

## **TUGAS AKHIR**

**PENGARUH KADAR LIMBAH KACA SEBAGAI SUBSTITUSI  
AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK  
CAMPURAN ASPAL PORUS  
(*THE EFFECT OF WASTE GLASS LEVEL AS SUBSTITUTION  
FOR FINE AGGREGATE TOWARD CHARACTERISTIC OF  
POROUS ASPHALT MIXTURE*)**

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



**Fitri Sari Wijayati**

**12511065**

**PRODI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2016**

**TUGAS AKHIR**

**PENGARUH KADAR LIMBAH KACA SEBAGAI SUBSTITUSI  
AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK  
CAMPURAN ASPAL PORUS  
(THE EFFECT OF WASTE GLASS LEVEL AS SUBSTITUTION  
FOR FINE AGGREGATE TOWARD CHARACTERISTIC OF  
POROUS ASPHALT MIXTURE)**

disusun oleh

**Fitri Sari Wijayati**

**12511065**

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

diuji pada tanggal 24 Januari 2016

oleh Dewan Penguji:

**Pembimbing**

**(Miftahul Fauziah, Ph.D.)**

**Penguji I**

**(Corry Ya'cub, M.T.)**

**Penguji II**

**(Prima Juanita Romadhona, M.Sc.)**

Mengesahkan,

Ketua Program Studi Teknik Sipil



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

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 24 Januari 2017  
Yang membuat pernyataan,



Fitri Sari Wijayati  
(12511065)

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil'alamiin, Puji syukur panjatkan kehadiran Allah SWT atas rahmat dan hidayah-Nya demi usaha yang selama ini dilakukan sehingga dapat menyelesaikan laporan tugas akhir dengan judul *Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Aspal Porus*.

Berdasarkan Kurikulum Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta, setiap mahasiswa diwajibkan menyusun laporan tugas akhir. Laporan tugas akhir ini disusun sebagai syarat memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil. Atas bantuan dan penjelasan serta petunjuk-petunjuk yang sangat bermanfaat dari berbagai pihak, karena itu dalam kesempatan yang baik ini penulis mengucapkan banyak terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D, selaku Dosen Pembimbing dan selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Corry Ya'cub, M.T. dan Ibu Prima Juanita Romadhona, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji tugas akhir.
3. Bapak IR. Subarkah, MT., selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Sukanto HM dan Bapak Pranoto, selaku karyawan Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
5. Kedua orang tua yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
6. Teman-teman yang telah membantu dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi penulis dan berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 24 Januari 2016

Fitri Sari Wijayati

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI	xv
DAFTAR ISTILAH	xvii
ABSTRAK	xxi
<i>ABSTRACT</i>	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 LATAR BELAKANG	1
1.2 RUMUSAN MASALAH	3
1.3 TUJUAN PENELITIAN	3
1.4 MANFAAT PENELITIAN	4
1.5 KEASLIAN PENELITIAN	4
1.6 BATASAN PENELITIAN	4
BAB II STUDI PUSTAKA	6
2.1 TINJAUAN UMUM	6
2.2 PERBEDAAN PENELITIAN INI DENGAN PENELITIAN SEBELUMNYA	8
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 PERKERASAN LENTUR	11
3.1.1 Aspal Porus	12
3.2 AGREGAT	13
3.3 ASPAL	17
3.4 BAHAN PENGGANTI ( <i>SUBSTITUSI</i> )	20

3.5	PARAMETER <i>MARSHALL TEST</i>	20
3.5.1	Stabilitas ( <i>Stability</i> )	20
3.5.2	Kelelehan Plastis ( <i>Flow</i> )	21
3.5.3	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	22
3.5.4	VITM ( <i>Void in the Total Mix</i> )	23
3.5.5	VFWA ( <i>Void Filled With Asphalt</i> )	23
3.5.6	VMA ( <i>Void in Mineral Agregate</i> )	24
3.5.7	Kepadatan ( <i>Density</i> )	25
3.6	<i>IMMERSION TEST</i>	25
3.7	<i>INDIRECT TENSILE STRENGTH</i>	26
3.8	<i>CANTABRO TEST</i>	27
3.9	PERMEABILITAS	28
3.10	<i>ASPHALT FLOW DOWN</i>	29
3.11	ANALISIS STATISTIKA	29
BAB IV	METODE PENELITIAN	31
4.1	UMUM	31
4.2	METODE PENGAMBILAN SAMPEL	32
4.3	METODE PENGAMBILAN DATA	32
4.4	TAHAPAN PENELITIAN	32
4.4.1	Pemeriksaan Bahan	33
4.4.2	Peralatan Penelitian	35
4.4.3	Rencana Campuran Penelitian	36
4.4.4	Estimasi Kadar Aspal Optimum	36
4.5	RENCANA BENDA UJI	40
4.5.1	Pengujian <i>Marshall</i> Standar	40
4.5.2	Pengujian Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i>	41
4.5.3	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	42
4.5.4	Pengujian <i>Cantabro</i>	42
4.5.5	Pengujian <i>Permeabilitas</i>	43
4.5.6	Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i>	44
4.6	ANALISIS DATA	45
4.7	BAGAN ALIR METODE PENELITIAN	46

BAB V	HASIL PENELITIAN DAN SARAN	48
5.1	HASIL PENELITIAN	48
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	48
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	48
5.1.3	Gradasi Agregat untuk Campuran	49
5.1.4	Hasil Pengujian Campuran <i>Porous Asphalt</i> untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum	49
5.1.5	Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum	52
5.1.6	Hasil Pengujian Karakteristik Campuran Aspal Porus pada Kadar Aspal Optimum	52
5.2	PEMBAHASAN	55
5.2.1	Karakteristik Aspal	55
5.2.2	Karakteristik Agregat Kasar	56
5.2.3	Karakteristik Agregat Halus	57
5.2.4	Karakteristik Limbah Kaca No.8	58
5.2.5	Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Mencari Kadar Aspal Optimum	58
5.2.6	Karakteristik <i>Cantabro</i> untuk Mencari Kadar Aspal Optimum	68
5.2.7	Karakteristik <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Mencari Kadar Aspal Optimum	69
5.2.8	Karakteristik <i>Mrashall</i> Campuran <i>Porous Asphalt</i> Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8	70
5.2.9	Karakteristik <i>Immersion Test</i> Campuran <i>Porous Asphalt</i> Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8	81
5.2.10	Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength</i> Campuran <i>Porous Asphalt</i> Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8	83

5.2.11 Karakteristik <i>Cantabro</i> Campuran <i>Porous Asphalt</i> Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8	85
5.2.12 Karakteristik <i>Permeabilitas</i> Campuran <i>Porous Asphalt</i> Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8	86
5.2.13 Karakteristik <i>Asphalt Flow Down</i> Campuran <i>Porous Asphalt</i> Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8	87
BAB VI SIMPULAN DAN SARAN	89
6.1 SIMPULAN	89
6.2 SARAN	90
DAFTAR PUSTAKA	92
LAMPIRAN	95





## ABSTRAK

Aspal porus memungkinkan air untuk lebih mudah mengalirkan air dari permukaan jalan masuk kebagian dalam perkerasan beton aspal. Mereka menyerap air hujan melalui agregat kasar, hal ini dapat menjadi solusi dari hujan yang selalu datang dan mengakibatkan banjir di sebagian besar kota di Indonesia. Kaca merupakan salah satu limbah yang banyak tidak di daur ulang dan yang perlu diperhatikan, Indonesia merupakan negara peringkat ke 2 setelah China sebagai penyumbang limbah terbesar saat ini. Dengan menggunakan kaca sebagai bahan substitusi, diharapkan dapat memiliki umur layan yang panjang dan memiliki kekuatan yang setara atau bahkan lebih baik pada campuran aspal. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mencari pengaruh kadar substitusi kaca terhadap karakteristik *Marshall*, durabilitas, nilai kuat tarik tak langsung, ketahanan abrasi dan permeabilitas sesuai dengan spesifikasi *Australia Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004*.

Penelitian ini dilakukan pertama dengan pengujian sifat material yang terdiri dari pengujian agregat aspal dan limbah kaca. . Penelitian dilakukan dengan menggunakan variasi kadar substitusi kaca pada agregat halus No.8 terhadap campuran yaitu 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%. Kemudian menentukan kadar aspal optimum yang akan digunakan. Lalu melakukan uji *Marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strength*, *Permeabilitas*, *Cantabro* dan *Asphalt Flow Down*. Lalu tahap terakhir yaitu melakukan analisis, pembahasan dan pengambilan kesimpulan dari hasil pengujian yang telah dilakukan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa limbah kaca pada agregat halus No.8 dapat digunakan dalam campuran aspal porus hanya sampai pada proporsi 30%. Hasil pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa kemampuan campuran menahan beban yang semakin meningkat hingga batas optimum dan menurun setelahnya yaitu pada nilai stabilitas, kemudian nilai *flow*, *MQ*, *VITM*, *VMA* yang mengalami kenaikan hingga batas nilai optimumnya kemudian mengalami penurunan setelahnya, dan nilai *VFWA* dan *density* yang mengalami penurunan namun hingga nilai tertentu mengalami kenaikan setelahnya. Hasil pengujian *Index of Retained Strength* mengalami kenaikan yang tidak signifikan hal ini menunjukkan keawetan yang meningkat. Hasil *Indirect Tensile Strength* mengalami kenaikan yang tidak signifikan dan memiliki drainase sedang hingga baik yang ditunjukkan dari hasil penelitian Permeabilitas seiring bertambahnya proporsi limbah kaca. Kemampuan dalam menahan benturan diukur dengan nilai *Cantabro* dan menunjukkan campuran ini tahan terhadap benturan hingga mencapai nilai optimumnya, dan campuran ini tercampur homogen dan semakin meningkat yang ditunjukkan dengan nilai *Asphalt Flow Down* yang terus menurun seiring bertambahnya kadar substitusi kaca.

**Kata Kunci** : Limbah Kaca, *Porous Asphalt*, AAPA 2004, Karakteristik *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, Permeabilitas, *Cantabro Test*, *Asphalt Flow Down*.

## ABSTRACT

*Porous asphalt allows water to be more easily drained from the road surface into asphalt concrete pavement. It absorbs rainwater through the coarse aggregate, this may be a solution of flooding at most cities in Indonesia which is caused by continuous rain. Glass is one of waste that had not been much recycled and need to be considered, Indonesia is second biggest waste contributor after China. By using glass as a material substitution is expected to be longlife and has a strength equals or even better on asphalt mixtures. This research was conducted in order to find the effect of substitution levels of glass on Marshall characteristics, durability, value of indirect tensile strength, abrasion resistance and permeability according to specifications of Australia Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004.*

*This research was conducted first by testing the material properties which consist of testing asphalt aggregate and glass waste. The research was carried out by using variant levels of substitution glass on fine aggregate No.8 in mixture that are 0%, 10%, 20%, 30%, and 40% then determine asphalt optimum level that will be used, then do Marshall test, Immersion, Indirect Tensile Strength, Permeability, Cantabro and Asphalt Flow Down. The last stage of this research is to do the analysis, discussion and drawing the conclusions from the results of the test that has been done.*

*The results show that the glass waste on fine aggregate No.8 can be used in porous asphalt mixture only to 30% of proportion. From the Marshall test the results showed that the mixture ability to withstand a load is increasing up to optimum limit and declined thereafter at stability value then the flow level,  $MQ$ ,  $VITM$ ,  $VMA$  which is increasing up to optimum limit also declined after that as for  $VFWA$  level and density is declining until certain level then rising thereafter. The test results of Index of Retained Strength show an insignificant increase which indicates the improvement on durability. The Indirect Tensile Strength also show the insignificant increase and has moderate until good drainage that has been showed from the results of Permeability test with the increasing of glass waste proportion. The ability toward impact with Cantabro test result is increased up to optimum limit. The mixture homogeneous is increased, it shows from value of Asphalt Flow Down that decreased continuously with the increasing of glass waste proportion.*

**Keywords :** Waste Glass, Porous Asphalt, AAPA 2004, Marshall Characteristic, Index of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, Permeability, Cantabro Test, Asphalt Flow Down.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Peningkatan dan pengembangan aksesibilitas transportasi jalan adalah suatu hal yang sangat penting untuk menunjang aktivitas sosial dan perekonomian daerah di suatu negara. Oleh karena itu pengembangan jaringan jalan adalah sesuatu yang dianggap perlu untuk dapat melayani perkembangan arus lalu lintas dengan aman dan nyaman. Salah satu faktor pendukung aksesibilitas suatu jaringan jalan menjadi aman dan nyaman bagi pengguna jalan yaitu dengan mendesain suatu lapis permukaan perkerasan jalan yang akan tetap memuaskan selama masa layanannya. Hujan intensitas tinggi menjadi salah satu permasalahan pada lapis permukaan perkerasan jalan. Hujan ini akan mengakibatkan berbagai permasalahan yaitu genangan air yang tidak dapat mengalir cepat melalui as jalan dan menyerap cepat kedalam lapisan aspal membuat air menggenang sehingga jalan tergerus, menimbulkan permukaan yang licin dan menyebabkan kebisingan. Salah satu alternatif untuk mengurangi dampak yang ditimbulkannya yaitu dengan menggunakan lapisan perkerasan aspal porus (*porous asphalt*).

Aspal porus memungkinkan air untuk lebih mudah mengalirkan air dari permukaan jalan masuk kebagian dalam perkerasan beton aspal, kemudian air akan menuju lapisan berikutnya yang kedap air seperti yang diharapkan agar tidak menimbulkan genangan. Aspal porus menyerap air hujan melalui agregat kasar yang dirancang sehingga air tidak akan naik ke lapisan atas, setelah itu menyusup kedalam hingga ke lapisan *geotextile* yang kemudian mengalirkan air untuk dibuang. Hal ini dapat menjadi solusi dari hujan yang selalu datang dan mengakibatkan banjir di sebagian besar kota di Indonesia. Karena pada dasarnya aspal porus dapat menangani air hujan selama bertahun-tahun sebelum akhirnya menunjukkan keretakan ataupun lubang.

Aspal porus adalah aspal yang dicampur dengan agregat tertentu yang setelah dipadatkan mempunyai 20 % pori-pori udara. Aspal porus umumnya memiliki nilai stabilitas *Marshall* yang lebih rendah dari aspal beton yang menggunakan gradasi

rapat, stabilitas *Marshall* akan meningkat bila gradasi terbuka yang digunakan lebih banyak fraksi halus (Cabrera & Hamzah, 1996). Aspal porus adalah campuran aspal dengan agregat tertentu yang didesain setelah dipadatkan mempunyai pori-pori udara berkisar 20 %. (Khalid & Jimenes, 1994). Lapisan aspal porus ini secara efektif dapat memberikan tingkat keselamatan yang lebih, terutama di waktu hujan agar tidak terjadi *aqua-planing* sehingga menghasilkan kekesatan permukaan yang lebih kasar dan dapat mengurangi kebisingan (*noise reduction*). Aspal porus telah berhasil digunakan di tempat parkir, trotoar dan taman bermain, serta jalan raya yang dilintasi oleh kendaraan berat. Pada kenyataannya saat ini Aspal porus telah banyak digunakan di negara – negara maju seperti Belanda, Spanyol, Belgia, Australia, Inggris, Denmark, Amerika Serikat, Jepang dan Singapura.

*Subtitusi* adalah susunan bahan atau kombinasi bahan tertentu yang sengaja di ganti diluar komponen utama campuran aspal porus sehingga memberikan pengaruh positif. Pada penelitian ini, akan digunakan limbah kaca sebagai bahan *Subtitusi* agregat halus pada campuran aspal porus. Yang perlu di perhatikan adalah banyaknya limbah yang tidak di daur ulang membut indonesia berada di peringkat 10% penyumbang limbah dunia saat ini, tepat menempati urutan ke 2 setelah China. Salah satu limbah yang tidak banyak di daur ulang adalah limbah kaca. Kaca saat ini hanya digunakan untuk daur ulang pada fase yang sama, dari limbah botol kaca akan didaur ulang hanya menjadi botol kaca dan seterusnya. Hal ini akan menurunkan nilai guna limbah kaca tersebut. Oleh karena itu penggunaan limbah kaca sebagai substitusi akan menjadi salah satu solusi untuk menaikkan nilai guna limbah kaca tersebut. Menurut Metso Mineral, campuran kaca daur ulang dan aspal memiliki sifat untuk memperpanjang masa layan aspal. Dengan menggunakan kaca sebagai bahan pengganti, campuran kaca daur ulang dan batu dapat di gunakan menjadi agregat di harapkan dapat membuat ruang kosong lebih dari dua kali lipat aspal biasa, memiliki umur layan yang panjang dan memiliki kekuatan yang setara atau bahkan lebih baik di banding aspal biasa.

Dengan demikian, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan limbah kaca pada campuran perkerasan aspal porus sebagai *subtitusi* agregat halus. Apabila hasil penelitian ini menunjukkan hasil memenuhi kriteria perkerasan dan dapat meningkatkan stabilitas serta mutu campuran

perkerasan sesuai dengan *Australia Asphalt Pavement Association (AAPA)* tahun 2004 maka diharapkan limbah kaca tersebut dapat digunakan sebagai bahan *subtitusi* pada campuran perkerasan aspal porus.

## 1.2 RUMUSAN MASALAH

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

1. Bagaimana pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik *Marshall* campuran aspal porus?
2. Bagaimana pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap durabilitas aspal porus?
3. Bagaimana pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap nilai kuat tarik tak langsung (*ITS*) aspal porus?
4. Bagaimana pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap ketahanan abrasi aspal porus?
5. Bagaimana pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap permeabilitas aspal porus?

## 1.3 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik *Marshall*.
2. Mengetahui pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap durabilitas aspal porus
3. Mengetahui pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap nilai kuat tarik tak langsung (*ITS*) aspal porus
4. Mengetahui pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap ketahanan abrasi aspal porus
5. Mengetahui pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap permeabilitas.

#### 1.4 MANFAAT PENELITIAN

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Memperluas pengetahuan dan pemahaman tentang teknologi perkerasan lentur khususnya pada aspal porus.
2. Menambah variasi bahan pengganti / *substitusi* pada campuran aspal porus.
3. Dapat menjadi salah satu solusi untuk permasalahan banjir dan limbah di Indonesia.

#### 1.5 KEASLIAN PENELITIAN

Menurut sepengetahuan penulis, penelitian tentang Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Penggunaan Limbah Kaca sebagai Substitusi Pada Agregat Halus belum ada yang meneliti terutama di Universitas Islam Indonesia.

Adapun penelitian-penelitian relevan yang pernah dilakukan adalah sebagai berikut

- 1 *Pengaruh penambahan anti stripping (wetfix-be) terhadap karakteristik aspal porus dengan menggunakan bahan pengikat liquid asbuton* (Arsyad, 2012).
- 2 *Evaluasi kinerja aspal porus menggunakan spesifikasi gradasi dari Australia (AAPA), California (CalAPA) dan British (BS)* (Putri dkk, 2013).
- 3 *Pengaruh penambahan additive terhadap kinerja marshall pada campuran aspal porus* (Djakfar dkk, 2015).
- 4 *Penggunaan limbah kaca sebagai agregat kedua untuk campuran aspal* (Jasim,2014).

#### 1.6 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. Aspal Porus adalah jenis campuran yang akan di gunakan
2. Jenis aspal yang akan digunakan yaitu aspal keras dengan penetrasi 60/70 dari PT.Pertamina Aspal Cilacap.
3. Agregat kasar yang akan digunakan dalam penelitian ini berasal dari Clereng.
4. Bahan *substitusi* agregat halus yang akan digunakan adalah limbah kaca.

5. Pengujian dan analisis kimia terhadap limbah kaca tidak dilakukan.
6. Kadar limbah kaca yang digunakan adalah 0%, 10% ,20%, 30% dan 40% dari total berat agregat halus pada campuran
7. Ukuran limbah kaca yang akan digunakan adalah agregat yang lolos saringan No.4 dan tertahan di saringan No.



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 TINJAUAN UMUM

Pada penelitian ini dibutuhkan tinjauan pustaka untuk memetakan permasalahan yang diteliti, sejauh mana permasalahan campuran aspal porous telah dibahas. Tinjauan pustaka ini diambil dari hasil-hasil penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Beberapa penelitian sebelumnya memiliki kaitan terhadap penelitian yang akan dilakukan. Penelitian tersebut akan menjadi tinjauan pustaka bagi penulis dalam hal pelaksanaan penelitian. Adapun penelitian yang pernah dilakukan terhadap aspal porous dan limbah kaca adalah sebagai berikut

Arsyad (2012) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan *anti stripping (wetfix-be)* terhadap aspal porous dengan menggunakan bahan pengikat liquid asbuton, dapat diketahui bahwa dari hasil pengujian karakteristik aspal porous diperoleh nilai *Marshall quotient* yang memenuhi spesifikasi hanya pada kadar *wetfix-be* 0.2% - 0.31% dan pengujian *Cantabro* nilai memenuhi spesifikasi hanya pada kadar *wetfix-be* 0.34% - 0.4%, sedangkan untuk pengujian *VIM*, *Stabilitas*, *Flow*, *Porositas*, *Permeabilitas*, dan *Drain-Down* secara keseluruhan nilai kadar *wetfix-be* 0.2% - 0.4% memenuhi standar spesifikasi.

Putri dkk. (2013) melakukan penelitian mengenai evaluasi kinerja aspal porous dengan menggunakan spesifikasi gradasi dari *Australia (AAPA)*, *California (CaIAPA)* dan *British (BA)*. Penelitian ini menggunakan 3 standar gradasi porous yaitu *Australia (AAPA)*, *California (CalAPA)* dan *British (BS)*. Untuk spesifikasi karakteristik *marshall* mengacu pada standar *Australia (AAPA)*, dari masing-masing standar gradasi dibuat 12 benda uji dengan variasi kadar aspal 4%-7%. Pengujian permeabilitas pada penelitian ini menggunakan uji *falling head* yaitu dengan menghitung waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari h1 menuju h2. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa dari ketiga standar ini diketahui gradasi dengan standar *Australia (AAPA)* memiliki koefisien permeabilitas yang tinggi dibandingkan dengan standar



*CalAPA* dan *BS*. Hal ini dikarenakan agregat standar *Australia* cenderung kasar. Untuk Karakteristik *Marshall* standar yaitu *VIM*, *flow*, *MQ* standar *AAPA* dan *CalAPA* memenuhi spesifikasi yang disyaratkan sedangkan stabilitasnya tidak memenuhi spesifikasi. Berbanding terbalik dengan standar *BS* dimana stabilitasnya memenuhi spesifikasi namun karakteristik *Marshall* lainnya tidak memenuhi spesifikasi. Hal ini dikarenakan pada standar *British* jumlah *filler* yang digunakan cenderung banyak sehingga rongga yang ada pada campuran terisi oleh *filler* yang mengakibatkan standar *British* memiliki stabilitas yang tinggi tetapi memiliki koefisien permeabilitas yang rendah. Untuk meningkatkan stabilitas campuran, pada penelitian ini digunakan zat aditif *wetfix-be* dengan kadar 0,2%-0,5% dari berat aspal yang digunakan. Penambahan zat aditif ini ternyata tidak berpengaruh signifikan terhadap penambahan stabilitas.

Djakfar dkk. (2015) melakukan penelitian mengenai pengaruh penambahan *additive* terhadap kinerja *Marshall* pada campuran aspal porus. Bahan *additive* yang digunakan yaitu *Gilsonite HMA Modifer Grade* dan *Lateks*. Evaluasi dilakukan berdasarkan prosedur pengujian *Marshall*. Dengan hasil evaluasi yang menunjukkan bahwa penambahan *additive gilsonite* meningkatkan kinerja *Marshall* cukup signifikan khususnya pada stabilitas. *additive gilsonite* menurunkan kemampuan permeabilitas dari campuran, walaupun tidak terlalu signifikan.

Jasim (2014) melakukan penelitian mengenai penggunaan limbah kaca sebagai agregat kedua untuk campuran aspal. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi akibat dari penggunaan limbah kaca sebagai agregat pengganti pada campuran aspal dengan pengujian *Marshall*. Penelitian ini pertama-tama menggunakan kaca sebagai agregat dengan menambahkan 2 macam kadar persentase kaca (50 dan 100%) dari berat masing-masing saringan, dan 6 macam ukuran kaca (1/2, 3/8, No 4, No 8, No 50 dan No 200). Percobaan kedua menggunakan kaca sebagai *additive* dengan menggunakan 3 macam persentase kadar kaca (1, 2, dan 4%) dari berat total campuran, dan dua ukuran kaca (No.50 dan No 200). Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa stabilitas *Marshall* untuk *glassphalt* lebih tinggi dibandingkan kontrol campuran menggunakan (127 dan

174%) dengan menggunakan kaca ukuran (No.8 dan No.200) secara berurutan sebagai agregat kedua pada campuran aspal.

## 2.2 PERBEDAAN DENGAN PENELITIAN SEBELUMNYA

Berikut ini beberapa perbedaan dari penelitian penulis dengan penelitian yang terdahulu dilakukan.

1. Penelitian ini menggunakan limbah kaca sebagai pengganti agregat halus No.8, sedangkan penelitian terdahulu (Arsyad, 2012) menggunakan anti stripping (*wetfix-be*) terhadap aspal porus dengan menggunakan bahan pengikat liquid asbuton. Walaupun pada penelitian terdahulu oleh (Djakfar dkk, 2015) menggunakan *Gilsonite HMA Modifer Grade* dan *Lateks* sebagai bahan *additive* namun pada penelitian kali ini limbah kaca digunakan sebagai bahan substitusi agregat halus bukan *additive* seperti pada penelitian sebelumnya.
2. Parameter yang diukur pada penelitian kali ini yaitu Karakteristik *Marshall, Immersion, Indirect Tensile Strength, Cantabro*, Permeabilitas. Sedangkan pada penelitian terdahulu oleh (Asyad, 2012, Putri, 2013 dan Djakfar, 2015) yang diukur adalah Karakteristik *Marshall, Cantabro, Drain-Down*, dan Permeabilitas.
3. Parameter yang diteliti pada penelitian ini yaitu pengaruh penggunaan limbah kaca sebagai *substitusi* agregat halus pada campuran porus. Sedangkan pada penelitian terdahulu (Jasim, 2014) menggunakan limbah kaca sebagai agregat kedua untuk campuran HMA.

Perbedaan penelitian penulis dengan penelitian lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 dibawah ini

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Lainnya

No	Aspek	Arsyad (2012)	Putri dkk (2013)	Djakfar dkk (2015)	Jasim (2014)	Fitri (2016)
1	Judul	Pengaruh penambahan anti stripping ( <i>wetfix-be</i> ) terhadap karakteristik aspal porus dengan menggunakan bahan pengikat liquid asbuton	Evaluasi kinerja aspal porus menggunakan spesifikasi gradasi dari Australia (AAPA), California (CalAPA) dan British (BS)	Pengaruh penambahan <i>additive</i> terhadap kinerja <i>Marshall</i> pada campuran aspal porus	Penggunaan limbah kaca sebagai agregat kedua untuk campuran aspal	Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Aspal Porus
2	Jenis Campuran	Aspal porus	Aspal Porus	Aspal porus	HMA	Aspal Porus
3	Jenis Aspal	Asbuton	Asbuton	Asbuton	Petroleum (60-70)	Penetrasi 60/70
4	Hasil	Karakteristik aspal porus yang diperoleh dari <i>Marshall quotient</i> yang memenuhi kadar <i>wetfix-be</i> 0,2%-0,31% dan	Gradasi dengan standar Australia (AAPA) memiliki koefisien permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan standar CalAPA dan BS.	Penambahan <i>additive gilsonite</i> meningkatkan kinerja <i>Marshall</i> cukup signifikan khususnya pada stabilitas. <i>Additive gilsonite</i> mempunyai kinerja baik	Stabilitas <i>Marshall</i> untuk <i>glassphalt</i> lebih tinggi dibandingkan kontrol campuran menggunakan (127 dan 174%)	

Sumber : Arsyad (2012), Putri dkk (2013), Djakfar dkk (2015), Jasim (2014)

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian Lainnya

No	Aspek	Arsyad (2012)	Putri dkk (2013)	Djakfar dkk (2015)	Jasim (2014)	Fitri (2016)
4	Hasil	<p>pengujian cantabro nilai memenuhi spesifikasi hanya kadar wetfix-be 0,34%-0.4%, sedangkan pengujian VIM, Stabilitas, Flow, Porositas, Permeabilitas, dan <i>Drain-down</i> secara keseluruhan nilai kadar wetfix-be 0,2%-0,4% yang memenuhi standar spesifikasi</p>		dibandingkan dengan lateks.	dengan menggunakan kaca ukuran no.8 dan No.200 secara berurutan sebagai agregat kedua pada campuran aspal.	

Sumber : Arsyad (2012), Putri dkk (2013), Djakfar dkk (2015), Jasim (2014)



## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 PERKERASAN LENTUR**

Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah sistem perkerasan jalan dimana konstruksinya terdiri dari beberapa lapisan. Tiap-tiap lapisan perkerasan pada umumnya menggunakan bahan maupun persyaratan yang berbeda sesuai dengan fungsinya yaitu untuk menyebarkan beban roda kendaraan sedemikian rupa sehingga dapat ditahan oleh tanah dasar dalam batas daya dukungnya.

Secara umum konstruksi perkerasan lentur terdiri dari tiga bagian dan memiliki fungsi sebagai berikut .

##### 1. Lapis permukaan (*surface*)

Lapisan permukaan adalah bagian permukaan yang paling atas. Fungsi lapis permukaan dapat meliputi :

###### a. struktural :

ikut mendukung dan menyebarkan beban kendaraan yang diterima oleh perkerasan, baik beban vertikal maupun beban horizontal,

###### b. non struktural, dalam hal ini mencakup :

- 1) lapis kedap air, mencegah masuknya air ke dalam lapisan perkerasan di bawahnya,
- 2) menyediakan permukaan yang tetap rata,
- 3) membentuk permukaan yang tidak licin, dan
- 4) sebagai lapisan aus.

##### 2. Lapis pondasi atas (*base course*)

Lapis pondasi atas adalah bagian dari perkerasan yang terletak antara lapis permukaan dan lapis pondasi bawah. Fungsi lapis ini adalah :

- a. bagian perkerasan yang menahan gaya lintang dari beban roda dan menyebarkan ke lapisan dibawahnya,
- b. lapisan peresapan untuk lapis pondasi bawah, dan
- c. bantalan terhadap lapis permukaan.

### 3. Lapis pondasi bawah (*subbase course*)

Lapis perkerasan yang terletak antara lapis pondasi atas dan tanah dasar. Lapis pondasi bawah ini berfungsi sebagai :

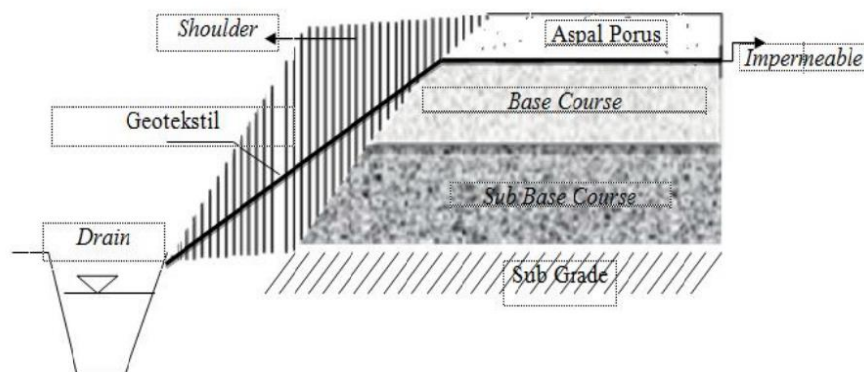
- bagian dari konstruksi perkerasan untuk menyebarkan beban roda ke tanah dasar,
- efisiensi penggunaan material,
- mengurangi tebal lapisan di atasnya yang lebih mahal,
- lapis peresapan, agar air tanah tidak berkumpul di pondasi,
- lapisan pertama, agar pekerjaan dapat berjalan lancar, dan
- lapisan untuk mencegah partikel-partikel halus dari tanah dasar naik ke lapis pondasi atas.

### 4. Lapisan tanah dasar (*surface*)

Lapisan tanah setebal 50-100 cm di atas mana akan diletakkan lapis pondasi bawah dinamakan lapisan tanah dasar. Lapisan ini berupa tanah asli yang dipadatkan jika tanah aslinya baik, tanah yang didatangkan dari tempat lain dan dipadatkan atau tanah yang distabilisasi dengan kapur atau bahan lainnya.

#### 3.1.1 Aspal Porus

Aspal porus merupakan campuran menggunakan aspal yang di desain mempunyai porositas lebih tinggi dibandingkan jenis perkerasan yang lain, sifat porus diperoleh karena campuran aspal porus menggunakan agregat yang memenuhi standar spesifikasi dengan proporsi agregat halus lebih sedikit dibandingkan campuran jenis yang lain.



Gambar 3.1 Gambar Lapis Perkerasan Porus

Sumber : Ismunandar, 2011

Campuran aspal porus merupakan generasi baru dalam perkerasan lentur, yang membolehkan air meresap ke dalam lapisan atas baik secara vertikal maupun horizontal. Kondisi ini dimungkinkan karena gradasi yang digunakan memiliki fraksi agregat kasar tidak kurang dari 85% dari volume campuran. Lapisan ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang dihamparkan di atas lapisan aspal yang kedap air agar tidak terjadi rembesan ke pondasi jalan.

Campuran aspal porus didominasi oleh agregat kasar, sedang agregat halus dan *filler* ditambahkan sedemikian rupa hingga tidak akan menghalangi interlock antar agregat kasar tersebut. Salah satu metode untuk menentukan gradasi agregat adalah dengan memproduksi campuran yang mempunyai densitas maksimum atau porositas minimum (Takahashi, 1999).

Aspal porus adalah campuran beton aspal dengan kadar pasir yang rendah untuk mendapatkan kadar rongga udara yang tinggi. Aspal porus dipergunakan untuk lapisan permukaan jalan dan selalu dihampar di atas lapisan kedap air. Efektif untuk meningkatkan keselamatan lalu-lintas pada musim hujan, mengurangi percikan air dan mempunyai kekesatan permukaan yang baik pada kecepatan tinggi (Diana, 2000).

### 3.2 AGREGAT

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir, atau mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun buatan (SNI No: 1737-1989-F). Agregat adalah material granular misalnya pasir, kerikil, batu pecah yang dipakai bersama-sama dengan suatu media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan.

Menurut Sukirman (2003) agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat beruppa ukuran besar mauppun kecil atau fragmen-fragmen.

Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan perkerasan jalan, yaitu 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75 –85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan



jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Secara umum agregat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu

#### 1. Agregat Kasar

Fraksi agregat kasar untuk agregat ini adalah agregat yang tertahan saringan No.8 (2,36 mm) Bina Marga (2010). Agregat kasar juga harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Fraksi agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal. Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu ayakan yang lebih kecil dari ayakan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%. Adapun persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini sebagai berikut.

Tabel 3.1 Persyaratan Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Standar	Nilai Persyaratan
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	SNI 3407 – 2008	Maks. 12%
2	Berat Jenis	SNI 1969 : 2008	>2,5
3	Abrasi dengan mesin Los Angeles Campuran AC bergradasi kasar	SNI 2417 : 2008	Maks. 30%
4	Abrasi dengan mesin Los Angeles semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya.		Maks. 40%
5	Penyerapan agregat terhadap air	SNI 1969 : 2008	< 3%
6	Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No.621	95 / 90
7	Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥10 cm)		80 / 75
8	Pertikel pipih dan lonjong	ASTM D4791 perbandingan 1:5	Maks. 10%
9	Material lolos ayakan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks.1%
10	Kelekatan Agregat terhadap aspal	SNI-06-2439-1991	>90%

Sumber : Bina Marga, 2010

#### Catatan :

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

## 2. Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang tertahan saringan No.8 (2,36 mm) sesuai SNI 03-6819-2002. Pasir boleh digunakan dalam campuran aspal. Agregat halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

Adapun agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.2 Persyaratan Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Standar	Nilai Persyaratan
1	Berat Jenis (%)	SNI 1970 : 2008	> 2,5
2	Penyerapan Agregat Terhadap Aspal (%)	SNI 1970 : 2008	< 3
3	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min 60 %
4	Kadar lempung	SNI 3423 : 2008	Maks. 1%
5	Angularitas (kedalaman dari permukaan <10 cm)	SNI 03-6877-2002	Min.45
6	Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥10 cm)	SNI 03-6877-2002	Min.40
7	<i>Sand Equivalent</i> (%)	SNI 3423 : 2008	> 50

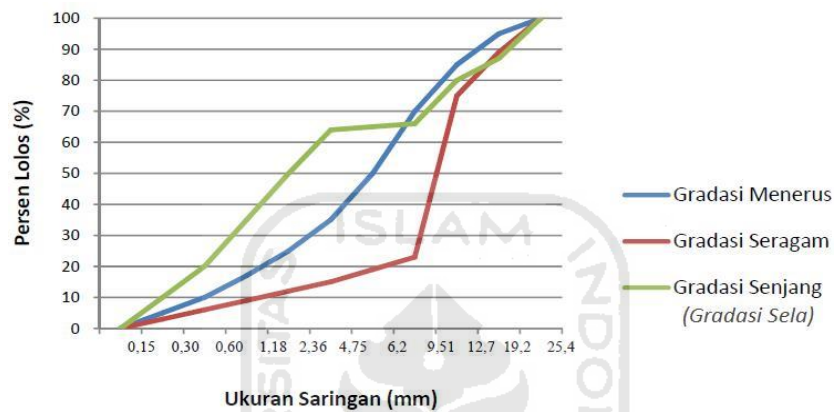
Sumber : Bina Marga, 2010

Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Oleh karena itu perlu pemeriksaan teliti sebelum diputuskan suatu agregat dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai material perkerasan jalan adalah gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir, tekstur permukaan, porositas, kemampuan untuk menyerap air, berat jenis dan daya pelekatan dengan aspal.

### 1. Gradasi

Gradasi agregat adalah distribusi dari variasi ukuran butir agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan workabilitas (kemudahan dalam pekerjaan) serta stabilitas campuran. Distribusi ukuran agregat dengan ukuran tertentu yang dimiliki oleh suatu campuran menentukan jenis gradasi agregat. Gradasi agregat dapat dikelompokkan

kedalam agregat bergrasi baik dan agregat bergradasi buruk. Berbagai macam gradasi aspal porus yang telah dikembangkan diberbagai lembaga penelitian di berbagai negara. Macam-macam gradasi yang telah dikenal adalah *Blackwater Valley Route (BVR)*, *British Standard (BS)*, gradasi *Australia*, dan gradasi *Jepang*. Gradasi yang dipergunakan pada penelitian ini untuk campuran aspal porus adalah gradasi *Australia*. Macam gradasi secara umum dibagi menjadi 3 macam yaitu menerus, seragam, dan senjang hal ini adapat dilihat pada Gambar 3.2 Grafik Macam Gradasi sebagai berikut ini.



Gambar 3.2 Grafik Macam Gradasi

Persyaratan gradasi agregat pada campuran aspal porus seperti yang di tentukan oleh spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* dapat dilihat pada Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus berikut ini.

Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos	
	Ag. Maks. 10 mm	Ag. Maks.14 mm
19,000	100	100
12,700	100	85-100
9,530	85-100	45-70
4,760	20-45	10-25
2,380	10-20	7-15
1,190	6-14	6-12
0,595	5-10	5-10
0,297	4-8	4-8
0,149	3-7	3-7
0,074	2-5	2-5
Total	100	100
<b>Kadar Aspal</b>	<b>5,0 - 6,5</b>	<b>4,5 - 6,0</b>

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*

## 2. Daya Tahan

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat adanya proses mekanis dan kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi yaitu perubahan gradasi akibat pecahnya butir-butir agregat. Faktor – faktor yang sangat mempengaruhi tingkat degradasi yang terjadi sangat ditentukan oleh jenis agregat, gradasi campuran, ukuran partikel, bentuk agregat, dan besarnya energi yang dialami oleh agregat tersebut. Daya tahan terhadap agregat terhadap beban mekanis diperiksa dengan melakukan pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles, sedangkan daya tahan terhadap proses kimiawi diperiksa dengan pengujian soundness.

## 3. Bentuk dan Tekstur

Bentuk butiran adalah faktor yang sangat penting untuk mendapatkan gaya gesek antara batuan dan perkerasan, disamping itu bentuk butiran juga berpengaruh terhadap stabilitas konstruksi perkerasan jalan. Agregat kasar terbaik yang digunakan untuk material perkerasan jalan adalah berbentuk kubus, tetapi jika tidak ada maka agregat yang mempunyai minimal satu bidang pecahan dapat dipergunakan.

## 4. Kebersihan

Kebersihan agregat ditentukan dari banyaknya butir-butir halus yang lolos saringan No.200, seperti adanya lempung lanau. Jika dipergunakan sebagai bahan campuran beton aspal, akan menghasilkan beton aspal berkualitas rendah.

## 5. Daya Lekat Terhadap Aspal

Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Kelekatan aspal terhadap agregat dinyatakan dalam persen, yaitu persentase luas permukaan agregat yang dilapisi aspal terhadap seluruh luas permukaan.

### 3.3 ASPAL

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

Aspal terbuat dari minyak mentah, melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan bersama sama material lain. Aspal dapat pula diartikan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal yang terbentuk dari senyawa-senyawa kompleks seperti Asphaltene, Resins dan Oils. Aspal mempunyai sifat visco-elastis dan tergantung dari waktu pembebanan (Wittgenstein, 2003)

Selain aspal yang terbuat dari minyak mentah ada pula aspal yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di Pulau Buton, dan ada pula yang diperoleh di danau seperti di Trinidad. Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton yang berupa aspal gunung, dan terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Batu Buton). Karena asbuton merupakan material yang ditemukan begitu saja di alam, maka kadar bitumen yang dikandungnya sangat bervariasi dari rendah sampai tinggi.

Jika dilihat dari bentuknya pada temperatur ruang, maka aspal dibedakan atas aspal padat, aspal cair, aspal emulsi.

1. Aspal Padat / *Asphalt Cement*

Aspal yang berbentuk padat atau semi padat pada suhu ruang dan menjadi cair jika dipanaskan. Oleh karena itu harus dipanaskan terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai bahan pengikat agregat.

2. Aspal Cair / *Cutback Asphalt*

Aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin, atau solar.

3. Aspal Emulsi / *Emulsified Asphalt*

Suatu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, yang dilakukan dipabrik pencampur. Aspal emulsi ini lebih cair daripada aspal cair.

Pada penelitian ini digunakan aspal AC penetrasi 60/70, persyaratan AC 60/70 dapat dilihat pada Tabel 3.4, rekomendasi koefisien aspal porus pada Tabel 3.5 dan Tebal Minimum Campuran Aspal dapat dilihat pada Tabel 3.6 sebagai berikut:

Tabel 3.4 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 – 79
2	Titik Lembek, °C	SNI 06-2434-1991	48 – 58
3	Titik Nyala; °C	SNI 06-2433-1991	min 200
4	Kelarutan CCL <sub>4</sub> , % berat	RSNI M-04-2004	min 99
5	Daktilitas 25°C, cm	SNI 06-2432-1991	min 100
6	Berat Jenis	SNI 06-2441-1991	min. 1,0

Sumber: Bina Marga, 2010

Tabel 3.5 Rekomendasi Koefisien Lapisan Aspal Porus

Jenis Material	lapisan
Porous Asphalt	0,40-0,42
Asphalt Treated Permeable Base (ATPB)	0,30-0,35
Porous Aggregate Base (Stone Recharge Bed)	0,20-0,14

Sumber: Hansen, 2008

Tabel 3.6 Tebal Nominal Minimum Campuran Aspal Porus

Beban Traffic	Tebal Minimum (inchi)
Parkir-kecil atau tidak ada truk	2,5
Jalan Pemukiman-truk sedang	4,0
Truk berat	6,0

Sumber: Hansen, 2008

Campuran aspal porus didominasi oleh agregat kasar untuk memperoleh pori yang cukup tinggi agar didapat permeabilitas yang tinggi, dimana permeabilitas difungsikan untuk *subsurface drain*. Beberapa kelebihan campuran aspal porus yaitu dapat meminimalisasi genangan, mengurangi percikan air, bahaya slip pada roda kendaraan, kesilauan akibat sinar lampu lalu lintas pada malam hari, serta mereduksi kebisingan. Syarat dan ketentuan campuran aspal porus dapat dilihat pada Tabel 3.7

Tabel 3.7 Ketentuan Campuran Aspal Porus

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Uji <i>Cantabro Loss</i> (%)	Maks. 35
2	Uji Aliran Aspal Kebawah (%)	Maks. 0,3
3	Kadar Rongga di dalam Campuran (VIM %)	18-25
4	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min. 500
5	Kelelahan <i>Marshall</i> (mm)	2-6
6	Kekakuan <i>Marshall</i> (kg/mm)	Maks. 400
7	Jumlah Tumbukan perbidang	50

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association*, 2004

### 3.4 BAHAN PENGGANTI (*SUBSTITUSI*)

Kaca terbuat dari bahan-bahan kimia seperti pasir silika, abu soda dan batu kapur. Kaca juga memiliki banyak sifat yang menjadi kelebihanya yaitu berwujud padat, kuat, tembus pandang, tahan panas, mudah dibentuk dan dipanaskan, tidak menyerap air, isolator panas dan listrik.

Limbah kaca adalah sisa-sisa kaca yang sudah tidak digunakan seperti kaca jendela, kaca kendaraan, botol kaca dan kaca meja. Limbah kaca biasanya hanya didaur ulang sehingga diperlukan upaya untuk meningkatkan nilai guna limbah kaca. Limbah kaca biasanya dipisahkan berdasarkan penggunaan akhirnya dan berdasarkan penggunaan akhirnya kaca dipisahkan dengan warna, yang secara garis besar kaca dibagi menjadi tiga warna:

1. bening/tidak berwarna, biasanya digunakan sebagai alat rumah tangga.
2. hijau, biasanya digunakan sebagai botol minuman bersoda.
3. coklat, biasanya digunakan sebagai botol minuman ringan.

Maka penelitian ini bermaksud untuk menggunakan limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat halus pada campuran aspal porus. Limbah kaca diambil dari sisa-sisa botol bekas minuman, kemudian dihancurkan dengan menggunakan mesin *Los Angels*. Kemudian dilakukan pengayakan dengan ukuran ayakan No.8. Pecahan kaca yang digunakan adalah yang tertahan di ayakan No.8.

### 3.5 PARAMETER MASHALL TEST

Lapis perkerasan aspal porus yang baik menandakan telah memenuhi standar karakteristik tertentu. Pengujian *Marshall* dimaksudkan untuk menentukan karakteristik perkerasan berdasarkan pemeriksaan yang diperoleh dari hasil ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) pada campuran aspal. Parameter yang digunakan untuk menentukan *Marshall Test* antara lain adalah stabilitas (*stability*), kelelahan plastis (*flow*), *VFMA* (*Void Filled With Asphalt*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), dan *kepadatan* (*density*).

#### 3.5.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan beban yang dapat ditahan campuran beton aspal sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kilogram atau pound atau kilo newton. Nilai stabilitas didapatkan dari pembacaan arloji stabilitas pada marshall test. Angka stabilitas ini masih harus dikoreksi lagi dengan kalibrasi alat dan ketebalan benda uji. Nilai stabilitas yang dipakai dihitung dengan Persamaan 3.1 sedangkan grafik hubungan antara nilai stabilitas dan kadar aspal aspal dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut (RSNI M-01-2003).

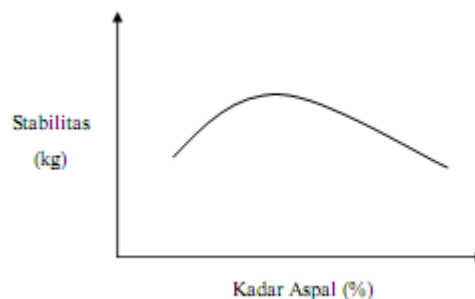
$$q = p \times s \times 0,4536 \quad (3.1)$$

Keterangan :  $q$  = stabilitas (kg)

$p$  = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

$s$  = koreksi tebal benda uji

0,4536 = konversi satuan dari lb ke kg

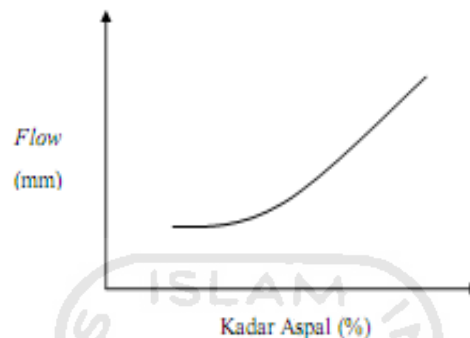


Gambar 3.3 Grafik Hubungan antara Nilai Stabilitas dan Kadar Aspal  
Sumber : Sukiman, 1992



### 3.5.2 Kelelahan Plastis (*flow*)

Kelelahan 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). Adapun grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai flow dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut (RSNI M-01-2003)



Gambar 3.4 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Kelelahan (*Flow*)

Sumber : Sukiman, 1992

### 3.5.3 Marshall Quotient (*MQ*)

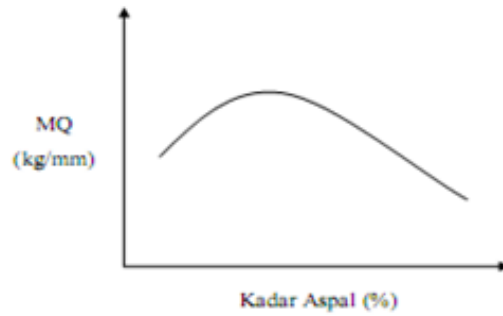
*Marshall Quotient* (*MQ*) yaitu perbandingan antara stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai *MQ* pada perencanaan perkerasan dengan metode Marshall digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas perkerasan. Fleksibilitas akan naik diakibatkan oleh penambahan kadar aspal dan akan turun setelah sampai pada batas optimum, yang disebabkan berubahnya fungsi aspal sebagai pengikat menjadi pelicin. Nilai *MQ* yang biasa di syaratkan berkisar antara 200-350 kg/mm. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *MQ* dilihat pada Gambar 3.4 berikut (RSNI M-01-2003).

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

Keterangan : *MQ* = nilai *Marshall Quotient*

*q* = nilai stabilitas (kg)

*r* = nilai *flow* (mm)



Gambar 3.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai  $MQ$

Sumber : Sukiman, 1992

### 3.5.4 *VITM (Void in Total Mix)*

Nilai *VITM (Void in Total Mix)* berkaitan dengan prosentase rongga dalam campuran, semakin besar jumlah rongga maka tingkat kepadatannya semakin rendah, dan begitu pula sebaliknya. Nilai *VITM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.3 dan 3.4, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut

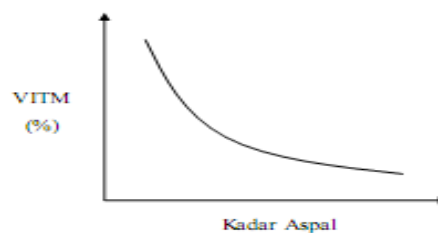
$$n = 100 - \left(100 - \frac{g}{h}\right) \quad (3.3)$$

$$h = 100 - \left[ \frac{100}{\left(\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}}\right)} \right] \quad (3.4)$$

Keterangan :  $n$  = nilai *VITM*

$g$  = berat isi sampel (gr/cc)

$h$  = berat jenis maksimum teoritis campuran



Gambar 3.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM*

Sumber : Sukiman, 1992

### 3.5.5 VFWA (Void Filled With Asphalt)

VFWA yaitu persentase rongga dalam campuran yang terisi aspal yang nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu, dimana rongga telah penuh (optimum). Nilai VFWA dapat diperoleh dari Persamaan 3.5 sampai 3.9, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai VFWA dapat dilihat pada gambar 3.3 berikut

1. Persentase aspal terhadap campuran

$$b = \frac{a}{100+a} \times 100 \quad (3.5)$$

Keterangan :  $a$  = persentasi aspal terhadap batuan

$b$  = persentasi aspal terhadap campuran

2. Persentase aspal terhadap agregat

$$m = 100 \times \frac{i}{l} \quad (3.6)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ \text{ Aspal}} \quad (3.7)$$

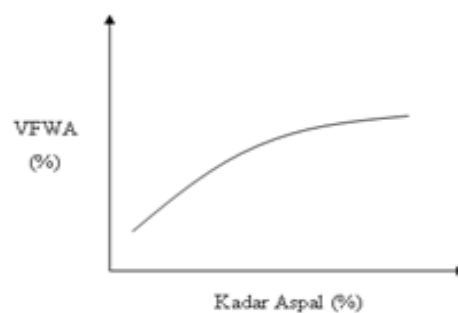
$$l = 100 - j \quad (3.8)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.9)$$

Keterangan :  $m$  = VFWA (%)

$g$  = berat isi sampel (gr/cc)

$b$  = persentase aspal terhadap campuran



Gambar 3.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VFWA

Sumber : Sukiman, 1992

### 3.5.6 VMA (*Void in Mineral Aggregate*)

VMA yaitu rongga udara antar butir agregat aspal padat dinyatakan dalam persen terhadap volume. Nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal. Bila nilai VMA naik, nilai flow akan naik, tetapi stabilitasnya akan menurun. Nilai VMA dapat diperoleh dari Persamaan 3.10 dan 3.11, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai VMA dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

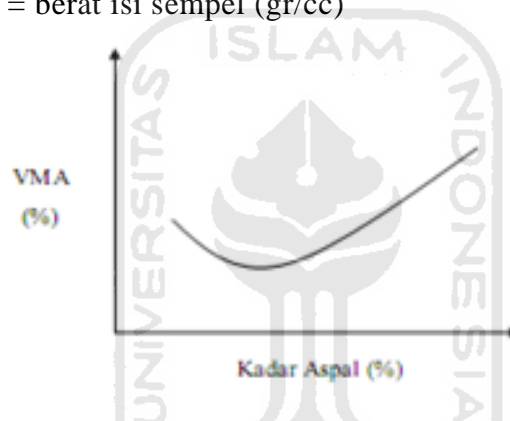
$$l = 100 - j \quad (3.10)$$

$$j = ((100-b) \times g) / (BJ \text{ Agregat}) \quad (3.11)$$

Keterangan :  $l$  = nilai VMA (%)

$b$  = persentase aspal terhadap campuran (%)

$g$  = berat isi sempel (gr/cc)



Gambar 3.8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VMA

Sumber : Sukiman, 1992

### 3.5.7 Kepadatan (*Density*)

Nilai kepadatan / *density* merupakan tingkat kepadatan suatu campuran setelah didapatkan. Semakin tinggi nilai density suatu campuran menunjukkan kepadatannya semakin baik. Nilai density dapat diperoleh dari Persamaan 3.12 dan Persamaan 3.13, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dengan nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.12)$$

$$f = d - e \quad (3.13)$$

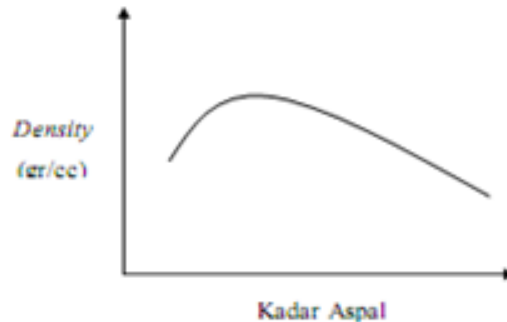
Keterangan :  $g$  = nilai *density* (gr/cc)

$c$  = berat benda uji sebelum direndam (gr)

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

e = berat dalam air (gr)

f = volume / isi (cm<sup>3</sup>)



Gambar 3.9 Gambar Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Density*  
(Sumber : Sukiman, 1992)

### 3.6 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  $\pm 50^{\circ}$  C dan uji perendaman selama 1 x 24 jam dengan suhu  $\pm 60^{\circ}$  C. Pada penelitian ini dipakai metode uji perendaman (*Marshall*) selama 24 jam dan suhu konstan  $60^{\circ}$  C sebelum pembebanan diberikan.

Hasil perhitungan indeks tahanan campuran aspal (*Index of retained strength*) adalah persentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam ( $S_2$ ) yang dibandingkan dengan stabilitas campuran biasa ( $S_1$ ). Seperti tercantum pada Persamaan 3.14 dibawah ini.

$$\text{Index of retained strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.14)$$

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.

### 3.7 *INDIRECT TENSILE STRENGTH (ITS)*

*Indirect Tensile Strength (ITS)* adalah suatu metode pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal. 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.

Retak yang disebabkan oleh pengulangan beban menyebabkan adanya gaya tarik yang dialami perkerasan. Beban dari suatu roda kendaraan baik berhenti maupun bergerak memberikan gaya tekan sehingga lapisan akan mengalami lendutan, jika lapisan melendut maka lapisan bagian atas mengalami gaya tekan dan sebaliknya lapisan bawah mengalami gaya tarik. Akibat gaya tarik yang terjadi pada lapisan bagian bawah akan mengakibatkan terjadinya retak. Hal ini berbeda dengan beban tekan yang secara empiris dapat diperoleh dari pengujian *marshall* secara langsung, namun pengujian yang paling sesuai untuk mengetahui besarnya gaya tarik pada perkerasan adalah dengan pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS) Test*.

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

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

Keterangan : *ITS* = kuat tarik tidak langsung (kg/cm<sup>2</sup>)  
*Pruntuh* = beban puncak (kg)  
*h* = tinggi sampel (cm)  
*A<sub>0</sub>* = konstanta (tabel *A<sub>0</sub>* terlampir pada lampiran 33)

### 3.8 *CANTABRO TEST*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *los angeles*. Benda uji yang didiamkan selama

48 jam pada suhu ruang dan minimal 6 (enam) jam sebelum pengujian suhu harus dijaga berada pada suhu ruang. Sebelum benda uji dimasukkan kedalam drum mesin *Los Angeles* terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi ( $M_o$ ). Selanjutnya benda uji dimasukkan ke drum mesin *Los Angeles* tanpa bola baja. Mesin *Los Angeles* kemudian dijalankan dengan kecepatan antara 30-33 rpm sebanyak 300 putaran. Setelah selesai benda uji dikeluarkan dan ditimbang dengan berat setelah abrasi ( $M_i$ ).

Kehilangan berat dapat diperoleh dari Persamaan 3.16 berikut

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.16)$$

Keterangan :  $M_o$  = berat sebelum diabrasi (gr)  
 $M_i$  = berat setelah diabrasi (gr), dan  
 $L$  = persentase kehilangan berat (%)

### 3.9 PERMEABILITAS

Permeabilitas pada aspal adalah kemampuan lapis perkerasan untuk mengalirkan air sehingga didapat permukaan yang kering. Setiap material dengan ruang kosong diantaranya disebut poros dan apabila ruang kosong itu saling berhubungan maka ia akan memiliki sifat permeabilitas. Maka batuan, beton, tanah, dan banyak material lain dapat merupakan material poros dan permeabel. Material dengan ruang kosong yang lebih besar biasanya mempunyai angka pori yang lebih besar pula.

Dalam penelitian ini permeabilitas vertikal dan horizontal keduanya akan dihitung. Tes permeabilitas ini merupakan sarana yang penting untuk aspal porous. Test permeabilitas ini merujuk pada hukum permealitas dengan Persamaan 3.17 sebagai berikut.

$$K = \frac{V \cdot L \cdot \gamma_{Air}}{P \cdot A \cdot T} \quad (3.17)$$

Keterangan :  $K$  = koefisien permeabilitas (cm/dtk)

- $V$  = volume rembesan ( $\text{cm}^3$ )  
 $T$  = lama waktu rembesan terukur (detik)  
 $L$  = panjang atau tinggi sampel (cm)  
 $P$  = tekanan air ( $\text{kgcm/det}^2/\text{cm}^2$ )  
 $A$  = luas penampang sampel ( $\text{cm}^2$ )  
 $\gamma$  Air = berat jenis air ( $\text{gr}/\text{cm}^3$ )

Berdasarkan koefisien permeabilitas campuran aspal dapat diklasifikasikan berdasarkan tingkat permeabilitasnya sendiri. Mullen (1967) menetapkan pembagian campuran aspal berdasarkan permeabilitas seperti pada Tabel 3.7 dibawah ini.

Tabel 3.8 Klasifikasi Campuran Aspal Berdasarkan Angka Permeabilitas

K (cm/det)	Permeabilitas
$1 \times 10^{-8}$	Kedap
$1 \times 10^{-6}$	Hampir Kedap
$1 \times 10^{-4}$	Drainase Jelek
$100 \times 10^{-4}$	Drainase Sedang
$1000 \times 10^{-4}$	Drainase Baik

Sumber : Mullen (1967) dalam Putranto (2011)

### 3.10 ASPHALT FLOW DOWN

Pengujian *asphalt flow down* ini dimaksudkan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Hal ini penting dilakukan agar selama pengangkutan dari AMP (*Asphalt Mixing Plant*) ke lokasi penghamparan, tidak terjadi pemisahan aspal.

Besarnya *asphalt flow down* dapat dihitung dengan persamaan 3.18 sebagai berikut

$$AFD = [(m_3 - m_1)/(m_2 - m_1)] \times 100 \quad (3.18)$$

Keterangan :

$M_1$  = berat cetakan berupa nampan dan kertas aluminium foil (gr)

$M_2$  = berat cetakan beserta campuran beraspal (gr).



$M_3$  = berat cetakan dengan campuran aspal yang melekat pada aluminium foil  
(gr)

### 3.11 ANALISIS STATISTIKA

Data-data seperti karakteristik *marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strength*, *catanbro* dan *Permeabilitas* dengan parameter kadar limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat halus terhadap karakteristik campuran aspal porus dianalisis menggunakan analisis statistik *Anova* satu arah. Pada penelitian ini terdapat dua variabel yang digunakan dalam proses analisis statistik yaitu variabel bebas dan variabel terikat. Variabel bebas yang dimaksud adalah variasi kadar limbah kaca sebagai pengganti agregat halus. Sedangkan variabel terikat yang dimaksud adalah seperti karakteristik *marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strength*, *Cantabro*, dan *permeabilitas*.

1. Analisis statistik *Anova* satu arah adalah sebagai berikut

a. Merumuskan hipotesis ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatif ( $H_1$ )

Uji hipotesis bertujuan untuk mengetahui karakteristik.

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

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

b. Menentukan nilai  $\alpha$  atau tingkat signifikan.

c. Mencari nilai df atau derajat kebebasan.

d. Penggunaan tabel distribusi F

Nilai tabel F bergantung dari nilai  $\alpha$  dan df.

e. Penentuan daerah penolakan dan kritis

Daerah penolakan dan penerimaan dibatasi oleh nilai  $\alpha$  dan nilai F-hitung.

f. Perumusan keputusan  $H_0$  dan  $H_1$

$H_0$  : Tidak ada perbedaan signifikan pengaruh substitusi limbah kaca terhadap karakteristik campuran aspal porus

$H_1$  : Ada perbedaan signifikan pengaruh substitusi limbah kaca terhadap karakteristik campuran aspal porus

Jika nilai rasio uji berada di daerah penerimaan maka  $H_0$  diterima, sedangkan jika nilai rasio berada di daerah penolakan maka  $H_1$  diterima.

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 METODE PENELITIAN**

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini adalah metode penelitian eksperimental kausal (sebab-akibat) dalam pengambilan maupun analisis data. Jenis penelitian ini dapat diartikan sebagai sebuah studi objektif, sistematis dan terkontrol untuk memprediksi hasil akhir dari hasil penelitian yang menyelidiki tentang hubungan sebab akibat. Penelitian ini menggunakan situasi (variabel bebas) yang diasumsi sebagai penyebab munculnya gejala (variabel terikat) secara sengaja dengan dimanipulasi dimana variabel bebas yang dimaksud adalah persentase penggunaan limbah kaca sebagai bahan pengganti agregat sedangkan variabel terikat adalah karakteristik *Marshall*, durabilitas, dan Permeabilitas. Hasil Penelitian akan dibandingkan dan dipaparkan dalam suatu karya tulis dengan dilengkapi oleh data-data hasil pengujian.

#### **4.2 METODE PENGAMBILAN SAMPEL**

Penelitian ini akan menggunakan sampel kaca yang akan didapatkan dari limbah botol kaca dan kaca produksi. Pengambilan sampel limbah kaca ini yaitu dengan cara menghancurkan kaca menjadi lebih kecil yang nantinya akan dicampurkan ke dalam campuran aspal porus sebagai bahan pengganti agregat. Agregat yang akan digunakan diperoleh dari Clereng, Kulon Progo dan aspal yang akan digunakan menggunakan aspal dari PT.Pertamina, Cilacap.

Dikarenakan keterbatasan waktu penulis, baik waktu, tenaga dan biaya maka dalam penelitian ini 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. Penelitian ini juga termasuk dalam kelompok *purposive sampling*, yaitu pengambilan sampel yang berdasarkan tujuan. Pada cara ini, siapa yang akan diambil sebagai anggota

sampel diserahkan pada pertimbangan pengumpulan data yang berdasarkan atas pertimbangannya sesuai dengan maksud dan tujuan penelitian (Sukandarrumidi, 2002). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan perkiraan yang baik sehingga didapatkan sample yang dapat mewakili populasi.

### 4.3 METODE PENGAMBILAN DATA

Dalam pengambilan data diperlukan pengelompokan benda uji untuk mempermudah pengisian, pembacaan hasil pengujian dan pengujian campuran beton aspal, sehingga dapat diperoleh data yang berupa nilai stabilitas, *flow*, *VITM*, *VFWA*, *VMA*, *Density*, *Marshall Quotient*, dan permeabilitas. Pada penelitian ini, data yang diperoleh didapat dengan cara melakukan pengujian di laboratorium dan diambil dari beberapa sumber. Ada 2 sumber yang akan digunakan dalam penelitian ini yaitu sumber data primer dan sumber data sekunder.

Sumber data primer ialah data yang diperoleh dengan cara *experiment* langsung yang dilakukan dilokasi penelitian. Pengujian sampel dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Dimana tahapan-tahapan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. mencari kadar aspal optimum,
2. melakukan pengujian *Marshall Tes* pada KAO,
3. melakukan pengujian *Immersion Test*,
4. melakukan pengujian *Indirect Tensile Strength* (kuat tarik tak langsung),
5. melakukan pengujian *Cantabro* (ketahanan abrasi), dan
6. melakukan pengujian Permeabilitas,
7. melakukan pengujian *Asphalt Flow Down*.

Sehingga data ini akan berfungsi sebagai data pendukung dari data primer.

### 4.4 TAHAPAN PENELITIAN

Bahan yang akan digunakan pada penelitian ini merupakan kombinasi dari agregat halus, agregat kasar, dan aspal. Kombinasi bahan yang akan digunakan ini terlebih dahulu akan diuji untuk mengetahui sifat-sifat bahan apakah telah

memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan. Tahapan penelitian yang akan dilakukan di laboratorium selama penelitian ini berlangsung adalah sebagai berikut :

1. pemeriksaan bahan uji,
2. persiapan alat uji,
3. langkah-langkah penelitian,
4. mencari Kadar Aspal Optimum (KAO),
5. pengujian *Marshall* standar,
6. pengujian perendaman *Marshall (Immersion test)*,
7. melakukan pengujian *Indirect Tensile Strength* (kuat tarik tak langsung),
8. melakukan pengujian *Cantabro*,
9. melakukan pengujian permeabilitas campuran aspal porus, dan
10. melakukan pengujian *Aphalt Flow Down*.

#### 4.4.1 Pemeriksaan Bahan

Pengujian bahan akan 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 akan 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 gravity*), berat kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*) dan berat jenis semu (*apparent specific gravity*), serta penyerapan dari agregat.

- b. Pengujian Kelekatatan Agregat terhadap Aspal (SNI 06-2439-1991)  
Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kelengketan agregat oleh aspal yang merupakan persentase 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 Keausan 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 Equivalent* (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 titik 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.

#### 4.4.2 Peralatan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Seperangkat alat uji pengujian fisik agregat yang meliputi mesin Los Angeles, saringan standar, tabung Sand Equivalent.
2. Seperangkat alat uji pengujian fisik aspal yang meliputi alat ukur penetrasi aspal, daktilitas aspal, kelarutan aspal, titik lembek aspal, titik nyala, dan titik bakar aspal.
3. Seperangkat alat uji karakteristik campuran metode *Marshall* yang meliputi alat tekan yang terdiri dari *Proving Ring* berkapasitas 2500 kg dengan

- ketelitian 12,5 kg, arloji pengukuran stabilitas, arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm, serta dilengkapi dengan alat penunjang seperti kompor pemanas, penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, spatula, bak perendaman (*water bath*), oven.
4. Seperangkat alat uji permeabilitas (*Falling Head Permeability Test*), yang meliputi tabung dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 80 cm, bak air, 2 buah statif, klem permeabilitas, stopwatch.

#### 4.4.3 Rencana Campuran Penelitian

Bahan atau material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus, aspal dan kaca. Adapun alasan memilih campuran aspal porus yaitu meningkatkan keamanan dengan mereduksi resiko aquaplaning, mereduksi kebisingan lalu lintas, meningkatkan penglihatan pada saat hujan dengan mereduksi percikan air, meningkatkan kenyamanan mengemudi, mereduksi pantulan cahaya lampu yang menyilaukan diwaktu malam. (*Spesification for Porus Asphalt, REAM, 2008*). Komposisi campuran yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan limbah kaca yang tertahan saringan no.8 sebagai dasar penelitian menggunakan *Australia Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004* dan juga sebagian mengadopsi dari Bina Marga.

#### 4.4.4 Estimasi Kadar Aspal Optimum

Menentukan variasi kadar aspal ini menggunakan kombinasi agregat untuk dapat memenuhi spesifikasi agregat yang telah ditentukan. Dalam campuran ini gradasi yang digunakan adalah gradasi menurut *Australia Asphalt Pavement Association (AAPA) 2004* sebagai kombinasi agregat.

Untuk batasan gradasi yang akan digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.1 sebagai berikut

Tabel 4.1 Batasan Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos	
	Ag. Maks. 10 mm	Ag. Maks.14 mm
19,000	100	100
12,700	100	85-100
9,530	85-100	45-70
4,760	20-45	10-25
2,380	10-20	7-15
1,190	6-14	6-12
0,595	5-10	5-10
0,297	4-8	4-8
0,149	3-7	3-7
0,074	2-5	2-5
Total	100	100
<b>Kadar Aspal</b>	<b>5,0 - 6,5</b>	<b>4,5 – 6,0</b>

Sumber : *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*

Menurut peraturan AAPA (2004) kadar aspal porus untuk agregat maksimal 14 mm adalah 4,5 – 6,0. Maka dapat ditentukan variasi kadar aspal yang digunakan dalam penelitian ini dengan interval 0,5% untuk mendapatkan kadar aspal optimum sesuai dengan *Australia Asphalt Pavement Association* pada Tabel 4.2 dibawah ini

Tabel 4.2 Variasi Kadar Aspal

0	+0,5	+0,5	+0,5	Interval
4,5%	5%	5,5%	6%	Kadar Aspal

Dari table dapat diperoleh kadar aspal yaitu 4,5-6,0%, sehingga untuk mencari kadar aspal optimum kadar aspal yang digunakan seperti pada Tabel 4.2. Kebutuhan Agregat campuran pada tiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.3 hingga Tabel 4.6 berikut.



Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 4,5 %

Ukuran Ayakan (mm)	% Spesifikasi Lolos Ag. Maks.14 mm	Gradasi Rencana		Berat (gr)
		% Lolos	% Tertahan	
19,000	100	100	0	0
12,700	85-100	92,5	7,5	85,95
9,530	45-70	57,5	35,5	401,1
4,760	10-25	17,5	40	458,4
2,380	7-15	11	5,5	74,49
1,190	6-12	9	2,0	22,92
0,595	5-10	7,5	1,5	17,19
0,297	4-8	6	1,5	17,19
0,149	3-7	5	1,0	11,46
0,074	2-5	3,5	1,5	17,19
Pan	0-1	0	3,5	40,11

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5 %

Ukuran Ayakan (mm)	% Spesifikasi Lolos Ag. Maks.14 mm	Gradasi Rencana		Berat (gr)
		% Lolos	% Tertahan	
19,000	100	100	0	0
12,700	85-100	92,5	7,5	85,5
9,530	45-70	57,5	35,5	399
4,760	10-25	17,5	40	456
2,380	7-15	11	5,5	74,1
1,190	6-12	9	2,0	22,8
0,595	5-10	7,5	1,5	17,1
0,297	4-8	6	1,5	17,1
0,149	3-7	5	1,0	11,4
0,074	2-5	3,5	1,5	17,1
Pan	0-1	0	3,5	39,9

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5 %

Ukuran Ayakan (mm)	% Spesifikasi Lolos Ag. Maks.14 mm	Gradasi Rencana		Berat (gr)
		% Lolos	% Tertahan	
19,000	100	100	0	
12,700	85-100	92,5	7,5	85,05
9,530	45-70	57,5	35,5	396,9
4,760	10-25	17,5	40	453,6
2,380	7-15	11	5,5	73,71
1,190	6-12	9	2,0	22,68
0,595	5-10	7,5	1,5	17,01
0,297	4-8	6	1,5	17,01
0,149	3-7	5	1,0	11,34
0,074	2-5	3,5	1,5	17,01
Pan	0-1	0	3,5	39,69

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6 %

Ukuran Ayakan (mm)	% Spesifikasi Lolos Ag. Maks.14 mm	Gradasi Rencana		Berat (gr)
		% Lolos	% Tertahan	
19,000	100	100	0	0
12,700	85-100	92,5	7,5	84,6
9,530	45-70	57,5	35,5	394,8
4,760	10-25	17,5	40	451,2
2,380	7-15	11	5,5	73,32
1,190	6-12	9	2,0	22,56
0,595	5-10	7,5	1,5	16,92
0,297	4-8	6	1,5	16,92
0,149	3-7	5	1,0	11,28
0,074	2-5	3,5	1,5	16,92
Pan	0-1	0	3,5	39,48

Untuk mencari kadar aspal Optimum *AAPA* 2004 adalah sebagai berikut.

1. *Cantabro Loss* 35 % di set untuk mendapatkan kadar aspal minimum.
2. Kemudian nilai *VITM* 18% diset untuk mendapatkan kadar aspal maksimum.
3. Kadar aspal rata-rata di dapat dari *Cantarbo loss* 35% dan *VITM* 18%.
4. Plot hasil rata-rata pada grafik *AFD*.

5. Nilai dari penarikan *AFD* di jumlah dengan nilai kadar aspal rata-rata.
6. Didapatkan nilai kadar aspal optimum.

#### 4.5 RENCANA BENDA UJI

Jumlah benda uji yang akan di buat pada masing-masing pengujian disesuaikan pada kebutuhan penelitian, seperti tabel 4.7 sampai 4.8 berikut.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Variasi Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
4,5%	6
5%	6
5,5%	6
6%	6
Jumlah	24 Buah

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk tiap pengujian pada KAO

Pengujian dengan KAO	Variasi Kadar Limbah Kaca				
	0%	10%	20%	30%	40%
<i>Marshall Test</i>	3	3	3	3	3
<i>Immersion Test</i>	3	3	3	3	3
<i>ITS</i>	3	3	3	3	3
<i>Cantabro</i>	3	3	3	3	3
Permeabilitas	3	3	3	3	3
<i>AFD</i>	3	3	3	3	3
Jumlah	18	18	18	18	18

Sehingga jumlah total keseluruhan benda uji yang akan dilakukan dalam penelitian adalah sebanyak 114 benda uji.

##### 4.5.1 Pengujian *Marshall* standar

Langkah-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 ditimban pada kondisi kering permukaan jenuh (*SSD*).
8. Benda uji direndam ke *waterbath* pada suhu 60°C 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.
14. Selanjutnya hasil dari percobaan dapat diketahui dari proses pengolahan data.

#### **4.5.2 Pengujian Perendaman *Marshall* (*Immersion Test*)**

Pengujian ini dilakukan hampir sama dengan uji *marshall* standar, hal yang membedakan hanya terletak pada lama perendaman yang dilalakukan dalam *waterbath*. Pada uji perendaman *Marshall* ini lama perendaman selama 24 jam dengan suhu 60°C. Adapaun cara pengujian adalah sebagai berikut.

1. Benda uji dibersihkan dari bahan-bahan lain.
2. Pada masing-masing benda uji diberi tanda pengenal.
3. Ketinggian benda diukur uji tiga kali pada tempat yang berbeda, lalu dirata-rata dengan ketelitian pengukuran 0,01mm.
4. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat keringnya
5. Direndam didalam air selama 20-24 jam pada suhu ruang agar benda uji menjadi jenuh air.
6. Setelah benda uji menjadi jenuh kemudian ditimbang dalam air.

7. Benda uji dilap permukaannya kemudian ditimbang pada kondisi kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*).
8. Benda uji direndam kedalam *waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam.
9. Kepala penekan benda uji dibersihkan terlebih dahulu dan permukaan diberi vaselin untuk memudahkan melepas benda uji.
10. Arloji kelelahan (*flow meter*) dipasang pada posisi diatas salah satu batang penuntun (*guide rod*).
11. Kepala penekan (*test head*) benda uji dinaikkan sehingga menyentuh alas cicin pengunji, kemudian ditur pada kedudukan arloji tekan pada angka nol
12. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti maka dimulai kembali berputar menurun, maka dibaca arloji kelelehannya.
13. Setelah pembebanan selesai, benda uji dikeluarkan dari alat uji.
14. Hasil dapat diketahui dari proses perhitungan selanjutnya.

#### **4.5.3 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)***

Langkah – langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan bahan.
2. Membuat benda uji sebanyak 15 buah dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapatkan dari *Marshall Test* menggunakan *subtitusi* kaca.
3. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian.
4. Mendapatkan nilai dial dari hasil pengujian.
5. Menganalisis dan membuat pembahasan hasil-hasil dari pengujian *Indirect Tensile Strength*.
6. Membuat kesimpulan.

#### **4.5.4 Pengujian *Cantabro***

Langkah – langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Bahan dipersiapkan.

2. Benda uji dibuat sebanyak 15 buah dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapatkan dari *Marshall Test* menggunakan *subtitusi* kaca dan telah dipadatkan dengan jumlah masing-masing 50 pada kedua sisinya.
3. Benda uji didiamkan selama 48 jam pada suhu ruang dan minimal 6 jam sebelum pengujian suhu harus dijaga berada pada suhu ruang.
4. Sebelum dimasukkan ke mesin *Los Angels*, benda uji terlebih dahulu ditimbang untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi (*Mo*).
5. Benda uji dimasukkan ke drum mesin *Los Angels* kemudian dijalankan dengan kecepatan antara 30-33 rpm sebanyak 300 putaran.
6. Setelah selesai benda uji dikeluarkan dan ditimbang untuk mengetahui berat setelah abrasi (*Mi*).
7. Hasil-hasil dari pengujian *Cantabro* dianalisis dan dibuat pembahasan.
8. Kesimpulan dibuat.

#### 4.5.5 Pengujian Permeabilitas

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan besarnya permeabilitas aspal porus dan terdapat 2 jenis pengukuran permeabilitas yang akan dilakukan yaitu sebagai berikut.

##### 1. Pengujian Permeabilitas Horizontal

Tahapan yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Benda uji diletakkan pada pipa bagian bawah.
- b. Klem dikencangkan untuk permeabilitas horizontal agar benda uji selalu menempel pada pipa dan mencegah kebocoran terjadi.
- c. Bagian bawah benda ditutup dengan bahan kedap air sehingga air mengalir kepermukaan benda uji.
- d. Tinggi permukaan benda uji yang terlihat diukur dan kelilingnya akan diperoleh luas permukaan benda uji.
- e. Pipa dan benda uji yang telah diklem diletakkan pada bak air yang sudah diisi penuh dengan air, untuk menjaga tekanan agar tetap konstan maka permukaan benda uji bagian atas diletakkan sama dengan tinggi permukaan air pada bak.
- f. Tabung dijepit dengan statif guna menjaga posisi tabung tetap tegak

- g. Tabung diisi dengan air sampai ketinggian mencapai 40 cm ( $h_1$ ).
- h. Waktu dicatat hingga air mencapai ketinggian 20 cm diatas permukaan benda uji ( $h_2$ ).

## 2. Pengujian Permeabilitas Vertikal

Tahapan yang dilakukan yaitu sebagai berikut.

- a. Benda uji diletakkan pada pipa bagian bawah.
- b. Klem dikencangkan untuk permeabilitas vertikal agar benda uji selalu menempel pada pipa dan mencegah kebocoran terjadi.
- c. Bagian bawah benda ditutup dengan bahan kedap air sehingga air mengalir kepermukaan benda uji.
- d. Tinggi permukaan benda uji yang terlihat diukur dan kelilingnya akan diperoleh luas permukaan benda uji.
- e. Pipa dan benda uji yang telah diklem diletakkan pada bak air yang sudah diisi penuh dengan air untuk menjaga tekanan agar tetap konstan maka permukaan benda uji bagian atas diletakkan sama dengan tinggi permukaan air pada bak.
- f. Tabung dijepit dengan statif guna menjaga posisi tabung tetap tegak.
- g. Tabung diisi dengan air sampai ketinggian mencapai 40 cm ( $h_1$ ).
- h. Waktu dicatat hingga air mencapai ketinggian 20 cm diatas permukaan benda uji ( $h_2$ ).

### 4.5.6 Pengujian *Asphalt Flow Down*

Prosedur pengujian *asphalt flow down* yang dikutip dari *Australian Asphalt Pavement Association* adalah sebagai berikut.

- a. Cetakan berupa nampan dengan ukuran permukaan 20x40 cm dilapisi dengan kertas aluminium foil atau kertas/karton, berat cetakan + kertas tersebut ditimbang dan dicatat ( $m_1$ ).
- b. Selanjutnya dibuat campuran bersapal seberat  $\pm 1200$  gr dan setelah tercampur merata dituangkan diatas cetakan yang telah dilapisi sebelumnya, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya ( $m_2$ ).
- c. Cetakan yang telah berisi campuran aspal tersebut dimasukkan kedalam oven dengan suhu  $\pm 160$  C semalam  $\pm 60$  menit.

- d. Cetakan dikeluarkan dari dalam oven dan campuran beraspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran beraspal yang melekat pada aluminium foil/ kertas ditimbang dan dicatat ( $m_3$ ).
- e. Prosedur diulangi sesuai kebutuhan.

#### 4.6 ANALISIS DATA

Analisis data dilakukan setelah diperoleh data dari pengujian *Marshall*. Data yang didapat dari pengujian laboratorium adalah sebagai berikut.

- a. Berat benda uji sebelum direndam (gram).
- b. Berat benda uji didalam air (gram).
- c. Berat benda uji didalam keadaan jenuh air (gram).
- d. Tebal benda uji (gram).
- e. Pembacaan arloji stabilitas (kg).
- f. Pembacaan arloji kelelahan *flow* (mm).

Nilai karakteristik pengujian *Marshall* diperoleh dengan menggunakan perhitungan dari Persamaan 4.1 dan 4.2 berikut ini

Berat Jenis Aspal

$$BJ \text{ Aspal} = \frac{\text{Berat}}{\text{Volume}} \quad (4.1)$$

Berat Jenis Agregat

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

Keterangan :     A : Persentase agregat kasar

                      B : Persentase agregat halus

                      F1 : Berat jenis agregat kasar

                      F2 : Berat jenis agregat halus

Nilai-nilai kepadatan (*density*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *Index of retained strength*, *Indirect Tensile Strength*, *Cantabro*, dan permeabilitas (*Permeability*) dapat dihitung berdasarkan data-data diatas menggunakan Persamaan 3.1 sampai dengan 3.17. Sedangkan nilai dari analisis statistika secara umum menggunakan uji statistik *Anova*.



#### 4.7 BAGAN ALIR METODE PENELITIAN

Bagan alir adalah penjelasan secara secara singkat yang berupa tahapan-tahapan dalam menjalankan penelitian yang bertujuan agar penelitian yang dilakukan dapat berjalan dengan terarah dan teratur.

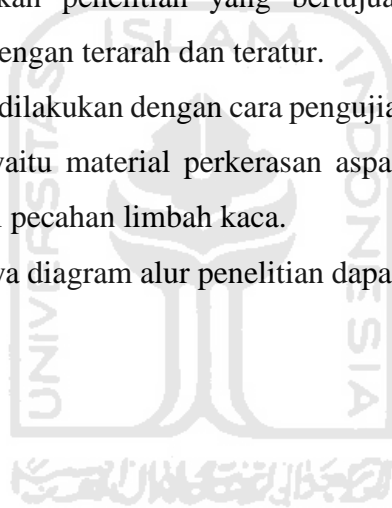
Penelitian ini akan dilakukan dengan cara pengujian di laboratorium dengan objek yang akan diteliti yaitu material perkerasan aspal yang terdiri dari aspal, agregat dan *substitusi* dari pecahan limbah kaca.

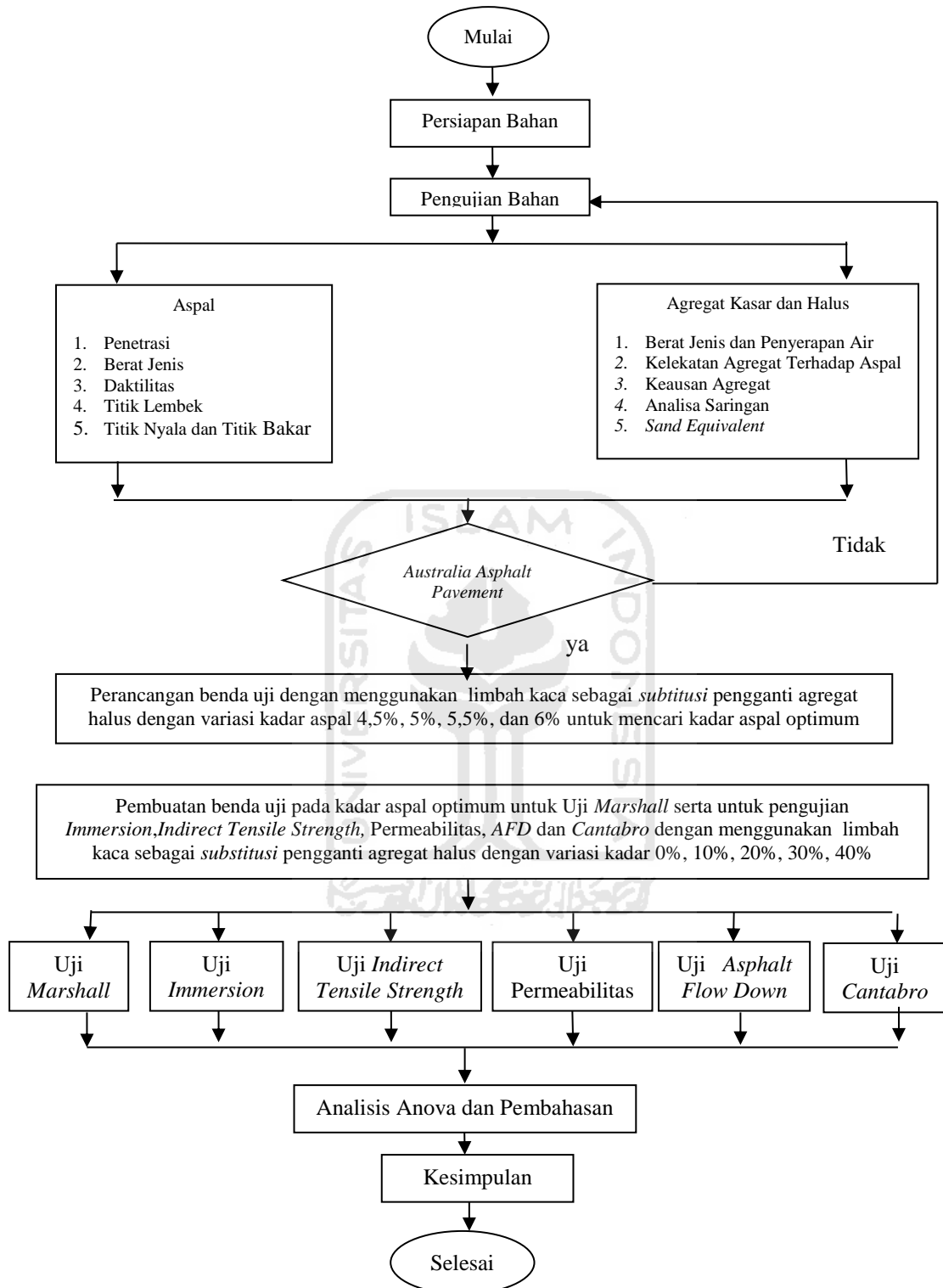
Untuk lebih jelasnya diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut :

Bagan alir adalah penjelasan secara secara singkat yang berupa tahapan-tahapan dalam menjalankan penelitian yang bertujuan agar penelitian yang dilakukan dapat berjalan dengan terarah dan teratur.

Penelitian ini akan dilakukan dengan cara pengujian di laboratorium dengan objek yang akan diteliti yaitu material perkerasan aspal yang terdiri dari aspal, agregat dan *substitusi* dari pecahan limbah kaca.

Untuk lebih jelasnya diagram alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 4.1 sebagai berikut :





**Gambar 4.1** Bagan Alir Merode Penelitian

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 HASIL PENELITIAN

##### 5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Aspal yang diuji dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina AC 60/70 yang sudah tersedia di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Pengujian aspal di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII menggunakan persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 seperti yang tercantum dalam Tabel 5.1. Hasil pengujian aspal Pertamina AC 60/70 selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1-6.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian AC 60/70

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,09	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 – 70	68,3	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	$\geq 100$	165	Memenuhi
4	Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 232$	312	Memenuhi
5	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	99,5	Memenuhi
6	Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 48$	48	Memenuhi

##### 5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat yang dilakukan merupakan pengujian agregat kasar, agregat halus dari sungai Clereng yang sudah melalui pengolahan, kemudian dilanjutkan dengan pengujian agregat No.8 dari limbah kaca. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP UII, Yogyakarta. Data yang diperoleh telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 seperti tercantum dalam Tabel 5.2, Tabel 5.3, Tabel 5.4 dan Tabel 5.5. Tabel Hasil pengujian karakteristik agregat selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 7-12.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	> 2,5	2,732	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3	2,71	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	> 95	99	Memenuhi
4	Keausan dengan mesin Los Angeles (%)	< 40	26,04	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	>2,5	2,837	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3	2,51	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	> 50	78,38	Memenuhi

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Agregat Halus dari Limbah Kaca

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	>2,5	1,467	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	< 3	0,708	Memenuhi

### 5.1.3 Gradasi Agregat untuk Campuran

Gradasi yang digunakan pada penelitian ini adalah gradasi campuran porus yang berdiameter maksimum 20 mm, minimum 0.075 mm dan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus.

### 5.1.4 Hasil Pengujian Campuran *Porous Asphalt* untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum

Pengujian dilakukan di Labolatorium Jalan Raya FTSP UII untuk memperoleh nilai-nilai *cantabro*, *AFD* (*Asphalt Flow Down*) dan karakteristik *Marshall* seperti stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregate*), *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *MQ*

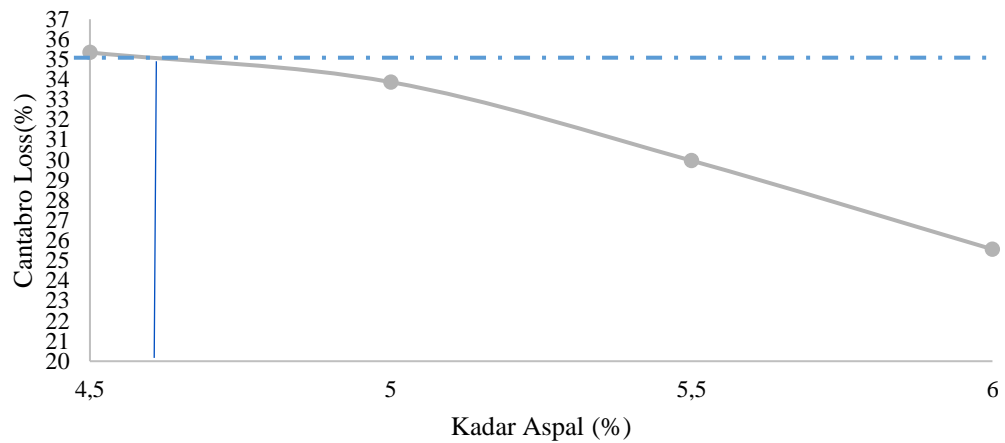
(*Marshall Quotient*), dan kepadatan (*density*) menggunakan campuran porus dengan variasi substitusi agregat halus dari limbah kaca dengan persentase 0%, 10%, 20%, 30% 40%. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.6. Hasil dari analisis digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum yang dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai dengan Gambar 5.5. Kadar aspal optimum ditentukan dengan melihat setiap karakteristik pada hasil pengujian *Marshall*, *AFD* dan *Cantabro* yang memenuhi batas-batas spesifikasi campuran. Kemudian diperoleh batas maksimum dan minimum untuk setiap karakteristik *AFD*, *Cantabro* dan *Marshall* memasuki semua spesifikasi, lalu diperoleh kadar aspal optimum yaitu nilai *cantabro loss* yang di set 35% untuk nilai kadar aspal minimum dan nilai *VITM* 18% untuk nilai kadar aspal maksimum kemudian di rata-rata dan diplot pada grafik *AFD*, sehingga mendapatkan jumlah nilai kadar aspal rata-rata. Hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 13-16.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Marshall* untuk KAO

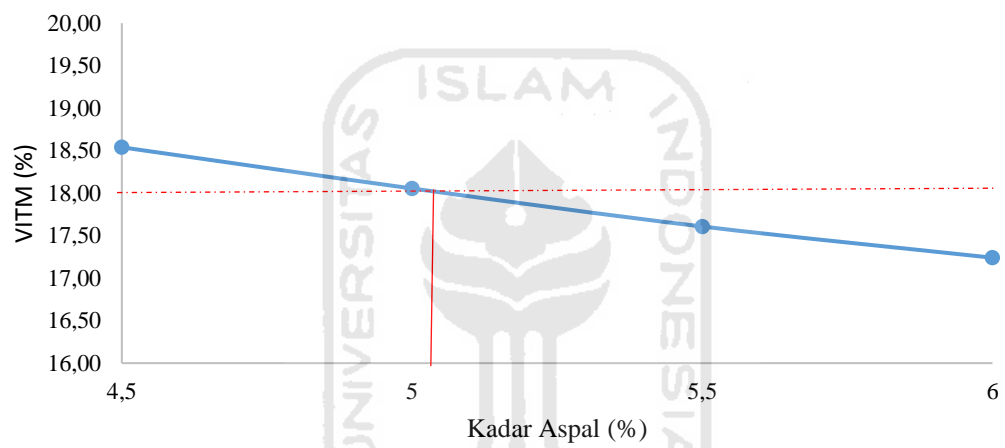
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	535,58	4,00	139,83	18,54	31,48	27,11	2,06
5	606,17	3,78	160,87	18,06	34,31	27,54	2,06
5,5	598,46	3,74	165,94	17,61	37,16	27,99	2,06
6	507,11	4,35	116,89	17,24	39,60	28,54	2,05
<b>Spesifikasi</b>	<b>&gt; 500</b>	<b>&gt;2</b>	<b>&lt; 400</b>	<b>18-25</b>			

Tabel 5.6 Hasil Pengujian *Cantabro* dan *Asphalt Flow Down* untuk KAO

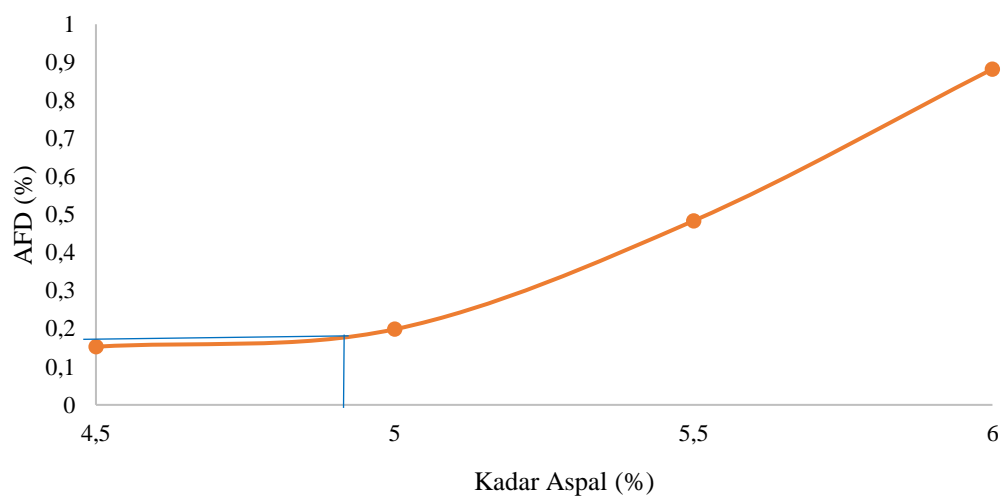
Kadar Aspal (%)	<i>Cantabro</i> (kg)	<i>AFD</i> (%)
4,5	35,35	0,15
5	33,87	0,20
5,5	39,97	0,48
6	25,56	0,88
<b>Spesifikasi</b>	<b>≤ 35</b>	<b>≤ 30</b>



Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada nilai *Cantabro Loss* 35%



Gambar 5.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum pada nilai *VITM* 18%



Gambar 5.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan penarikan *AFD*

Adapun rekapitulasi kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.7 dibawah ini.

Tabel 5.7 Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum

No	Pengujian	Nilai
1	<i>Cantabro Loss</i>	4,60
2	<i>VITM</i>	5,01
3	Rata-Rata <i>Cantabro</i> dan <i>VITM</i>	4,81
4	<i>AFD</i>	0,17
5	Aspal Optimum	5,0

Berdasarkan Tabel 5.7 diatas dapat dilihat bahwa dengan menggunakan *Cantabro Loss* pada 35% untuk mendapatkan batas kadar aspal minimum yang dapat digunakan yaitu dengan nilai 4,60. Selanjutnya nilai *VITM* pada 18% digunakan untuk mendapatkan batas maksimum kadar aspal didapatkan hasil 5,01. Nilai rata-rata dari kedua hasil grafik didapatkan 4,81 yang kemudian nilai tersebut diplot pada grafik *Asphalt Flow Down* dan mendapatkan hasil 0,17. Sehingga dapat diketahui aspal optimum yang dapat digunakan adalah 5,0.

#### 5.1.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal Optimum

Kebutuhan Agregat campuran porus pada kadar aspal optimum yang telah didapat untuk masing-masing persentase kadar limbah kaca yang akan digunakan dapat dilihat pada Lampiran 37.

#### 5.1.6 Hasil Pengujian Karakteristik Campuran Aspal Porus pada Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian campuran porus pada kadar aspal optimum meliputi *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, Permeabilitas, *Asphalt Flow Down* dan *Cantabro* dapat dilihat pada Tabel 5.8 sampai dengan Tabel 5.11. Oleh karena itu hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 17-24.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum

Kadar Kaca (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	519,59	2,54	205,55	19,87	32,10	29,01	2,05
10	612,38	2,78	220,72	20,75	30,26	30,26	2,02
20	653,31	2,67	248,05	21,52	30,20	30,54	2,01
30	565,84	2,51	230,37	20,32	31,33	29,67	2,03
40	431,74	2,35	182,95	19,48	32,67	28,92	2,06
<b>Spesifikasi</b>	<b>&gt; 500</b>	<b>&gt;2</b>	<b>&lt; 400</b>	<b>18-25</b>			

Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Index of Retained Strength* dan *Indirect Tensile Strength*

Kadar Kaca (%)	<i>Index of Retained Strength</i> (kg)	<i>Indirect Tensile Strength</i> (%)
0	59,10	6,55
10	94,28	7,94
20	78,36	7,47
30	58,13	6,83
40	19,21	6,29

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas

Kadar Kaca (%)	Koefisien Permeabilitas (cm/detik)	Keterangan
0	$5,03 \times 10^{-2}$	Drainase Sedang
10	$5,71 \times 10^{-2}$	Drainase Sedang
20	$6,85 \times 10^{-2}$	Drainase Sedang
30	$8,6 \times 10^{-2}$	Drainase Sedang
40	$1,065 \times 10^{-1}$	Drainase Baik



Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* dan *Cantabro*

Kadar Kaca (%)	<i>Asphalt Flow Down</i> (%)	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
0	0,24	30,81
10	0,20	28,82
20	0,17	27,89
30	0,14	29,01
40	0,11	31,19

Data-data seperti karakteristik *Marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strength*, *Permeabilitas*, *Asphalt Flow Down* dan *Cantabro* dengan parameter kadar limbah kaca sebagai *substitusi* agregat halus No.8 terhadap karakteristik campuran aspal porus dianalisis menggunakan analisis statistik *Anova*. Hasil rekapitulasi analisis menggunakan *Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan 5.13. Hasil analisis selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 25-36.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Data Uji Statistika *Anova* untuk Karakteristik *Marshall*

Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
Stabilitas	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan
<i>Flow</i>	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan
<i>MQ</i>	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan
<i>VITM</i>	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
<i>VFWA</i>	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
<i>VMA</i>	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
<i>Density</i>	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan

Tabel 5.13 Rekapitulasi Data Uji Statistika *Anova* untuk *Immersion*, *ITS*, *Permeabilitas*, *AFD* dan *Cantabro*

Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
<i>Immersion</i>	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
<i>ITS</i>	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan
Permeabilitas	H <sub>0</sub> ditolak	Signifikan
<i>Asphalt Flow Down</i>	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan
<i>Cantabro</i>	H <sub>0</sub> diterima	Tidak Signifikan

## 5.1 PEMBAHASAN

### 5.2.1 Karakteristik Aspal

Pada penelitian karakteristik Aspal, pengujian dilakukan pada aspal pertamina Penetrasi 60/70 dan dilakukan pengujian di laboratorium jalan raya. Untuk lebih jelas karakteristik aspal pen 60/70 dapat dilihat pada pembahasan berikut.

#### 1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis bitumen adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling atau *aquades* dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis diperlukan sebagai konversi yaitu mengkonversi data dari berat ke volume ataupun dari volume ke berat. Hasil pengujian berat jenis aspal menunjukkan nilai sebesar 1,09. Hasil ini menunjukkan bahwa pengujian aspal memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $\geq 1,00$ .

#### 2. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk menentukan kekerasan aspal dengan beban dan waktu pada suhu tertentu. Karena aspal yang digunakan adalah aspal AC 60/70 yang diproduksi oleh PT. Pertamina. Hasil pengujian penetrasi aspal menunjukkan nilai sebesar 68,3 mm. Hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu antara 60 sampai dengan 70 mm.

#### 3. Daktilitas

Pengujian Daktilitas bertujuan untuk mengetahui keliatan atau sifat kohesi pada aspal yang dapat mempengaruhi fleksibilitas suatu campuran sehingga dapat menahan lendutan. Hasil pengujian daktilitas menunjukkan nilai sebesar 165 cm. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $\geq 100$  cm.

#### 4. 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 312°C. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $\geq 232^\circ\text{C}$ .

#### 5. Kelarutan dalam TCE

Pengujian kelarutan dalam TCE bertujuan untuk mengetahui kelarutan aspal dalam *Tetra Choro Ephilen TCE* sehingga dapat mengetahui persentase

kandungan mineral lain dalam aspal. Semakin besar persentase kelarutannya maka semakin kecil kandungan mineral lainnya yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan batuan. Hasil pengujian kelarutan dalam *TCE* menunjukkan nilai sebesar 99,5%. Hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar  $\geq 99\%$ .

#### 6. Titik Lembek

Pengujian titik lembek bertujuan untuk mengetahui pada temperatur berapa aspal mulai lembek pada suhu tertentu. Hasil pengujian titik lembek menunjukkan nilai sebesar 48°C. Hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $\geq 48^\circ\text{C}$ .

### 5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar

Pada penelitian karakteristik agregat kasar, pengujian dilakukan pada agregat halus yang berasal dari Clereng dan dilakukan pengujian di laboratorium jalan raya. Untuk lebih jelas karakteristik agregat kasar Clereng dapat dilihat pada pembahasan berikut.

#### 1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Material dengan berat jenis yang lebih kecil mempunyai pori yang lebih besar sehingga akan dibutuhkan aspal yang lebih banyak dan begitu pula sebaliknya. Hasil pengujian berat jenis agregat menunjukkan nilai sebesar 2,732 agregat kasar yang dipakai adalah agregat kasar Clereng. Hasil ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 2,5$ .

#### 2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air, rongga atau pori pada agregat. Agregat yang mempunyai kadar pori yang besar akan lebih banyak membutuhkan aspal karena nilai penyerapannya semakin besar. Hasil pengujian penyerapan agregat terhadap air menunjukkan nilai sebesar 2,71%. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $< 3\%$ .

### 3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan suatu agregat yang terselimuti oleh aspal terhadap permukaan agregat. Hasil pengujian kelekatan agregat terhadap aspal menunjukkan nilai sebesar 99%. Hasil ini memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu sebesar  $> 95\%$ .

### 4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat 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 menunjukkan nilai sebesar 26,04%. Nilai ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $< 40\%$ .

## 5.2.3 Karakteristik Agregat Halus

Pada penelitian karakteristik agregat halus, pengujian dilakukan pada agregat halus yang berasal dari Clereng dan dilakukan pengujian di laboratorium jalan raya. Untuk lebih jelas karakteristik agregat halus Clereng dapat dilihat pada pembahasan berikut.

### 1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis agregat halus Clereng sebesar 2,837. Hal ini akan berpengaruh pada penentuan besarnya kadar aspal optimum campuran aspal beton dan hasil karakteristik *Marshall* yaitu nilai *VITM*, *VFWA*, *VMA* dan *density*. Nilai berat jenis dari agregat halus diatas memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 2,5$ .

### 2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air, rongga atau pori pada agregat. Agregat yang mempunyai kadar pori yang besar akan lebih banyak membutuhkan aspal karena nilai penyerapannya semakin besar. Hasil pengujian penyerapan agregat halus Clereng terhadap air sebesar 2,51%. Nilai penyerapan agregat terhadap agregat Clereng 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. Hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng sebesar 78,38%. Nilai *sand equivalent* pada agregat halus Clereng memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $> 50\%$ , ini bahwa agregat halus Clereng cukup bersih dan terbebas dari kandungan debu, lumpur, atau kotoran lainnya yang dapat mengganggu kelekatan aspal terhadap agregat.

#### 5.2.4 Karakteristik Limbah Kaca No.8

Pada penelitian karakteristik limbah kaca, pengujian dilakukan pada limbah kaca yang telah di hancurkan dengan ukuran tertahan di saringan No.8 yang merupakan agregat halus. Untuk lebih jelas karakteristik limbah kaca No.8 dapat dilihat pada pembahasan berikut.

##### 1. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis kaca No.8 sebesar 1,467. Hal ini akan berpengaruh pada penentuan besarnya kadar aspal optimum campuran aspal beton dan hasil karakteristik *Marshall* yaitu nilai *VITM*, *VFWA*, *VMA* dan *density*.

##### 2. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air, rongga atau pori pada agregat. Agregat yang mempunyai kadar pori yang besar akan lebih banyak membutuhkan aspal karena nilai penyerapannya semakin besar. Hasil pengujian penyerapan kaca terhadap air sebesar 0,708%. Nilai penyerapan agregat terhadap agregat Clereng memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu  $< 3\%$ .

#### 5.2.5 Karakteristik *Marshall* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

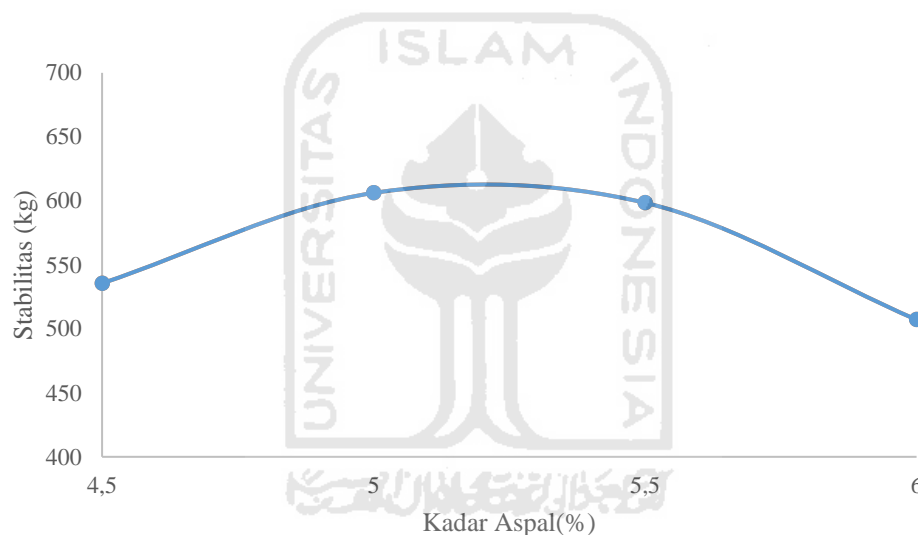
Pada karakteristik *Marshall* pengujian dilakukan pada kadar aspal 4,5%, 5%, 5,5%, dan 6%. Setelah dilakukan penelitian dengan mengganti kadar aspal untuk mencari kadar aspal optimum yang paling tepat pada campuran aspal porus. Pada perbedaan kadar aspal yang digunakan terlihat bahwa perilaku campuran aspal

porus mengalami perubahan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada pembahasan berikut ini.

### 1. Stabilitas.

Stabilitas adalah kemampuan campuran beton aspal menahan beban sampai terjadi deformasi akibat beban yang bekerja tanpa mengalami perubahan bentuk. Nilai Stabilitas suatu campuran aspal dipengaruhi oleh gradasi agregat, bentuk butiran, kepadatan dan kadar aspal dalam suatu campuran. Nilai stabilitas akan naik bersamaan dengan bertambahnya kadar aspal dalam suatu campuran sampai batas optimum kemudian stabilitas akan turun.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai stabilitas pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.4 berikut ini.



Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4 diatas secara umum dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran porus semakin meningkat sampai pada nilai tertentu, selanjutnya nilai semakin menurun seiring pertambahan kadar aspal setelah melalui kadar optimumnya. Penambahan aspal diatas batas maksimum akan menyebabkan penurunan stabilitas dan menghasilkan suatu perkerasan yang cenderung bersifat plastis. Penurunan nilai stabilitas juga disebabkan oleh kadar aspal yang pada awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat akan menjadi pelicin setelah melampaui batas optimum, sehingga gaya saling mengunci antar agregat dalam campuran semakin menurun.

Hasil pengujian di laboratorium menunjukkan bahwa nilai stabilitas dengan kadar aspal 4,5 % memiliki nilai sebesar 535,48 kg. Nilai stabilitas pada kadar aspal 5% memiliki nilai stabilitas tertinggi yaitu sebesar 606,17 kg. Pada kadar aspal 5,5% nilai stabilitas yang dimiliki yaitu sebesar 598,46 kg. Kemudian pada kadar aspal 6% nilai stabilitas yang dimiliki merupakan nilai terendah yaitu sebesar 507,11 kg.

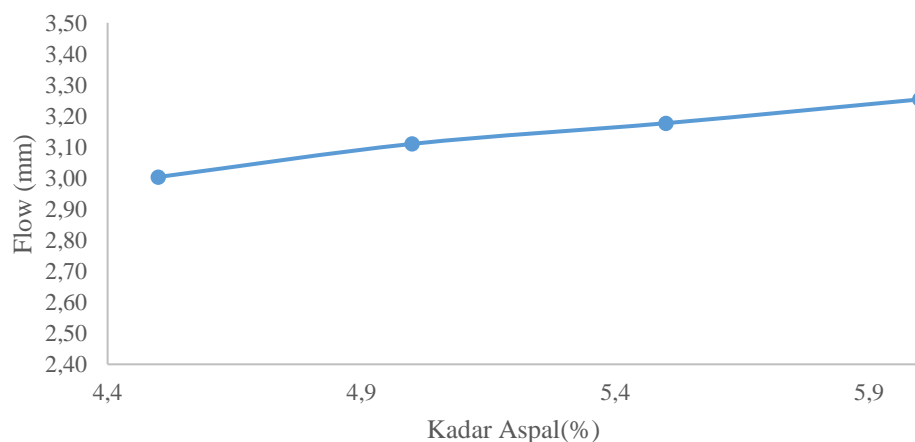
Dari hasil pengujian di atas dapat dilihat dari penggunaan kadar aspal 4,5%-6% telah memenuhi persyaratan spesifikasi AAPA 2004, yaitu minimal 500 kg.

## 2. Flow

*Flow* atau keelehan adalah besarnya penurunan atau defoemasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya atau besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun. Nilai *flow* dipengaruhi oleh kadar dan viskositas aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

Suatu campuran yang memiliki nilai *flow* tinggi dengan stabilitas yang rendah cenderung menjadi plastis dan mudah dibentuk, sedangkan campuran yang memiliki nilai *flow* rendah dan stabilitas tinggi cenderung kaku sehingga mudah mengalami retak atau getas apabila menerima beban yang melebihi daya dukungnya. Nilai *flow* dinyatakan dalam satuan milimeter (mm).

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *flow* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.5 berikut ini.



Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal nilai *flow* mengalami peningkatan.. Hal ini disebabkan peningkatan kadar aspal pada campuran porus semakin meningkat.

Dari hasil pengujian dilaboratorium, diketahui bahwa pada campuran porus dengan kadar aspal 4,5 % memiliki nilai *flow* terendah yaitu sebesar 3,00 mm. Lalu pada kadar aspal 5% nilai *flow* mengalami kenaikan yaitu sebesar 3,11mm. Pada kadar aspal 5,5% nilai *flow* masih mengalami kenaikan yaitu sebesar 3,18 mm. Sedangkan nilai *flow* pada kadar aspal 6% masih mengalami kenaikan dan memiliki nilai *flow* terbesar yaitu sebesar 3,25 mm.

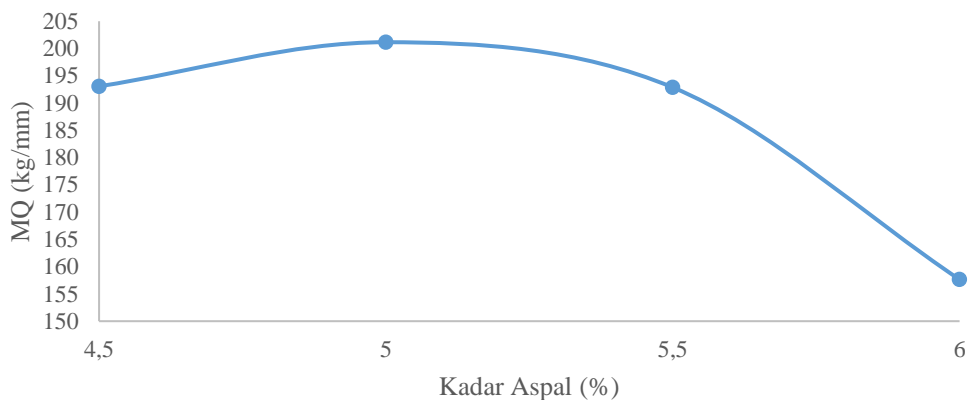
Dari hasil pengujian diketahui terdapat nilai *flow* dengan nilai terendah yaitu pada kadar aspal 4,5% sebesar 3 mm, namun nilai ini masih memenuhi spesifikasi AAPA (2004) yaitu dengan nilai minimal 2 mm. Sehingga dapat dikatakan bahwa nilai *flow* untuk campuran porus dengan kadar aspal 4,5% sampai 6% memenuhi standar spesifikasi AAPA (2004).

### 3. *Marshall Quotient*

Nilai *Marshall Quotient* merupakan perbandingan antar nilai stabilitas dan nilai *flow*. Nilai *Marshall Quotient* pada perencanaan perkerasan dengan metode *Marshall* digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas dari suatu lapis perkerasan. Stabilitas yang tinggi dan *flow* yang tinggi menunjukkan bahwa perkerasan tersebut bersifat plastis dan apabila nilai stabilitas rendah dan nilai *flow* rendah akan membuat perkerasan menjadi lebih getas. Faktor-faktor *Marshall Quotient* adalah stabilitas dan *flow* sehingga faktor-faktor seperti bentuk agregat, gradasi agregat, daya lekat, kadar aspal, viskositas aspal, jumlah dan temperature pemadatan juga berpengaruh pada nilai *Marshall Quotient*.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *Marshall Quotient* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.6 berikut ini.





Gambar 5.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Marshall Quotient*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan setelah mencapai batas maksimum mengalami penurunan seiring dengan pertambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan karena pada campuran aspal porus kadar aspal semakin meningkat dan juga dipengaruhi oleh nilai stabilitas. Dapat dilihat pada kadar 4,5% dan 5% nilai stabilitas mengalami kenaikan namun pada kadar 5,5% dan 6% nilai stabilitas mengalami penurunan, sedangkan pada nilai flow terus mengalami kenaikan dari kadar 4,5% hingga 6%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan kadar 4,5% dan 5% cenderung lebih plastis menerima beban dan pada kadar 5,5% dan 6% cenderung lebih getas karena nilai *MQ* didapatkan dari perbandingan nilai stabilitas dan *flow*, sehingga nilai stabilitas dan *flow* akan mempengaruhi besarnya nilai *MQ*.

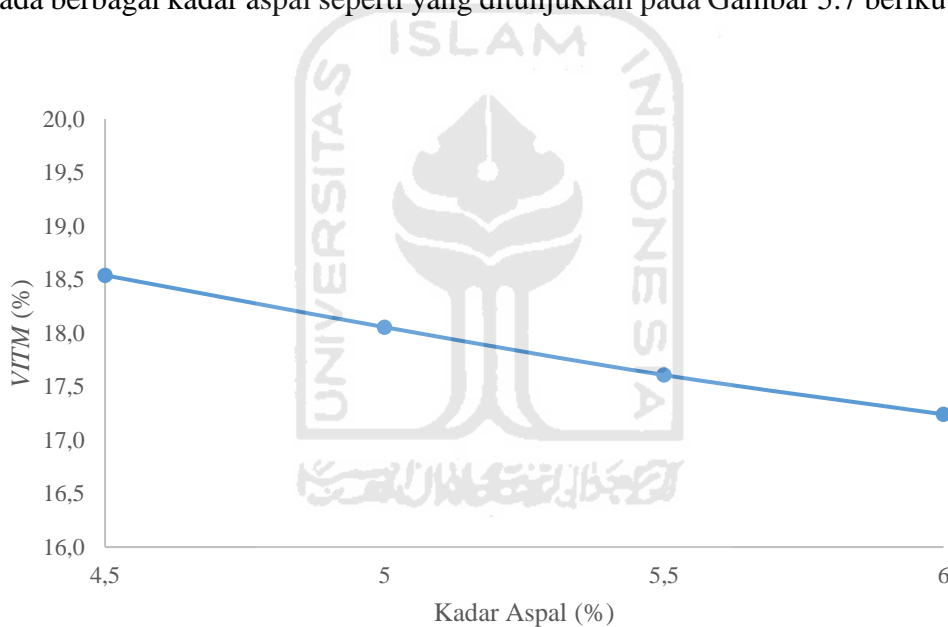
Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *Marshall Quotient* pada campuran porus dengan kadar aspal 4,5% memiliki nilai sebesar 193,07 kg/mm. Pada kadar aspal 5% mengalami kenaikan dan memiliki nilai *Marshall Quotient* terbesar yaitu sebesar 201,16 kg/mm. Kemudian pada kadar aspal 5,5% nilai *Marshall Quotient* mengalami penurunan dan memiliki nilai yaitu sebesar 192,86 kg/mm. Pada kadar aspal 6% nilai *Marshall Quotient* mengalami penurunan dan merupakan nilai terendah yaitu sebesar 157,64 kg/mm.

Dari pengujian campuran porus dengan menggunakan kadar aspal 4,5% hingga 6% didapatkan bahwa pada semua campuran nilai *Marshall Quotient* memenuhi batas persyaratan *AAPA* (2004), yaitu kurang dari 400 kg/mm.

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

*VITM* merupakan persentase banyaknya rongga yang terdapat dalam suatu campuran terhadap total volume aspal dan agregat. Nilai *VITM* dalam suatu campuran dibutuhkan dapat mengetahui besarnya rongga yang terdapat dalam suatu campuran dan menurut AAPA (2004) Nilai *VITM* mempunyai batas maksimum dan minimum. Jika nilai *VITM* semakin kecil berarti aspal yang terdapat dalam suatu campuran dapat mengisi rongga-rongga antar agregat, jika nilai *VITM* kurang dari batas minimum maka itu berarti kadar aspalnya besar dan ini akan berpotensi terjadinya *bleeding* dimana aspal akan mengalir diantara rongga agregat ketika temperatur tinggi dan saat menerima beban.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *VITM* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal *VITM* mengalami penurunan. Hal ini disebabkan rongga udara yang terisi aspal semakin besar dan memperkecil volume rongga udara, berarti campuran tersebut semakin rapat.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *VITM* pada campuran porous dengan kadar aspal 4,5% merupakan yang tertinggi yaitu sebesar 18,54%. Pada kadar aspal 5% nilai *VITM* mengalami penurunan yaitu sebesar 18,06%.

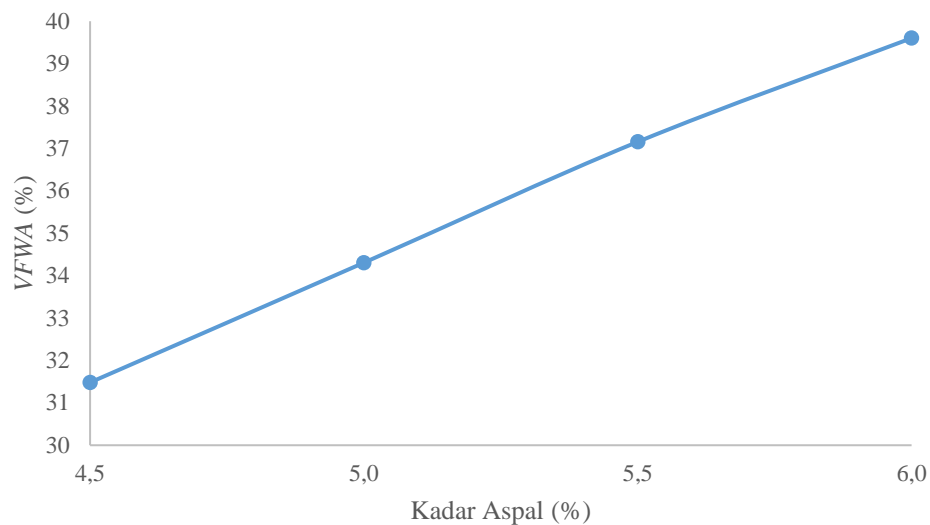
Nilai *VITM* pada kadar aspal 5,5% masih mengalami penurunan yaitu sebesar 17,61%. Pada kadar aspal 6% nilai *VITM* masih mengalami penurunan dan memiliki nilai *VITM* terendah yaitu sebesar 17,24%.

Dapat dilihat bahwa nilai *VITM* pada semua campuran dengan menggunakan kadar aspal 5,5% dan 6% tidak memenuhi standar spesifikasi, namun pada kadar aspal 4,55 dan 5% nilai *VITM* telah memenuhi standar spesifikasi *AAPA* (2004), yaitu dengan nilai *VITM* berkisar antara 18-25 %.

#### 5. *VFWA* (*Void Filled With Asphalt*)

*VFWA* (*Void Filled With Asphalt*) menunjukkan persentase rongga terisi aspal pada suatu campuran setelah dipadatkan. Besarnya nilai *VFWA* juga sebagai indikasi besarnya rongga yang terisi oleh aspal sehingga dapat mengetahui kedapatan suatu campuran terhadap air dan udara. Semakin tinggi nilai *VFWA* menunjukkan banyaknya rongga dalam campuran yang terisi aspal sehingga kedapatan campuran terhadap air dan udara juga semakin tinggi, namun nilai *VFWA* yang terlalu tinggi menyebabkan terjadinya *bleeding* karena rongga pada suatu campuran terlalu kecil sehingga saat menerima beban tinggi dan temperatur yang tinggi maka aspal akan mencari rongga, karena rongga sudah terisi maka memungkinkan aspal akan naik sehingga terjadi *bleeding*, sedangkan nilai *VFWA* yang terlalu rendah akan menyebabkan campuran aspal mudah teroksidasi karena kurang kedap sehingga air dan udara mudah masuk dalam campuran.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *VFWA* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.8 berikut ini.



Gambar 5.8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa seiring dengan penambahan kadar aspal maka nilai *VFWA* semakin meningkat, hal ini disebabkan oleh kadar aspal pada campuran porus semakin meningkat.

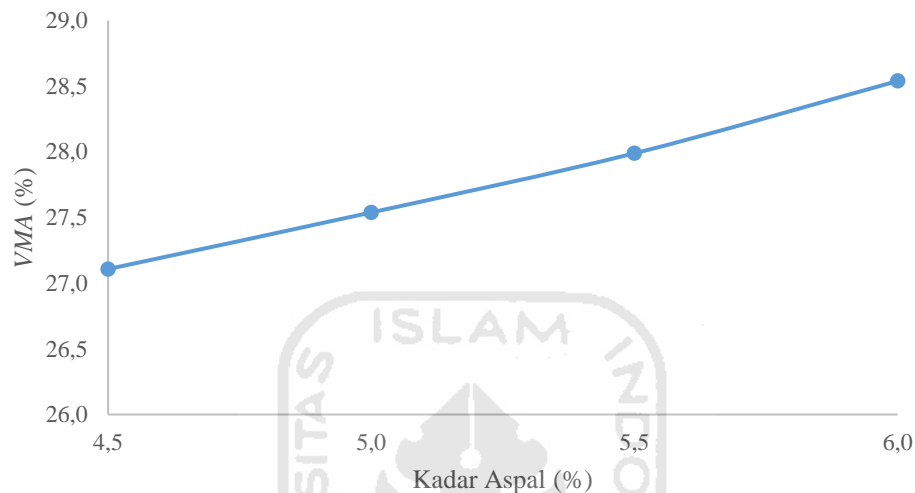
Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *VFWA* pada campuran aspal porus dengan kadar aspal 4,5% memiliki nilai paling rendah yaitu sebesar 31,48%. Kemudian pada kadar aspal 5% nilai *VFWA* mengalami kenaikan yaitu sebesar 34,31%. Nilai *VFWA* pada kadar aspal 5,5% juga mengalami kenaikan yaitu sebesar 37,16%. Pada kadar aspal 6% nilai *VFWA* mengalami kenaikan dan memiliki nilai tertinggi yaitu sebesar 39,60%.

#### 6. *VMA (Void in Mineral Agregate)*

*VMA* menunjukkan persentase banyaknya pori antara butir-butir agregat dalam campuran, atau bisa dinyatakan sebagai persentase rongga yang dapat ditempati aspal dan udara. Nilai *VMA* pada umumnya mengalami penurunan sampai batas maksimum dan akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal. Semakin rendah nilai *VMA* maka kekedapan campuran terhadap air dan udara semakin rendah, karena semakin banyak rongga dalam campuran yang tidak terisi aspal. Namun nilai *VMA* yang terlalu rendah mengakibatkan lapisan kurang dapat mengikat aspal dan mudah retak, sebaliknya nilai *VMA* yang tinggi akan menyebabkan aspal pada campuran akan naik dan mudah mengalami

*bleeding*. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, jumlah tumbukan dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai *VMA* maka kedap campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, karena semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *VMA* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.9 berikut ini.



Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA*

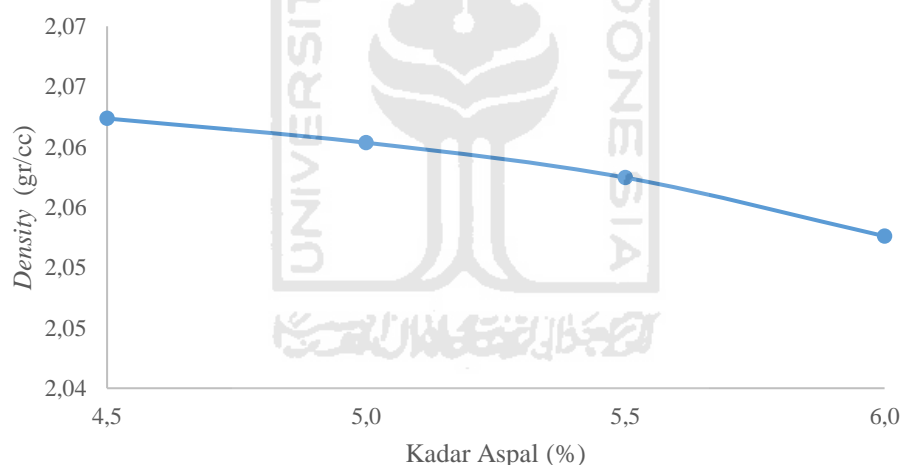
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa nilai *VMA* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang menyebabkan *film* aspal lebih tebal, sehingga jarak antar agregat semakin besar.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *VMA* pada campuran aspal porous dengan kadar aspal 4,5% memiliki nilai *VMA* paling rendah yaitu sebesar 27,11%. Pada kadar aspal 5% nilai *VMA* mengalami kenaikan yaitu sebesar 27,54%. Pada kadar aspal 5,5% nilai *VMA* masih mengalami kenaikan dan memiliki nilai sebesar 27,99%. Nilai *VMA* pada kadar aspal 6% masih mengalami kenaikan dan memiliki nilai *VMA* paling besar yaitu sebesar 28,54%. Dan dapat diketahui bahwa dalam spesifikasi teknik campuran aspal beton porous tidak ada batas persyaratan khusus dari AAPA (2004).

## 7. Density

*Density* menunjukkan kepadatan suatu campuran setelah mengalami pemadatan. Semakin tinggi nilai *density* suatu campuran menunjukkan kerapatannya 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. Nilai *density* juga mempengaruhi kededapan campuran, semakin besar nilai *density* maka semakin rapat suatu campuran sehingga menjadi semakin kedap terhadap air dan udara.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *density* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.10 berikut ini.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Density*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa nilai *density* pada campuran aspal porus menurun seiring penambahan kadar aspal. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya kadar aspal, jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir semakin besar, sehingga campuran menjadi semakin rapat.

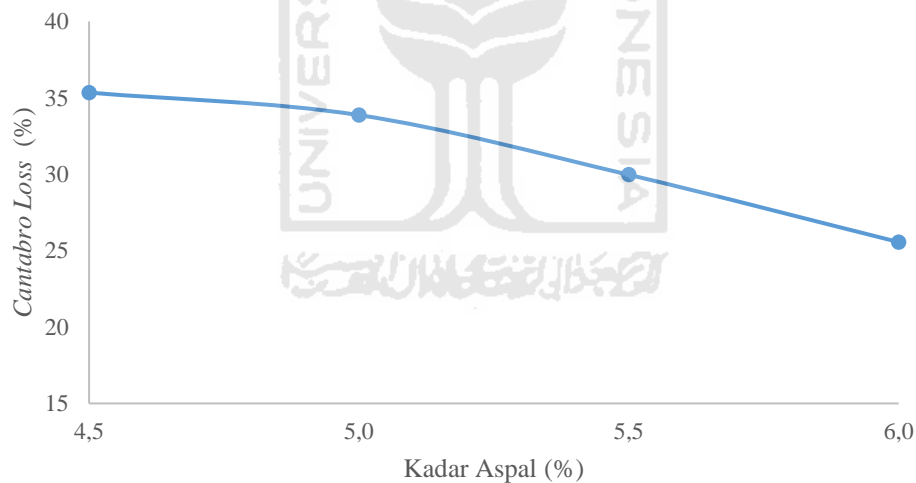
Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *density* pada campuran porus dengan kadar aspal 4,5% memiliki nilai *density* paling tinggi yaitu sebesar 2,0624 gr/cc. Pada kadar aspal 5% nilai *density* mengalami

penurunan yaitu sebesar 2,0603 gr/cc. Pada kadar aspal 5,5% nilai *density* masih mengalami penurunan yaitu sebesar 2,0575 gr/cc. Nilai *density* pada kadar aspal 6% masih mengalami penurunan dan memiliki nilai *density* paling rendah yaitu sebesar 2,0526 gr/cc.

Dalam spesifikasi teknik campuran beton aspal tidak ada persyaratan khusus dari AAPA (2004) dan Bina Marga mengenai nilai *density*. Nilai *density* digunakan untuk persyaratan teknis lapangan, yaitu kepadatan lapangan tidak boleh kurang dari 96% kepadatan laboratorium.

### 5.2.6 Karakteristik *Cantabro* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

*Cantabro* menunjukkan ketahanan terhadap benturan dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi menggunakan mesin *Los Angeles*. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *cantabro* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.11 berikut ini.



Gambar 5.11 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Cantabro*

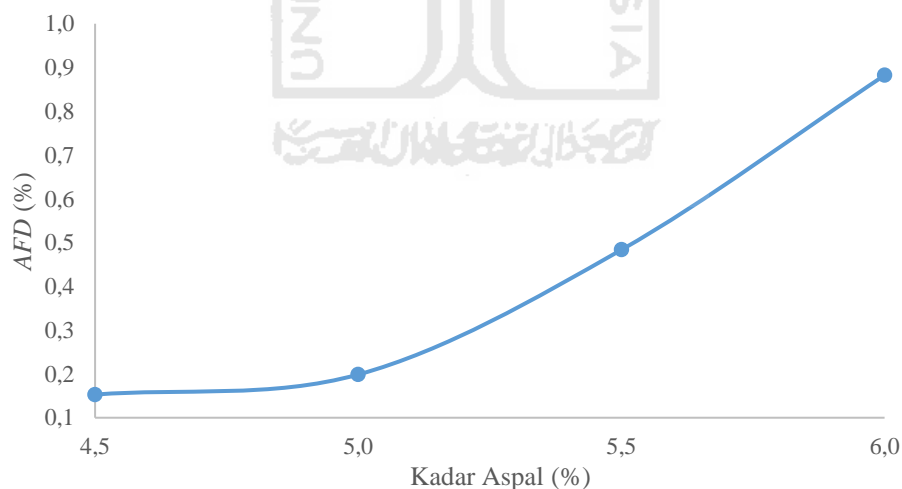
Berdasarkan Gambar 5.11 dapat dilihat bahwa nilai *Cantabro* semakin menurun seiring dengan pertambahan kadar aspal. Penurunan pada hasil pengujian *cantabro* menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan cenderung meningkat, hal ini disebabkan kehilangan berat pada campuran yang semakin kecil dengan persentase penambahan kadar aspal.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *Cantabro* pada campuran porus dengan kadar aspal 4,5% memiliki nilai *Cantabro* paling tinggi yaitu sebesar 35,35%. Pada kadar aspal 5% nilai *Cantabro* mengalami penurunan yaitu sebesar 33,87%. Pada kadar aspal 5,5% nilai *Cantabro* masih mengalami penurunan yaitu sebesar 29,97%. Nilai *Cantabro* pada kadar aspal 6% masih mengalami penurunan dan memiliki nilai *Cantabro* paling rendah yaitu sebesar 25,56%.

Dapat dilihat bahwa nilai *Cantabro* pada semua campuran dengan menggunakan kadar aspal 4,5% tidak memenuhi standar spesifikasi, namun pada kadar aspal 5-6% nilai *Cantabro* telah memenuhi standar spesifikasi *AAPA* (2004), yaitu dengan nilai *Cantabro* maksimal 35%.

### 5.2.7 Karakteristik *Asphalt Flow Down* untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

*Asphalt flow down* menunjukkan kadar aspal maksimum yang tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh grafik nilai *asphalt flow down* pada berbagai kadar aspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.12 berikut ini.



Gambar 5.12 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *AFD*

Berdasarkan Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa nilai *asphalt flow down* semakin meningkat seiring dengan pertambahan kadar aspal. Peningkatan pada hasil pengujian *asphalt flow down* menunjukkan bahwa pemisahan aspal pada



campuran cenderung meningkat, hal ini disebabkan pemisahan aspal pada campuran yang semakin besar dengan persentase penambahan kadar aspal.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *asphalt flow down* pada campuran aspal porus dengan kadar aspal 4,5% memiliki nilai *asphalt flow down* paling rendah yaitu sebesar 0,15%. Pada kadar aspal 5% nilai *asphalt flow down* mengalami kenaikan yaitu sebesar 0,20%. Pada kadar aspal 5,5% nilai *asphalt flow down* masih mengalami kenaikan dan memiliki nilai sebesar 0,48%. Nilai VMA pada kadar aspal 6% masih mengalami kenaikan dan memiliki nilai *asphalt flow down* paling besar yaitu sebesar 0,88%.

Dapat dilihat bahwa nilai *asphalt flow down* pada semua campuran dengan menggunakan kadar aspal 5,5% dan 6% tidak memenuhi standar spesifikasi, namun pada kadar aspal 4,55 dan 5% nilai *asphalt flow down* telah memenuhi standar spesifikasi AAPA (2004), yaitu dengan nilai *asphalt flow down* maksimal 0,30 %.

### **5.2.8 Karakteristik Marshall Campuran Porous Asphalt Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8**

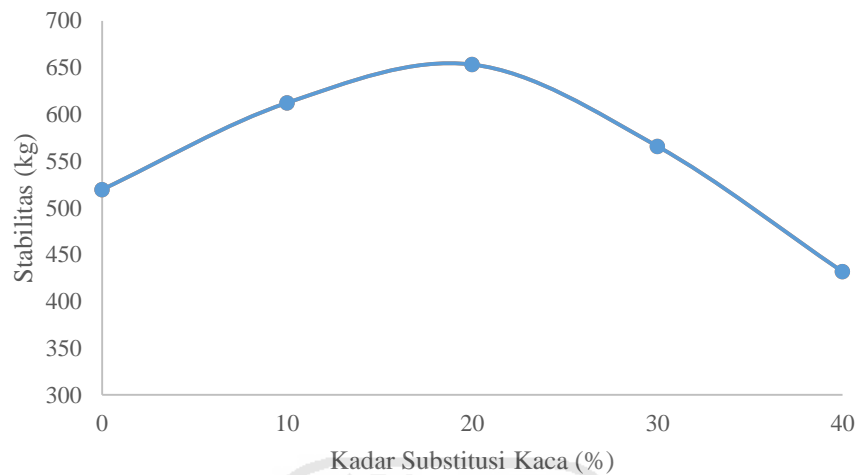
Berdasarkan hasil penelitian dapat dilihat bahwa berat jenis agregat halus kaca memiliki nilai yang lebih kecil dibanding dengan agregat halus Clereng, penyerapan kaca lebih kecil dari pada agregat halus Clereng, perbedaan sifat bahan tersebut juga akan berpengaruh terhadap campuran aspal porus.

Pada karakteristik *Marshall* pengujian dilakukan pada kadar 0%, 10%, 20%, 30% dan 40% kaca sebagai substitusi agregat halus No.8 dan menggunakan kadar aspal optimum 5%. Setelah dilakukan penelitian dengan cara mensubstitusi agregat halus No.8 dengan limbah kaca yang digunakan pada campuran aspal porus terlihat bahwa perilaku campuran aspal porus mengalami perubahan. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada pembahasan berikut ini.

#### **1. Stabilitas**

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk (*deformasi*) seperti gelombang, alur atau bleeding. Pada pengujian *Marshall* di laboratorium, Stabilitas adalah kemampuan bitumen dalam menerima beban dari alat uji *Marshall* sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam satuan kilogram. Berdasarkan

hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar substitusi kaca dengan nilai stabilitas pada campuran porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.13 berikut ini.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan Stabilitas

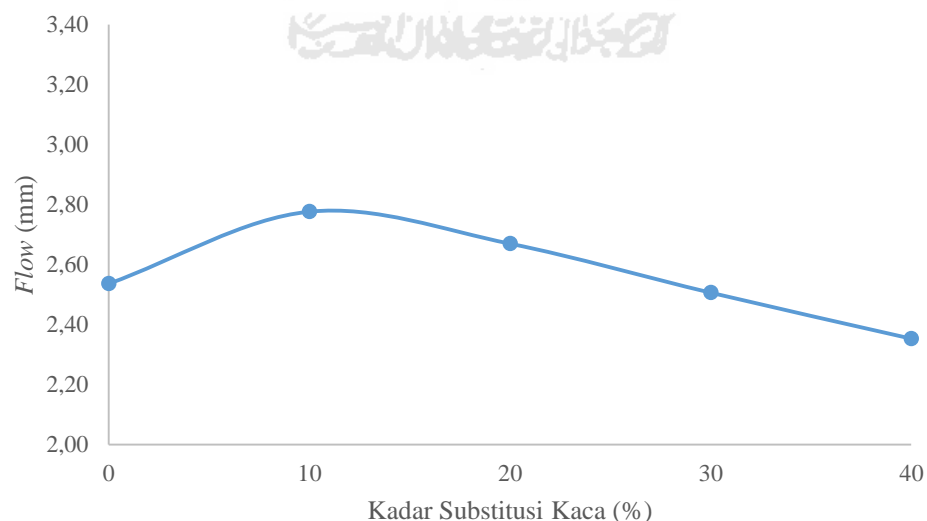
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.13 di atas dapat dilihat bahwa semakin besar persentase penambahan substitusi kaca nilai stabilitas semula mengalami kenaikan akan turun setelah mencapai nilai optimumnya pada kadar substitusi 20%, dengan demikian berdasarkan analisis *anova* peningkatan dan penurunan yang terjadi pada nilai stabilitas akibat penambahan substitusi kaca tidak signifikan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan Jasim (2014) dengan jenis campuran *HMA* dan menggunakan limbah kaca No.8 mendapatkan hasil yang berbeda dengan penelitian ini, yaitu pada penelitian Jasim (2014) yang menggunakan persentase pengganti agregat 50% memiliki hasil yang lebih rendah di banding yang menggunakan 100% pengganti. Hal ini dikarenakan pada Jasim (2014) menggunakan jenis campuran *HMA* dimana campuran tersebut memiliki persentase jumlah penggunaan agregat halus limbah kaca No.8 lebih banyak dibanding dengan campuran porus ini, sehingga semakin bertambahnya persentase yang digunakan akan mempengaruhi nilai stabilitasnya. Stabilitas campuran aspal porus yang menggunakan kadar substitusi kaca dengan aspal yang tercampur dalam jumlah yang optimal (5%) dapat menyelimuti agregat, serta di campur dan dipadatkan pada temperatur yang tepat sehingga mempunyai sifat saling mengunci (*interlock*) yang baik.

Sebaliknya yang terjadi pada penurunan stabilitas dikarenakan campuran memiliki rongga yang lebih besar akibat penambahan substitusi kaca dan aspal yang dicampur tidak cukup kuat untuk mengunci antar agregat.. Hal ini disebabkan beberapa faktor yaitu perbedaan berat jenis substitusi kaca dengan Clereng. Lalu akibat penyerapan substitusi kaca yang rendah sehingga menyebabkan ikatan aspal dengan agregat bertambah dan menyebabkan kenaikan terhadap nilai stabilitas. Faktor lainnya yang mempengaruhi adalah pada berat yang sama campuran yang menggunakan substitusi kaca mempunyai volume yang lebih banyak, sehingga mengakibatkan kebutuhan aspal semakin besar dan menurunkan stabilitasnya.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai stabilitas paling tinggi pada campuran porus dengan substitusi kaca pada agregat halus No.8 20% yaitu sebesar 653,31 kg, dan nilai stabilitas terendah pada campuran porus dengan substitusi kaca pada agregat halus No.8 40% yaitu sebesar 431,74 kg.

## 2. Flow

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *Substitusi* kaca pada agregat halus No.8 dengan nilai *flow* pada campuran aspal porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.14 berikut ini.



Gambar 5.14 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *Flow*

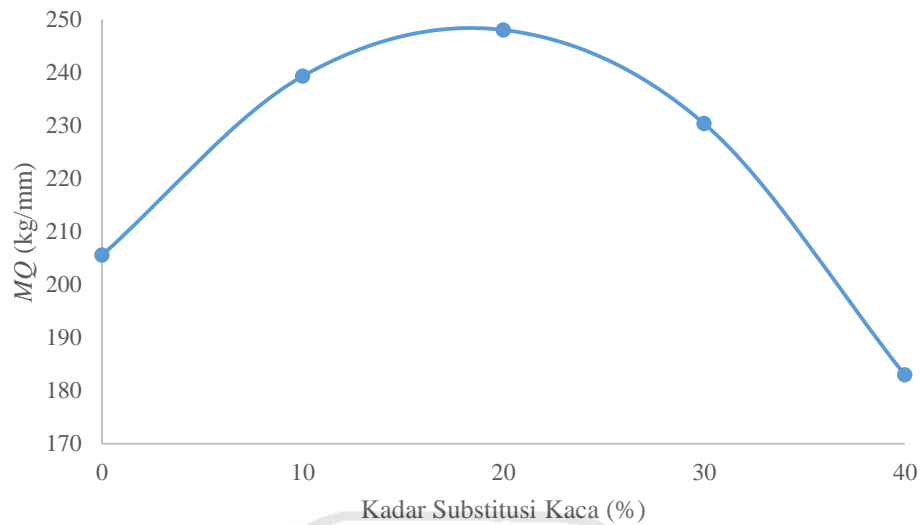
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.14 di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* semakin naik hingga nilai tertentu lalu kemudian turun setelah mencapai nilai optimumnya pada kadar substitusi 10% seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, meskipun demikian peningkatan dan penurunan yang terjadi pada nilai *flow* dengan analisis *anova* akibat penambahan substitusi kaca memiliki hasil tidak signifikan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan Jasim (2014) dengan jenis campuran *HMA* dan menggunakan limbah kaca No.8 mendapatkan hasil yang berbeda dengan penelitian ini, yaitu pada penelitian Jasim (2014) yang menggunakan persentase pengganti agregat 50% memiliki hasil yang lebih rendah di banding yang menggunakan 100% pengganti. Hal ini dikarenakan pada Jasim (2014) menggunakan jenis campuran *HMA* dimana campuran tersebut memiliki persentase jumlah penggunaan agregat halus No.8 lebih banyak dibanding dengan campuran porus, sehingga semakin bertambahnya persentase yang digunakan akan mempengaruhi nilai *flow*. Peningkatan pada nilai *flow* menunjukkan bahwa kelelahan campuran porus semakin meningkat dan kelenturan campuran semakin baik. Hal ini disebabkan oleh semakin besar substitusi kaca maka nilainya meningkat hingga nilai tertentu kemudian turun setelah mencapai nilai optimumnya, dikarenakan Aspal yang seharusnya menyelimuti agregat banyak diserap oleh *filler* karena penyerapan agregat halus limbah kaca lebih kecil dibanding dengan Clereng dan berat jenis kaca yang rendah membuat volume semakin banyak pada berat yang sama sehingga menurunkan nilai *flow*.

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *flow* paling tinggi pada campuran aspal porus dengan kadar substitusi kaca pada agregat halus No.8 10% yaitu 2,78 mm, sedangkan nilai *flow* paling rendah pada campuran aspal porus dengan kadar substitusi kaca pada agregat halus No.8 40% yaitu 2,35 mm.

### 3. *Marshall Quotient*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *Substitusi* kaca pada agregat halus No.8 dengan nilai *Marshall*

*Quotient* pada campuran aspal porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.15 berikut ini.



Gambar 5.15 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *Marshall Quotient*

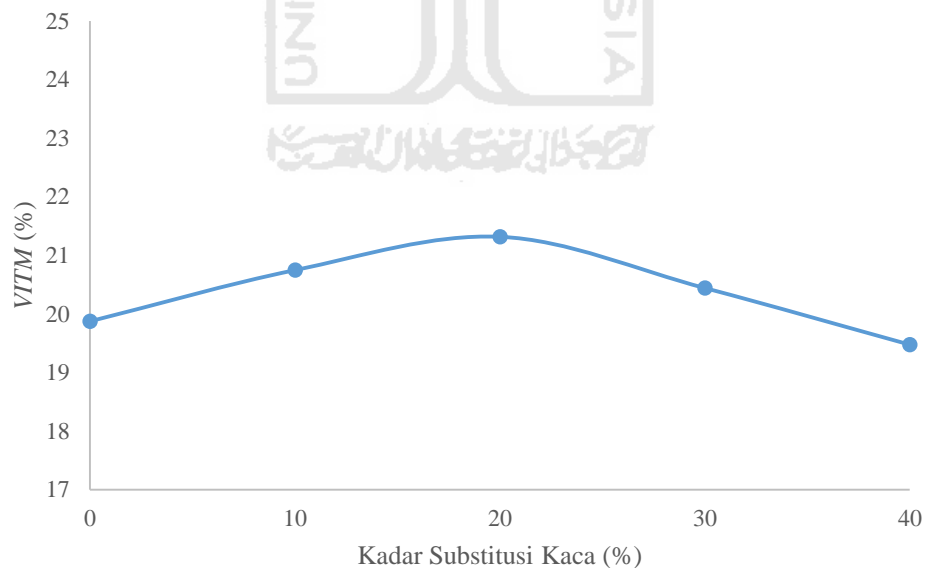
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.15 di atas dapat dilihat bahwa nilai *Marshall Quotient* semakin naik hingga nilai tertentu lalu kemudian turun setelah mencapai nilai optimum pada kadar substitusi 20% seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, meskipun demikian dengan analisis *anova* diketahui peningkatan yang terjadi pada nilai *Marshall Quotient* akibat penambahan substitusi kaca tidak signifikan. Pada penelitian terdahulu oleh Jasim (2014) tidak diketahui hasil dari nilai *MQ* yang diperoleh, karena pada penelitian tersebut hanya terfokus pada nilai stabilitas, *flow*, dan *VIM*. *Marshall Quotient* diperoleh dari perbandingan nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai stabilitas yang semakin tinggi hingga optimum kemudian menjadi rendah (Gambar 5.13) dan nilai *flow* yang semakin tinggi hingga optimum kemudian menjadi rendah (Gambar 5.14) menyebabkan kenaikan dan penurunan pada nilai *Marshall Quotient*. Secara umum campuran porus dengan kadar limbah kaca mempunyai nilai *Marshall Quotient* yang lebih besar dibandingkan dengan campuran tanpa menggunakan limbah kaca. Hal ini disebabkan nilai stabilitas campuran tandap menggunakan limbah kaca memiliki stabilitas yang lebih rendah dan nilai *flow*-nya lebih rendah, sehingga

menunjukkan bahwa campuran dengan menggunakan limbah kaca cenderung lebih plastis menerima beban. Namun hal ini tidak terjadi pada semua kadar limbah kaca, karena pada kadar limbah kaca 30% dan 40% nilai *Marshall Quotient* mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan pada nilai stabilitas kadar substitusi kaca 30% dan 40% mengalami penurunan dan juga terjadi pada nilai *flow*-nya sehingga membuat nilai *Marshall Quotient* yang cenderung semakin menurun.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *Marshall Quotient* paling tinggi pada campuran aspal porus dengan kadar substitusi kaca 20% yaitu sebesar 248,05 kg/mm, dan nilai *Marshall Quotient* paling kecil pada campuran kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar 182,95 kg/mm.

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

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *Substitusi* kaca pada agregat halus No.8 dengan nilai *VITM* pada campuran aspal porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.16 berikut ini.



Gambar 5.16 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *VITM*

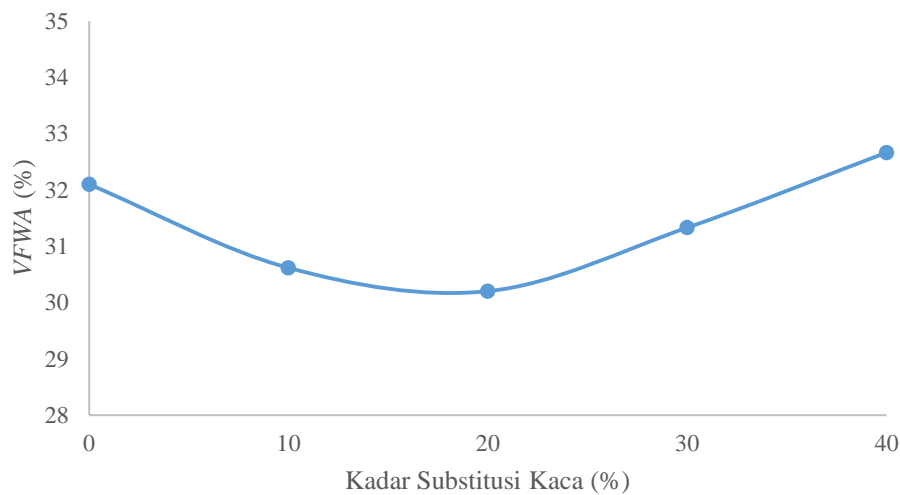
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.16 di atas dapat dilihat bahwa nilai *VITM* semakin naik hingga nilai tertentu yaitu pada kadar substitusi 20%, lalu kemudian turun setelah mencapai nilai optimumnya seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, dan dengan analisis *anova* diketahui bahwa peningkatan dan penurunan yang terjadi pada nilai *VITM* akibat penambahan substitusi kaca adalah signifikan.

Pada penelitian terdahulu yang dilakukan Jasim (2014) dengan jenis campuran *HMA* dan menggunakan limbah kaca No.8 mendapatkan hasil yang tidak jauh berbeda pada *VITM* dengan penelitian ini, yaitu pada penelitian Jasim (2014) yang menggunakan persentase pengganti agregat 50% memiliki hasil yang lebih tinggi di banding yang menggunakan 100% pengganti. Hal ini memiliki alasan yang sama dengan campuran porus. Campuran porus yang menggunakan substitusi kaca mempunyai nilai *VITM* yang cenderung lebih besar dibanding dengan campuran porus yang tidak menggunakan substitusi kaca, namun pada kadar substitusi kaca tertentu nilai *VITM* cenderung lebih kecil dibanding yang tidak menggunakan kaca. Kenaikan pada *VITM* menunjukkan rongga yang ada dalam campuran semakin besar dan setelah mencapai nilai optimum akan menurun menjadi lebih kecil lalu membuat campuran lebih rapat dan mengalami penurunan nilai *VITM*. Hal ini disebabkan beberapa faktor yaitu gradasi agregat, berat jenis kaca dan kadar optimum pada campuran, rongga udara yang terisi aspal semakin kecil hingga kadar substitusi kaca 20% dan meningkat setelahnya dan membuat campuran tersebut semakin rapat.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *VITM* paling tinggi pada campuran aspal porus dengan kadar substitusi kaca 20% yaitu sebesar 21,32%, dan nilai *VITM* paling kecil pada campuran kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar 19,48 %.

##### 5. *VFWA (Void Filled With Asphalt)*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *Substitusi* kaca pada agregat halus No.8 dengan nilai *VFWA* pada campuran aspal porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.17 berikut ini.



Gambar 5.17 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan VFWA

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.17 di atas dapat dilihat bahwa nilai VFWA semakin rendah hingga nilai 20% lalu kemudian naik seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porous, dengan analisis *anova* dapat diketahui bahwa peningkatan yang terjadi pada nilai VFWA akibat penambahan substitusi kaca adalah signifikan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Jasim (2014) tidak diketahui hasil dari nilai VFWA yang diperoleh, karena pada penelitian tersebut hanya terfokus pada nilai stabilitas, *flow*, dan *VIM*. Penurunan nilai VFWA pada campuran porous disebabkan berat jenis yang kecil sehingga membuat volume pada substitusi kaca bertambah dan membuat banyak rongga dalam campuran tidak terisi aspal. Faktor yang mempengaruhi nilai VFWA adalah gradasi agregat, kadar aspal, dan jumlah. Pada kadar substitusi kaca 20% nilai *VITM* mencapai nilai tertingginya yang mengakibatkan nilai VFWA pada persentase kadar yang sama mengalami penurunan hingga mencapai nilai terendahnya, hal ini dikarenakan banyaknya rongga yang terbentuk namun berkurangnya persen rongga yang terisi aspal karena aspal telah tercampur secara homogen sehingga membuat rongga udara antar butir agregat menjadi lebih banyak.

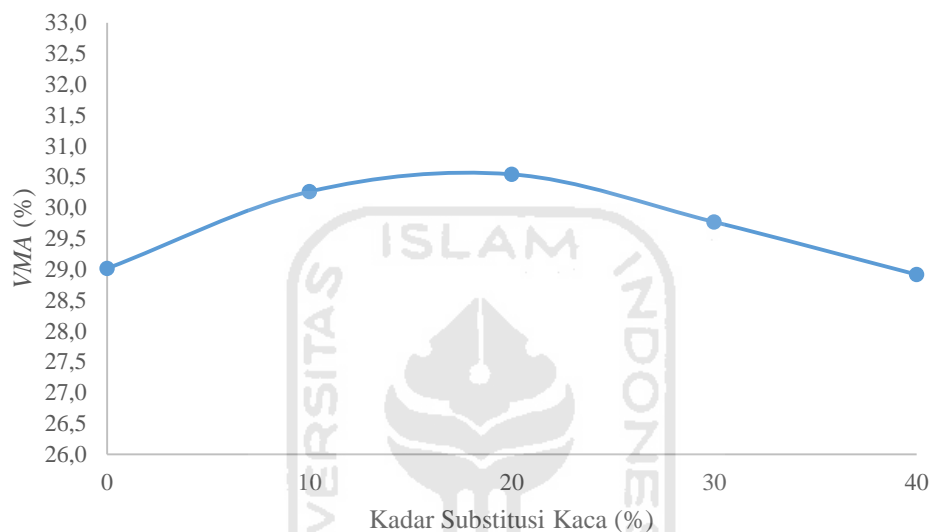
Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai VFWA paling tinggi pada campuran aspal porous dengan kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar 32,67%,



dan nilai *VFWA* paling kecil pada campuran kadar substitusi kaca 20% yaitu sebesar 30,20 %.

#### 6. *VMA* (*Void in Mineral Agregate*)

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *Substitusi* kaca pada agregat halus No.8 dengan nilai *VMA* pada campuran aspal porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.18 berikut ini.



Gambar 5.18 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *VMA*

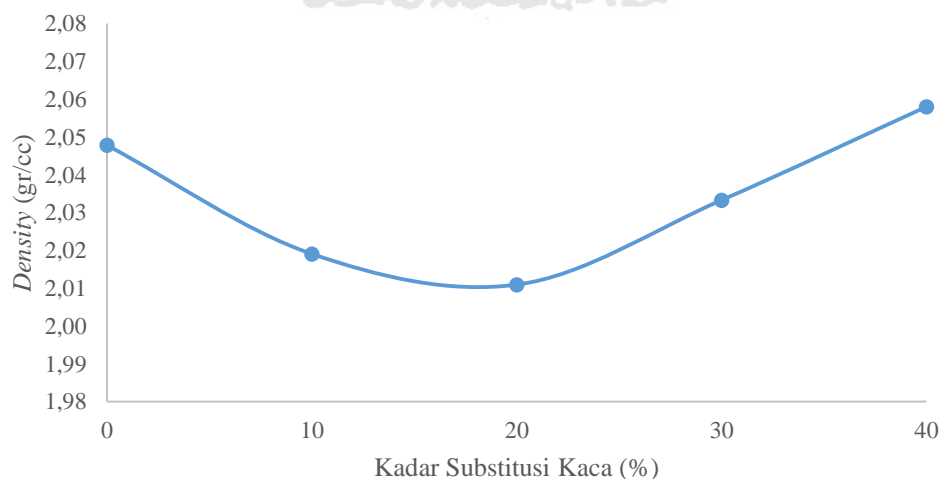
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.18 di atas dapat dilihat bahwa nilai *VMA* semakin naik hingga nilai 20% lalu kemudian turun setelah mencapai nilai optimumnya seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, dan dengan menggunakan analisis *anova* dapat diketahui bahwa secara keseluruhan peningkatan dan penurunan yang terjadi pada nilai *VMA* akibat penambahan substitusi kaca adalah signifikan. Pada penelitian terdahulu oleh Jasim (2014) yang menggunakan limbah kaca pada campuran *HMA* tidak diketahui hasil dari nilai *VMA* yang diperoleh, karena pada penelitian tersebut hanya terfokus pada nilai stabilitas, *flow*, dan *VIM*. Peningkatan nilai *VMA* pada campuran porus menunjukkan bahwa rongga udara dan kadar aspal efektif yang menyelimuti agregat semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin besar substitusi kaca ke dalam campuran porus kadar aspal optimum

semakin meningkat dan juga dipengaruhi oleh *density* yang menunjukkan kepadatan campuran yang semakin menurun. Kadar aspal optimum yang dihasilkan semakin meningkat bisa disebabkan oleh berat jenis *substitusi* kaca yang lebih kecil dibandingkan dengan Clrereng, sehingga menaikkan nilai *VMA* dalam campuran porus. Namun hal ini hanya dapat terjadi hingga dia menunjukkan *VMA* maksimum setelah itu nilai *VMA* mulai menurun sejalan dengan bertambahnya kadar substitusi. Penurunan ini disebabkan pula oleh berat jenis substitusi limbah kaca yang lebih kecil sehingga mengakibatkan volume yang sedikit pada berat yang sama dan mengurangi rongga yang tersedia untuk ditempati oleh aspal.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *VMA* paling tinggi pada campuran aspal porus dengan kadar substitusi kaca 20% yaitu sebesar 30,54%, dan nilai *VMA* paling kecil pada campuran kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar 28,92 %.

#### 7. *Density*

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium diperoleh hasil hubungan antara kadar *substitusi* kaca pada agregat halus No.8 dengan nilai *density* pada campuran aspal porus seperti yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 5.19 berikut ini.



Gambar 5.19 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan *Density*

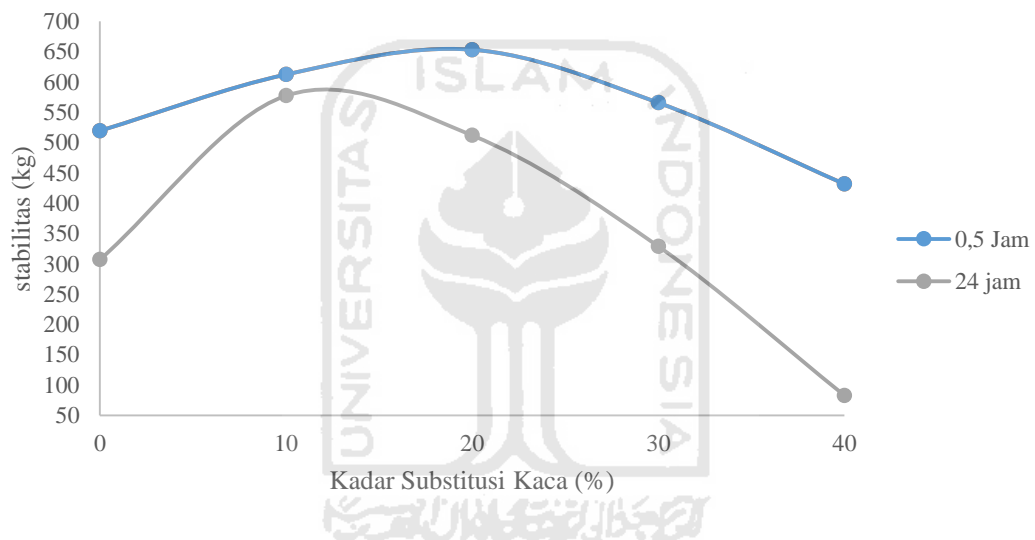
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.19 di atas dapat dilihat bahwa nilai *density* semakin rendah hingga nilai kadar substitusi 20% lalu kemudian naik seiring dengan meningkatnya proporsi kadar substitusi kaca dalam campuran aspal porus, dengan demikian peningkatan dan penurunan secara keseluruhan yang terjadi pada nilai *density* akibat penambahan substitusi kaca dengan menggunakan analisis *anova* adalah signifikan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Jasim (2014) dengan menggunakan limbah kaca pada campuran HMA tidak diketahui hasil dari nilai *density* yang diperoleh, karena pada penelitian tersebut hanya terfokus pada nilai stabilitas, *flow*, dan *VIM*. Penurunan ini disebabkan oleh berat jenis dari substitusi kaca yang lebih kecil dibanding Clereng, sehingga berat jenis yang lebih kecil menyebabkan volume yang lebih besar dibandingkan Clereng yang memiliki berat jenis lebih besar pada berat yang sama, namun seiring dengan penambahan substitusi kaca pada kadar tertentu nilai *density* meningkat karena rongga yang terdapat pada campuran lebih rapat. Nilai *density* merupakan perbandingan massa dan volume, oleh karena itu dengan nilai volume yang besar menghasilkan nilai *density* yang kecil hingga batas volume maksimum kemudian nilai *density* mengalami kenaikan. Pada kadar substitusi kaca 0% hingga 20% nilai *density* cenderung mengalami penurunan, hal ini menunjukkan bahwa kerapatan pada campuran dengan kadar substitusi kaca lebih rendah dibandingkan dengan kadar substitusi kaca 30% dan 40% seperti yang terlihat pada nilai *VITM* yang menunjukkan rongga yang terdapat dalam campuran meningkat pada kadar substitusi kaca 0% hingga 20%.

Dari hasil pengujian di laboratorium, diperoleh nilai *density* paling tinggi pada campuran aspal porus dengan kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar 2,058 gr/cc, dan nilai *density* paling kecil pada campuran kadar substitusi kaca 20% yaitu sebesar 2,011 gr/cc.

### 5.2.9 Karakteristik *Immersion Test* Campuran *Porous Asphalt* Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8

#### 1. Stabilitas Rendaman

*Immersion test* atau uji perendaman sama dengan uji *Marshall* standar, hanya waktu perendaman di dalam *waterbath* yang berbeda. Lama waktu perendahan benda uji pada pengujian ini adalah 24 jam pada suhu konstan 60°C. 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, Gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.20 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan Stabilitas pada Pengujian *Immersion*.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.20 dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada rendaman 24 jam lebih rendah dibandingkan dengan stabilitas pada rendaman 0,5 jam. Hal ini disebabkan proses perendaman yang mencapai 24 jam sehingga air masuk ke dalam pori-pori campuran sehingga mengurangi ikatan adhesi antara aspal dan agregat. Nilai Stabilitas paling tinggi pada rendaman 24 jam terdapat pada campuran porous dengan kadar substitusi kaca 10% yaitu sebesar 577,37 kg dan paling rendah terdapat pada kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar 83,97 kg. Peningkatan yang terjadi pada nilai *Immersion* akibat penambahan substitusi kaca adalah signifikan.

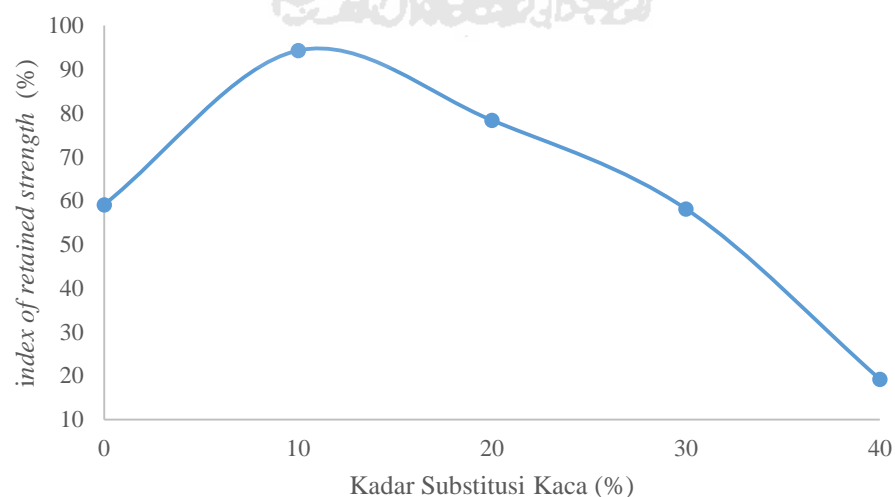
## 2. *Index of Retained Strength*

*Index of retained strength* (indeks tahan sisa) diperoleh dari proses pengukuran satabilitas setelah melalui perendaman, yang bertujuan untuk mengetahui kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman. Perendaman dalam penelitian ini yaitu perendaman selama 24 jam pada suhu 60°C terhadap perendaman selama 0,5 jam pada suhu 60°C.

Pada pengujian *index of retained strength* nilai minimum telah ditentukan oleh AAPA 2004 yaitu  $\geq 75\%$ . Apabila suatu campuran perkerasan yang memiliki nilai *index of retained strength*  $\geq 75\%$  berarti campuran perkerasan tersebut tahan terhadap kerusakan oleh kehadiran air.

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

Berdasarkan tabel pengujian (Tabel 5.14) yang diperoleh dari hasil perhitungan menggunakan persamaan 3.14 dapat dilihat hubungan antara nilai *IRS* dengan variasi kadar kaca sebagai substitusi dalam campuran porus pada Gambar 5.21 dibawah ini.

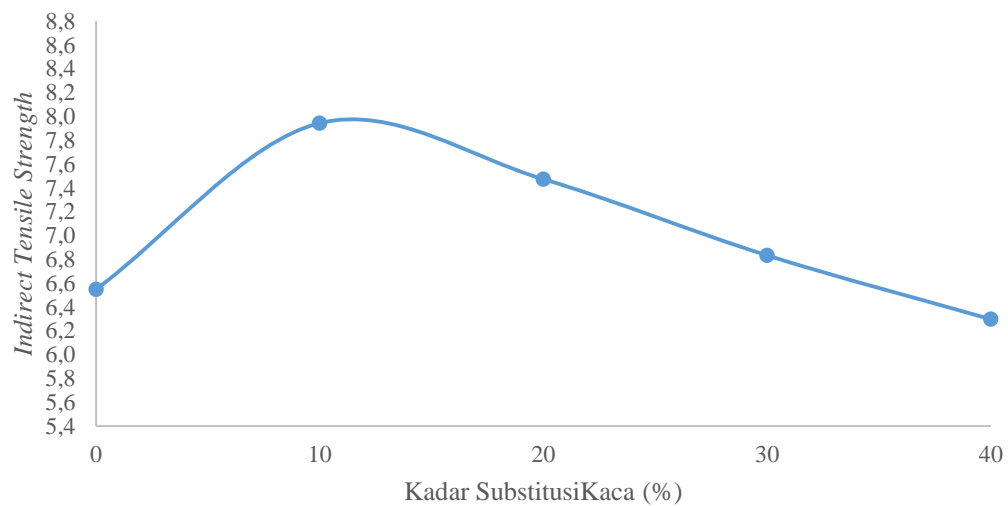


Gambar 5.21 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan nilai *IRS*

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.21 dan analisis *anova* dapat dilihat bahwa seiring dengan semakin besar substitusi kaca dalam campuran porus maka nilai *index of retained strength* mengalami kenaikan pada kadar substitusi 10% dan mengalami penurunan yang signifikan setelahnya. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Jasim (2014) menggunakan limbah kaca hanya menguji pada kekuatan *Marshall* yaitu stabilitas, *flow* dan *VIM*, sehingga tidak dapat membandingkan penelitian ini dan sebelumnya. Penurunan pada nilai *index of retained strength* menunjukkan bahwa ketahanan campuran akibat pengaruh air, suhu dan cuaca cenderung semakin menurun. Hal ini disebabkan rongga pada campuran porus yang semakin tinggi dengan penambahan substitusi kaca ini dapat dilihat pada nilai *VFWA* yang juga mengalami penurunan karena aspal yang menyelimuti agregat membuat rongga udara dalam campuran semakin besar. Nilai *IRS* paling tinggi terdapat pada kadar substitusi kaca 10% yaitu sebesar 94,283 % dan nilai *IRS* terendah terdapat pada kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar 19,218%.

#### **5.2.10 Karakteristik *Indirect Tensile Strength* Campuran *Porous Asphalt* Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8**

*Indirect Tensile Strength* adalah pengujian untuk mengetahui kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban, yang diperoleh berdasarkan perhitungan menggunakan Persamaan 3.16. Dari hasil pengujian *Indirect Tensile Strength Test* terhadap variasi kadar substitusi kaca kedalam campuran porus Tabel 5.15. Adapun hubungan proporsi kadar substitusi kaca dengan *Indirect Tensile Strength* pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Gambar 5.22 berikut ini.



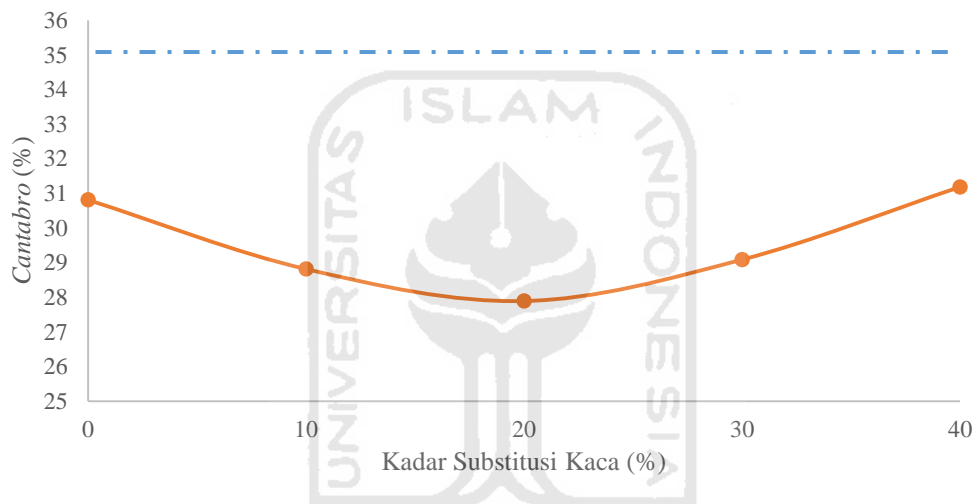
Gambar 5.22 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan nilai *ITS*

Berdasarkan Gambar 5.22 dapat dilihat bahwa mensubstitusikan kaca kedalam campuran porus menaikkan nilai *Indirect Tensile Strengt* hingga kadar substitusi 10% namun seiring dengan bertambahnya kadar substitusi kaca terjadi penurunan nilai *Indirect Tensile Strengt* yang tidak signifikan menurut analisis *anova*. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Jasim (2014) menggunakan limbah kaca hanya menguji pada kekuatan *Marshall* yaitu stabilitas, *flow* dan *VIM*, sehingga tidak dapat membandingkan penelitian ini dan sebelumnya. Penurunan terjadi setelah mencapai nilai optimum yang dapat dicapai oleh substitusi kaca. Penurunan pada nilai *Indirect Tensile Strengt* menunjukkan bahwa kuat tarik pada campuran porus yang menggunakan substitusi kaca yang semakin banyak menyebabkan kuat tarik cenderung semakin menurun dan menggambarkan bahwa keawetan pada campuran juga semakin menurun seiring bertambahnya kadar substitusi kaca.

Nilai *ITS* paling tinggi pada campuran porus dengan kadar substitusi kaca 10% yaitu sebesar  $7,94 \text{ kg/cm}^2$  dan nilai *ITS* terendah pada campuran porus menggunakan kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar  $6,297 \text{ kg/cm}^2$ .

### 5.2.11 Karakteristik *Cantabro* Campuran *Porous Asphalt* Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8

Pengujian *Cantabro* bertujuan untuk mengetahui ketahanan terhadap benturan dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi menggunakan mesin *Los Angeles*. Hasil pengujian dan analisis menggunakan Persamaan 3.16 dapat dilihat pada Tabel 5.20. *Cantabro* test merupakan metode pengujian untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hubungan antara nilai *Cantabro* dengan variasi kadar kaca sebagai substitusi dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut ini.



Gambar 5.23 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan nilai *Cantabro*

Berdasarkan Gambar 5.23 dapat dilihat bahwa nilai *Cantabro* semakin menurun seiring dengan penambahan kadar substitusi kaca dan meningkat setelah mencapai kadar substitusi optimumnya, meskipun demikian sesuai dengan hasil analisis *anova* penurunan dan kenaikan secara keseluruhan pada nilai *Cantabro* tidak signifikan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Jasim (2014) menggunakan limbah kaca hanya menguji pada kekuatan *Marshall* yaitu stabilitas, *flow* dan *VIM*, sehingga tidak dapat membandingkan penelitian ini dan sebelumnya. Penurunan pada pengujian *Cantabro* menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan cenderung meningkat dan peningkatan pada pengujian ini menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan cenderung menurun,

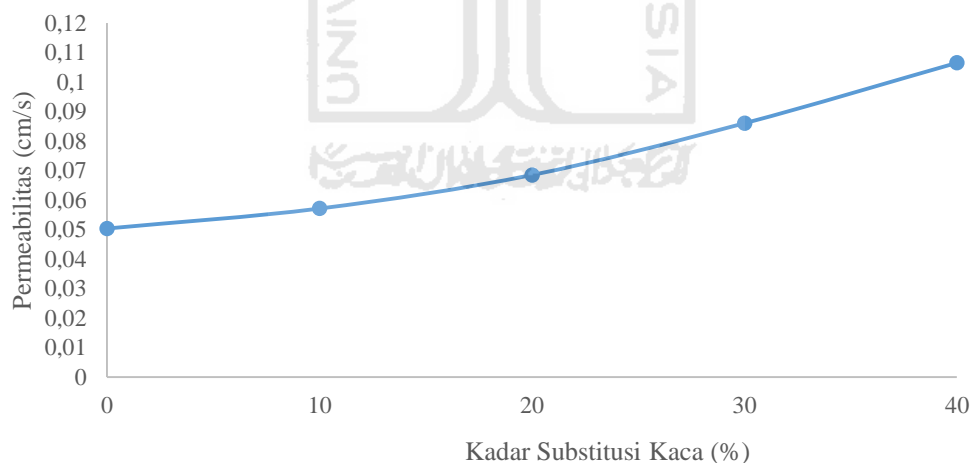


hal ini disebabkan kehilangan berat pada campuran yang semakin besar dengan persentase penambahan kadar substitusi kaca.

Nilai *Cantabro* paling tinggi terdapat pada campuran porus dengan kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar 31,19% dan nilai terendah pada campuran porus dengan kadar substitusi kaca 20% yaitu sebesar 27,89%.

### 5.2.12 Karakteristik *Permeabilitas Campuran Porous Asphalt Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8*

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 3.17. Hasil pengujian permeabilitas campuran porus pada kadar aspal optimum dengan menggunakan kaca sebagai substitusi pada agregat halus No.8 dapat dilihat pada Tabel 5.16. Adapun hubungan proporsi substitusi kaca dengan koefisien permeabilitas pada kadar aspal optimum ditunjukkan pada Gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5.24 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan nilai Permeabilitas

Berdasarkan Gambar 5.24 dapat dilihat bahwa semakin besar kadar substitusi kaca kedalam campuran porus maka nilai koefisien permeabilitas semakin besar. Peningkatan nilai koefisien permeabilitas seiring bertambahnya kadar substitusi

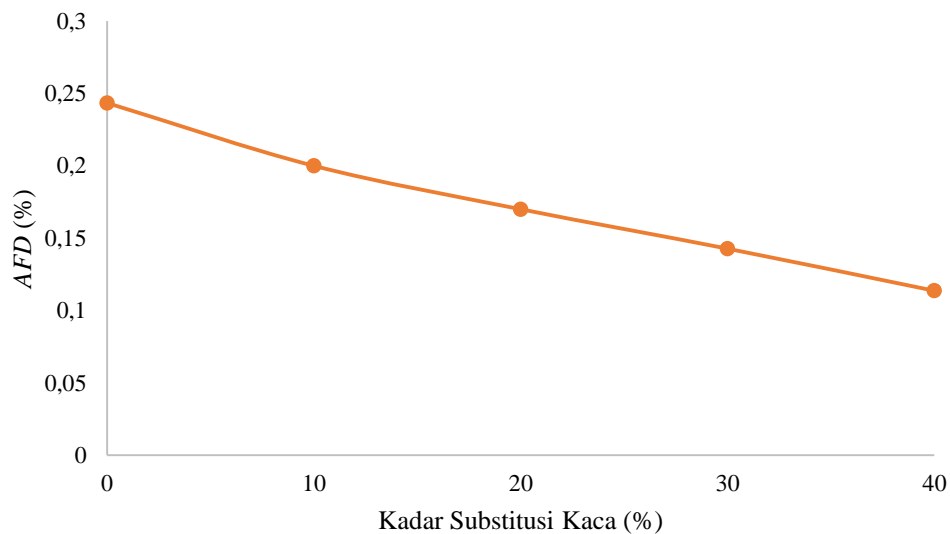
kaca sesuai dengan analisis *anova* terjadi secara signifikan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Jasim (2014) menggunakan limbah kaca hanya menguji pada kekuatan *Marshall* yaitu stabilitas, *flow* dan *VIM*, sehingga tidak dapat membandingkan penelitian ini dan sebelumnya. Pada pengujian pada campuran porus menggunakan substitusi kaca pada agregat halus menunjukkan bahwa campuran tersebut memiliki drainase sedang hingga baik.

Pada campuran porus dengan menggunakan kaca sebagai substitusi agregat halus No.8 nilai *VITM* semakin meningkat dan nilai *VFWA* semakin mengecil tidak selamanya menghasilkan nilai koefisien permeabilitas yang kecil, hal ini disebabkan rongga yang telah terisi oleh kaca masih dapat dilewati oleh air karena kaca memiliki nilai penyerapan yang cenderung kecil dibanding dengan Clereng sehingga lebih cepat mengalirkan air dan karena rongga yang terisi aspal lebih kecil sehingga rongga udara lebih banyak dan membuat air lebih mudah mengalir.

Nilai permeabilitas paling tinggi yang terdapat pada campuran porus dengan kadar substitusi kaca 40% yaitu sebesar 0,106 cm/s, dan nilai terendah pada campuran porus dengan substitusi kaca 0% yaitu sebesar 0,503 cm/s.

### **5.2.13 Karakteristik *Asphalt Flow Down* Campuran *Porous Asphalt* Pada KAO dengan Menggunakan Limbah Kaca sebagai Substitusi Agregat Halus No.8**

*Asphalt flow down* menunjukkan kadar aspal maksimum yang tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Hubungan antara nilai *Asphalt flow down* dengan variasi kadar kaca sebagai substitusi dapat dilihat dilihat pada pada Gambar 5.25 berikut ini.



Gambar 5.25 Grafik Hubungan antara Kadar Substitusi Kaca dengan nilai *AFD*

Berdasarkan Gambar 5.25 dapat dilihat bahwa semakin besar kadar substitusi kaca kedalam campuran porous maka nilai *Asphalt flow down* semakin kecil. Penurunan nilai *Asphalt flow down* seiring bertambahnya kadar substitusi kaca sesuai dengan analisis *anova* terjadi secara signifikan. Pada penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Jasim (2014) menggunakan limbah kaca hanya menguji pada kekuatan *Marshall* yaitu stabilitas, *flow* dan *VIM*, dan karena penelitian terdahulu bukanlah campuran porous dan tidak memerlukan nilai *AFD* sebagai salah satu parameter sehingga tidak dapat membandingkan penelitian ini dan sebelumnya. Penurunan pada nilai *Asphalt flow down* menunjukkan bahwa aspal tercampur homogen tanpa terjadinya pemisahan aspal seiring bertambahnya kadar substitusi kaca. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya kadar substitusi kaca yang digunakan maka semakin banyak juga volume kaca yang digunakan dengan berat yang sama sehingga aspal lebih terikat dan homogen.

Nilai *Asphalt flow down* tertinggi pada campuran porous dengan substitusi kaca 0% yaitu sebesar 0,24 % dan nilai terendah pada campuran porous dengan substitusi kaca 40% yaitu sebesar 0,11%.

## BAB VI

### SIMPULAN DAN SARAN

#### SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan perhitungan dari karakteristik campuran porus aspal dengan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus No.8 dapat disimpulkan bahwa campuran mengalami perubahan karakteristik, hal tersebut dapat dilihat dari perubahan nilai *Marshall*, *ITS*, Permeabilitas, *Cantabro*, dan *Asphalt Flow Down*. Secara khusus berdasarkan hasil penelitian dan analisis dari pengaruh penambahan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus No.8 pada campuran porus dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Limbah Kaca sebagai substitusi agregat halus No.8 pada campuran aspal porus memenuhi persyaratan yang ditentukan sehingga dapat digunakan sebagai substitusi agregat halus No.8 dengan kadar aspal optimum yang digunakan adalah 5 %.
2. Campuran porus menggunakan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus No.8 mengalami perubahan karakteristik *Marshall* yaitu pada kemampuan campuran menahan beban yang semakin meningkat hingga batas optimum dan menurun setelahnya yaitu pada nilai stabilitas, kemudian nilai *flow*, *MQ*, *VITM*, *VMA* yang mengalami kenaikan hingga batas nilai optimumnya kemudian mengalami penurunan setelahnya, dan nilai *VFWA* dan *density* yang mengalami penurunan namun hingga nilai tertentu mengalami kenaikan setelahnya. Pada nilai *VFWA*, *VITM*, *VMA*, dan *density* mengalami kenaikan dan penurunan secara keseluruhan dengan signifikan, namun pada nilai stabilitas, *flow*, dan *MQ* tidak signifikan sesuai dengan hasil analisis *anova* yang telah dilakukan.
3. Keawetan campuran porus yang diukur ketahannya dalam mempertahankan stabilitas setelah mengalami rendaman yang diukur dengan nilai *Index of Retained Strength* dapat diketahui dari analisis *anova* mengalami kenaikan dan penurunan yang signifikan secara umum seiring bertambahnya proporsi substitusi limbah kaca. Hal ini menunjukkan bahwa keawetan (*durability*) akan

meningkat hingga nilai optimum yang dapat dicapai lalu semakin menurun setelahnya.

4. Kemampuan menahan gaya tarik (*Indirect Tensile Strength*) campuran aspal porus seiring peningkatan substitusi kaca pada analisis *anova* diketahui mengalami kenaikan dan penurunan yang tidak signifikan secara umum seiring penambahan proporsi substitusi kaca. Hal ini menunjukkan bahwa keawetan (*durability*) akan meningkat hingga nilai optimum yang dapat dicapai lalu semakin menurun setelahnya.
5. Pada pengujian permeabilitas menunjukkan bahwa campuran memiliki drainase yang sedang hingga baik setelah ditambahkan proporsi limbah kaca. Nilai permeabilitas pada campuran porus mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa seiring penambahan substitusi kaca kedalam campuran aspal porus menaikkan kemampuan campuran menahan air.
6. Kemampuan campuran dalam menahan benturan yang diukur dengan nilai *Cantabro* mengalami penurunan dan kenaikan yang tidak signifikan secara keseluruhan seiring dengan penambahan substitusi kaca kedalam campuran aspal porus. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut tahan terhadap campuran hingga mencapai nilai optimalnya dan akan kurang tahan terhadap benturan setelah melewati nilai optimumnya.
7. Kadar aspal maksimum yang tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal ditunjukkan dengan nilai *AFD* (*Asphalt Flow Down*) mengalami penurunan yang signifikan seiring dengan penambahan proporsi substitusi kaca kedalam campuran aspal porus. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut tercampur homogen.

## **SARAN**

Merujuk pada hasil penelitian campuran *Porous Asphalt* dengan menggunakan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus No.8, maka penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan campuran porus yang memiliki gradasi lebih kecil menggunakan limbah kaca sebagai substitusi agregat halus dengan harapan dapat meningkatkan stabilitas sehingga membutuhkan kadar aspal yang efektif.

2. Pada penelitian ini menggunakan AC 60-70 produksi PT. Pertamina, maka perlu adanya penelitian lanjutan menggunakan jenis aspal yang lebih keras sehingga dapat meningkatkan kinerja campuran.
3. Untuk melihat lebih detail perubahan karakteristik campuran akibat penambahan substitusi kaca perlu adanya penelitian lebih lanjut dengan persentase kadar substitusi kaca yang lebih rapat, sebagai contoh 0%, 5%, 10%, 15%, 20%, 25%, dan 30% karena pada penelitian ini substitusi kaca hanya 0%, 10%, 20%, 30%, dan 40%.
4. Perlu adanya penelitian dengan campuran porus yang memiliki gradasi lebih kecil menggunakan limbah lainnya sebagai substitusi agregat halus dengan harapan dapat meningkatkan stabilitas dan meningkatkan nilai guna limbah itu sendiri.



## DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad A., 2012,. Pengaruh penambahan anti stripping (*wetfix-be*) terhadap karakteristik aspal porous dengan menggunakan bahan pengikat liquid asbuton, *Jurnal Tugas Akhir*, Universitas Hasanuddin, Makasar.
- Australian Asphalt Pavement Association, 2004. *National Asphalt Specification*.
- Cabrera, J.G. & Hamzah, M.O., 1994, Aggregate Grading Design for Porous Asphalt, In Cabrera, J.G. & Dixon, J.R. (eds)., *Performance and Durability of Bitumenious Materials, Proceeding of Symposium*, University of Leads, London.
- Clean Washington Center, 1996 *Beat Practice in glass recycling*, ref. BP-GL4-02-01, CWC, Washington DC.
- Day, D.E., and Schaffer, R., 1994 *Glassphalt Paving Handbook*, University of Missouri-Rolla
- Departemen Pekerjaan Umum, 2010, *Spesifikasi Umum*, Direktorat Jendral Bina Marga, Jakarta
- Diana, I Wayan, 2000, Sifat-Sifat Teknik dan Permeabilitas pada Aspal Porus, *Thesis*, Universitas Gunadarma, .
- Djakfar L, Zaika Y, Bowoutro H., 2015, Pengaruh Penambahan *Additive* Terhadap Kinerja Marshall pada Campuran Aspal Porus, *The 18th FSTPT International Symposium*, Unila, Bandar Lampung.
- Hansen, K.R., 2008 *Porous Asphalt Pavement for Stormwater Management* (IS 131). Nasional Asphalt Pavement Association, Lanham, Md.
- Ismunandar, A.I., 2011, Studi Karakteristik Aspal Porus yang Menggunakan Liquid Asbuton Sebagai Bahan Tambah Pengikat dan Agregat Kasar Metode Bina Marga, *Skripsi* Universitas Hasanuddin Makasar.
- Jasim, Ahmed Abbas., 2014, Using Waste Glass as Secondary Aggregates in Asphalt Mixtures, *International Journal of Advanced Research*, Volume 2, Issue 1, 41-46. College of Engineering University of Babylon, Iraq.
- Khalid, H. & Perez Jimenez, F.K.,1994, Performances Assessment of Spanish and British Porous Asphalts. In Cabrera, J.G. & Dixon, J.R. (eds), *Performance and Durability of Bituminous Materials, Proceeding of Symposium*, University of Leeds, London.

- Malish, W.R., Day, D.E and Wixson B.G., 1975, Use of Domestic Waste Glass for Urban paving, Summary Report, *National Environmental Research Center, Office of Research and Development*, U.S. Environmental Protection Agency, Report EPA-670/2-75-053
- Metso Minerals, 2012, *Barmac-The Ultimate Glass Crusher*, Report AIB 041. (<http://www.metso.com/in/miningandconstruction>, Diakses 18 Mei 2016)
- Purwanto, 2011, *Statistika untuk Penelitian*, Pustaka Pelajar, Yogyakarta.
- Pusjatan, 2013, *Institute Of Road Engineering Agency For Research And Development Ministry Of Public Works And Housing* (<http://www.pusjatan.pu.go.id/index.php/en/perkerasan-jalan/256-aspal-porus>, Diakses 22 Mei 2016).
- Putri Y.G, Ariyanti F, Djakfar L, Bowoputro H., 2013, Evaluasi kinerja aspal porus menggunakan spesifikasi gradasi dari Australia (AAPA), California (CalAPA) dan British (BS),
- Sarwono. D, Wardhani. A. K., 2007, Pengukuran Sifat Permeabilitas Campuran Porous Asphalt, *Jurnal penelitian Media Teknik Sipil*, Edisi Juli:131-138, Surakarta.
- Setyawan, A. & Sanusi., 2005, Observasi Propertis Aspal Porus Berbagai Gradasi dengan Material Lokal. *Jurnal penelitian Media Teknik Sipil*, 15- 20.
- Shin, C.J., and Sonntag, V. 1994. Using recycled glass as construction aggregate, *Transportation Research Board, National Research Council*, Record No. 1437, Washington, D.C.
- Sugiyono, 2007, *Statistika untuk Penelitian*, Alfabeta, Bandung.
- Sukandarrumidi, 2002, *Metode Penelitian untuk Pemula*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Sukirman, S. (1992). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova. Bandung.
- Sukirman, S. (2007). *Beton Aspal Cmpuran Panas*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- Suprpto, T.M, 2004, *Bahan Dan Struktur Jalan Raya*, Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Takahashi, Shigekhi & Partl, Manfred. 1999. *Improvement of Mix Design for Porous Asphalt*, EMPA Uberlandstrasse 129 CH-8600 Dubendorf, Switzerland.



Wittgenstein, Ludwig., 2003, *The Blue Book, Building Construction*, Chicago, N.W. Indiana.

Yusriawan, Ardi., 2013, Studi Pengaruh Bahan Tambah berbasis hydrocarbon Terhadap Pengujian Cantabro dan ITS, *Tugas Akhir*, Universitas Hasanuddin, Makasar.

Zuliansyah, Alfriady & Muis, A. Zulkarnain. 2011. Pengaruh Penggunaan *Rubberized Asphalt* Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus, *Jurnal Tugas Akhir*, Universitas Sumatra Utara.



### Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

#### PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	11,52	12,24
2	Berat vicnometer + Aquades (gr)	28,29	24,43
3	Berat Aquades (gr) (2 - 1)	16,77	12,19
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	12,37	13,35
5	Berat Aspal (gr) (4 - 1)	0,85	1,11
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquades (gr)	28,36	24,52
7	Berat Aquades (gr) (6 - 4)	15,99	11,17
8	Volume Aspal (gr) (3 - 7)	0,78	1,02
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Volume (5/8)	1,09	1,09
10	Rata - Rata Bj Aspal	1,09	

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 5 Agustus 2016

Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

## Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
<b>1</b>	<b>Pemanasan Benda Uji</b>		
	Mulai pemanasan	24 °c	10.20 WIB
	Selesai Pemanasan	24 °c	10.50 WIB
<b>2</b>	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>		
	Mulai	24 °c	13.40 WIB
	Selesai	24 °c	14.40 WIB
<b>3</b>	<b>Diperiksa</b>		
	Mulai	24 °c	14.45 WIB
	Selesai	24 °c	15.20 WIB

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1(mm)	2(mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	68	69		
2	68	68		
3	67	69		
4	68	69		
5	69	68		
Rata2	68	68,6		

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 8 Agustus 2016  
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

### Lampiran 3 Pemeriksaan Daktilitas Aspal



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

#### PEMERIKSAAN DAKTALITAS ASPAL

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan	Aspal dipanaskan	15 menit	27 <sup>0</sup> c
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	130 <sup>0</sup> c
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25 <sup>0</sup> c	60 menit	130 <sup>0</sup> c
4	Pemeriksaan	Diuji daktalitas pada suhu 25 <sup>0</sup> c, kecepatan 5 cm per menit	20 menit	27 <sup>0</sup> c

#### HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Hasil Pengujian	Keterangan
1	1	166 cm	Tidak putus
2	2	164 cm	Tidak putus
3	Rata - rata	165 cm	

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



I. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 Agustus 2016

Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

### Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

#### PEMERIKSAAN TITIK NYALA & BAKAR ASPHAL

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
<b>1</b>	<b>Pemanasan Benda Uji</b>		
	Mulai pemanasan	27 °c	
	Selesai Pemanasan	130 °c	
<b>2</b>	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>		
	Mulai	130 °c	
	Selesai	27 °c	
<b>3</b>	<b>Diperiksa</b>		
	Mulai	35 °c	
	Selesai		

#### HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	312 °c	316°c
2	Benda Uji 2	°c	°c
3	Rata - rata	312 °c	316°c

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 Agustus 2016  
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

### Lampiran 5 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

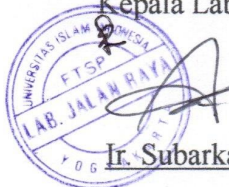
#### PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

No	Urutan Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Persiapan	Mulai Pemanasan	09.00 WIB	24 °c
		Selesai Pemanasan		
2	Penimbangan	Mulai	09.20 WIB	24 °c
3	Pelarutan	Mulai	09.23 WIB	24 °c
4	Penyaringan	Mulai	09.31 WIB	24 °c
		Selesai	09.32 WIB	24 °c
5	Di oven	Mulai	09.45 WIB	100 °c
6	Penimbangan	Mulai	09.55 WIB	24 °c

#### HASIL PENGAMATAN

No	Pemeriksaan	Benda uji	
		1	2
1	Berat erlen meyer kosong	75,23 gr	68,89 gr
2	Berat erlen meyer kosong+aspal	76,65 gr	70,23 gr
3	Berat aspal	1,42 gr	1,34 gr
4	Berat kertas saringan bersih	0,67 gr	0,64 gr
5	Berat kertas saringan bersih+mineral	0,68 gr	0,66 gr
6	Berat mineral	0,01 gr	0,02 gr
7	Persentase mineral	0,29 %	0,72 %
8	Aspal yang larut	99,71 %	99,28 %
9	Rata – rata aspal yang larut	99,5 %	

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 9 Agustus 2016  
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

## Lampiran 6 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

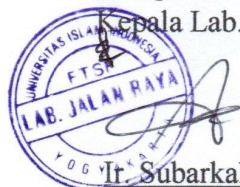
**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL**

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
<b>1</b>	<b>Pemanasan Benda Uji</b>		
	Mulai pemanasan		
	Selesai Pemanasan		
<b>2</b>	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>		
	Mulai		
	Selesai		
<b>3</b>	<b>Diperiksa</b>		
	Mulai	5 °c	14.00
	Selesai	48 °c	14.15

**HASIL PENGAMATAN**

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (detik)		Titik Lembek (°c)	
		Benda uji 1	Benda uji 2	1	2
1	5 °c	05:47	05:47		
2	10 °c	08:19	08:19		
3	15 °c	10:01	10:01		
4	20 °c	11:32	11:32		
5	25 °c	13:12	13:12		
6	30 °c	14:56	14:56		
7	35 °c	16:44	16:44		
8	40 °c	18:28	18:28		
9	45 °c	20:13	20:13		
10	50 °c	21:27	21:20	48,2	48
11	55 °c				
12	60 °c				

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 12 Agustus 2016  
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

## Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR**

**AGREGAT KASAR CLERENG**

No	Pemeriksaan	Sampel		
		1	2	Rata-Rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ)	1013,27	1009,89	1011,58
2	Berat benda uji dalam air (BA)	654,24	651,29	652,77
3	Berat benda uji kering oven (BK)	991,69	968,82	980,26
4	Berat jenis (bulk) = $BK / (BJ - BA)$	2,762	2,704	2,732
5	Berat jenis (SSD) = $BJ / (BJ - BA)$	2,82	2,82	2,82
6	Berat jenis (semu) = $BK / (BK - BA)$	2,94	3,05	2,99
7	Penyerapan air = $((BJ - BK) / BK) \times 100\%$	2,17	3,24	3,71

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



H. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 12 Agustus 2016  
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati



## Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

### PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

#### PROSES BENDA UJI

No	Keterangan	Pembacaan	
		Suhu	Waktu
1	Mulai pemanasan benda uji	26 °c	10.20 WIB
2	Selesai pemanasan benda uji	170 °c	10.50 WIB
3	Mulai didiamkan pada suhu ruang	170 °c	10.51 WIB
4	Selesai didiamkan pada suhu ruang	26 °c	11.20 WIB
5	Mulai direndam Aquades	27 °c	11.21 WIB
6	Selesai direndam Aquades	27 °c	11.21 WIB

#### HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	% Yang Diselimuti Aspal
1	Benda Uji 1	99%
2	Benda Uji 2	99%
3	Rata - Rata	99%

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 12 Agustus 2016

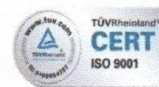
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

## Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat



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

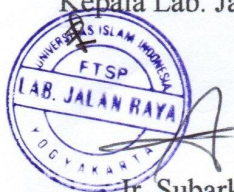


Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (ABRASI TEST)**

No	JENIS GRADASI		F	
	SARINGAN		BENDA UJI (gr)	
	LOLOS	TERTAHAN	1	2
1	72,2 mm (3")	63,5 mm (2,5")		
2	63,5 mm (2,5")	50,8 mm (2")		
3	50,8 mm (2")	37,5 mm (1,5")		
4	37,5 mm (1,5")	25,4 mm (1")		
5	25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")		
6	19,0 mm (3/4")	12,5 mm (0,5")		
7	12,5 mm (0,5")	09,5 mm (3/8")		
8	09,5 mm (3/8")	06,3 mm (1/4")	2500	2500
9	06,3 mm (1/4")	04,75 mm (No.4)	2500	2500
10	04,75 mm (No.4)	02,36 mm (No.8)		
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000	5000
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE (B)		4120,52	3281,53
14	KEAUSAN = $((A - B)/A) \times 100\%$		17,59 %	34,369 %
15	Rata-Rata Keausan		26,04 %	

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 13 Agustus 2016  
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

## Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir Jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS**

**AGREGAT HALUS CLERENG**

No	Pemeriksaan	Sampel		
		1	2	Rata-Rata
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ)	500	500	500
2	Berat Vicnometer + Air (B)	638,17	654,56	646,36
3	Berat Vicnometer + Air + Benda Uji (BT)	967,48	981,39	722,53
4	Berat benda uji kering oven (BK)	489	486,58	487,79
5	Berat jenis (bulk) = $BK/(B+500) - BT$	2,865	2,809	2,837
6	Berat jenis (SSD) = $500/(B+500) - BT$	2,93	2,89	2,91
7	Berat jenis (semu) = $BK/(B+BK) - BT$	3,062	3,046	3,054
8	Penyerapan air = $((500-BK) / BK) \times 100\%$	2,25	2,76	2,51

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



I. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 13 Agustus 2016  
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

## Lampiran 11 pemeriksaan Sand Equivalent



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT**

**SAND EQUIVALENT AGREGAT HALUS CLERENG**

No	Keterangan	Benda Uji		Rata2	
		1	2		
1	Persiapan dan perendaman benda uji dalam larutan $\text{CaCl}_2$ selama $\pm 10$ menit	Mulai	10.10	10.11	
		Selesai	10.20	10.21	
2	Waktu pengendapan benda uji setelah digoncang sebanyak 90x, dan ditambah larutan $\text{CaCl}_2$	Mulai	10.23	10.23	
		Selesai	10.43	10.43	
3	Clay Sanding (Pembacaan lumpur) inchi		4,9	4,8	
4	Sand Reading (Pembacaan pasir)		3,7	3,9	
5	Sand Equivalent = $(5/3) \times 100$		75,51	81,25	78,38%
6	Kadar Lumpur = $100 - \text{Sand Equivalent}$				21,62%

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 13 Agustus 2016  
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

## Lampiran 12 Berat Jenis Kaca



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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS LIMBAH KACA**

**AGREGAT HALUS LIMBAH KACA**

No	Pemeriksaan	Hasil
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ)	600
2	Berat Vicnometer + Air (B)	665,37
3	Berat Vicnometer + Air + Benda Uji (BT)	859,23
4	Berat benda uji kering oven (BK)	595,78
5	Berat jenis (bulk) = $BK/(B+600) - BT$	1,467
6	Berat jenis (SSD) = $600/(B+600) - BT$	1,477
7	Berat jenis (semu) = $BK/(B+BK) - BT$	1,482
8	Penyerapan air = $((600-BK) / BK) \times 100\%$	0,708

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 13 Agustus 2016  
Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

Lampiran 13: Hasil Pengujian Marshall Test



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



Jl. Kalurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST

Tanggal Pengujian 13-Sep-16  
Type Campuran: Porus (AAPA 2004)

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o	p	q Koreski Tebal	r Flow (mm)	MQ (kg/mm)
155°C	4.5 A	4.71	4.50	1170.34	1227.43	663.11	564.32	2.074	2.532	8.562	73.354	18.084	26.65	32.13	18.08	37	735.09	533.36	3.87	137.82
	4.5 B	4.71	4.50	1163.13	1210.48	642.48	568.00	2.048	2.532	8.454	72.430	19.116	27.37	30.66	19.12	38	754.96	562.66	2.03	277.17
	4.5 C	4.71	4.50	1194.57	1244.47	666.10	578.37	2.065	2.532	8.527	73.054	18.419	26.95	31.64	18.42	34	675.49	510.71	3.11	164.22
	5A	5.26	5.00	1182.4	1231.60	658.37	573.23	2.063	2.514	9.462	72.576	17.962	27.42	34.50	17.96	40	794.69	601.85	3.00	193.07
	5B	5.26	5.00	1198.01	1249.68	666.55	583.13	2.056	2.514	9.482	72.346	18.222	27.65	34.11	18.22	41	814.56	610.51	2.54	240.36
	5 C	5.26	5.00	1177.69	1229.01	657.92	571.09	2.062	2.514	9.460	72.538	17.982	27.44	34.47	17.98	42	834.43	606.16	2.92	207.59
	5.5 A	5.82	5.50	1197.21	1228.30	643.05	585.25	2.046	2.497	10.322	71.597	18.081	28.40	36.34	18.08	38	754.96	585.50	3.06	191.34
	5.5 B	5.82	5.50	1195.15	1237.59	667.36	570.23	2.006	2.497	10.576	73.357	16.068	26.64	39.69	16.07	40	794.69	606.25	2.64	229.64
	5.5 C	5.82	5.50	1161.89	1220.86	648.73	572.13	2.031	2.497	10.247	71.079	18.674	28.92	35.43	18.67	39	774.83	603.64	3.83	157.61
	6A	6.38	6.00	1150.58	1207.17	649.52	557.65	2.063	2.480	11.357	71.832	16.810	28.17	37.16	17.61	30	596.02	457.02	3.18	192.86
	6B	6.38	6.00	1193.21	1240.78	660.87	579.91	2.038	2.480	11.326	71.634	17.040	28.37	39.93	17.04	38	754.96	606.25	3.16	182.71
	6C	6.38	6.00	1181.97	1239.93	659.67	580.26	2.037	2.480	11.213	70.917	17.871	29.08	38.55	17.87	32	635.76	486.95	3.75	129.83
								2.053					28.54	39.60	17.24			507.11	3.25	157.64

t = Tebal Benda Uji  
a = % Aspal Terhadap Batuan  
b = % Aspal Terhadap Campuran  
c = Berat Kering Sebelum Drendam  
d = Berat Basah Jenuh (SSD)  
e = Berat didalam Air  
f = Volume (isi), (d-e)  
g = Berat Ist (density), (c/f)

h = B.J Maksimum, (100 - (% Agr/B.J Agr + % Asp/B.J Asp))  
i = (b x g) : B.J Asp  
j = (100 - b) x g : B.J Agregat  
k = Jumlah Kandungan Rongga, (100-i-j)  
l = Rongga Terhadap Agregat (VMA), (100 - i)  
m = Rongga Terisi Aspal (VFWA), (100 x (f/i))  
n = Rongga Dalam Campuran (VITM), (100 - (100 x (g/h)))  
o = Pembacaan Arloji Stabilisasi

p = o x Kalibrasi Proving Ring  
q = p x Koreski Tebal Benda Uji (stabilitas)  
r = Flow (Kelelahan Plastis)  
MQ = Marshall Quotient  
Suhu Pencampuran =  
Suhu Pematangan =  
Suhu Waterbath =

B.J Agregat = 2.7  
Kalibrasi Proving Rin = 19,8673 kg  
Mengetahui,  
K.A. Lab Jalan Raya UII  
Peneliti,  
Fitri Sari Wijayati



Lampiran 14 Hasil Pengujian *Cantabro* untuk Kadar Aspal Optimum

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



Kampus Terpadu UII Gedung Moh. Natsir jl. Kaliurang KM 14,4 Tlp 0274 898472, Email lab\_jalanraya@yahoo.com

### HASIL PENGUJIAN *CANTABRO* UNTUK KAO

Persen Aspal		Berat		Berat Sebelum diAbrasi	Kehilangan Berat	
		(g)		(g)	(%)	
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	rata-rata
4,5%	1	1165,21	752,81	412,40	35,39	35,35
	2	1178,39	761,93	416,46	35,34	
	3	1189,61	769,64	419,97	35,30	
5%	1	1130,1	739,66	390,44	34,55	33,87
	2	1169,53	767,48	402,05	34,38	
	3	1182,28	795,71	386,57	32,70	
5,5%	1	1158,59	801,77	356,82	30,80	29,97
	2	1176,92	827,63	349,29	29,68	
	3	1192,64	841,64	351,00	29,43	
6%	1	1135,69	799,81	335,88	29,57	25,56
	2	1187,56	973,92	213,64	17,99	
	3	1149,63	814,77	334,86	29,13	

Yogyakarta, 14 September 2016

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti,

Fitri Sari Wijayati

PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN (AFD) UNTUK MENCARI KAO

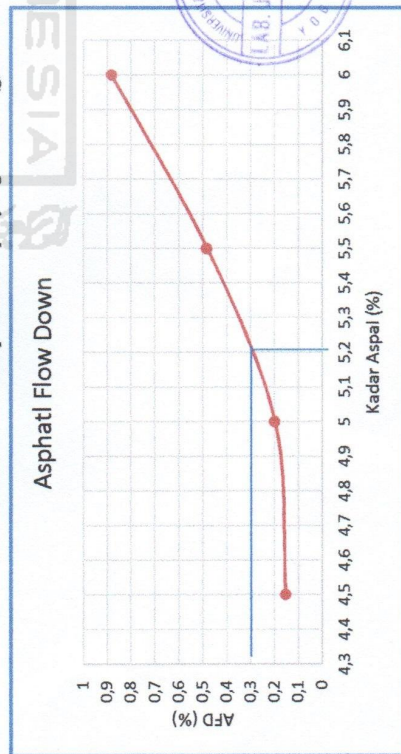
Persen Aspal	Weight (g)			Oven		Berat Aspal meleleh (m3-m1) (g)	Berat Tortal Sampel (m2-m1) (g)	Nilai AFD (%)	AFD Rata2 (%)
	m1	m2	m3	mulai	selesai				
4,5%	1	308	1472,00	309,98	12,10	13,10	1164	0,17	0,15
	2	303	1459,00	305,17	12,15	13,15	1156	0,19	
	3	301	1483,00	302,19	12,20	13,20	1182	0,10	
5%	1	305	1474,00	309,00	14,00	15,00	1169	0,34	0,20
	2	306	1495,00	307,00	14,05	15,05	1189	0,08	
	3	303	1481,00	305,00	14,10	15,10	1178	0,17	
5,5%	1	303	1477,00	307,00	10,30	11,30	1174	0,34	0,48
	2	311	1480,00	317,00	10,35	11,35	1169	0,51	
	3	301	1474,00	308,00	10,40	11,40	1173	0,60	
6%	1	314	1486,00	319,00	9,45	10,45	1172	0,43	0,88
	2	302	1477,00	317,00	9,50	10,50	1175	1,28	
	3	305	1471,00	316,00	9,55	10,55	1166	0,94	

keterangan

m1 = berat cetakan berupa nampun + aluminium foil (g)

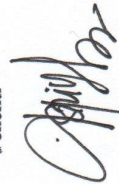
m2 = berat cetakan beserta campuran beraspal (g)

m3 = berat cetakan beserta campuran beraspal yang melekat (g)



Yogyakarta, 15 Sep 2016

Peneliti



Fitri Sari Wijayati

Mengetahui  
Ka. Lab Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, MT.



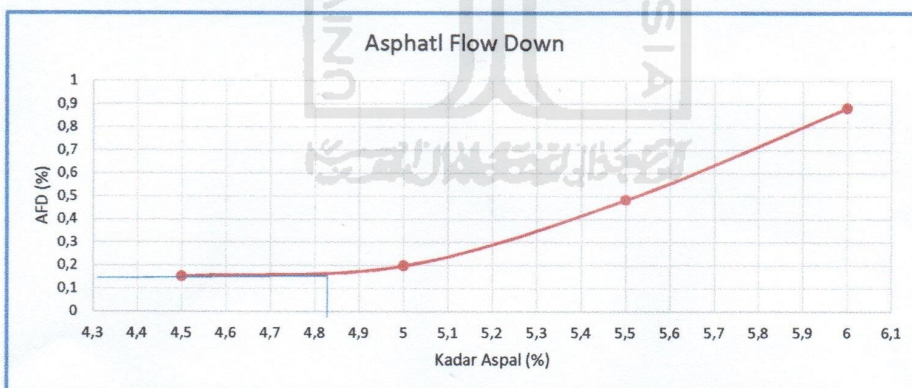
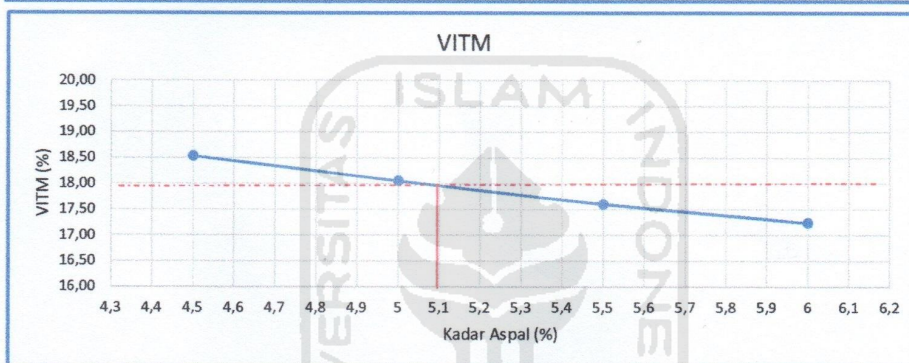
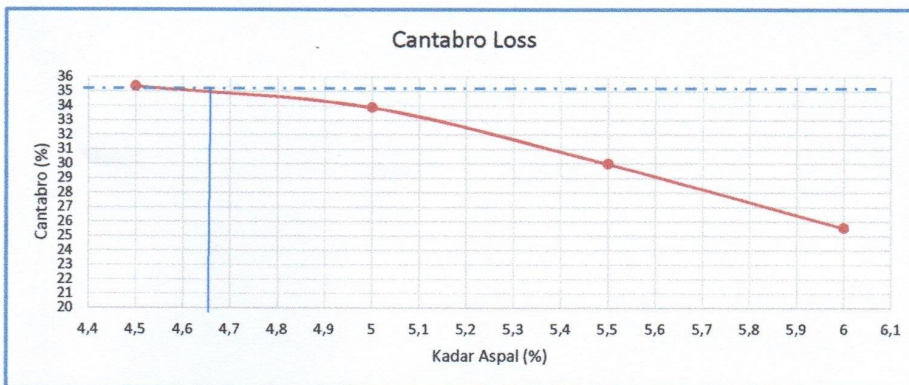
Lampiran 16 Penentuan Kadar Aspal Optimum



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



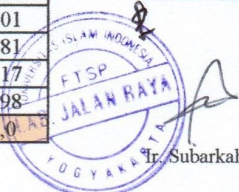
Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta



Perhitungan Kadar Aspal Optimum

No	Nama	Nilai
1	Cantabro Loss	4,60
2	VITM	5,01
3	Rata-Rata Cantabro dan VITM	4,81
4	AFD	0,17
5	Aspal Optimum	4,98
		5,01

Mengetahui  
 Ka.Lab Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, MT.

Yogyakarta, 14 Sep 2016

Peneliti

Fitri Sari Wijayati

Lampiran 17: Hasil Pengujian Marshall Test pada KAO



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



Jl. Kallurang KM 14.4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moch. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN MARSHALL TEST

Tanggal Pengujian: 06-Okt-16  
Tipe Campuran: Porus (AAPA 2004)

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l (VMA %)	m (VFVA %)	n (VITM %)	o	p	q (Koreksi Tebal)	r (Flow (mm))	MQ (kg/mm)	
A	78,97	5,26	5,00	1190,18	1232,68	654,19	578,49	2,057	2,556	9,438	71,064	19,499	28,94	32,62	19,50	31	660,81	0,7946	525,08	2,54	206,72
B	79,17	5,26	5,00	1172,12	1217,07	646,12	570,95	2,053	2,556	9,417	70,917	19,673	29,09	32,37	19,67	35	746,07	0,7971	594,69	2,46	241,75
C	74,24	5,26	5,00	1140,44	1170,40	609,45	560,95	2,033	2,556	9,326	70,223	20,451	29,78	31,32	20,45	28	596,86	0,7355	438,99	2,61	168,19
								<b>2,048</b>					<b>29,01</b>	<b>32,10</b>	<b>19,87</b>				<b>519,59</b>	<b>2,54</b>	<b>205,55</b>
A	78,87	5,26	5,00	1189,45	1233,57	648,65	584,92	2,034	2,556	9,328	70,240	20,482	29,76	31,34	20,43	44	937,92	0,7934	744,14	2,87	259,28
B	76,93	5,26	5,00	1175,21	1220,29	634,03	586,26	2,005	2,556	9,195	69,240	21,565	30,76	29,89	21,56	34	724,75	0,7690	557,34	2,54	219,42
C	78,22	5,26	5,00	1168,76	1216,02	642,63	573,39	2,038	2,556	9,350	70,406	20,244	29,59	31,59	20,24	32	682,12	0,7853	535,67	2,92	183,45
								<b>2,019</b>					<b>30,26</b>	<b>30,62</b>	<b>20,75</b>				<b>612,38</b>	<b>2,78</b>	<b>239,35</b>
A	80,16	5,26	5,00	1180,97	1227,42	640,84	586,58	2,013	2,556	9,235	69,541	21,223	30,46	30,32	21,22	36	767,39	0,8095	621,20	2,83	219,51
B	77,72	5,26	5,00	1176,99	1225,30	639,31	585,99	2,009	2,556	9,214	69,377	21,410	30,62	30,09	21,41	45	959,23	0,7790	747,24	2,39	312,65
C	78,83	5,26	5,00	1168,76	1221,63	635,85	585,78	1,995	2,556	9,152	68,916	21,931	31,08	29,44	21,93	35	746,07	0,7928	591,48	2,79	212,00
								<b>2,011</b>					<b>30,54</b>	<b>30,20</b>	<b>21,32</b>				<b>653,31</b>	<b>2,67</b>	<b>248,05</b>
A	75,78	5,26	5,00	1179,04	1224,93	644,60	580,33	2,032	2,556	9,320	70,175	20,505	29,82	31,25	20,50	28	596,86	0,7548	450,51	2,82	159,75
B	77,06	5,26	5,00	1159,05	1204,81	635,23	569,58	2,035	2,556	9,334	70,388	20,378	29,71	31,42	20,38	40	852,65	0,7708	657,22	2,52	260,80
C	77,18	5,26	5,00	1171,44	1217,93	644,33	573,60	2,042	2,556	9,368	70,541	20,091	29,46	31,80	20,09	37	788,70	0,7478	589,79	2,18	270,55
								<b>2,033</b>					<b>29,77</b>	<b>31,33</b>	<b>20,44</b>				<b>665,84</b>	<b>2,51</b>	<b>230,37</b>
A	75,48	5,26	5,00	1152,37	1198,44	634,01	564,43	2,042	2,556	9,365	70,520	20,114	29,48	31,77	20,11	30	639,49	0,7878	503,79	2,68	187,98
B	78,42	5,26	5,00	1139,74	1185,67	630,06	555,61	2,051	2,556	9,410	70,854	19,736	29,15	32,29	19,74	22	468,96	0,7755	362,74	2,06	176,09
C	77,28	5,26	5,00	1176,90	1211,07	645,52	565,55	2,081	2,556	9,546	71,879	18,575	28,12	33,95	18,58	26	554,22	0,7755	428,69	2,32	184,78
								<b>2,058</b>					<b>28,92</b>	<b>32,67</b>	<b>19,48</b>				<b>431,74</b>	<b>2,35</b>	<b>182,95</b>

t = Tebal Benda Uji  
a = % Aspal Terhadap Batu  
b = % Aspal Terhadap Campuran  
c = Berat Kering Sebelum direndam  
d = Berat Basah Jenuh (SSD)  
e = Berat didalam Air  
f = Volume (isi), (d-e)  
g = Berat Isi (density), (c/f)

h = B.J Maksimum, (100 : (% Agr/B.J Agr + % Asp/B.J Asp))  
i = (b x g) : B.J Asp  
j = (100 - b) x g : B.J Agregat  
k = Jumlah Kandungan Rongga, (100-i-j)  
l = Rongga Terhadap Agregat (VMA), (100 - i)  
m = Rongga Terisi Aspal (VFVA), (100 x (f/i))  
n = Rongga Dalam Campuran (VITM), (100 - (100 x (g/h)))  
o = Pembacaan Arloji Stabilitas

p = o x Kalibrasi Proving Ring  
q = p x Koreksi Tebal Benda Uji (stabilitas)  
r = Flow (Kalahkan Plastik)  
MQ = Marshall Quotient  
Suhu Pencampuran = ± 150°C  
Suhu Pemadatan = 160°C  
Suhu Waterbath = ± 60°C

B.J Agregat = 2,7504  
Kalibrasi Proving Rim = 21,3163 kg  
Mengetahui,  
Ka.Lab Jalan Raya UII  
Peneliti,  
Fibri Sari Wijayati



Lampiran 18: Hasil Pengujian Immersion Test



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



Jl. Kallurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL PENGUJIAN IMMERSION TEST

Tanggal Pengujian: 07-Okt-16  
Tipe Campuran: Porus (AAPA 2004)

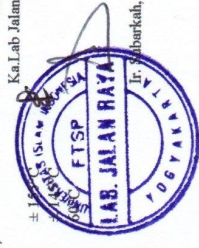
Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFVA (%)	n VITM (%)	o	p	q Koreksi Tebal	r Stab. (kg) Flow (mm)	MQ (kg/mm)
A	82,86	5,26	5,00	1196,93	1237,67	676,12	561,55	2,131	2,556	9,777	73,623	16,600	26,38	37,07	16,60	14	298,43	0,8433	251,66	78,64
B	80,17	5,26	5,00	1162,38	1200,68	658,70	541,98	2,145	2,556	9,838	74,079	16,083	25,92	37,95	16,08	21	447,64	0,8096	362,40	115,78
C	79,01	5,26	5,00	1158,08	1198,22	608,36	589,86	1,963	2,556	9,006	67,814	23,180	32,19	34,33	23,18	0	0,00	0,7951	0,00	0,00
A	77,06	5,26	5,00	1193,35	1231,87	655,21	576,66	2,069	2,556	9,493	71,479	19,028	26,15	33,38	18,62	34	724,75	0,7708	558,60	97,21
B	77,92	5,26	5,00	1175,02	1215,23	642,16	573,07	2,050	2,556	9,405	70,822	19,772	29,18	32,24	19,77	30	639,49	0,7815	499,76	172,41
C	77,07	5,26	5,00	1159,83	1197,46	634,26	563,20	2,059	2,556	9,447	71,132	19,422	28,87	32,72	19,42	41	873,97	0,7709	673,76	278,41
A	77,61	5,26	5,00	1136,37	1176,00	616,34	559,66	2,030	2,556	9,314	70,134	20,552	29,87	31,19	20,55	31	660,81	0,7776	513,83	213,86
B	78,52	5,26	5,00	1183,06	1215,23	646,61	568,62	2,081	2,556	9,544	71,865	18,591	28,14	33,92	18,59	34	724,75	0,7890	571,83	113,93
C	78,76	5,26	5,00	1184,57	1223,79	641,21	582,58	2,033	2,556	9,327	70,232	20,441	29,77	31,33	20,44	29	618,17	0,7280	450,06	210,31
A	79,57	5,26	5,00	1172,82	1214,58	648,98	565,60	2,074	2,556	9,512	71,623	18,865	29,26	32,15	19,86	19	405,01	0,7178	290,73	158,24
B	79,04	5,26	5,00	1176,05	1217,73	641,15	576,58	2,040	2,556	9,336	70,453	20,191	28,38	33,52	18,86	19	405,01	0,7178	290,73	93,18
C	79,17	5,26	5,00	1170,40	1212,71	638,10	574,61	2,037	2,556	9,343	70,555	20,302	29,65	31,52	20,30	21	447,64	0,7971	356,83	104,54
A	77,68	5,26	5,00	1184,64	1224,55	646,95	577,60	2,051	2,556	9,408	70,842	19,750	29,19	32,23	19,79	5	106,58	0,7785	328,90	89,74
B	77,83	5,26	5,00	1180,59	1223,26	650,59	572,67	2,062	2,556	9,457	71,208	19,336	29,16	32,27	19,75	0	0,00	0,7804	82,97	19,71
C	77,66	5,26	5,00	1181,94	1222,40	645,24	577,16	2,048	2,556	9,394	70,744	19,872	29,27	32,10	19,87	0	0,00	0,7783	0,00	0,00
								2,053		29,07	32,40	19,65	29,07	32,40	19,65				82,97	19,71

t = Tebal Benda Uji  
 a = % Aspal Terhadap Beton  
 b = % Aspal Terhadap Campuran  
 c = Berat Kering Sebelum ditrendam  
 d = Berat Basah Jenuh (SSD)  
 e = Berat didalam Air  
 f = Volume (isi), (d-e)  
 g = Berat isi (density), (c/f)

h = B.J Maksimum, (100 : (% Agr/B.J Agr + % Asp/B.J Asp))  
 i = (b x g) : B.J Asp  
 j = (100 - b) x g : B.J Agregat  
 k = Jumlah Kandungan Rongga, (100-i-j)  
 l = Rongga Terhadap Agregat (VMA), (100 - j)  
 m = Rongga Terisi Aspal (VFVA), (100 x (f/i))  
 n = Rongga Dalam Campuran (VITM), (100 - (100 x (g/h)))  
 o = Pembacaan Arloji Stabilitas

p = o x Kalibrasi Proving Ring  
 q = p x Koreksi Tebal Benda Uji (stabilitas)  
 r = Flow (Kelelahan Plastis)  
 MQ = Marshall Quatitent  
 Suhu Pencampuran =  
 Suhu Pemadatan =  
 Suhu Waterbath =

B.J Agregat = 2,7504  
 Kalibrasi Proving Ring = 21,3163 kg  
 Mengetahui,  
 K.a.Lab.Jalan Raya UII  
 Peneliti,  
 Fitri Sari Wijayati



Lampiran 19 Hasil Index of Retained Strength



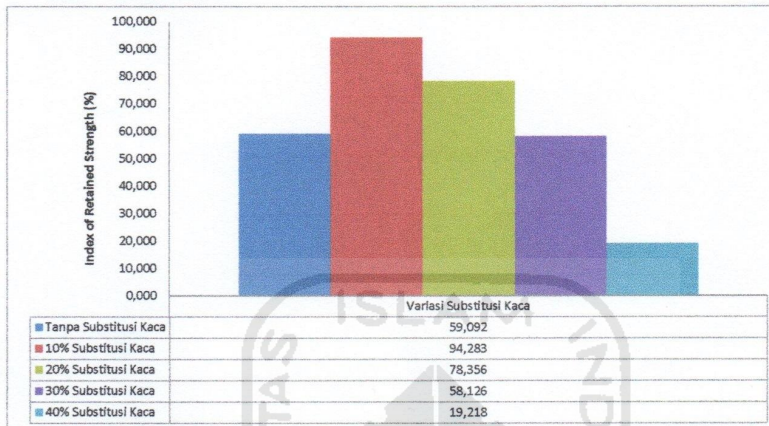
LABORATORIUM JALAN RAYA  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL INDEX OF RETAINED STRENGTH

Kadar Substitusi	Lama Perehndaman		Index of Retained Strength (%)	Keterangan
	0.5 Jam	24 Jam		
0	520	307	59,092	Tidak Memenuhi
10	612	577	94,283	Memenuhi
20	653	512	78,356	Memenuhi
30	566	329	58,126	Tidak Memenuhi
40	432	83	19,218	Tidak Memenuhi



Mengetahui  
 Ka. Lab Jalan Raya UII  
 Ir. Subarkah, MT.

Yogyakarta, 7 Okt 2016

Pengeliti  
  
 Fitri Safi Wijayati

Lampiran 20 Angka Koreksi Tebal Sampel



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



Jl. Kallurang KM 14,4 Kampus Terpadu UIL, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

## ANGKA KOREKSI TEBAL SAMPEL

Diameter (inci)	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4
3,5	0,177	0,0766	-0,2847	0,268	-0,9966	0,05056	-0,1545	-0,9765	-0,0204	-0,1545	0,05056
3,6	0,172	0,0745	-0,2769	0,2683	-0,9968	0,04786	-0,1461	-0,9560	-0,0193	-0,1481	0,04786
3,7	0,168	0,0726	-0,2694	0,2685	-0,9970	0,04537	-0,1384	-0,9422	-0,0183	-0,1384	0,04537
3,8	0,164	0,707	-0,2624	0,2688	-0,9971	0,04307	-0,1312	-0,9260	-0,0173	-0,1312	0,04307
3,9	0,16	0,69	-0,2557	0,269	-0,9973	0,04049	-0,1246	-0,9104	-0,0165	-0,1247	0,04094
4	0,156	0,0673	-0,2494	0,2692	-0,9974	0,03896	-0,1185	-0,8954	-0,0156	-0,1185	0,03896
4,1	0,152	0,0657	-0,2433	0,2694	-0,9975	0,03712	-0,1129	-0,8810	-0,0149	-0,1129	0,03712
4,2	0,49	0,0642	-0,2375	0,2696	-0,9976	0,03541	-0,1076	-0,8671	-0,0142	-0,1076	0,03541
4,3	0,45	0,0627	-0,2320	0,2998	-0,9977	0,03381	-0,1027	-0,8537	-0,0136	-0,1027	0,03381
4,4	0,142	0,613	-0,2268	0,2699	-0,9978	0,03232	-0,0981	-0,8409	-0,0130	-0,0981	0,03232
4,5	0,139	0,06	-0,2218	0,2701	-0,9979	0,03092	-0,0938	-0,8282	-0,0124	-0,0938	0,03092
4,6	0,136	0,0587	-0,2170	0,2702	-0,9980	0,02961	-0,0898	-0,8161	-0,0118	-0,0898	0,02961
4,7	0,133	0,575	-0,2124	0,2703	-0,9981	0,02838	-0,0860	-0,8043	-0,0114	-0,0860	0,02839
4,8	0,131	0,0563	-0,2080	0,2704	-0,9982	0,02723	-0,0825	-0,7930	-0,0109	-0,0825	0,02723
4,9	0,128	0,0552	-0,2037	0,2706	-0,9983	0,02618	-0,0792	-0,7820	-0,0105	-0,0792	0,02615
5	0,126	0,0541	-0,1997	0,2707	-0,9983	0,02512	-0,0760	-0,7714	-0,0100	-0,0761	0,02513
5,1	0,123	0,0531	-0,1958	0,2708	-0,9984	0,02418	-0,0731	-0,7610	-0,0097	-0,0731	0,02416
5,2	0,121	0,0521	-0,1920	0,2709	-0,9985	0,02325	-0,0703	-0,7510	-0,0093	-0,0703	0,02325
5,3	0,119	0,0511	-0,1884	0,2709	-0,9985	0,02239	-0,0677	-0,7413	-0,0090	-0,0677	0,02240
5,4	0,116	0,0502	-0,1849	0,271	-0,9986	0,02158	-0,0652	-0,7319	-0,0086	-0,0652	0,02156
5,5	0,114	0,0493	-0,1816	0,2711	-0,9986	0,02081	-0,0629	-0,7227	-0,0083	-0,0629	0,02061
5,6	0,112	0,0484	-0,1783	0,2712	-0,9987	0,02008	-0,0607	-0,7138	-0,0080	-0,0607	0,02008
5,7	0,11	0,0476	-0,1752	0,2713	-0,9987	0,01539	-0,0586	-0,7051	-0,0078	-0,0586	0,01939
5,8	0,109	0,0468	-0,1722	0,2713	-0,9988	0,02874	-0,0566	-0,6967	-0,0075	-0,0566	0,01874
5,9	0,107	0,046	-0,1693	0,2714	-0,9988	0,02811	-0,0547	-0,6884	-0,0072	-0,0547	0,01811
6	0,105	0,0452	-0,1665	0,2714	-0,9988	0,01752	-0,0529	-0,6804	-0,0070	-0,0529	0,01752
6,1	0,103	0,0445	-0,1638	0,2715	-0,9989	0,01695	-0,0512	-0,6727	-0,0068	-0,0512	0,01696
6,2	0,102	0,0438	-0,1611	0,2716	-0,9989	0,01642	-0,0495	-0,6651	-0,0066	-0,0495	0,01642
6,3	0,1	0,0431	-0,1586	0,2716	-0,9989	0,01590	-0,0480	-0,6577	-0,0064	-0,0480	0,01591
6,4	0,099	0,0424	-0,1561	0,2717	-0,9990	0,01542	-0,0465	-0,6504	-0,0062	-0,0465	0,01542
6,5	0,097	0,0418	-0,1537	0,2717	-0,9990	0,01495	-0,0451	-0,6434	-0,0060	-0,0451	0,01495



Lampiran 22 Hasil Pengujian Permeabilitas



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

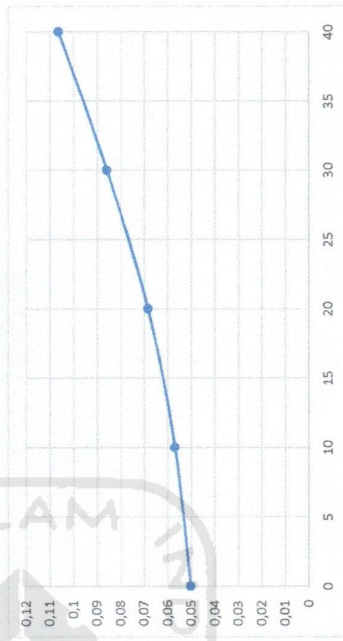


Jl. Kalitirang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Nasir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

Hasil Pengujian Permeabilitas Tes

Sampel	a	L	A	t	h1	h2	k	Keterangan
	cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>2</sup>	s	cm	cm	cm/s	
0-A	31,1329	8,01	314,16	9,09	15	7	0,0664	Drainasi Sedang
0-B	31,1329	8,03	314,16	64,16	22	1	0,0383	Drainasi Sedang
0-C	31,1329	7,88	314,16	13,04	13	6	0,0462	Drainasi Sedang
10-A	31,1329	7,03	314,16	8,17	23	9,5	0,0503	Drainasi Sedang
10-B	31,1329	7,98	314,16	4,53	22	16,5	0,0502	Drainasi Sedang
10-C	31,1329	7,45	314,16	7,03	24	15,5	0,0459	Drainasi Sedang
20-A	31,1329	7,73	314,16	6,06	24	14	0,0680	Drainasi Sedang
20-B	31,1329	7,80	314,16	10,21	23	10	0,0630	Drainasi Sedang
20-C	31,1329	7,75	314,16	5,56	24	14	0,0744	Drainasi Sedang
30-A	31,1329	7,65	314,16	4,35	26	17	0,0739	Drainasi Sedang
30-B	31,1329	7,69	314,16	4,24	23	13	0,1024	Drainasi Baik
30-C	31,1329	8,05	314,16	4,17	23	15	0,0817	Drainasi Sedang
40-A	31,1329	7,79	314,16	4,63	19	10	0,1069	Drainasi Baik
40-B	31,1329	7,46	314,16	8,04	20	9,5	0,0683	Drainasi Sedang
40-C	31,1329	7,65	314,16	4,3	17	7,5	0,1441	Drainasi Baik
							0,1065	Drainasi Baik

K (cm/detik)	Permeabilitas
$1 \times 10^{-8}$	Kedap
$1 \times 10^{-6}$	Hampir Kedap
$1 \times 10^{-4}$	Drainasi Jelek
$1 \times 10^{-2}$	Drainasi Sedang
$1 \times 10^{-1}$	Drainasi Baik



Keterangan

- a = Luas potongan melintang tabung (cm<sup>2</sup>)
- L = Tebal spesimen (cm)
- A = Luas potongan spesimen (cm<sup>2</sup>)
- t = Waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari h1 ke h2 (s)
- h1 = Tinggi batas air paling atas pada tabung (cm)
- h2 = Tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm)
- k = Koefisien permeabilitas air (cm/s)

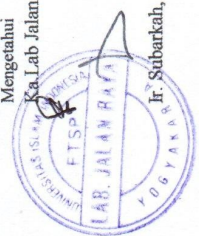
Yogyakarta, 11 Okt 2016

Mengetahui

Ka. Lab Jalan Raya UII

Peneliti

Fitri Sant Wijayati



Lampiran 22 Hasil Pengujian Permeabilitas



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

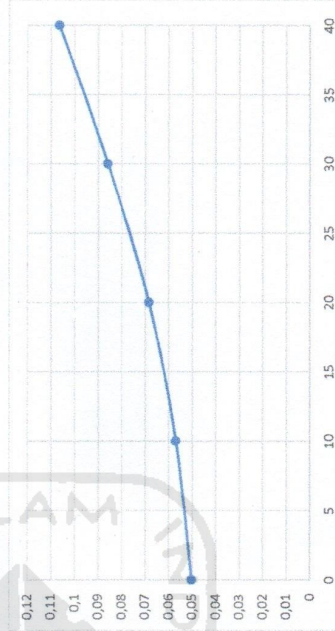


Jl. Kalitirg KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Nasir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

Hasil Pengujian Permeabilitas Tes

Sampel	a	L	A	t	h1	h2	k	Keterangan
	cm <sup>2</sup>	cm	cm <sup>2</sup>	s	cm	cm	cm/s	
0-A	31,1329	8,01	314,16	9,09	15	7	0,0664	Drainasi Sedang
0-B	31,1329	8,03	314,16	64,16	22	1	0,0383	Drainasi Sedang
0-C	31,1329	7,88	314,16	13,04	13	6	0,0462	Drainasi Sedang
10-A	31,1329	7,03	314,16	8,17	23	9,5	0,0503	Drainasi Sedang
10-B	31,1329	7,98	314,16	4,53	22	16,5	0,0502	Drainasi Sedang
10-C	31,1329	7,45	314,16	7,03	24	15,5	0,0459	Drainasi Sedang
20-A	31,1329	7,73	314,16	6,06	24	14	0,0571	Drainasi Sedang
20-B	31,1329	7,80	314,16	10,21	23	10	0,0630	Drainasi Sedang
20-C	31,1329	7,75	314,16	5,56	24	14	0,0744	Drainasi Sedang
30-A	31,1329	7,65	314,16	4,35	26	17	0,0739	Drainasi Sedang
30-B	31,1329	7,69	314,16	4,24	23	13	0,1024	Drainasi Baik
30-C	31,1329	8,05	314,16	4,17	23	15	0,0817	Drainasi Sedang
40-A	31,1329	7,79	314,16	4,63	19	10	0,1069	Drainasi Baik
40-B	31,1329	7,46	314,16	8,04	20	9,5	0,0683	Drainasi Sedang
40-C	31,1329	7,65	314,16	4,3	17	7,5	0,1441	Drainasi Baik
							0,1065	Drainasi Baik

K	Permeabilitas
$1 \times 10^{-8}$	Kedap
$1 \times 10^{-6}$	Hampir Kedap
$1 \times 10^{-4}$	Drainasi Jelek
$1 \times 10^{-2}$	Drainasi Sedang
$1 \times 10^{-1}$	Drainasi Baik



Keterangan

a = Luas potongan melintang tabung (cm<sup>2</sup>)

L = Tebal spesimen (cm)

A = Luas potongan spesimen (cm<sup>2</sup>)

t = Waktu yang dibutuhkan untuk mengalirkan air dari h1 ke h2 (s)

h1 = Tinggi batas air paling atas pada tabung (cm)

h2 = Tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm)

k = Koefisien permeabilitas air (cm/s)

Yogyakarta, 11 Okt 2016

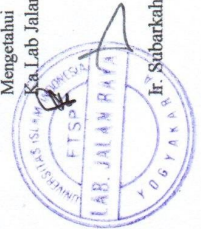
Mengetahui

Dr. Lab Jalan Raya UII

Peneliti

*Fitri Sari Wijayati*

Fitri Sari Wijayati



PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN (AFD)

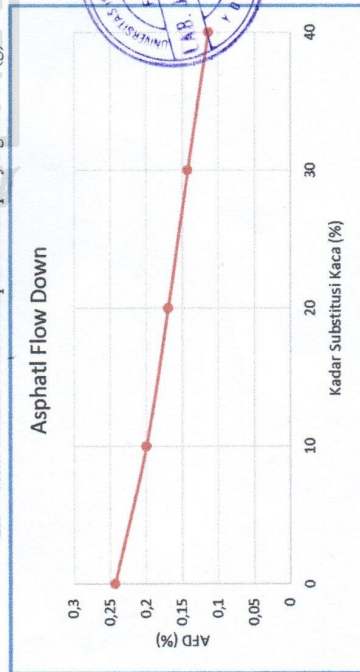
Persen Aspal	Weight (g)			Oven		Berat Aspal meleleh (m3-m1) (g)	Berat Tortial Sampel (m2-m1) (g)	Nilai AFD (%)	AFD Rata2 (%)
	m1	m2	m3	mulai	selesai				
0,0%	1	306	1463,00	309,98	9,15	10,15	3,98	1157	0,34
	2	312	1472,00	315,34	9,20	10,20	3,34	1160	0,29
	3	304	1491,00	305,17	9,25	10,25	1,17	1187	0,10
10%	1	302	1477,00	304,00	10,50	11,50	2,00	1175	0,17
	2	307	1458,00	309,00	10,55	11,55	2,00	1151	0,17
	3	305	1476,00	308,00	11,00	12,00	3,00	1171	0,26
20%	1	302	1463,00	303,00	13,45	14,45	1,00	1161	0,09
	2	314	1496,00	317,00	13,50	14,50	3,00	1182	0,25
	3	307	1482,00	309,00	13,55	14,55	2,00	1175	0,17
30%	1	311	1474,00	314,00	8,45	9,45	3,00	1163	0,26
	2	305	1483,00	306,00	8,50	9,50	1,00	1178	0,08
	3	308	1478,00	309,00	9,00	10,00	1,00	1170	0,09
40%	1	306	1462,00	307,00	9,20	10,20	1,00	1156	0,09
	2	314	1491,00	316,00	9,25	10,25	2,00	1177	0,17
	3	304	1485,00	305,00	9,30	10,30	1,00	1181	0,08

keterangan

m1 = berat cetakan berupa nampian + aluminium foil (g)

m2 = berat cetakan beserta campuran beraspal (g)

m3 = berat cetakan beserta campuran beraspal yang melekat (g)



Mengetahui  
Kepala Lab Jalan Raya UII



Ir. Subarkah, MT.

Yogyakarta, 12 Okt 2016

Peneliti  
*[Signature]*

Fitri Sari Wijayati



Lampiran 24 Hasil Pengujian Cantabro



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

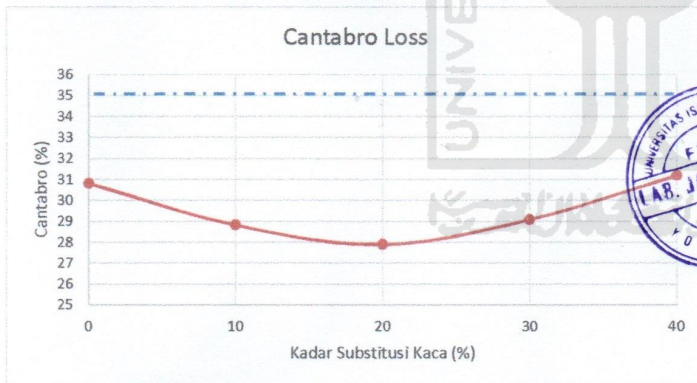


Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

Cantabro Loss pada KAO

Persen Aspal		Berat (g)		Berat Sebelum diAbrasi (g)	Kehilangan Berat (%)	
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	rata-rata
		0,0%	1	1150,61	751,72	398,89
2	1167,48	769,73	397,75	34,07		
3	1178,26	898,99	279,27	23,70		
10%	1	1185,26	852,69	332,57	28,06	28,81718
	2	1176,07	826,85	349,22	29,69	
	3	1139,59	812,54	327,05	28,70	
20%	1	1149,4	835,76	313,64	27,29	27,89293
	2	1169,55	919,97	249,58	21,34	
	3	1184,55	846,97	337,58	28,50	
30%	1	1184,23	848,32	335,91	28,37	29,0881
	2	1164,32	831,19	333,13	28,61	
	3	1183,03	824,72	358,31	30,29	
40%	1	1191,32	898,7	292,62	24,56	31,18734
	2	1189,94	819,47	370,47	31,13	
	3	1172,27	728,38	443,89	37,87	

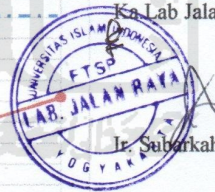
Mo = Berat sebelum diabrasi (gr)  
 Mi = Berat Setelah diabrasi (gr)  
 L = Presentase kehilangan berat (%)



Yogyakarta, 13 Okt 2016

Mengetahui  
 Ka Lab Jalan Raya UII

Peneliti



*[Signature]*  
 Fitri Sari Wijayati

Ir. Subarkah, MT.

## Lampiran 25 Hasil Analisis Stabilitas dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Stabilitas
N		15
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	556.5713
	Std. Deviation	1.1110E2
Most Extreme Differences	Absolute	.099
	Positive	.099
	Negative	-.088
Kolmogorov-Smirnov Z		.384
Asymp. Sig. (2-tailed)		.998

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

Stabilitas

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	5.1959E2	77.99522	45.03056	325.8358	713.3375	438.99	594.69
10%	3	6.1238E2	114.61789	66.17467	327.6567	897.1100	535.67	744.14
20%	3	6.5331E2	82.69476	47.74384	447.8815	858.7318	591.48	747.24
30%	3	5.6584E2	105.41564	60.86175	303.9730	827.7070	450.51	657.22
40%	3	4.3174E2	70.57445	40.74618	256.4234	607.0566	362.74	503.79
Total	15	5.5657E2	111.10880	28.68817	495.0413	618.1013	362.74	747.24

## Test of Homogeneity of Variances

Stabilitas

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
.504	4	10	.734

## ANOVA

Stabilitas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	88528.019	4	22132.005	2.625	.098
Within Groups	84304.300	10	8430.430		
Total	172832.319	14			

Lampiran 26 Hasil Analisis *Flow* dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Flow
N		14
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	2.5864
	Std. Deviation	.25749
Most Extreme Differences	Absolute	.143
	Positive	.098
	Negative	-.143
Kolmogorov-Smirnov Z		.533
Asymp. Sig. (2-tailed)		.939

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

Flow

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	2.5367	.07506	.04333	2.3502	2.7231	2.46	2.61
10%	3	2.7767	.20648	.11921	2.2637	3.2896	2.54	2.92
20%	3	2.6700	.24331	.14048	2.0656	3.2744	2.39	2.83
30%	3	2.5067	.32021	.18487	1.7112	3.3021	2.18	2.82
40%	3	2.3533	.31134	.17975	1.5799	3.1267	2.06	2.68
Total	15	2.5687	.25748	.06648	2.4261	2.7113	2.06	2.92

## Test of Homogeneity of Variances

Flow

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.005	4	10	.449

## ANOVA

Flow

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.314	4	.079	1.280	.341
Within Groups	.614	10	.061		
Total	.928	14			

## Lampiran 27 Hasil Analisis MQ dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		MQ
N		14
Normal Parameters a	Mean	2.1987E2
	Std. Deviation	4.4431E1
Most Extreme Differences	Absolute	.146
	Positive	.146
	Negative	-.098
Kolmogorov-Smirnov Z		.547
Asymp. Sig. (2-tailed)		.926

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

MQ

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	2.0555E2	36.79387	21.24295	114.1523	296.9544	168.19	241.75
10%	3	2.2072E2	37.93163	21.89983	126.4893	314.9440	183.45	259.28
20%	3	2.4805E2	56.06824	32.37101	108.7721	387.3346	212.00	312.65
30%	3	2.3037E2	61.34982	35.42034	77.9653	382.7681	159.75	270.55
40%	3	1.8295E2	6.15262	3.55222	167.6661	198.2339	176.09	187.98
Total	15	2.1753E2	43.76339	11.29966	193.2926	241.7634	159.75	312.65

## Test of Homogeneity of Variances

MQ

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.567	4	10	.103

## ANOVA

MQ

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7337.477	4	1834.369	.942	.479
Within Groups	19475.800	10	1947.580		
Total	26813.277	14			

Lampiran 28 Hasil Analisis *VITM* dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		VITM
N		14
Normal Parameters a	Mean	20.5164
	Std. Deviation	.74355
Most Extreme Differences	Absolute	.223
	Positive	.223
	Negative	-.114
Kolmogorov-Smirnov Z		.835
Asymp. Sig. (2-tailed)		.489

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

VITM	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					0%	3		
10%	3	20.7433	.71361	.41200	18.9706	22.5160	20.24	21.56
20%	3	21.5200	.36756	.21221	20.6069	22.4331	21.22	21.93
30%	3	20.3233	.21079	.12170	19.7997	20.8470	20.09	20.50
40%	3	19.4767	.79827	.46088	17.4937	21.4597	18.58	20.11
Total	15	20.3873	.87371	.22559	19.9035	20.8712	18.58	21.93

## Test of Homogeneity of Variances

VITM				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
2.193	4	10	.143	

## ANOVA

VITM					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	7.522	4	1.880	5.941	.010
Within Groups	3.165	10	.317		
Total	10.687	14			

Lampiran 29 Hasil Analisis *VFWA* dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		VFWA
N		14
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	31.2507
	Std. Deviation	.97189
Most Extreme Differences	Absolute	.214
	Positive	.117
	Negative	-.214
Kolmogorov-Smirnov Z		.801
Asymp. Sig. (2-tailed)		.543

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

VFWA

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	32.1033	.68981	.39826	30.3898	33.8169	31.32	32.62
10%	3	30.9400	.91788	.52994	28.6599	33.2201	29.89	31.59
20%	3	29.9500	.45640	.26350	28.8162	31.0838	29.44	30.32
30%	3	31.4900	.28160	.16258	30.7905	32.1895	31.25	31.80
40%	3	32.6700	1.13860	.65737	29.8416	35.4984	31.77	33.95
Total	15	31.4307	1.16741	.30142	30.7842	32.0772	29.44	33.95

## Test of Homogeneity of Variances

VFWA

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.398	4	10	.119

## ANOVA

VFWA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13.275	4	3.319	5.717	.012
Within Groups	5.805	10	.580		
Total	19.080	14			

Lampiran 30 Hasil Analisis *VMA* dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		VMA
N		14
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	29.8357
	Std. Deviation	.65568
Most Extreme Differences	Absolute	.224
	Positive	.224
	Negative	-.115
Kolmogorov-Smirnov Z		.838
Asymp. Sig. (2-tailed)		.484

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

VMA

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	29.2700	.44800	.25865	28.1571	30.3829	28.94	29.78
10%	3	30.0367	.63217	.36498	28.4663	31.6071	29.59	30.76
20%	3	30.7200	.32187	.18583	29.9204	31.5196	30.46	31.08
30%	3	29.6633	.18448	.10651	29.2051	30.1216	29.46	29.82
40%	3	28.9167	.70939	.40957	27.1544	30.6789	28.12	29.48
Total	15	29.7213	.77166	.19924	29.2940	30.1487	28.12	31.08

## Test of Homogeneity of Variances

VMA

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.234	4	10	.138

## ANOVA

VMA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.854	4	1.463	5.895	.011
Within Groups	2.482	10	.248		
Total	8.336	14			

Lampiran 31 Hasil Analisis *Density* dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Density
N		15
Normal Parameters a	Mean	2.0347
	Std. Deviation	.02230
Most Extreme Differences	Absolute	.186
	Positive	.104
	Negative	-.186
Kolmogorov-Smirnov Z		.719
Asymp. Sig. (2-tailed)		.679

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

Density

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	2.0477	.01286	.00742	2.0157	2.0796	2.03	2.06
10%	3	2.0257	.01801	.01040	1.9809	2.0704	2.00	2.04
20%	3	2.0057	.00945	.00546	1.9822	2.0291	2.00	2.01
30%	3	2.0363	.00513	.00296	2.0236	2.0491	2.03	2.04
40%	3	2.0580	.02042	.01179	2.0073	2.1087	2.04	2.08
Total	15	2.0347	.02230	.00576	2.0223	2.0470	2.00	2.08

## Test of Homogeneity of Variances

Density

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
2.335	4	10	.126

## ANOVA

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.005	4	.001	6.009	.010
Within Groups	.002	10	.000		
Total	.007	14			



## Lampiran 32 Hasil Analisis IRS dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		IRS
N		12
Normal Parameters a	Mean	69.1667
	Std. Deviation	2.6487E1
Most Extreme Differences	Absolute	.134
	Positive	.134
	Negative	-.129
Kolmogorov-Smirnov Z		.464
Asymp. Sig. (2-tailed)		.982

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

IRS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	2	54.5000	9.19239	6.50000	-28.0903	137.0903	48.00	61.00
10%	3	97.0000	26.21068	15.13275	31.8890	162.1110	75.00	126.00
20%	3	78.6667	3.78594	2.18581	69.2619	88.0715	76.00	83.00
30%	3	59.3333	6.65833	3.84419	42.7931	75.8735	52.00	65.00
40%	1	16.0000					16.00	16.00
Total	12	69.1667	26.48785	7.64638	52.3371	85.9962	16.00	126.00

## Test of Homogeneity of Variances

IRS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4.215 <sup>a</sup>	3	7	.053

a. Groups with only one case are ignored in computing the test of homogeneity of variance for IRS.

## ANOVA

IRS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6141.833	4	1535.458	6.821	.015
Within Groups	1575.833	7	225.119		
Total	7717.667	11			

## Lampiran 33 Hasil Analisis ITS dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		ITS
N		15
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	6.9225
	Std. Deviation	.96650
Most Extreme Differences	Absolute	.255
	Positive	.255
	Negative	-.110
Kolmogorov-Smirnov Z		.988
Asymp. Sig. (2-tailed)		.283

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

ITS

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
0%	3	6.5470	.37393	.21589	5.6181	7.4759	6.31	6.98
10%	3	7.9440	.57049	.32937	6.5268	9.3612	7.29	8.32
20%	3	7.4737	1.33959	.77341	4.1459	10.8014	6.09	8.77
30%	3	6.5453	.84231	.48631	4.4529	8.6377	5.97	7.51
40%	3	6.1027	.34014	.19638	5.2577	6.9476	5.71	6.35
Total	15	6.9225	.96650	.24955	6.3873	7.4578	5.71	8.77

## Test of Homogeneity of Variances

ITS

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
1.679	4	10	.231

## ANOVA

ITS

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6.908	4	1.727	2.799	.085
Within Groups	6.170	10	.617		
Total	13.078	14			

## Lampiran 34 Hasil Analisis Permeabilitas dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Permeabilitas
N		14
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	.0684
	Std. Deviation	.02002
Most Extreme Differences	Absolute	.151
	Positive	.151
	Negative	-.107
Kolmogorov-Smirnov Z		.567
Asymp. Sig. (2-tailed)		.905

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

Permeabilitas	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					0%	3		
10%	3	.0572	.01581	.00913	.0179	.0965	.05	.08
20%	3	.0685	.00571	.00330	.0543	.0827	.06	.07
30%	3	.0833	.01528	.00882	.0454	.1213	.07	.10
40%	3	.1067	.03512	.02028	.0194	.1939	.07	.14
Total	15	.0732	.02672	.00690	.0584	.0880	.04	.14

## Test of Homogeneity of Variances

Permeabilitas				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
1.785	4	10	.208	

## ANOVA

Permeabilitas					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.006	4	.002	3.874	.037
Within Groups	.004	10	.000		
Total	.010	14			

Lampiran 35 Hasil Analisis *AFD* dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		AFD
N		15
Normal Parameters a	Mean	.2280
	Std. Deviation	.20393
Most Extreme Differences	Absolute	.247
	Positive	.247
	Negative	-.234
Kolmogorov-Smirnov Z		.957
Asymp. Sig. (2-tailed)		.318

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

AFD

	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					0%	3		
10%	3	.2000	.05196	.03000	.0709	.3291	.17	.26
20%	3	.4400	.40037	.23116	-.5546	1.4346	.17	.90
30%	3	.1433	.10116	.05840	-.1080	.3946	.08	.26
40%	3	.1133	.04933	.02848	-.0092	.2359	.08	.17
Total	15	.2280	.20393	.05266	.1151	.3409	.08	.90

## Test of Homogeneity of Variances

AFD

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
8.044	4	10	.004

## ANOVA

AFD

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.199	4	.050	1.297	.335
Within Groups	.383	10	.038		
Total	.582	14			

Lampiran 36 Hasil Analisis *Cantabro* dengan Anova

## One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Cantabro
N		15
Normal Parameters <sup>a</sup>	Mean	29.1226
	Std. Deviation	4.25980
Most Extreme Differences	Absolute	.140
	Positive	.140
	Negative	-.135
Kolmogorov-Smirnov Z		.541
Asymp. Sig. (2-tailed)		.932

a. Test distribution is Normal.

## Oneway

## Descriptives

Cantabro	N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
					Lower Bound	Upper Bound		
					0%	3		
10%	3	28.8172	.82389	.47567	26.7705	30.8638	28.06	29.69
20%	3	25.7084	3.83153	2.21214	16.1904	35.2265	21.34	28.50
30%	3	29.0878	1.04614	.60399	26.4890	31.6866	28.36	30.29
40%	3	31.1873	6.65176	3.84040	14.6634	47.7112	24.56	37.87
Total	15	29.1226	4.25980	1.09988	26.7636	31.4816	21.34	37.87

## Test of Homogeneity of Variances

Cantabro				
Levene Statistic	df1	df2	Sig.	
2.735	4	10	.090	

## ANOVA

Cantabro					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	56.608	4	14.152	.717	.599
Within Groups	197.435	10	19.744		
Total	254.043	14			