan stabilitas setelah mengalami rendaman yang diukur dengan nilai *Index of Retained Strength* mengalami peningkatan seiring dengan penambahan proporsi *filler* kaca. Hal ini menunjukan bahwa keawetan (*Durability*) semakin meningkat.
3. Kemampuan menahan gaya tarik *(Indirect Tensile Strength)* campuran *Superpave* ukuran nominal maksimal 25 mm seiring peningkatan proporsi *filler* kaca mengalami penurunan. Hal ini menunjukan bahwa campuran dalam menahan kuat tarik semakin menurun sehingga campuran cenderung mudah terjadi retak.
4. Pada pengujian permeabilitas menunjukan bahwa campuran termasuk drainase jelek air setelah di tambahkan proporsi *filler* kaca. Nilai

permeabilitas pada campuran *Superpave* ukuran nominal maksimal 25 mm yang menggunakan kaca sebagai *filler* mengalami peningkatan cukup signifikan. Pada tekanan 2-2 mengalami peningkatan yang signifikan namun pada tekanan 1-1 tidak signifikan. Hal ini menunjukan bahwa seiring penambahan *filler* kaca kedalam campuran *Superpave* meningkatkan kemampuan campuran mengalirkan air.

6.2 Saran

Merujuk pada hasil penelitian campuran *Superpave* ukuran nominal maksimal 25 mm dengan menggunakan kaca sebagai pengganti *filler* Clereng, maka penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai limbah kaca sebagai pengganti agregat halus maupun *filler* dalam perkerasan.
2. Perlu adanya penelitian jenis campuran perkerasan lain mengenai limbah kaca sebagai pengganti *filler*.
3. Pada penelitian ini menggunakan AC 60/70 produksi PT. Pertamina, maka perlu adanya penelitian lanjutan menggunakan jenis aspal lain.

DAFTAR PUSTAKA

American Society for Testing and Materials, 1969, *Marshal Stability Test Apparatus*, ASTM designation: D.1075-54 (1969), Philadelpia, PA

Aminah, Siti. 2015. Pengaruh Kadar Limbah Batu Andesit Sebagai Filler Pengganti terhadap Karakteristik Campuran *Superpave. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, 2008, *Tata Cara Pengujian Agregat Kasar dan Halus*, SNI: 1969-2008, Penerbit Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, Badan Penelitian dan Pengembangan Pekerjaan Umum, 1991, *Metoda Pengujian Bahan-Bahan Bitumen*, SNI: 06-2456-1991, Penerbit Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga, 1999, *Pemeliharaan Rutin Jalan Bina Marga, Departemen PekerjaanUmum*, Jakarta.

Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010, *Spesifikasi Umum 2010*. Penerbitn Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Fauziah, Miftahul, Berlian Kushari, dan Fauzan Ranski, 2014. Pengaruh Abu Ampas Tebu Sebagai *Filler* Pengganti Terhadap Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave. International Symposium Journal*. Universitas Jember, Jember.

Mutohar, Yazid, 2002, Pengaruh Penggunaan *Filler Fly Ash* Terhadap Nilai Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR), *Master Thesis*, Universitas Diponegoro, Semarang.

Nur'ubay, Istiqomah, 2010, Tinjauan Kuat Tarik Tidak Langsung, Kuat Tekan Bebas, dan Permeabilitas Campuran Dingin *Rolled Asphalt* dengan *Rapid Curing Cutback Asphalt* Sebagai *Binder*, UNS, Surakarta. https://www.google.co.id/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwijw_Syq7LSAhVFj5QKHWN0A-

8QFggmMAA&url=http%3A%2F%2Fjurnal.unej.ac.id%2Findex.php%2FPFSTPT%2Farticle%2Fdownload%2F2915%2F2341&usg=AFQjCNH43LqWH3dFbJrXWkJfIMtHQ6Rwgw&bvm=bv.148073327,d.dGc

Putranto, Rizky Eka. 2011. Penggunaan Material Galian Dari Desa Koripan, Matesih Untuk Pembuatan Aspal Porous. *Tugas Akhir*. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

Setyawan, Rossian March. 2013. Komparasi Penggunaan *Filler* Kaca pada Campuran *HRS* dan *SMA* terhadap Karakteristik *Marshall* dan Workabilitas. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Surakarta.

Strategic Highway Research Program, 1994, National Research Council, Washington

Sukirman, Silvia., 1992, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung

Sukirman, Silvia, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta.

Sukirman, Silvia, 2007, *Beton Aspal Campuran Panas*, Yayasan Obor Indonesia, Jakarta

Wikipedia, 2016, Jumlah Penduduk Indonesia pada Tahun 2015, (https://id.wikipedia.org/wiki/Daftar_negara_menurut_jumlah_penduduk, Diakses pada 18 Oktoer 2016)

Zeelliin, Elisabeth. 2015. Evaluasi Kinerja Stabilitas Dinamis pada Campuran *Superpave* dengan Tambahan Serat Serabut Kelapa Menggunakan uji *Marshall* dan Uji *Wheel Tracking.Skripsi*.Universitas Mercu Buana, Jakarta Barat.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

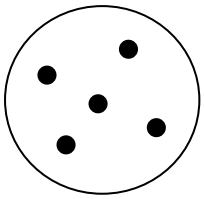
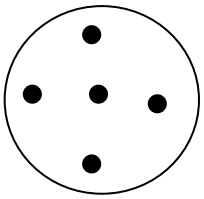
LABORATORIUM JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 2017

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 ^{O}C	09.05 WIB
	Selesai	130 ^{O}C	09.20 WIB
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	25 ^{O}C	09.20 WIB
	Selesai	25 ^{O}C	10.30 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	25 ^{O}C	10.30 WIB
	Selesai	25 ^{O}C	10.50 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	(mm)	(mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	62	68		
2	61	68		
3	60	66		
4	63	67		
5	62	68		
Rata2	61,6	67,4		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 2 Kelekatan Aspal Terhadap Batuan

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN KELEKATAN ASPAL TERHADAP BATUAN

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 2017

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Pembacaan	
		Waktu	Suhu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	10.00 WIB	28 ^{O}C
	Selesai	11.00 WIB	70 ^{O}C
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	11.00 WIB	70 ^{O}C
	Selesai	12.10 WIB	30 ^{O}C
3	Diperiksa		
	Mulai	12.15 WIB	28 ^{O}C
	Selesai	13.50 WIB	28 ^{O}C

HASIL PEMERIKSAAN

No	**Benda Uji**	**% Terselimuti Aspal**	**Keterangan**
1	Benda Uji 1	99,7 %	
2	Benda Uji 2	99,3 %	
3	Rata-rata	99,5%	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 2017

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	23 ^{O}C	09.45 WIB
	Selesai	42 ^{O}C	09.57 WIB
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	23 ^{O}C	09.45 WIB
	Selesai	42 ^{O}C	09.57 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	42 ^{O}C	14.57 WIB
	Selesai	42 ^{O}C	14.50 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (^{O}C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
5	25 ^{O}C				
6	30 ^{O}C	155	155		
7	35 ^{O}C	295	295		
8	40 ^{O}C	441	441	52	51
9	45 ^{O}C				
10	50 ^{O}C				
Rata-rata				51,5	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 4 Pemeriksaan Daktilitas

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY) / RESIDUE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 2016

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PEMERIKSAAN

No	Benda uji	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	164 cm	Tidak putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak putus

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 5 Titik Nyala & Titik Bakar Aspal

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & BAKAR ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 2017

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan benda uji		
	Mulai	27 ^{O}C	13.40 WIB
	Selesai	325 ^{O}C	14.10 WIB
2	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	27 ^{O}C	14.10 WIB
	Selesai	27 ^{O}C	14.50 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	100 ^{O}C	14.50 WIB
	Selesai	325 ^{O}C	15.20 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda uji 1	325 ^{O}C	342 ^{O}C

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam *Ccl4*

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM *CCL4 / TCE*

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 2017

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
2	Penimbangan	Mulai	13.00 WIB	26 ^{O}C
3	Pelarutan	Mulai	13.05 WIB	26 ^{O}C
4	Penyaringan	Mulai	13.15 WIB	26 ^{O}C
		Selesai	13.25WIB	26 ^{O}C
5	Di Oven	Mulai	13.25 WIB	100 ^{O}C
6	Penimbangan	Selesai	13.41 WIB	26 ^{O}C

HASIL PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat erlen meyer kosong	76,20 gr	75,27 gr
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	76,22 gr	76,76 gr
3	Berat Aspal (2-1)	2 gr	1,49 gr
4	Berat kertas saring bersih	0,63 gr	60,60 gr
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,65 gr	0,61 gr
6	Berat mineral (5-4)	0,02 gr	0,01 gr
7	Persentase mineral (6/3x100%)	1 gr	0,67 gr
8	Aspal yang larut (100%-7)	99,6 gr	99,33 gr
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,46 %	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 2017

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Piknometer kosong (gr)	13,37	12,35
2	Berat Piknometer +Aquadest (gr)	24,64	24,82
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	11,27	12,47
4	Berat Piknometer + Aspal (gr)	14,71	12,79
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	1,34	0,44
6	Berat Piknometer +Aspal + Aquadest (gr)	24,67	24,84
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	9,96	12,05
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	1,31	0,42
9	Berat Jenis Aspal = Berat/Vol (5/8)	1,023	1,047
10	Rata-rata BJ Aspal	1,035	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 8 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 2017

No	Keterangan	Benda Uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ)	1597,21 gr	1612,15 gr	1604,68 gr
2	Berat benda uji alam air (BA)	1001,02 gr	1000,95 gr	1000,99 gr
3	Berat benda uji dikering oven (BK)	1574,50 gr	1592,62 gr	1583,56 gr
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{BJ-BA}$	2,64	2,61	2,62
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{BJ-BA}$	2,68	2,64	2,66
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{BK-BA}$	2,75	2,69	2,72
8	Penyerapan air = $\frac{BK}{BK-BA}$ x 100%	1,44 %	1,23 %	1,33 %

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 9 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 2017

No	Keterangan	Benda Uji		
		1	2	Rata-rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ)	610,75 gr	612,65 gr	611,70 gr
2	Berat Piknometer + air (B)	663,95 gr	665,49 gr	664,72 gr
3	Berat Piknometer + air + benda uji (BT)	976,70 gr	969,8 gr	973,25 gr
4	Berat benda uji kering (BK)	495,13 gr	493,13 gr	494,13 gr
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,64	2,52	2,58
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,67	2,56	2,61
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,71	2,61	2,66
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK}$ x 100%	0,98	1,39	1,19

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Clereng

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT *FILLER* CLERENG

Material : *Filler* Clereng
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 2017

Pemerikasaan	Sampel	
	1	2
Berat Vicnometer Kosong (gr)	13,350	12,390
Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	24,650	24,880
Berat Aquadest (gr)	11,300	12,490
Berat Vicnometer + Filler (gr)	14,350	13,310
Berat Filler (gr)	1,000	0,920
Berat Vinometer + Filler + Aquadest (gr)	25,370	25,260
Berat Aquadest (gr)	11,020	11,950
Volume Filler (gr)	0,280	0,540
Berat Jenis Filler	3,571	1,704
Rata - Rata BJ Filler	2,638	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 11 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Kaca

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* KACA

Material : *Filler* Kaca
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 2017

Pemerikasaan	Sampel	
	1	2
Berat *Vicnometer* Kosong (gr)	12,360	13,380
Berat *Vicnometer* + Aquadest (gr)	24,850	24,610
Berat *Aquadest* (gr)	12,490	11,230
Berat *Vicnometer* + *Filler* (gr)	15,240	16,720
Berat Filler (gr)	2,880	3,340
Berat *Vicnometer* + *Filler* + *Aquadest* (gr)	26,580	26,630
Berat *Aquadest* (gr)	11,340	9,910
Volume *Filler* (gr)	1,150	1,320
Berat Jenis *Filler*	2,504	2,530
Rata - Rata BJ *Filler*	2,517	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 12 Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 2017

No	Keterangan	Pembacaan	
		Suhu	Waktu
1	Mulai pemanasan benda uji	0 ^{O}C	13.40 WIB
2	Selesai pemanasan benda uji	150 ^{O}C	13.50 WIB
3	Mulai didiamkan pada suhu ruang	150 ^{O}C	13.50 WIB
4	Selesai didiamkan pada suhu tuang	26 ^{O}C	15.20 WIB
5	Mulai direndam aquadest	26 ^{O}C	15.20 WIB
6	Selesai direndam aquadest	26 ^{O}C	16.00 WIB

No	Keterangan	% Yang diselimuti aspal
1	Benda uji 1	99%
2	Benda uji 2	98%
3	Rata-rata	98,5%

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 13 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 2017

No	Keterangan		Benda Uji	
			1	2
1	Persiapan dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (±10,1 menit)	Mulai	11.33	11.33
		Selesai	11.43	11.43
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan ditambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	11.43	11.43
		Selesai	11.47	11.47
3	Clay reading (pembacaan lumpur)		4,32 inc	4,5 inc
4	Sand reading (pembacaan pasir)		3,8 inc	3,9 inc
5	Sand equivalent = $\frac{\text{Sand reading}}{\text{Clay reading}}$ x 100		87,96%	86,67%
6	Rata-rata		87,31 %	
Remark : Kadar Lumpur = 100% - ASE = 100% -87,31 = 12,6%				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 14 Pemeriksaan Keausan Agregat

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) 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (*ABRASI TEST*)

Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 2017

No	Jenis gradasi		F	
	Saringan		Benda uji (gram)	
	Lolos	Tertahan	I	II
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 mm (3/4'')		
6	19 mm (3/4'')	12,5 mm (0,5'')	2500 gr	2500 gr
7	12,5 mm (0,5'')	09,5 mm (3/8'')	2500 gr	2500 gr
8	09,5 mm (3/8'')	06,3 mm (1/4'')		
9	06,3 mm (1/4'')	04,75 mm (No. 4)		
10	04,75 mm (No. 4)	02,36 mm (No. 8)		
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000 gr	5000 gr
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12 (B)		4402,19 gr	3465,19 gr
13	KEAUSAN = (A-B)/A X 100		11,95 %	30,69 %
14	Rata-rata keausan		21,32 %	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 15 Hasil Perhitungan *Marshall Test* Variasi Kadar *Filler* Kaca 0%

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

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : 10 April 2017
Tipe Campuran : *Superpave* Ukuran Nominal 25 mm
: 0% *Filler* Kaca
Dikerjakan oleh : Muhammad Dani Taufiq
Diperiksa oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g *Density*	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o Meas	p	Koreksi Tebal	q Stabilitas (kg)	r *Flow* (mm)	MQ (kg/mm)
4A	6,24	4,17	4,0	1173,59	1181,17	674,75	506,42	2,317	2,48	8,95	84,30	6,74	15,70	57,05	6,74	63	1342,93	1,01	1360,79	3,10	438,96
4B	6,19	4,71	4,0	1182,65	1191,91	683,30	508,61	2,325	2,48	8,98	84,59	6,43	15,41	58,30	6,43	75	1598,73	1,00	1600,80	3,40	470,82
4C	6,18	4,71	4,0	1186,37	1198,66	684,05	514,61	2,305	2,48	8,91	83,87	7,23	16,13	55,21	7,23	63	1342,93	1,09	1458,82	3,50	416,81
								2,316					15,75	56,85	6,80		1470,83		1473,47	3,33	442,20
4,5A	6,91	4,71	4,5	1193,72	1196,92	686,47	510,45	2,339	2,47	10,17	84,63	5,20	15,37	66,14	5,20	80	1705,31	0,84	1428,54	3,07	465,32
4,5B	6,88	4,71	4,5	1166,32	1169,82	673,16	496,66	2,348	2,47	10,21	84,98	4,81	15,02	67,97	4,81	72	1534,78	0,84	1281,69	3,10	413,45
4,5C	6,97	4,71	4,5	1182,36	1186,26	675,28	510,98	2,314	2,47	10,06	83,74	6,20	16,26	61,85	6,20	78	1662,67	0,83	1387,17	3,37	411,62
								2,334					15,55	65,32	5,41		1620,04		1365,80	3,18	430,13
5A	7,15	5,26	5,0	1189,42	1195,47	684,53	510,94	2,328	2,45	11,24	83,80	4,95	16,20	69,42	4,95	80	1705,31	0,81	1384,03	2,93	472,36
5B	7,38	5,26	5,0	1173,17	1180,63	673,62	507,01	2,314	2,45	11,18	83,30	5,53	16,70	66,91	5,53	83	1769,26	0,80	1407,27	3,55	396,41
5C	7,26	5,26	5,0	1184,32	1181,50	679,68	501,82	2,360	2,45	11,40	84,96	3,64	15,04	75,79	3,64	83	1769,26	0,82	1458,93	3,60	405,26
								2,334					15,98	70,71	4,71		1737,28		1416,74	3,36	424,68
5,5A	6,66	5,82	5,5	1164,92	1167,94	666,92	501,02	2,325	2,43	12,35	83,26	4,39	16,74	73,80	4,39	80	1705,31	0,93	1582,18	3,95	400,55
5,5B	7,02	5,82	5,5	1189,67	1192,88	689,08	503,80	2,361	2,43	12,55	84,56	2,89	15,44	81,26	2,89	73	1556,09	0,85	1319,41	2,80	471,22
5,5C	6,85	5,82	5,5	1177,40	1180,70	666,95	513,75	2,292	2,43	12,18	82,07	5,76	17,93	67,90	5,76	75	1598,73	0,83	1330,46	3,80	350,12
								2,326					16,70	74,32	4,35		1630,70		1410,69	3,52	407,30
6A	6,26	6,38	6,0	1158,37	1162,30	664,13	498,17	2,325	2,41	13,48	82,83	3,70	17,17	78,47	3,70	65	1385,56	1,02	1410,23	3,98	354,33
6B	6,74	6,38	6,0	1130,60	1133,85	652,08	481,77	2,347	2,41	13,60	83,59	2,81	16,41	82,90	2,81	70	1492,14	0,87	1302,04	4,15	313,75
6C	7,02	6,38	6,0	1194,30	1196,56	683,33	513,23	2,327	2,41	13,49	82,89	3,62	17,11	78,82	3,62	68	1449,51	0,85	1229,91	3,05	403,25
								2,333					16,90	80,06	3,38		1438,85		1314,06	3,73	357,11

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 16 Hasil Perhitungan *Marshall Test* Variasi Kadar *Filler* Kaca 25%

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

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : 10 April 2017
Tipe Campuran : Superpave Ukuran Nominal 25 mm
: 25% *Filler* Kaca

Dikerjakan oleh : Muhammad Dani Taufiq
Diperiksa oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g *Density*	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o Meas	p	Koreksi Tebal	q Stabilitas (kg)	r *Flow* (mm)	MQ (kg/mm)
4A	7,01	4,17	4,0	1178,52	1184,19	675,04	509,15	2,31	2,48	8,94	84,24	6,81	15,76	56,76	6,81	75	1598,73	0,85	1354,76	2,80	483,84
4B	6,78	4,71	4,0	1156,52	1160,48	665,69	494,79	2,34	2,48	9,03	85,07	5,90	14,93	60,49	5,90	69	1470,83	0,88	1296,39	3,20	405,12
4C	6,82	4,71	4,0	1170,26	1176,97	669,30	507,67	2,31	2,48	8,91	83,90	7,20	16,10	55,31	7,20	74	1577,41	0,89	1401,21	2,89	484,85
								2,32					15,60	57,52	6,64		1548,99		1350,79	2,82	457,94
4,5A	7,02	4,71	4,5	1180,63	1185,40	671,70	513,70	2,30	2,47	9,99	83,21	6,80	16,79	59,50	6,80	74	1577,41	0,85	1338,91	3,10	431,90
4,5B	6,92	4,71	4,5	1158,05	1162,35	665,93	496,42	2,33	2,47	10,14	84,46	5,40	15,54	65,25	5,40	81	1726,62	0,84	1447,26	3,25	445,31
4,5C	7,15	4,71	4,5	1189,50	1194,35	691,90	502,45	2,37	2,47	10,29	85,71	4,00	14,29	72,02	4,00	80	1705,31	0,81	1383,17	3,00	461,06
								2,33					15,54	65,59	5,40		1669,78		1389,78	2,99	446,09
5A	7,14	5,26	5,0	1198,34	1200,17	682,27	517,90	2,31	2,45	11,18	83,33	5,49	16,67	67,06	5,49	82	1747,94	0,81	1416,88	3,07	461,52
5B	7,10	5,26	5,0	1197,20	1199,19	681,25	517,94	2,31	2,45	11,16	83,25	5,59	16,75	66,65	5,59	84	1790,57	0,86	1532,91	2,40	638,71
5C	7,13	5,26	5,0	1183,10	1185,12	674,75	510,37	2,32	2,45	11,20	83,49	5,32	16,51	67,81	5,32	76	1620,04	0,81	1309,64	4,40	297,65
								2,31					16,64	67,17	5,46		1719,52		1419,81	3,30	465,96
5,5A	6,96	5,82	5,5	1184,22	1186,25	675,03	511,22	2,32	2,43	12,31	82,99	4,70	17,01	72,35	4,70	77	1641,36	0,84	1383,34	2,85	485,38
5,5B	6,86	5,82	5,5	1185,05	1188,31	671,80	516,51	2,29	2,43	12,19	82,20	5,61	17,80	68,47	5,61	80	1705,31	0,83	1421,03	3,78	375,93
5,5C	6,89	5,82	5,5	1192,61	1195,39	676,08	519,31	2,30	2,43	12,20	82,28	5,52	17,72	68,84	5,52	81	1726,62	0,84	1442,42	3,67	393,03
								2,30					17,51	69,88	5,28		1691,10		1415,60	3,32	418,12
6A	6,56	6,38	6,0	1168,28	1170,30	665,13	505,17	2,31	2,41	13,40	82,42	4,18	17,58	76,22	4,18	62	1321,61	0,90	1190,51	3,86	308,42
6B	6,65	6,38	6,0	1165,11	1170,69	657,35	513,34	2,27	2,41	13,15	80,88	5,96	19,12	68,81	5,96	71	1513,46	0,92	1398,89	2,70	518,11
6C	6,77	6,38	6,0	1171,58	1177,95	677,45	500,50	2,34	2,41	13,57	83,42	3,01	16,58	81,82	3,01	65	1385,56	0,88	1218,88	3,70	329,43
								2,308					17,76	75,62	4,39		1406,88		1269,43	3,34	385,32

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 17 Hasil Perhitungan *Marshall Test* Variasi Kadar *Filler* Kaca 50%

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

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : 10 April 2017
Tipe Campuran : Superpave Ukuran Nominal 25 mm
: 50% *Filler Kaca*

Dikerjakan oleh : Muhammad Dani Taufiq
Diperiksa oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g *Density*	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o Meas	p	Koreksi Tebal	q Stabilitas (kg)	r *Flow* (mm)	MQ (kg/mm)
4A	6,92	4,17	4,0	1169,89	1172,42	667,92	504,50	2,32	2,48	8,96	84,43	6,61	15,57	57,56	6,61	75	1598,73	0,84	1341,33	2,80	479,05
4B	6,95	4,71	4,0	1176,01	1180,44	672,58	507,86	2,32	2,48	8,95	84,32	6,74	15,68	57,04	6,74	78	1662,67	0,84	1399,14	2,70	518,20
4C	6,94	4,71	4,0	1177,63	1182,59	677,16	505,43	2,33	2,48	9,00	84,84	6,16	15,16	59,37	6,16	74	1577,41	0,84	1325,50	2,50	530,20
								2,32					15,47	57,99	6,50		1612,94		1355,32	2,78	509,15
4,5A	6,89	4,71	4,5	1170,44	1173,33	669,90	503,43	2,32	2,46	10,11	84,21	5,68	15,79	64,01	5,68	78	1662,67	0,84	1390,16	2,18	637,69
4,5B	7,00	4,71	4,5	1170,70	1173,12	667,96	505,16	2,32	2,46	10,07	83,94	5,98	16,06	62,74	5,98	76	1620,04	0,85	1370,72	3,25	421,76
4,5C	6,94	4,71	4,5	1175,33	1177,09	671,47	505,62	2,32	2,46	10,10	84,20	5,70	15,80	63,95	5,70	81	1726,62	0,84	1452,26	3,16	459,58
								2,32					15,88	63,57	5,79		1669,78		1404,38	2,80	506,34
5A	6,77	5,26	5,0	1189,61	1193,67	682,17	511,50	2,33	2,45	11,23	83,80	4,97	16,20	69,34	4,97	79	1683,99	0,88	1480,73	3,50	423,07
5B	6,91	5,26	5,0	1188,86	1191,34	680,54	510,80	2,33	2,45	11,24	83,86	4,90	16,14	69,66	4,90	77	1641,36	0,84	1375,62	3,48	395,29
5C	6,86	5,26	5,0	1198,03	1200,53	684,50	516,03	2,32	2,45	11,21	83,65	5,13	16,35	68,59	5,13	80	1705,31	0,83	1421,20	2,95	481,76
								2,32					16,23	69,20	5,00		1676,89		1425,85	3,17	433,37
5,5A	6,72	5,82	5,5	1194,85	1200,30	682,38	517,92	2,31	2,43	12,26	82,69	5,05	17,31	70,80	5,05	77	1641,36	0,87	1426,34	3,65	390,78
5,5B	6,97	5,82	5,5	1171,06	1176,30	672,84	503,46	2,33	2,43	12,36	83,37	4,27	16,63	74,31	4,27	83	1769,26	0,85	1500,15	3,45	434,83
5,5C	6,75	5,82	5,5	1168,20	1174,07	665,78	508,29	2,30	2,43	12,21	82,38	5,41	17,62	69,28	5,41	76	1620,04	0,84	1366,34	2,50	546,54
								2,31					17,19	71,47	4,91		1676,89		1430,95	3,20	457,38
6A	6,82	6,38	6,0	1151,23	1155,83	662,14	493,69	2,33	2,41	13,51	83,14	3,35	16,86	80,15	3,35	65	1385,56	0,89	1229,83	3,30	372,67
6B	6,76	6,38	6,0	1178,18	1183,45	678,89	504,56	2,34	2,41	13,53	83,25	3,21	16,75	80,80	3,21	71	1513,46	0,88	1326,55	3,10	427,92
6C	6,89	6,38	6,0	1145,37	1157,47	659,17	498,30	2,30	2,41	13,32	81,95	4,73	18,05	73,80	4,73	72	1534,78	0,84	1282,00	3,40	377,06
								2,32					17,22	78,25	3,76		1477,93		1279,46	3,22	392,55

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 18 HAsil Perhitungan *Marshall Test* Variasi Kadar *Filler* Kaca 75%

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

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : 10 April 2017
Tipe Campuran : Superpave Ukuran Nominal 25 mm
: 75% *Filler Kaca*

Dikerjakan oleh : Muhammad Dani Taufiq
Diperiksa oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g *Density*	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o Meas	p	Koreksi Tebal	q Stabilitas (kg)	r *Flow* (mm)	MQ (kg/mm)
4A	6,84	4,17	4,0	1176,41	1179,16	675,26	503,90	2,33	2,48	9,02	85,05	5,93	14,95	60,32	5,93	75	1598,73	0,83	1328,70	2,90	458,17
4B	6,88	4,71	4,0	1178,21	1182,04	680,25	501,79	2,35	2,48	9,07	85,53	5,39	14,47	62,71	5,39	80	1705,31	0,84	1424,27	2,95	482,80
4C	7,31	4,71	4,0	1170,68	1174,11	673,28	500,83	2,34	2,48	9,03	85,15	5,82	14,85	60,82	5,82	79	1683,99	0,78	1317,05	2,80	470,37
								2,34					14,76	61,28	5,72		1662,67		1356,67	2,79	470,45
4,5A	6,97	4,71	4,5	1188,05	1190,91	680,33	510,58	2,33	2,46	10,11	84,32	5,56	15,68	64,51	5,56	78	1662,67	0,84	1402,47	2,60	539,41
4,5B	7,09	4,71	4,5	1170,58	1173,22	669,11	504,11	2,32	2,46	10,09	84,15	5,76	15,85	63,67	5,76	80	1705,31	0,85	1457,87	2,90	502,71
4,5C	7,00	4,71	4,5	1191,79	1193,69	681,26	512,43	2,33	2,46	10,11	84,28	5,61	15,72	64,32	5,61	76	1620,04	0,85	1371,53	2,70	507,97
								2,32					15,75	64,17	5,64		1662,67		1410,62	2,64	516,70
5A	6,98	5,26	5,0	1183,73	1187,71	675,92	511,79	2,31	2,45	11,17	83,38	5,45	16,62	67,20	5,45	83	1769,26	0,84	1488,12	3,20	465,04
5B	6,98	5,26	5,0	1189,86	1193,48	681,62	511,86	2,32	2,45	11,23	83,80	4,97	16,20	69,29	4,97	80	1705,31	0,84	1439,96	3,00	479,99
5C	6,99	5,26	5,0	1154,66	1157,67	664,21	493,46	2,34	2,45	11,30	84,35	4,35	15,65	72,22	4,35	75	1598,73	0,85	1351,08	2,90	465,89
								2,33					16,16	69,57	4,92		1691,10		1426,39	2,95	470,31
5,5A	6,90	5,82	5,5	1181,73	1186,47	683,19	503,28	2,35	2,43	12,47	84,20	3,33	15,80	78,95	3,33	79	1683,99	0,84	1408,66	3,20	440,21
5,5B	6,85	5,82	5,5	1170,76	1174,88	673,58	501,30	2,34	2,43	12,41	83,75	3,85	16,25	76,34	3,85	78	1662,67	0,83	1383,68	3,30	419,30
5,5C	7,15	5,82	5,5	1168,89	1175,05	671,25	503,80	2,32	2,43	12,33	83,20	4,48	16,80	73,36	4,48	70	1492,14	0,81	1211,32	3,10	390,75
								2,33					16,29	76,22	3,88		1612,94		1334,55	3,16	416,75
6A	6,86	6,38	6,0	1156,45	1160,76	663,22	497,54	2,32	2,41	13,47	82,91	3,62	17,09	78,81	3,62	74	1577,41	0,83	1314,46	3,20	410,77
6B	6,68	6,38	6,0	1156,64	1161,25	665,30	495,95	2,33	2,41	13,52	83,19	3,30	16,81	80,39	3,30	65	1385,56	0,86	1194,22	3,10	385,23
6C	6,74	6,38	6,0	1169,14	1173,64	675,50	498,14	2,35	2,41	13,60	83,72	2,68	16,28	83,53	2,68	73	1556,09	0,87	1358,31	3,20	424,47
								2,335					16,73	80,91	3,20		1506,35		1289,00	3,15	406,82

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 19 Hasil Perhitungan *Marshall Test* Variasi Kadar *Filler* Kaca 100%

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

TÜVRheinland® CERT ISO 9001

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : 10 April 2017
Tipe Campuran : Superpave Ukuran Nominal 25 mm
: 100% *Filler* Kaca

Dikerjakan oleh : Muhammad Dani Taufiq
Diperiksa oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g *Density*	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o Meas	p	Koreksi Tebal	q Stabilitas (kg)	r *Flow* (mm)	MQ (kg/mm)
4A	7,09	4,17	4,0	1144,91	1147,85	657,90	489,95	2,34	2,48	9,03	85,16	5,81	14,84	60,86	5,81	71	1513,46	0,86	1294,01	2,50	517,60
4B	7,03	4,71	4,0	1172,42	1175,02	678,89	496,13	2,36	2,48	9,13	86,12	4,75	13,88	65,80	4,75	81	1726,62	0,85	1466,59	2,90	505,72
4C	7,26	4,71	4,0	1168,64	1171,14	666,89	504,25	2,32	2,48	8,95	84,46	6,58	15,54	57,64	6,58	78	1662,67	0,82	1371,04	2,70	507,79
								2,34					14,75	61,43	5,71		1634,25		1377,21	1,35	510,37
4,5A	6,88	4,71	4,5	1182,32	1186,46	681,65	504,81	2,34	2,46	10,18	84,91	4,91	15,09	67,48	4,91	79	1683,99	0,84	1406,47	2,50	562,59
4,5B	6,94	4,71	4,5	1188,55	1196,44	681,28	515,16	2,31	2,46	10,03	83,65	6,33	16,35	61,32	6,33	79	1683,99	0,84	1415,39	2,55	555,06
4,5C	6,98	4,71	4,5	1153,95	1159,90	663,45	496,45	2,32	2,46	10,10	84,27	5,63	15,73	64,24	5,63	80	1705,31	0,84	1440,81	2,60	554,16
								2,32					15,72	64,34	5,62		1691,10		1420,89	1,28	557,27
5A	7,00	5,26	5,0	1186,12	1192,73	680,79	511,94	2,32	2,45	11,19	83,56	5,25	16,44	68,06	5,25	80	1705,31	0,85	1444,05	2,80	515,73
5B	7,07	5,26	5,0	1176,18	1179,48	676,72	502,76	2,34	2,45	11,30	84,37	4,33	15,63	72,30	4,33	81	1726,62	0,85	1472,29	2,85	516,59
5C	6,94	5,26	5,0	1187,42	1189,20	682,89	506,31	2,35	2,45	11,33	84,58	4,09	15,42	73,46	4,09	77	1641,36	0,84	1380,22	2,95	467,87
								2,33					15,83	71,28	4,56		1691,10		1432,19	1,43	500,07
5,5A	7,08	5,82	5,5	1181,65	1184,64	678,22	506,42	2,33	2,43	12,40	83,71	3,89	16,29	76,09	3,89	73	1556,09	0,85	1329,06	3,30	402,75
5,5B	7,35	5,82	5,5	1173,19	1176,57	675,10	501,47	2,34	2,43	12,43	83,93	3,64	16,07	77,34	3,64	77	1641,36	0,79	1296,34	2,95	439,44
5,5C	6,91	5,82	5,5	1182,99	1184,18	680,15	504,03	2,35	2,43	12,47	84,20	3,33	15,80	78,93	3,33	76	1620,04	0,84	1356,62	3,10	437,62
								2,34					16,05	77,45	3,62		1605,83		1327,34	1,56	426,60
6A	6,90	6,38	6,0	1176,42	1178,37	675,28	503,09	2,34	2,41	13,55	83,45	3,00	16,55	81,87	3,00	70	1492,14	0,84	1248,18	3,20	390,06
6B	6,72	6,38	6,0	1160,45	1162,51	664,92	497,59	2,33	2,41	13,52	83,22	3,26	16,78	80,57	3,26	73	1556,09	0,87	1353,18	2,90	466,61
6C	6,91	6,38	6,0	1170,68	1172,54	670,15	502,39	2,33	2,41	13,51	83,16	3,34	16,84	80,17	3,34	75	1598,73	0,84	1339,25	3,30	405,83
								2,334					16,72	80,87	3,20		1548,99		1313,54	1,57	420,83

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 20 Rekapitulasi Perhitungan *Immersion Test* Perendaman 0,5 Jam

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

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian :
Tipe Campuran :
Dikerjakan oleh :
Diperiksa oleh :

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g *Density*	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o Stabilitas	p	Koreksi Tebal	q Stabilitas (kg)	r *Flow* (mm)	MQ (kg/mm)
Filler 0%	7,47	5,49	5,200	1181,70	1189,48	677,13	512,35	2,306	2,44	11,585	82,855	5,560	17,145	67,571	5,560	73,00	1556,09	0,779	1212,52	5,350	226,639
Filler 0%	6,60	5,49	5,200	1165,70	1171,26	665,58	505,68	2,305	2,44	11,579	82,811	5,610	17,189	67,364	5,610	80,00	1705,31	0,907	1546,29	6,250	247,406
Filler 0%	6,58	5,49	5,200	1158,17	1167,78	667,80	499,98	2,316	2,44	11,635	83,215	5,150	16,785	69,317	5,150	78,00	1662,67	0,912	1517,05	5,300	286,236
								2,309					17,040	68,084	5,440		1641,36		1425,29	5,633	253,43
Filler 25%	6,86	5,51	5,225	1156,64	1161,35	659,90	501,45	2,307	2,44	11,641	82,877	5,482	17,123	67,987	5,482	78,00	1662,67	0,857	1425,18	4,050	351,896
Filler 25%	7,16	5,51	5,225	1167,25	1170,16	663,38	506,78	2,303	2,44	11,625	82,757	5,618	17,243	67,419	5,618	83,00	1769,26	0,827	1463,40	5,700	256,736
Filler 25%	6,79	5,51	5,225	1168,17	1171,27	667,53	503,74	2,319	2,44	11,704	83,323	4,973	16,677	70,179	4,973	75,00	1598,73	0,869	1388,54	6,400	216,960
								2,310					17,014	68,528	5,358		1676,89		1425,71	5,383	275,20
Filler 50%	6,65	5,62	5,325	1171,90	1174,89	669,12	505,77	2,317	2,44	11,918	83,203	4,879	16,797	70,955	4,879	75,00	1598,73	0,894	1429,66	4,150	344,497
Filler 50%	6,94	5,62	5,325	1180,53	1184,74	672,02	512,72	2,302	2,44	11,843	82,680	5,477	17,320	68,378	5,477	77,00	1641,36	0,849	1394,15	4,800	290,448
Filler 50%	6,82	5,62	5,325	1161,71	1164,48	663,21	501,27	2,318	2,44	11,921	83,220	4,859	16,780	71,041	4,859	80,00	1705,31	0,862	1470,51	5,100	288,335
								2,312					16,966	70,124	5,072		1648,46		1431,44	4,683	307,76
Filler 75%	6,90	5,68	5,375	1183,79	1187,67	675,50	512,17	2,311	2,43	12,000	82,991	5,009	17,009	70,553	5,009	81,00	1726,62	0,854	1473,87	5,500	267,976
Filler 75%	6,79	5,68	5,375	1147,99	1151,50	653,54	497,96	2,305	2,43	11,969	82,778	5,253	17,222	69,501	5,253	75,00	1598,73	0,867	1386,00	4,200	329,999
Filler 75%	6,96	5,68	5,375	1194,56	1197,37	683,67	513,70	2,325	2,43	12,073	83,497	4,430	16,503	73,157	4,430	80,00	1705,31	0,847	1444,78	3,800	380,205
								2,314					16,911	71,070	4,897		1676,89		1434,88	4,500	326,06
Filler 100%	6,68	5,76	5,450	1181,70	1157,57	652,58	504,99	2,340	2,43	12,319	83,994	3,687	16,006	76,965	3,687	77,00	1641,36	0,888	1456,71	3,200	455,221
Filler 100%	6,72	5,76	5,450	1180,50	1186,29	673,42	512,87	2,302	2,43	12,117	82,620	5,263	17,380	69,719	5,263	74,00	1577,41	0,881	1389,30	4,200	330,787
Filler 100%	6,56	5,76	5,450	1184,67	1189,53	677,48	512,05	2,314	2,43	12,180	83,044	4,776	16,956	71,832	4,776	79,00	1683,99	0,918	1546,47	7,050	219,357
								2,318					16,781	72,839	4,575		1634,25		1464,16	4,817	335,12

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 21 Rekapitulasi Perhitungan *Immersion Test* Perendaman 24 Jam

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

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian _____ Dikerjakan oleh _____
Tipe Campuran _____ Diperiksa oleh _____

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g *Density*	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o	p Stabilitas	Koreksi Tebal	q Stabilitas (kg)	r *Flow* (mm)	MQ (kg/mm)
Filler 0%	6,65	5,49	5,200	1167,24	1172,99	672,90	500,09	2,334	2,443	11,698	83,848	4,454	16,152	72,426	4,454	70,00	1492,14	0,779	1162,69	4,000	290,673
Filler 0%	7,25	5,49	5,200	1138,34	1143,35	642,76	500,59	2,274	2,443	11,397	81,690	6,913	18,310	62,247	6,913	65,00	1385,56	0,907	1256,36	5,600	224,350
Filler 0%	6,63	5,49	5,200	1169,85	1174,27	667,10	507,17	2,307	2,443	11,561	82,862	5,577	17,138	67,458	5,577	73,00	1556,09	0,912	1419,81	2,200	645,366
								2,305					17,200	67,377	5,648		1477,93		1279,62	3,933	386,80
Filler 25%	6,88	5,51	5,225	1171,13	1175,54	671,32	504,22	2,323	2,441	11,697	83,454	4,849	16,546	70,696	4,849	73,00	1556,09	0,857	1333,82	5,200	256,504
Filler 25%	6,92	5,51	5,225	1166,34	1171,34	666,54	504,80	2,310	2,441	11,636	83,017	5,347	16,983	68,517	5,347	69,00	1470,83	0,827	1216,56	5,800	209,751
Filler 25%	6,67	5,51	5,225	1144,54	1149,36	649,98	499,38	2,292	2,441	11,542	82,350	6,108	17,650	65,396	6,108	70,00	1492,14	0,869	1295,97	5,250	246,852
								2,308					17,060	68,203	5,434		1506,35		1282,12	5,417	237,70
Filler 50%	6,95	5,62	5,325	1162,38	1167,40	661,67	505,73	2,298	2,437	11,797	82,534	5,669	17,466	67,540	5,669	69,00	1470,83	0,894	1315,29	4,950	265,715
Filler 50%	6,94	5,62	5,325	1170,76	1176,01	669,28	506,73	2,310	2,437	11,858	82,965	5,177	17,035	69,611	5,177	70,00	1492,14	0,849	1267,41	5,250	241,411
Filler 50%	6,97	5,62	5,325	1182,91	1186,50	676,80	509,70	2,321	2,437	11,912	83,337	4,751	16,663	71,486	4,751	70,00	1492,14	0,862	1286,69	3,900	329,922
								2,310					17,055	69,546	5,199		1485,04		1289,80	4,700	279,02
Filler 75%	6,78	5,68	5,375	1171,15	1174,15	670,81	503,34	2,327	2,434	12,054	83,545	4,400	16,455	73,258	4,400	75,00	1598,73	0,854	1364,69	6,300	216,618
Filler 75%	6,86	5,68	5,375	1196,71	1191,86	676,30	515,56	2,321	2,434	12,025	83,345	4,629	16,655	72,204	4,629	68,00	1449,51	0,867	1256,64	6,200	202,683
Filler 75%	6,92	5,68	5,375	1181,30	1187,57	671,98	515,59	2,291	2,434	11,870	82,267	5,863	17,733	66,938	5,863	73,00	1556,09	0,847	1318,36	6,600	199,752
								2,313					16,947	70,800	4,964		1534,78		1313,23	6,367	206,35
Filler 100%	7,00	5,76	5,450	1154,90	1157,57	658,98	498,59	2,316	2,430	12,168	83,143	4,689	16,857	72,182	4,689	73,00	1556,09	0,888	1381,03	5,200	265,583
Filler 100%	6,82	5,76	5,450	1152,08	1156,02	655,08	500,94	2,300	2,430	12,081	82,551	5,368	17,449	69,236	5,368	69,00	1470,83	0,881	1295,43	4,600	281,616
Filler 100%	6,88	5,76	5,450	1159,80	1162,55	662,12	500,43	2,318	2,430	12,174	83,189	4,637	16,811	72,418	4,637	70,00	1492,14	0,918	1370,29	5,200	263,516
								2,311					17,039	71,279	4,898		1506,35		1348,92	5,000	270,24

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 22 Rekapitulasi Perhitungan *Indirect Tensile Strength Test*

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

Sampel	Jenis Campuran	KAO	Beban Puncak	Diameter	Tebal	A0	*Indirect Tensile Strength*	Rata-rata
		(%)	(kg)	(cm)	(cm)		(kg/cm2)	
A	0% Filler Serbuk Kaca	5,20	976,629	10	6,520	0,159	23,745	24,55
B		5,20	1215,739	10	6,201	0,159	31,077	
C		5,20	746,425	10	6,288	0,159	18,816	
A	25% Filler Serbuk Kaca	5,23	1035,478	10	6,888	0,159	23,832	20,17
B		5,23	854,309	10	7,289	0,159	18,578	
C		5,23	802,343	10	7,023	0,159	18,111	
A	50% Filler Serbuk Kaca	5,33	765,539	10	6,474	0,159	18,745	18,34
B		5,33	806,681	10	6,290	0,159	20,331	
C		5,33	658,305	10	6,548	0,159	15,936	
A	75% Filler Serbuk Kaca	5,38	1031,612	10	6,458	0,159	25,321	17,61
B		5,38	542,197	10	6,904	0,159	12,449	
C		5,38	658,927	10	6,929	0,159	15,075	
A	100% Filler Serbuk Kaca	5,45	673,549	10	6,661	0,159	16,028	14,42
B		5,45	627,436	10	6,897	0,159	14,422	
C		5,45	579,030	10	7,162	0,159	12,817	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti

Muhammad Dani Taufiq
12511212

Lampiran 23 Pemeriksaan Permeabilitas Campuran *Superpave*

LABORATORIUM TRANSPORTASI
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK UGM
Jl. Grafika No. 2 Kampus Universitas Gadjah Mada Yogyakarta 55281 telp. 0274-545675

PENGUJIAN PERMEABILITAS

No.	Benda Uji	Kode	Tekanan	
			1 : 1	2 : 2
			Waktu (menit/detik)	Waktu (menit/detik)
1.	1	A	0' 30"	0' 19"
2.	2		0' 33"	0' 25"
3.	3		0' 33"	0' 27"
4.	1	B	0' 23"	0' 18"
5.	2		0' 29"	0' 15"
6.	3		0' 25"	0' 20"
7.	1	C	0' 38"	0' 20"
8.	2		0' 30"	0' 14"
9.	3		0' 46"	0' 23"
10.	1	D	2' 08"	1' 22"
11.	2		2' 23"	1' 30"
12.	3		2' 10"	1' 23"
13.	1	E	0' 25"	0' 12"
14.	2		0' 25"	0' 13"
15.	3		0' 23"	0' 11"

Yogyakarta, 15 Juni 2017
diperiksa oleh

Sani Primawista, A.Md

LABORATORIUM TRANSPORTASI
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK UGM
Jl. Grafika No. 2 Kampus Universitas Gadjah Mada Yogyakarta 55281 telp. 0274-545675

PENGUJIAN PERMEABILITAS

No.	Benda Uji	Kode	Tekanan	
			1 : 1	2 : 2
			Waktu (menit/detik)	Waktu (menit/detik)
1.	1	D	0' 30"	0' 17"
2.	2		0' 33"	0' 17"
3.	3		0' 32"	0' 18"

Yogyakarta, 27 Juli 2017
diperiksa oleh

Sani Primawista, A.Md