



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERILAKU CAMPURAN ASPAL DENGAN PENAMBAHAN  
GEOPOLIMER**

**SKRIPSI**

**EVAN FABIAN DJAELANI  
0405010221**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2009**

**885/FT-01/SKRIP/07/2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PERILAKU CAMPURAN ASPAL DENGAN PENAMBAHAN  
GEOPOLIMER**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**

**EVAN FABIAN DJAELANI**

**0405010221**

**FAKULTAS TEKNIK  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2009**

885/FT-01/SKRIP/07/2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**BEHAVIOR OF MIXED ASPHALT  
WITH GEOPOLYMER ADDITION**

**THESIS**

**Proposed as one of the requirements to obtain the Degree of Sarjana Teknik**

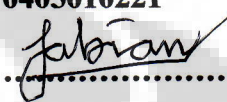
**EVAN FABIAN DJAELANI**

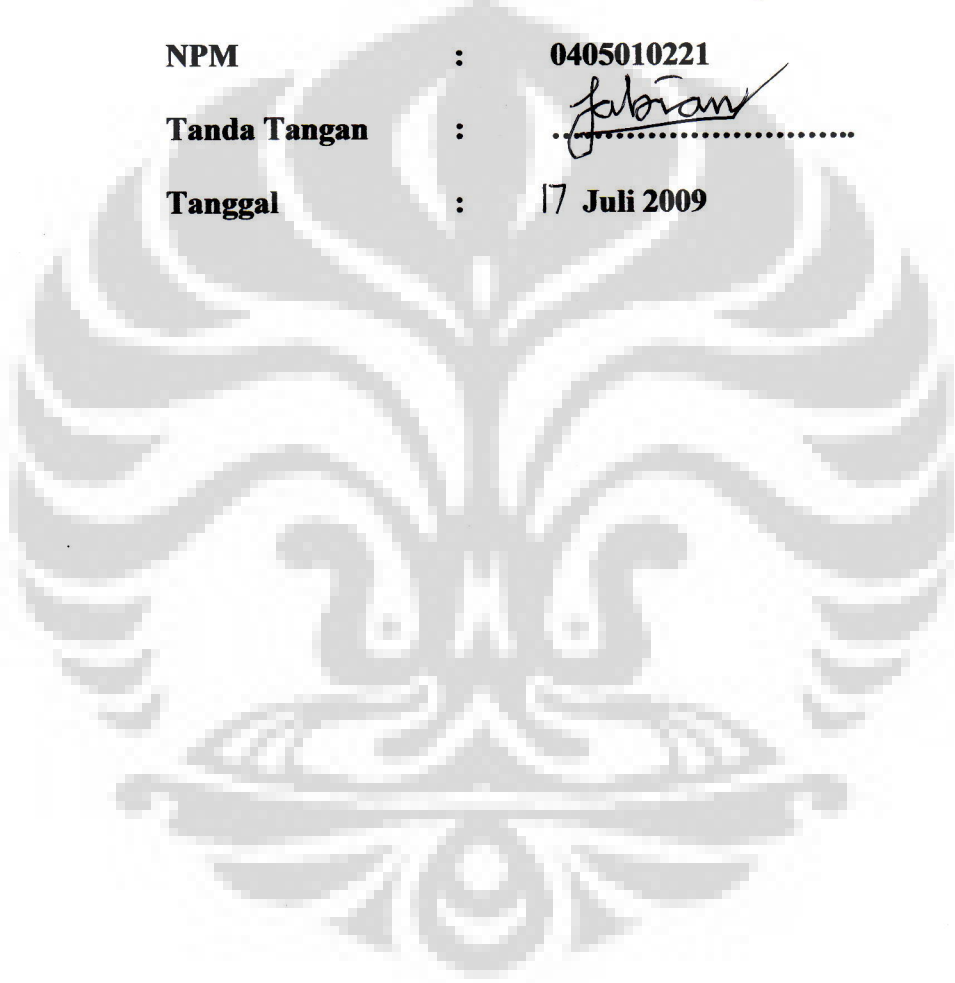
**0405010221**

**FACULTY OF ENGINEERING  
CIVIL ENGINEERING DEPARTMENT  
DEPOK  
JULY 2009**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,  
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar.**

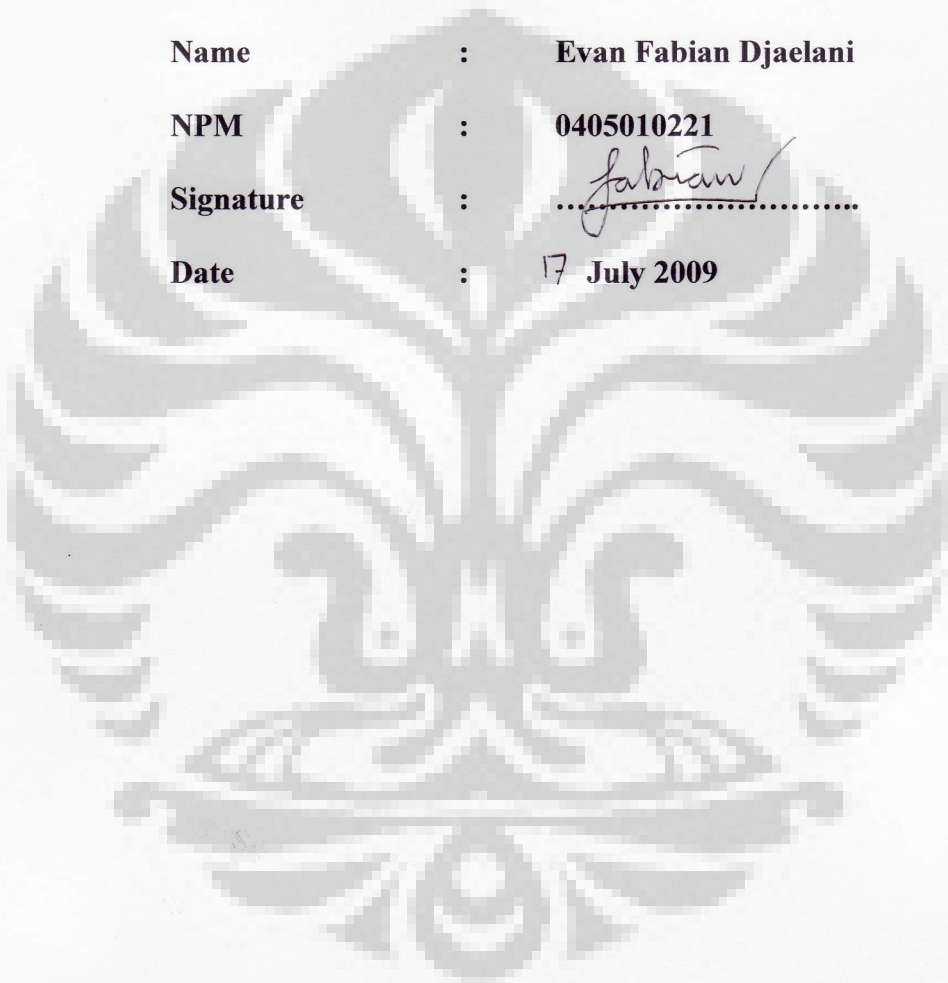
**Nama** : **Evan Fabian Djaelani**  
**NPM** : **0405010221**  
**Tanda Tangan** :   
**Tanggal** : **17 Juli 2009**



## SHEET OF ORIGINALITY STATEMENT

**This thesis is a result of my own  
And I declare that all of the sources  
that have been quoted or referenced are true.**

**Name** : **Evan Fabian Djaelani**  
**NPM** : **0405010221**  
**Signature** : *fabian*  
**Date** : **17 July 2009**


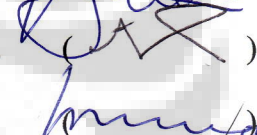
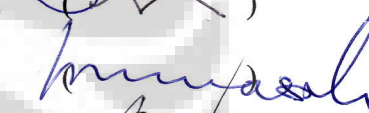



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Evan Fabian Djaelani  
NPM : 0405010221  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul Skripsi : Perilaku Campuran Aspal dengan  
Penambahan Geopolimer

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 : Dr.-Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi   
Pembimbing 2 : Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M.Eng.   
Penguji 1 : Ir. Heddy Rohadi Agah, M.Eng.   
Penguji 2 : Dr. Ir. R. Jachrizal Soemabrata, M.Sc.   
Ditetapkan di : Depok  
Tanggal : 17 Juli 2009

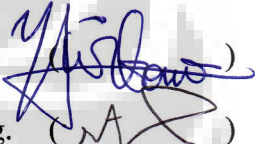

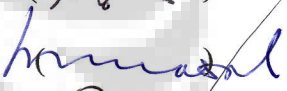
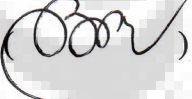
## VALIDATION SHEET

This thesis is submitted by :

Name : Evan Fabian Djaelani  
NPM : 0405010221  
Study Program : Civil Engineering  
Thesis Title : Behavior of Mixed Asphalt  
with Additional Geopolymer

**This thesis has been success examined in front of the examiners team and accepted as partial fulfillment of the requirement for the Degree of Sarjana Teknik on study program of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Indonesia.**

### EXAMINERS TEAM

Advisor 1 : Dr.-Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi   
Advisor 2 : Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M. Eng.   
Examiner 1 : Ir. Heddy Rohadi Agah, M. Eng.   
Examiner 2 : Dr. Ir. R. Jachrizal Soemabrata, M.Sc.   
State on : Depok  
Date : 17 July 2009

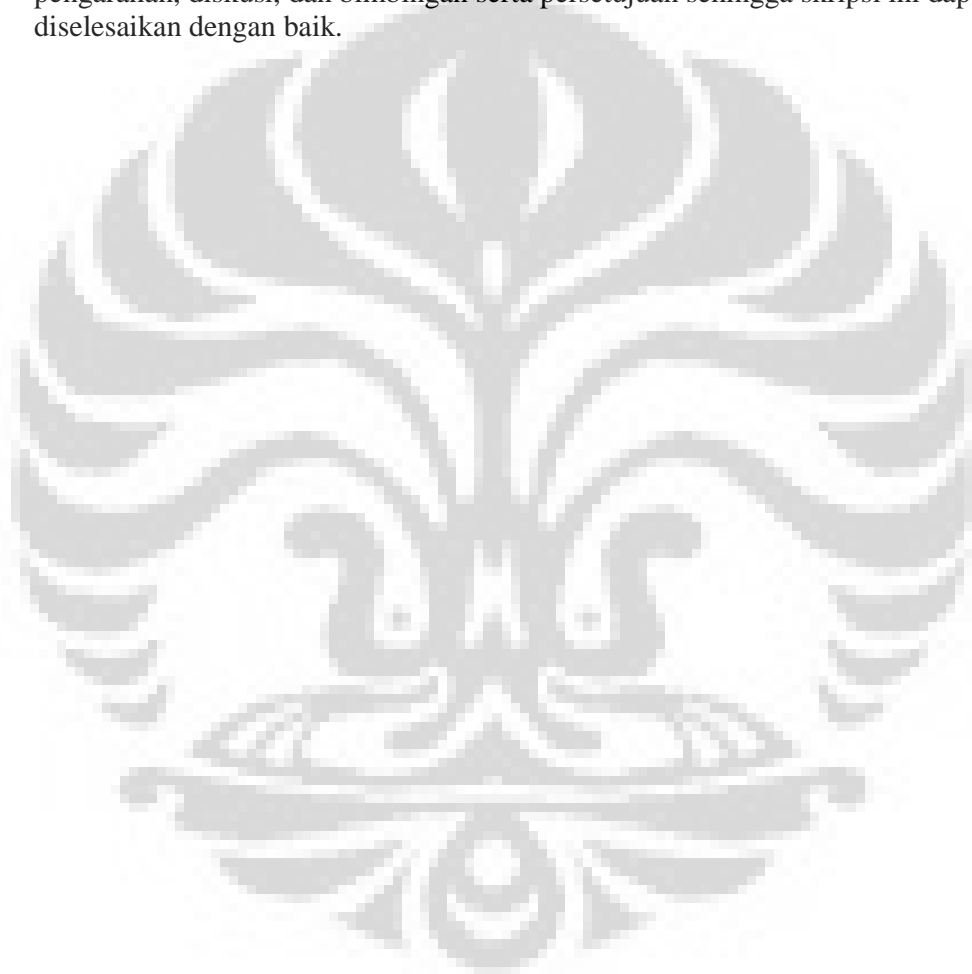
## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

**Dr.-Ing. Ir. Henki Wibowo Ashadi**

**Dr. Ir. Sotya Astutiningsih, M. Eng.**

selaku dosen pembimbing yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberi pengarahan, diskusi, dan bimbingan serta persetujuan sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik.





**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS  
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

---

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Evan Fabian Djaelani  
NPM : 0405010221  
Program Studi : Teknik Sipil  
Departemen : Sipil  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

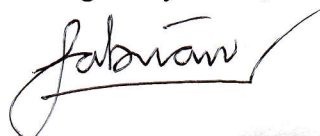
demikian demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Perilaku Campuran Aspal dengan Penambahan Geopolimer**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis atau pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok  
Pada Tanggal : 17 Juli 2009

Yang Menyatakan,



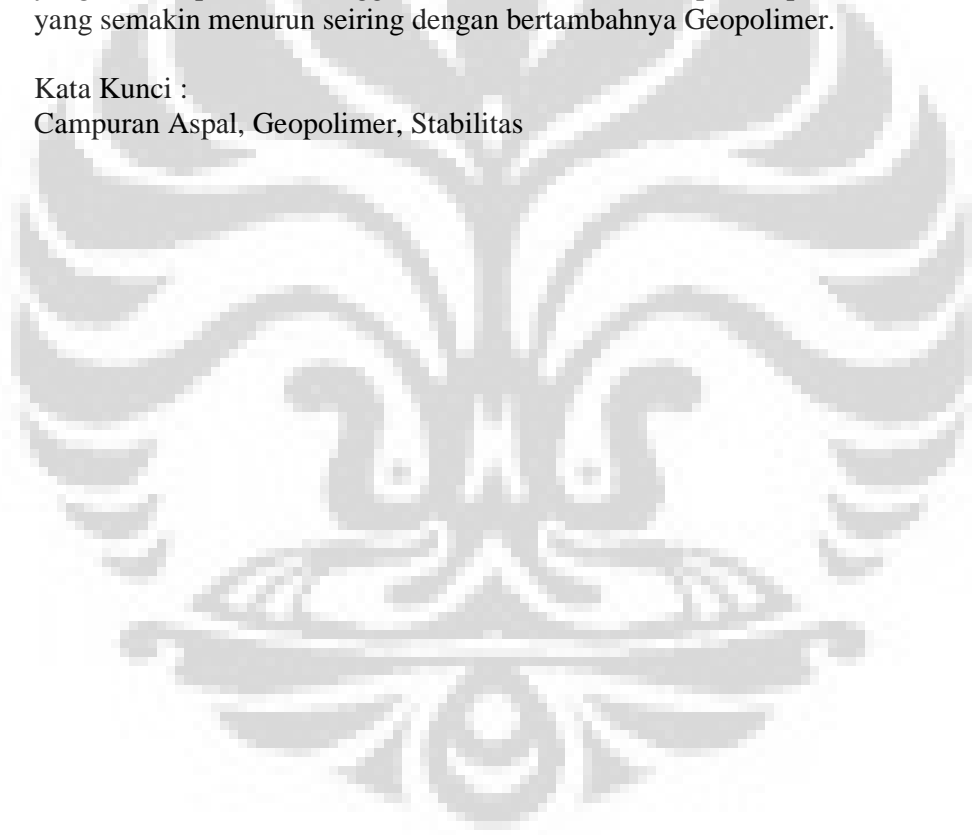
Evan Fabian Djaelani

## ABSTRAK

Nama : Evan Fabian Djaelani  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Perilaku Campuran Aspal dengan Penambahan Geopolimer

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa perilaku campuran aspal dengan penambahan geopolimer menggunakan alkali natrium silikat. Tiga tipe dilakukan dalam pencampuran dengan aspal, yaitu Tipe I dengan geopolimer sebanyak 10% dari aspal, Tipe II dengan geopolimer sebanyak 20% dari aspal dan Tipe III dengan Geopolimer sebanyak 30% dari aspal. Mekanisme pencampuran dilakukan dengan pencampuran natrium silikat dan natrium hidroksida terlebih dahulu sebelum dicampur dengan abu terbang dan air, setelah itu dicampur dengan aspal yang telah dipanaskan hingga suhu 110-120 °C. Didapatkan persentase stabilitas yang semakin menurun seiring dengan bertambahnya Geopolimer.

Kata Kunci :  
Campuran Aspal, Geopolimer, Stabilitas

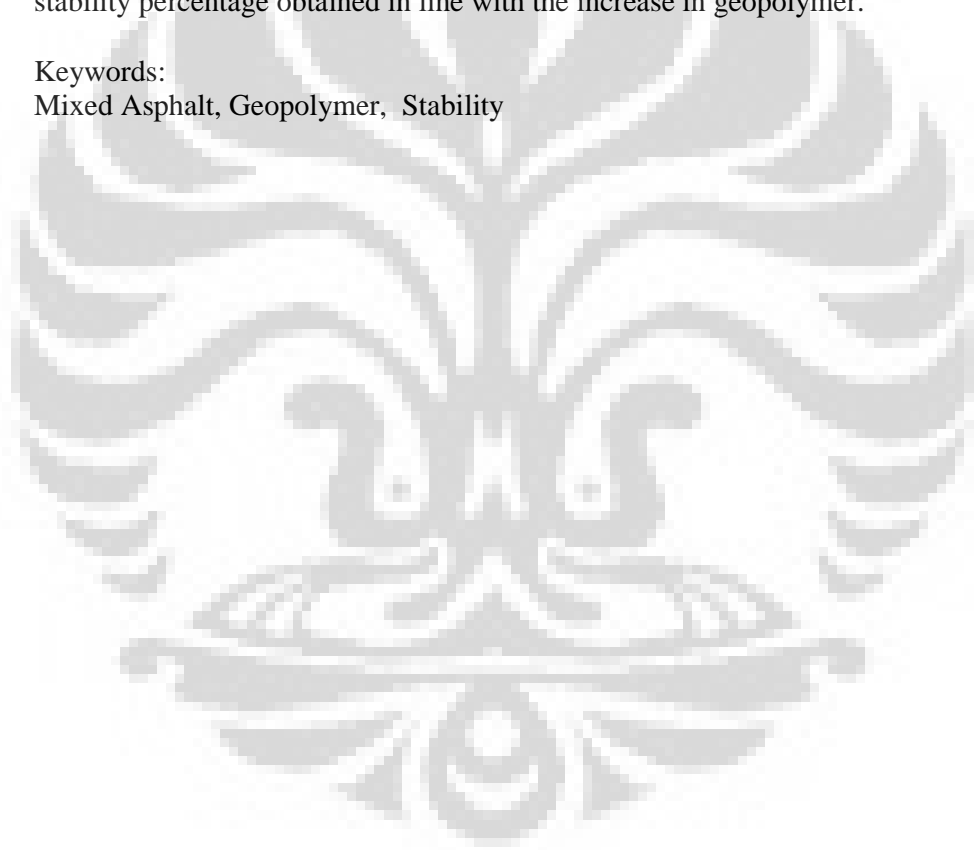


## ABSTRACT

Name : Evan Fabian Djaelani  
Study Program: Civil Engineering  
Title : Behavior of Mixed Asphalt with Geopolymer Addition

Research was conducted to analyze the behavior of asphalt mixtures with the addition of alkali geopolymer using natrium silicate. Three types of mixing conducted, Type I with geopolimer as much as 10% of asphalt, Type II with geopolymer as much as 20% of asphalt, and Type III with geopolymer with as many as 30% of the asphalt. The mechanism of mixing is done by mixing natrium silicate and natrium hidroxide before mixed with fly ash and water, then mixed with the asphalt that has been heated to a temperature of 110-120 ° C. Decreased stability percentage obtained in line with the increase in geopolymer.

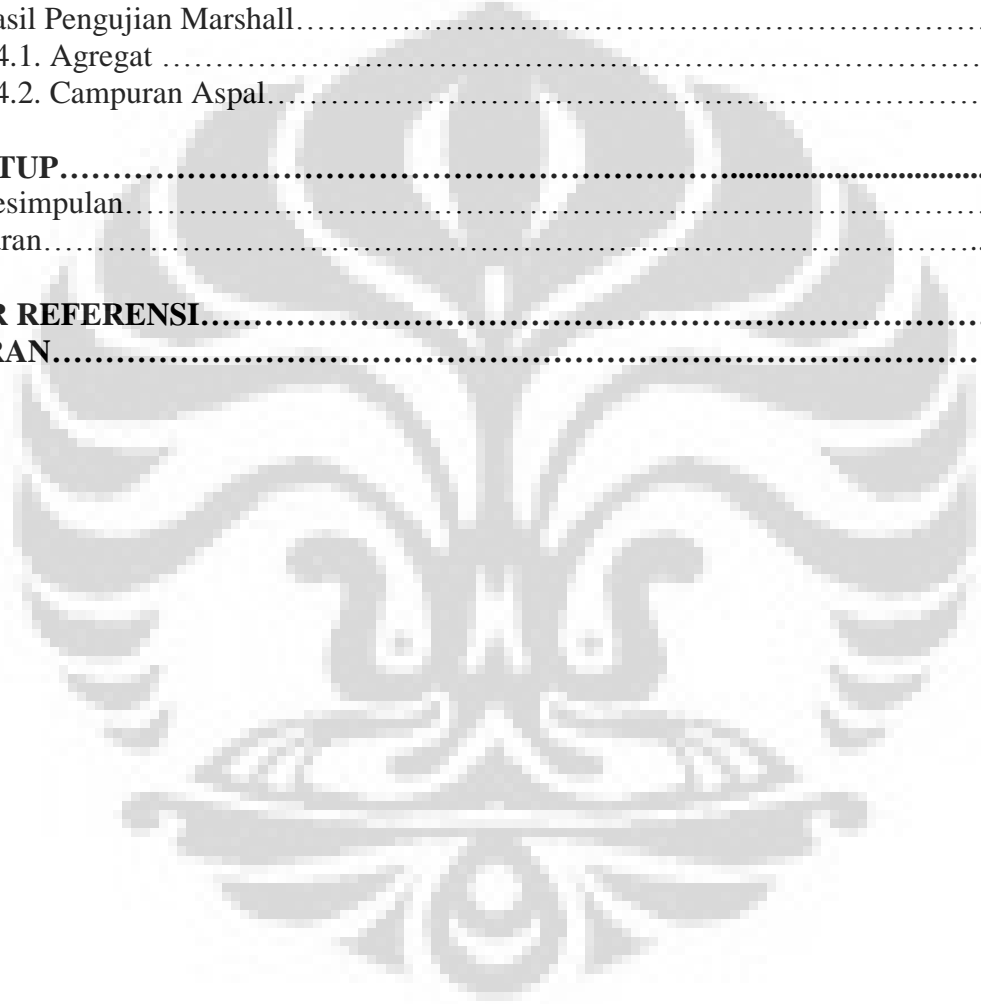
Keywords:  
Mixed Asphalt, Geopolymer, Stability



## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
TITLE PAGE.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
SHEET OF ORIGINALITY STATEMENT.....	iv
HALAMAN PENGESAHAN.....	v
VALIDATION SHEET.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	viii
ABSTRAK.....	ix
ABSTRACT.....	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xiv
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan Penelitian.....	2
1.3. Batasan Penelitian.....	2
1.4. Metodologi Penelitian.....	3
1.5. Sistematika Penulisan.....	3
<b>2. STUDI LITERATUR.....</b>	<b>4</b>
2.1. Campuran Aspal.....	4
2.1.1. Pendahuluan.....	4
2.1.2. Karakteristik.....	4
2.1.2.1. Stabilitas.....	4
2.1.2.2. Kelenturan.....	5
2.1.3. Material Penyusun.....	6
2.1.3.1. Agregat.....	6
2.1.3.2. Aspal (Bitumen).....	9
2.2. Geopolimer.....	11
2.2.1. Pendahuluan.....	11
2.2.2. Material Penyusun.....	12
2.2.2.1. Perkursor.....	13
2.2.2.2. Aktivator.....	13
2.2.3. Proses Polimerisasi.....	14
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>16</b>
3.1. Diagram Alir Penelitian.....	16
3.2. Alat dan Bahan.....	17
3.2.1. Alat.....	17
3.2.2. Bahan.....	17
3.3. Perencanaan Campuran Aspal.....	18
3.4. Proses Karakteristik Aspal.....	19

3.4.1. Pengujian Daktilitas.....	19
3.4.2. Pengujian Titik Lembek.....	20
3.4.3. Pengujian Penetrasi.....	22
3.4.4. Pengujian Marshall.....	23
<b>4. HASIL DAN ANALISA.....</b>	<b>25</b>
4.1. Hasil Pengujian Penetrasi.....	26
4.2. Hasil Pengujian Titik Lembek.....	29
4.3. Hasil Pengujian Daktilitas.....	30
4.4. Hasil Pengujian Marshall.....	32
4.4.1. Agregat .....	32
4.4.2. Campuran Aspal.....	35
<b>5. PENUTUP.....</b>	<b>39</b>
5.1. Kesimpulan.....	39
5.2. Saran.....	39
<b>DAFTAR REFERENSI.....</b>	<b>40</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>41</b>



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	16
Gambar 3.2. Gambar Penyusun Sampel Aspal Geopolimer.....	17
Gambar 3.3 Pengujian Daktilitas.....	20
Gambar 3.4 Pengujian Titik Lembek.....	21
Gambar 3.5. Pengujian Penetrasi.....	23
Gambar 3.6. Pengujian Marshall .....	24
Gambar 4.1. Grafik korelasi antara kadar geopolimer dengan penetrasi.....	28
Gambar 4.2. Sampel Penetrasi dengan Penambahan Geopolimer.....	28
Gambar 4.3. Grafik korelasi antara kadar geopolimer dengan Titik Lembek.....	29
Gambar 4.4. Geopolimer terlepas dari Sampel Titik Lembek.....	30
Gambar 4.5. Grafik korelasi antara kadar geopolimer dengan Daktilitas.....	31
Gambar 4.6 Aspal yang tidak homogen dengan Geopolimer.....	31
Gambar 4.7. Grafik Pembagian Butir.....	33
Gambar 4.8. Sampel Marshall dengan Geopolimer 10%.....	35
Gambar 4.9. Sampel Marshall dengan Geopolimer 20%.....	35
Gambar 4.10. Sampel Marshall dengan Geopolimer 30%.....	36
Gambar 4.11. Sampel Marshall tanpa Geopolimer.....	36
Gambar 4.12 Grafik Stabilitas Campuran Aspal 5%-6.5%.....	37

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Persyaratan Aspal Keras berdasarkan MPBJ.....	10
Tabel 4.1. Persyaratan Aspal Keras (Penetrasi 60/70).....	25
Tabel 4.2. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal.....	27
Tabel 4.3. Analisa Saringan Agregat Kasar.....	32
Tabel 4.4. Analisa Saringan Agregat Medium.....	32
Tabel 4.5. Analisa Saringan Agregat Halus.....	33
Tabel 4.6. analisa campuran ( <i>blending</i> ).....	34



# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sebagian besar perkerasan jalan di Indonesia merupakan jenis perkerasan lentur. Untuk menaikkan nilai konstruksi dari suatu perkerasan jalan biasanya dilakukan dengan menambahkan lapisan terhadap perkerasan yang ada. Lapisan tambahan tersebut selain dapat berfungsi sebagai penambah kekuatan juga dapat berfungsi sebagai lapisan pelindung untuk mencegah masuknya air dan udara ke dalam lapisan perkerasan.

Selain dengan menambahkan lapisan perkerasan yang ada, untuk menaikkan nilai konstruksi dari suatu perkerasan dapat pula dilakukan dengan penambahan polimer pada campuran Aspal. Saat ini, terdapat 3 jenis Penambahan aspal polimer, yaitu penambahan aspal dengan polimer *thermosetting*, polimer *thermoplastis* dan polimer *elastomeric*.

Isu utama yang berkembang saat ini adalah adanya perubahan iklim karena pemanasan global. Oleh karena itu masyarakat mulai merubah pola hidup menjadi lebih hijau. Salah satu pola hidup yang lebih hijau adalah dengan melakukan *Reuse* (Menggunakan Kembali).

Saat ini cadangan abu terbang (*fly ash*) berlimpah di beberapa PLTU di Indonesia. Cadangan abu terbang (*fly ash*) tersebut merupakan sisa pembakaran batu bara dari berberapa PLTU di Indonesia. Namun selama ini abu terbang belum dimanfaatkan dan dibuang begitu saja, hal ini dapat berpotensi mencemari lingkungan. Pada tahun 1989, jumlah seluruh abu hasil pembakaran batu bara di seluruh dunia mencapai 440 miliar ton, yang 75 persennya adalah abu terbang. Produksi abu terbang ini terus meningkat dari tahun ke tahun. Cina sendiri menghasilkan lebih dari 110 miliar ton abu di tahun 2000, dengan total produksi abu dunia tahun 2000 mencapai angka 661 miliar ton.

Sekitar 20 tahun yang lalu, seorang peneliti bernama Prof. Joseph Davidovits meneliti tentang penggunaan abu terbang sebagai pengganti semen dengan melalui proses polimerisasi organik (geopolimer). Abu terbang sendiri



tidak memiliki kemampuan mengikat, namun dengan kehadiran air dan ukuran partikelnya yang halus, oksida silika yang terkandung dalam abu terbang akan bereaksi kimia dengan Natrium hidroksida maupun dengan Kalium Hidroksida dan menghasilkan zat yang memiliki kemampuan mengikat. Geopolimer merupakan polimer *thermosetting*, yaitu polimer yang hanya sekali mengeras dan tidak dapat menjadi lunak kembali.

Sejauh pengetahuan penulis, saat ini penggunaan campuran aspal dengan penambahan polimer *thermosetting* hanya menggunakan polimer *Epoxy resin*, *Polyetherane resin*, dan *Acylic resin*, belum ada campuran aspal yang menggunakan geopolimer. Penggunaan geopolimer pada campuran aspal dapat mengurangi limbah sisa pembakaran batu bara (*fly ash*) yang berpotensi mencemari lingkungan. Hal ini yang mendorong penulis dan pembimbingnya untuk mempelajari lebih dalam mengenai penggunaan campuran aspal dengan penambahan geopolimer.

## **1.2 Tujuan Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat menambah pengetahuan dan sifat dari Geopolimer yang masih dalam tahap pengembangan sebagai bahan campuran Aspal. Dengan penelitian ini, juga diharapkan dapat diaplikasikan dan digunakan secara berkelanjutan penggunaan Geopolimer dalam struktur bangunan khususnya sebagai perkerasan jalan

## **1.3 Batasan Penelitian**

1. Menggunakan Aspal Pen. 60/70 dan Agregat dengan spesifikasi SNI 03-1737-1989
2. Menggunakan Spesifikasi Geopolimer hasil studi sebelumnya Dian Adisty (2008)
3. Menggunakan Pengujian Penetrasi (SNI 06-2456-1991)
4. Menggunakan Pengujian Titik Lembek ( SNI 06-2434-1991)
5. Menggunakan Pengujian Daktilitas (SNI 06-2432-1991)
6. Menggunakan Pengujian Marshall (SNI 06-2489-1991)
7. Pengujian dilakukan di laboratrium Departemen Teknik Sipil Universitas Indonesia - Depok.

### 1.4 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan adalah dengan melakukan studi literatur, membuat metode percobaan, melakukan percobaan, membuat pengolahan data percobaan, menganalisa hasil percobaan, dan membuat kesimpulan.

### 1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan adalah sebagai berikut :

- BAB I Pendahuluan  
Berisi tentang latar belakang, tujuan penelitian, ruang lingkup penelitian, batasan penelitian, metodologi penelitian, dan sistematika penulisan.
- Bab II Studi Literatur  
Berisi tentang dasar teori tentang aspal dan geopolimer.
- Bab III Metode Penelitian  
Berisi tentang pembuatan sampel aspal, sampel aspal yang dimodifikasi dengan geopolimer dan metodologi pengujian campuran aspal.
- Bab IV Hasil dan Analisa Percobaan  
Berisi tentang data hasil percobaan, proses pengolahan data hasil percobaan, dan analisa hasil percobaan.
- Bab V Kesimpulan dan Saran  
Berisi tentang penarikan kesimpulan dari hasil kegiatan penelitian yang telah dilakukan serta saran mengenai hasil penelitian.

## **BAB 2**

### **STUDI LITERATUR**

#### **2.1 Campuran Aspal**

##### **2.1.1 Pendahuluan**

Aspal adalah likuid atau semi-likuid hitam yang lengket dan memiliki viskositas tinggi dimana dapat ditemukan pada petroleum mentah dan pada beberapa deposit alamiah aspal. Hampir seluruh kandungan aspal terdiri dari bitumen. Aspal sering dimodelkan sebagai koloid, dengan *asphaltenes* sebagai fase terputusnya dan *maltenes* sebagai fase kontinunya. Kegunaan utama aspal adalah dibidang pembangunan permukaan jalan, dimana aspal digunakan sebagai perekat atau pengikat partikel-partikel agregat.

Deposit alamiah aspal bisa ditemukan pada danau-danau aspal (danau Pitch di Trinidad dan Tobago dan danau Bermudez di Venezuela), *gilsonite*, Laut Mati di Israel, dan pasir tar.

Keuntungan dari pembuatan jalan dari aspal adalah tingkat kebisingan yang relatif rendah, biaya pembangunan yang rendah, dan kemudahan untuk perawatan dan perbaikan. Kekurangan aspal terletak pada daya tahan yang tidak sebesar dengan metode perkerasan lain, kekuatan tarik yang lebih rendah dari beton, kecenderungan untuk menjadi lunak dan licin pada cuaca panas, dan pencemaran hidrokarbon ke tanah dan air tanah.

##### **2.1.2. Karakteristik**

Karakteristik campuran yang dimiliki oleh campuran aspal panas adalah sebagai berikut:

###### **2.1.2.1. Stabilitas**

Suatu campuran aspal, harus mampu bertahan terhadap perubahan bentuk permanen yang disebabkan oleh beban lalu-lintas, baik pada pembebanan statis maupun dinamis. Jadi perkerasan tidak boleh bergelombang, beralur akibat beban lalu-lintas tersebut.

### 2.1.2.2. Kelenturan

Suatu campuran aspal, harus mampu bertahan tanpa menjadi retak akibat/ terhadap lendutan maupun lenturan yang disebabkan oleh:

- Lemahnya daya dukung lapisan pondasi ataupun tanah dasar, sehingga dapat menyebabkan lendutan yang besar.
- Lenturan berulang-ulang akibat beban lalu-lintas.
- Perubahan volume akibat perubahan temperature (namun hal ini tidak begitu berpengaruh untuk iklim semacam Indonesia)
- Keawetan (*Durabilitas*). Merupakan ketahanan campuran dari aspal untuk tidak hancur berlepasan), akibat beban lalu-lintas ataupun cuaca. Campuran aspal harus mampu bertahan akibat perubahan dari: a) Pengerasan/pelapukan aspal akibat oksidasi ataupun penguapan (*Volatilization*), yang menyebabkan berkurangnya sifat adhesi aspal. Hal ini akan berakibat perkerasan menjadi berlepasan dan hancur. b.) Pengaruh air yang dapat mengurangi adhesi aspal terhadap agregat (*Stripping process*)
- Tahan Gelincir (*Skid Resistance*). Suatu campuran aspal harus mampu memberikan permukaan perkerasan yang mempunyai tahan gelincir yang baik (permukaan perkerasan tidak licin), sehingga lalu-lintas merasa aman.
- Kemudahan pengerjaan (*Workability*). Suatu campuran aspal, harus mampu dapat digelar dan dipadatkan tanpa adanya kesulitan yang berarti. Jika campuran aspal sulit dipadatkan dapat berakibat stabilitas dan keawetan menjadi tidak tercapai.

Sifat-sifat diatas merupakan persyaratan-persyaratan yang dituntut untuk mendapatkan campuran aspal yang dapat berfungsi sebagai perkerasan yang baik. Sifat-sifat tersebut saling bertentangan. Stabilitas yang baik menuntut pemakaian aspal yang keras (penetrasi rendah) agar campuran mampu bertahan terhadap beban lalu-lintas. Hal ini bertentangan dengan sifat-sifat fleksibilitas dan keawetan

yang menuntut pemakaian kadar aspal yang tinggi. Begitu juga workability menuntut pemakaian kadar aspal yang tinggi, namun hal ini bertentangan dengan tuntutan tahan gelincir, karena kadar aspal yang tinggi akan menghasilkan perkerasan yang licin. Jadi dalam merencanakan komposisi campuran aspal, harus mendasarkan kepada kompromi atas semua sifat-sifat di atas, dengan pengutamakan sifat-sifat tertentu yang disesuaikan dengan posisi/fungsi di mana campuran aspal tersebut akan dipakai.

### 2.1.3. Material Penyusun

#### 2.1.3.1. Agregat

Agregat didefinisikan sebagai batu pecah, kerikil, pasir atau komposisi mineral lainnya baik berupa hasil alam maupun hasil pengolahan (Penyaringan, pemecahan) yang merupakan bahan utama konstruksi jalan, beton, pondasi (*ballast*) jalan kereta api dan lain sebagainya. Bagian terbesar dari suatu campuran berbitumen adalah agregat, menempati kira-kira 80% dari volume campuran, sehingga pengaruhnya terhadap sifat serta kinerja (*performance*) dari campuran sangatlah besar. Agregat yang ideal untuk campuran berbitumen harus mempunyai ukuran partikel serta gradasi yang baik, kuat dan teguh serta mempunyai bentuk partikel yang bersudut. Selain itu juga dibutuhkan porositas yang rendah, permukaan yang bersih, tekstur permukaan yang kasar dan sifat *hydropobic*.

Berdasarkan penyaringan, agregat dibagi menjadi agregat kasar, agregat halus dan filler:

- **Agregat Kasar** adalah agregat yang tertahan pada saringan no.8 (2,38 mm), bisa berupa batu pecah atau kerikil dalam keadaan kering.
- **Agregat halus** didefinisikan sebagai agregat yang lolos saringan no. 8 (2,38 mm) dan tertahan saringan no. 200 (0,074 mm). Agregat halus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam, dan bersih dari kotoran-kotoran atau bahan-bahan lain yang tidak dikehendaki. Agregat halus bisa terdiri dari pasir bersih bahan-bahan halus hasil pemecahan batu atau kombinasi dari bahan-bahan tersebut dalam keadaan kering.

- **Filler** adalah agregat yang lolos saring no .200 (0,074 mm). Sebagai *filler* dapat dipergunakan debu batu kapur, debu dolomite atau semen Portland. Hal yang perlu diperhatikan adalah agar bahan tersebut tidak tercampur dengan kotoran atau bahan lain yang tidak dikehendaki dan dalam keadaan kering (kadar air maksimum 1%)

Gradasi agregat merupakan hal yang sangat penting dalam perencanaan campuran berbitumen. Gradasi agregat mempengaruhi kemudahan pekerjaan, stabilitas serta keawetan dari campuran berbitumen.

Ada 3 (tiga) jenis gradasi agregat yang dikenal dalam pekerjaan perkerasan beraspal, yaitu gradasi menerus, gradasi timpang/senjang serta gradasi terbuka.

- **Gradasi menerus / Continuous Gradation / Dense Gradation**

Campuran bergradasi menerus biasanya dikenal sebagai beton aspal, menghasilkan nilai stabilitas dan berat isi (*density*) yang tinggi karena adanya ikatan (*interlocking*) yang baik antar fraksi agregat. Untuk campuran bergradasi menerus biasanya dipakai aspal yang lembek seperti aspal minyak pen 80/100 dan aspal minyak pen 120/150. Di Indonesia umumnya dipakai aspal Minyak pen. 60/70 dan Aspal Minyak Pen. 80/100. Campuran berbitumen yang diperuntukkan bagi lapis permukaan dari jalan dengan lalu lintas berat umumnya memakai agregat bergradasi rapat/menerus (*dense/well gradation*) yakni gradasi yang mengandung hampir semua fraksi, mulai dari fraksi kasar hingga fraksi halus.

- **Gradasi timpang/ Gap gradation.** Campuran bergradasi timpang adalah campuran yang tidak mengandung suatu fraksi tertentu dari keseluruhan fraksi yang ada. Jenis campuran ini dapat terdiri dari agregat berukuran seragam yang digabung dengan agregat halus dan *filler*. Dapat pula terdiri dari agregat kasar yang digabung dengan agregat termasuk semi gap graded asphalt. Sifat dari campuran yang termasuk semi gap graded berada antara campuran bergradasi menerus/rapat dan campuran bergradasi timpang.

- **Gradasi terbuka/ Open gradation.** Campuran bergradasi terbuka digunakan apabila karena pembebanan lalu lintas atau untuk alasan keamanan dibutuhkan perbaikan dalam hal tahanan gelincir, pengurangan percikan air dari kendaraan pada musim hujan, dan pengurangan tingkat kebisingan akibat gesekan roda kendaraan dengan permukaan perkerasan. Lapis permukaan yang bergradasi terbuka mempunyai tingkat permeabilitas yang tinggi terhadap air permukaan sehingga sebaiknya diterapkan di atas lapisan aspal dengan tingkat impermeabilitas yang tinggi untuk menjaga agar konstruksi perkerasan terhindar dari kerusakan akibat pengaruh air permukaan.

Karena agregat dalam campuran berbitumen merupakan komponen utama dalam memberikan nilai stabilitas maka agregat harus memiliki kekuatan dan keteguhan yang baik untuk mencegah kehancuran akibat pembebanan lalu lintas. Akibat suatu pembebanan maka campuran bergradasi terbuka (*open graded mixes*) mempunyai kemungkinan yang lebih besar untuk hancur bila dibandingkan dengan campuran bergradasi rapat. Jadi apabila agregat mempunyai nilai kekuatan dan keteguhan yang rendah maka lebih baik menggunakan gradasi rapat.

Bentuk partikel merupakan karakteristik agregat yang lebih penting dari pada kekuatan, keteguhan dan gradasi. Agregat yang bersudut memungkinkan adanya ikatan yang baik dalam campuran sehingga akan meningkatkan daya dukung campuran. Agregat alam (Kerikil) yang bundar bila dipakai untuk campuran berbitumen dengan gradasi terbuka akan menghasilkan nilai stabilitas yang rendah. Jika kerikil bundar harus dipakai untuk lapis permukaan yang diharapkan member daya dukung yang tinggi maka sebagian tertentu dari agregat kasar harus dipecah. Namun demikian Herrin dan Goetz telah menunjukkan bahwa kerikil yang dipecah hanya menambah nilai stabilitas untuk campuran dengan agregat bergradasi seragam, sedang untuk agregat bergradasi terbuka sangat sedikit pengaruhnya dan untuk agregat yang bergradasi rapat sama sekali tidak menambah nilai stabilitas. Jadi bila memakai agregat alam (kerikil) maka yang penting diperhatikan adalah pemilihan gradasi yang tepat untuk

menghasilkan lapis permukaan yang baik. Agregat yang pipih sedapatnya dihindari pemakaiannya sebab selain akan menyebabkan terjadinya segregasi dalam proses pencampuran, agregat yang pipih juga cenderung menghasilkan daya dukung yang rendah.

### 2.1.3.2. Aspal (Bitumen)

Aspal atau bitumen adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon kompleks yang mempunyai sifat-sifat:

- Berwujud dari semi padat ke padat
- Wujud berubah-ubah sesuai dengan temperatur.
- Berwarna hitam atau coklat
- Kohesif dan anti air.
- Larut dalam karbon disulfide. Aspal minyak yang digunakan untuk konstruksi perkerasan jalan merupakan hasil residu dari destilasi minyak bumi, sering disebut aspal keras.

Aspal keras (*asphalt cement/AC*) adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas, pada temperature ruang (25 – 30 °C) berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperature 25 °C ataupun berdasarkan viskositasnya. Aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya yaitu:

- AC pen 40/50, yaitu dengan penetrasi antara 40-50
- AC pen 60/70
- AC pen 85/100
- AC pen 120/150
- AC pen 200/300

Aspal semen dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah.



Pada penelitian ini, digunakan aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70. Berdasarkan peraturan dari MPBJ Bina Marga syarat-syarat untuk aspal keras (Pen 60/70) tertera pada tabel Persyaratan Aspal Keras berdasarkan Manual Pemeriksaan Bahan Jalan No. 01/MN/BM/1976, Ditjen Bina Marga, 1983.

Tabel 2.1. Persyaratan Aspal Keras berdasarkan Manual Pemeriksaan Bahan Jalan No. 01/MN/BM/1976, Ditjen Bina Marga, 1983

Jenis pemeriksaan	Satuan	Persyaratan	
		Min.	Maks.
Penetrasi 25 °C, 100 gr, 5 det	0,1 mm	60	79
Titik lembek (Ring and ball)	°C	48	58
Titik nyala (Cleveland open cup)	°C	232	-
Kehilangan berat (163 °C, 5jam)	% berat	-	0,4
Kelarutan dalam CCl4	% berat	99	-
Daktalitas (25°C, 5 cm /det.)	Cm	100	-
Penetrasi seteleah kehilangan berat	% awal	75	-
Berat jenis	Gr/ml	1	-

Persyaratan-persyaratan aspal keras sebagai salah satu unsur pembentuk konstruksi perkerasan lentur, terdiri dari:

- Kepadatan atau kekentalan, yaitu aspal yang kekentalannya tidak mudah terpengaruh oleh perubahan temperature.
- Aspal harus dapat membungkus partikel-partikel agregat.

- Ketahanan terhadap pengaruh air, yaitu kemampuan dari aspal untuk melekat pada agregat dalam air.
- Tingkat keawetan, yaitu waktu yang diperlukan aspal untuk kekurangan kandungan minyak akibat penguapan sehingga menjadi getas atau rapuh.

## 2.2. Geopolimer

### 2.2.1. Pendahuluan

Nilai konstruksi dari suatu perkerasan dapat ditingkatkan dengan penambahan polimer pada Campuran aspal. Saat ini, terdapat 3 jenis Penambahan aspal polimer, yaitu polimer *thermosetting*, polimer *thermoplastis* dan polimer *elastomeric*.

Dari beberapa penelitian terakhir, aspal dengan penambahan polymer memberikan performa luar biasa untuk membuat aspal yang lebih tahan lama, lebih lentur, meningkatkan titik leleh, penurunan penetrasi, dan peningkatan viskositas.

Davidovits (1988) memperkenalkan istilah '*geopolymer*' pada tahun 1978 sebagai gambaran bahwa mineral polymer tersebut adalah hasil ilmu geokimia. Geopolimer, suatu polimer alumina-silika anorganik, dibentuk dari sebagian besar unsur silikon (Si) dan aluminium (Al). Komposisi kimia dari material geopolymer adalah serupa dengan zeolit, tetapi geopolimer memiliki *amorphous microstruktur*. Sepanjang proses sintesifikasi, silika dan aluminium digabung untuk membentuk blok bangunan, yang secara kimiawi dan struktural dapat dibandingkan dengan ikatan batu alam.

Palomo, Grutzeck, dan Blanco (1999) mempelajari pengaruh temperatur, waktu dan rasio larutan alkali *fly ash* pada kekuatan tekan material geopolimer. Dilaporkan bahwa faktor temperatur dan waktu perawatan mempengaruhi kekuatan tekan material geopolimer tersebut. Penggunaan larutan natrium hidroksida (NaOH) dan larutan natrium silikat ( $\text{Na}_2\text{Si}_3$ ) merupakan solusi dalam menghasilkan kekuatan tekan yang paling tinggi. Kuat tekan dapat mencapai hingga 60 MPa jika di-*curing* pada suhu  $85^\circ\text{C}$  selama 5 jam.

Xu dan van Deventer (2000) meneliti proses geopolimerisasi dari 15 unsur alami Al-Si. Telah ditemukan bahwa mineral dengan tingkat disolusi yang tinggi akan menghasilkan kuat tekan lebih baik setelah proses polimerisasi. Persentase

dari kalsium dioksida (CaO), kalium dioksida (K<sub>2</sub>O), rasio molaritas Si-Al pada *fly ash*, jenis larutan alkali dan rasio molaritas Si/Al di dalam larutan alkali selama proses disolusi merupakan faktor – faktor penting yang mempengaruhi kuat tekan dari material geopolimer.

Geopolimer merupakan polimer *thermosetting*, yaitu polimer yang hanya sekali mengeras dan tidak dapat menjadi lunak kembali.

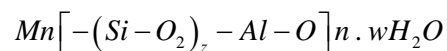
### 2.2.2 Material Penyusun

Material polimer anorganik alkali aluminosilikat dapat disintesis (dibuat) dari prekursor yang mengandung alumina dan silika berkonsentrasi tinggi. Prekursor adalah bahan utama dalam pembentuk polimer. Prekursor tersebut dapat berupa mineral alami ataupun limbah industri. Unsur – unsur kimia di dalam prekursor bila dicampur dengan larutan alkali sebagai aktivator, akan menghasilkan material pasta geopolimer dengan kekuatan mengikat seperti pasta semen. Prekursor dan aktivator akan bersintesa membentuk material padat melalui proses polimerisasi, dimana proses polimerisasinya yang terjadi adalah disolusi dan diikuti dengan proses polikondensasi.

Proses sintesis tersebut terbagi atas proses aktivasi bahan alumina-silika oleh ion alkali dan proses *curing* untuk mendorong terjadinya polimerisasi dari monomer alumina-silika menjadi struktur jaringan molekul tiga-dimensi. Kesempurnaan dari polimerisasi, sedemikian hingga struktur dan properti dari polimer anorganik telah tersintesis, tergantung pada proses aktivasi dan proses ikat.

Hal penting yang berkaitan dengan sintesis polimer anorganik adalah derajat polimerisasinya, dimana hal ini menentukan formasi struktur dan sedemikian hingga menentukan karakteristik akhir dari benda uji.

Sebagaimana dijelaskan oleh persamaan polimer di bawah :



dimana :

M : elemen alkali

n : derajat polimerisasi

$z$  : 1, 2, dan 3

- : simbol ikatan

Dalam hal penggunaan material polimer sebagai bahan pengikat pada beton, maka hal yang perlu diperhatikan adalah ikatan yang dihasilkan antara material polimer dengan agregat (*interface*). Ikatan tersebut dapat berupa ikatan mekanis ataupun ikatan kimia. Ikatan kimia dapat pula terjadi apabila matriks yang digunakan adalah polimer, walaupun sebagaimana kita ketahui bahwa mineral agregat akan bersifat tidak reaktif (*inert*) pada beton semen. Selain memberikan ikatan, material polimer juga diharapkan memberikan sumbangan kekuatan pada beton.

Dalam penelitian ini akan dibuat geopolimer alkali aluminosilikat yang berasal dari prekursor yang mengandung alumina dan silika dengan aktivator larutan alkali-silikat.

#### **2.2.2.1 Prekursor**

Bahan mentah (*raw materials*) atau prekursor, yang digunakan untuk membentuk geopolimer dapat berupa mineral aluminosilikat alami seperti lempung atau limbah industri. Tanah lempung perlu dikalsinasi (*calcined*) pada suhu sekitar 650° C sebagai pengolahan awal untuk sintesis geopolimer. Karena jumlahnya yang berlimpah, lempung telah digunakan di banyak negara sebagai bahan baku membuat bata, gerabah, keramik, perkerasan jalan dan lainnya. Limbah industri yang memiliki banyak kandungan alumina dan silika dapat digunakan sebagai prekursor. Limbah industri yang termasuk ke dalam klasifikasi ini diantaranya adalah *blast furnace slag*, abu terbang (*fly ash*), serbuk granit dan lumpur merah (*red mud*). Dalam penelitian ini akan digunakan abu terbang (*fly ash*) sebagai material prekursor. Dengan menggunakan proses rekayasa, bahan mentah aluminosilikat tersebut dapat disintesis menjadi geopolimer.

Aluminosilikat dalam bentuk butiran kaca (*metastable glassy form*) dapat bersifat sebagai pengikat ketika diaduk dengan aktivator, yang biasanya berupa larutan alkali-silikat.

#### **2.2.2.2 Aktivator**

Sebagaimana telah dijelaskan di atas, aktivator dibutuhkan untuk reaksi polimerisasi monomer alumina dan silika. Alkali mengaktifkan prekursor dengan

mendisolusikan mereka ke dalam monomer  $[\text{SiO}_4]$  dan  $[\text{AlO}_4]$ . Selama proses curing, monomer – monomer tadi terkondensasi dan membentuk jaringan polimer tiga-dimensi yang berikatan silang. Ion alkali bertindak sebagai penetral muatan (*charge balancer*) untuk tiap molekul tetrahedron  $[\text{AlO}_4]$ .

Larutan sodium silikat (*waterglass*) adalah aktivator yang secara umum digunakan karena mudah didapat dan ekonomis. Oleh karena itu dalam penelitian ini akan digunakan sodium silikat dan sodium hidroksida. Penambahan aktivator sodium hidroksida bertujuan untuk menambah ion  $\text{Na}^+$  pada proses polimerisasi.

Kandungan sodium silikat menyediakan kation berikatan-valensi-satu (*mono-valent*)  $[\text{Na}^+]$  sebagai spesies aktivator dimana ion resiprokal-nya,  $\text{Si}^{4+}$ , adalah komposisi utama geopolimer. Sodium silikat terlarut dalam air, menyediakan lingkungan reaksi cairan-padatan yang ideal untuk pencernaan dan pelarutan material prekursor.

### 2.2.3 Proses Polimerisasi

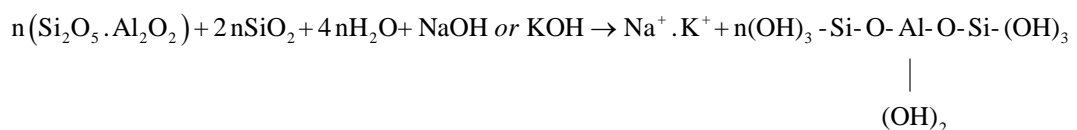
Sintesa geopolimer aluminosilikat membutuhkan dua konstituen utama dalam reaksi pencampuran, yaitu: prekursor yang kaya akan kandungan Al dan Si dengan larutan alkali-silikat sebagai activator.

Geopolymer dapat berupa salah satu dari 3 bentuk formula di bawah ini<sup>3)</sup>:

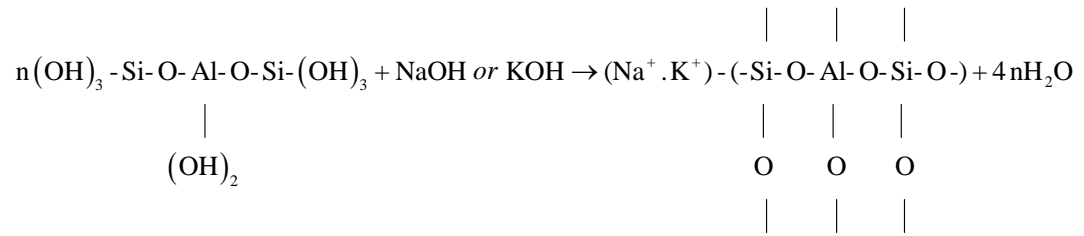
- Poly (sialate), formula monomer  $[-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-]$
- Poly (sialate-siloxo), formula monomer  $[-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-]$
- Poly (sialate-disiloxo), formula monomer  $[-\text{Si}-\text{O}-\text{Al}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-\text{Si}-\text{O}-]$   
( *sialate = silicon-oxo-aluminate, siloxo = silicon-oxo* )

Reaksi kimia yang terjadi pada proses polimerisasi terbagi dalam 3 tahapan. Ketiga tahap di bawah ini dapat saling bergantian dan terjadi bersamaan, membuat ini menjadi sulit ditelaah secara terpisah<sup>8)</sup>. 3 tahap proses polimerisasi tersebut adalah :

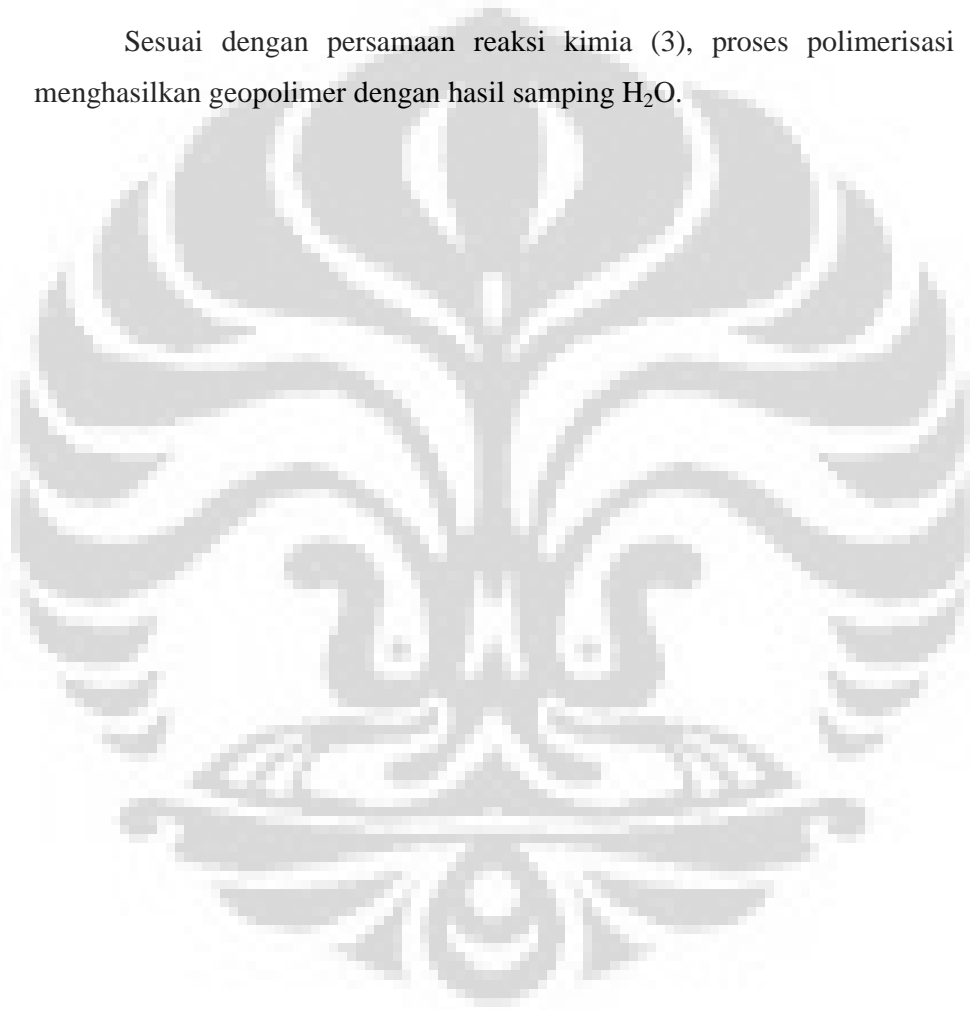
- (1) Disolusi atom Si dan Al dari sumber material prekursor disebabkan oleh ion hidroksida.
- (2) Penguraian ion prekursor menjadi monomer.



(3) Polikondensasi dari monomer – monomer menjadi struktur polimer.

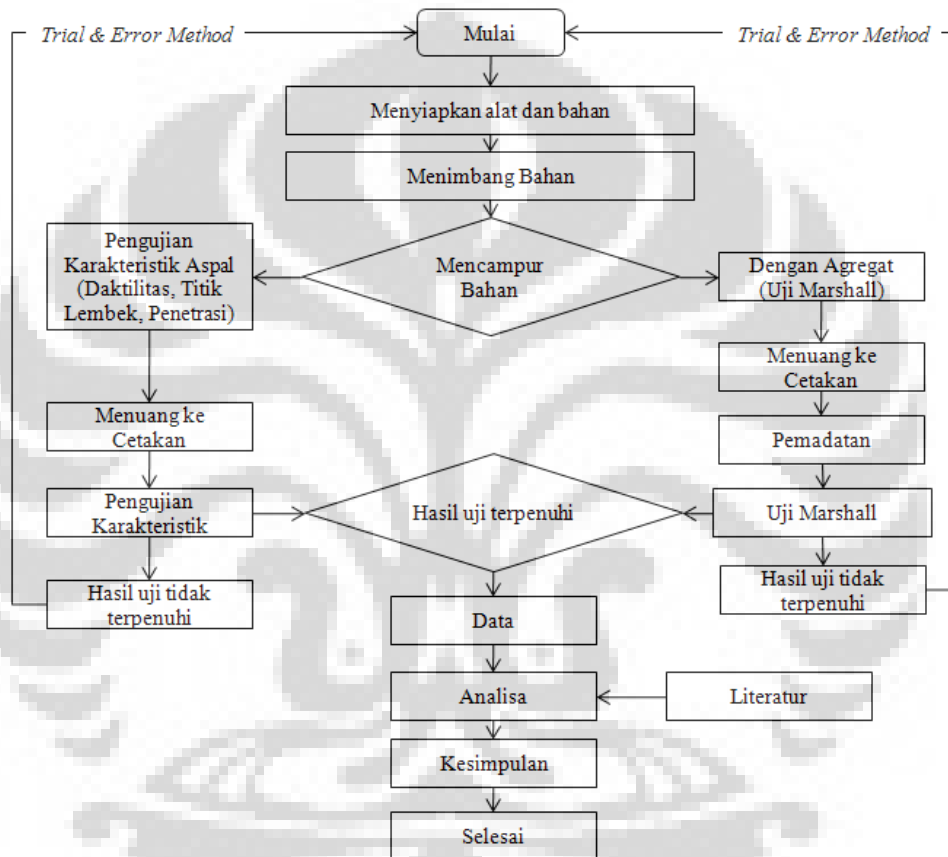


Sesuai dengan persamaan reaksi kimia (3), proses polimerisasi akan menghasilkan geopolimer dengan hasil samping  $\text{H}_2\text{O}$ .



## BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

Untuk mengetahui perilaku campuran aspal dengan penambahan geopolimer maka dibuat sampel yang selanjutnya akan diuji dengan langkah yang tertera pada diagram alir penelitian (Gambar 3.1.). Pertama yang dilakukan adalah menyiapkan alat dan bahan kemudian dilanjutkan dengan pencampuran bahan. Pencampuran bahan dibagi menjadi 2, berdasarkan pengujiannya. Untuk pengujian karakteristik (Daktalitas, Titik Lembek dan Penetrasi), pencampuran dilakukan tanpa agregat dan untuk pengujian marshall pencampuran dilakukan

dengan agregat. Jika hasil pengujian terpenuhi, maka akan didapatkan data yang kemudian siap dianalisa untuk mendapatkan jawaban dari penelitian ini. Analisa penelitian ini juga ditunjang dengan studi literatur penelitian aspal dan geopolimer.

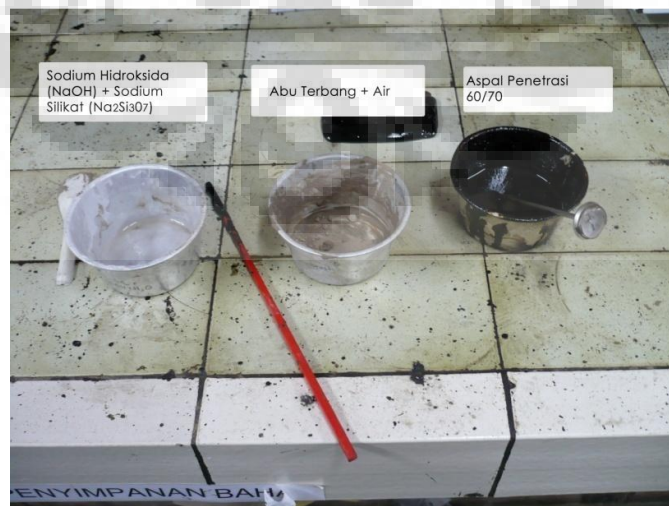
### 3.2. Alat dan Bahan

#### 3.2.1 Alat

- Timbangan Digital / Analog
- Plastik tahan panas
- Cawan alumunium
- Spatula
- Peralatan Uji Penetrasi
- Peralatan Uji Titik Lembek Aspal
- Peralatan Uji Daktilitas Aspal
- Peralatan pengujian campuran aspal denga Alata Marshall

#### 3.2.2 Bahan

- Aspal Pertamina Penetrasi (60/70)
- Agregat
- Abu terbang dalam Keadaan Kering
- Natrium Hidroksida
- Larutan Natrium silikat
- Air



Gambar 3.2. Gambar Penyusun Sampel Aspal Geopolimer



### 3.3 Perencanaan Campuran Aspal

Perencanaan campuran yang dimaksud disini adalah campuran aspal panas (*hot mix*) untuk campuran aspal dengan penambahan geopolimer. Adapun campuran tersebut terdiri dari aspal, agregat dan geopolimer.

Agar homogenitas yang dihasilkan sempurna, maka dalam pelaksanaan pencampuran dilakukan beberapa langkah, pertama adalah menyiapkan semua alat dan bahan. Kemudian bahan penyusun sampel yaitu aspal, abu terbang, natrium hidroksida, natrium silikat dan air ditimbang satu persatu dengan menggunakan timbangan dengan ketelitian 2 angka dibelakang koma sesuai dengan komposisi yang direncanakan.

Pencampuran dilakukan dengan tiga tipe yang berbeda, yaitu Tipe I dengan geopolimer sebanyak 10% dari campuran Aspal, Tipe II dengan geopolimer sebanyak 20% dari campuran Aspal dan tipe III dengan geopolimer sebanyak 30% dari Campuran Aspal. Kadar Geopolimer yang dipakai sebanyak 10-30 % dari kadar aspal bukan dari keseluruhan campuran aspal beton.

Teknik Pencampuran dilakukan dengan pencampuran natrium silikat dan natrium hidroksida terlebih dahulu dalam satu cawan, kemudian di cawan yang berbeda abu terbang dicampur dengan air. Kemudian cawan yang berisi abu terbang dan air selanjutnya ditambahkan larutan campuran natrium silikat dengan natrium hidroksida yang telah dicampur sebelumnya, kemudian diaduk rata hingga membentuk adonan geopolimer yang homogen. Setelah itu adonan geopolimer dimasukkan dalam cawan berisi aspal yang telah dipanaskan hingga suhu 120°C, kemudian diaduk kembali hingga campuran aspal dengan geopolimer homogen.

Setelah adonan aspal dengan geopolimer tercampur secara homogen, perlu diperhatikan *workability* dari adonan tersebut. Sifat dari aspal yang dapat mengeras pada penurunan suhu menyebabkan adonan perlu dipanaskan kembali jika adonan terlalu kental, namun pemanasan jangan sampai diatas suhu 120°C, karena berdasarkan metode coba-coba (*trial and error*) adonan akan mendidih dan meningkat volumenya. Jika *workability* sudah baik, maka adonan dapat langsung dituang pada cetakan maupun sampel untuk pengujian berikutnya.

Sampel dibiarkan pada temperatur ruang hingga waktu pengujian. Sampel dikarakterisasi  $\pm 24$  jam setelah penuangan adonan.

### 3.4. Proses Karakterisasi Sampel

#### 3.4.1 Pengujian Daktilitas

Maksud pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

Pada Pengujian Daktilitas, Sampel dibuat sebanyak 8 buah, dengan rincian sebagai berikut:

- Campuran Aspal tanpa Geopolimer : 2 Buah Sampel
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 10% (Tipe I) : 2 Buah Sampel
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 20% (Tipe II) : 2 Buah Sampel
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 30% (Tipe III) : 2 Buah Sampel

Setelah dilakukan pembentukan benda uji, dilakukan tahap pengujian daktilitas:

- a. Benda uji dидiamkan pada suhu 25 °C dalam bak perendam selama 85 sampai 95 menit, kemudian benda uji dilepaskan dari pelat dasar dan sisi-sisi cetaknya.
- b. Benda uji dipasang pada alat mesin uji dan ditarik secara teratur dengan kecepatan 5 cm/menit, sampai benda uji putus. Perbedaan kecepatan lebih kurang 5% masih diizinkan. Jarak dibaca antara pemegang cetakan, pada saat benda uji putus (dalam cm). Selama percobaan berlangsung benda selalu terendam sekurang-kurangnya 2,5 cm dari air dan suhu dipertahankan tetap  $(25 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$



Gambar 3.3 Pengujian Daktilitas

### 3.4.2 Pengujian Titik Lembek

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30 °C sampai 200 °C.

Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada saat bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun suatu lapisan aspal atau ter yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal atau ter menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu.

Pada Pengujian titik lembek, Sampel dibuat sebanyak 8 buah, dengan rincian sebagai berikut:

- Campuran Aspal tanpa Geopolimer : 2 Buah Sampel
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 10% (Tipe I) : 2 Buah Sampel
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 20% (Tipe II) : 2 Buah Sampel
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 30% (Tipe III) : 2 Buah Sampel

Prosedur pengujian titik lembek adalah sebagai berikut:

- Benda uji dipasang dan diatur di atas dudukannya dan pengarah bola diletakkan di atasnya. Kemudian seluruh peralatan tersebut dimasukkan ke dalam bejana gelas.
- Bejana diisi dengan air suling baru, dengan suhu  $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$  sehingga tinggi permukaan air berkisar antara 101.6 – 108 mm. Termometer yang sesuai untuk pekerjaan ini diletakkan diantara kedua benda uji (kurang lebih 12.7 mm dari tiap cincin).
- Jarak antara permukaan pelat dasar benda uji diatur sehingga menjadi 25.4 mm.
- Bola – bola baja yang bersuhu  $5 ^\circ\text{C}$  diletakkan di atas dan di tengah permukaan masing – masing benda uji yang bersuhu  $5 ^\circ\text{C}$  menggunakan penjepit dengan bantuan pengarah bola.
- Bejana dipanaskan dengan kecepatan pemanasan  $5 ^\circ\text{C}$  per menit. Kecepatan pemanasan ini tidak boleh diambil dari kecepatan pemanasan rata – rata dari awal dan akhir pekerjaan ini.
- Untuk 3 menit berikutnya, perbedaan kecepatan pemanasan per menit tidak boleh melebihi  $0,5 ^\circ\text{C}$ .



Gambar 3.4 Pengujian Titik Lembek

### 3.4.3 Pengujian Penetrasi

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, dengan beban dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu.

Pada Pengujian penetrasi, Sampel dibuat sebanyak 8 buah, dengan rincian sebagai berikut:

- Campuran Aspal tanpa Geopolimer : 2 Buah Sampel
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 10% (Tipe I) : 2 Buah Sampel
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 20% (Tipe II) : 2 Buah Sampel
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 30% (Tipe III) : 2 Buah Sampel

Prosedur pengujian penetrasi adalah sebagai berikut:

- a. Benda uji dengan cawan contoh, setelah dingin, dimasukkan ke dalam bejana air bersuhu konstan 25°C. Benda uji didiamkan ± 30 – 60 menit.
- b. Alat penetrasi dipersiapkan dengan memasang jarum penetrasi pada pemegang jarum. *Dial gauge* diatur hingga terletak pada angka nol. Pemberat sebesar 50 gr telah diletakkan untuk memperoleh beban sebesar (100 ± 0,1 gr).
- c. Setelah 30 – 60 menit, cawan contoh dipindahkan ke tempat air yang berada di bawah alat penetrasi yang suhu airnya juga dikontrol bersuh 25°C.
- d. Jarum diturunkan perlahan hingga jarum menyentuh permukaan benda contoh.
- e. Lalu pemegang jarum dilepas serentak dengan dimulainya waktu pada *stop watch*. Lama penetrasi adalah 5 detik.
- f. Setelah 5 detik, angka pada *dial gauge* alat penetrasi dibaca kemudian dicatat.
- g. Jarum penetrasi kemudian diangkat perlahan untuk mempersiapkan alat untuk uji coba berikutnya.

- h. Langkah – langkah a hingga g diulang hingga 4 kali sehingga kita mendapatkan 5 hasil bacaan dengan jarak antara satu lubang dengan lubang lainnya  $\pm 1$  cm.
- i. Langkah – langkah a hingga i diulang kembali untuk benda uji 2.



Gambar 3.5. Pengujian Penetrasi

#### 3.4.4 Pengujian Marshall

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) pada campuran beraspal. Setelah dilakukan pembentukan benda uji, dilakukan tahap pengujian marshall:

- Dilakukan pengukuran tinggi dan berat benda uji kedalam keadaan kering.
- Benda uji direndam dalam air dengan suhu ruangan  $25^{\circ}\text{C}$  selama 24 jam mendapatkan berat jenuh, kemudian dikeluarkan serata dilap dengan kering selanjutnya dilakukan penimbangan, dengan maksud mengetahui berat dalam keadaan jenuh.
- Benda uji selanjutnya ditimbang dalam air. Kemudian benda uji dimasukkan kedalam *waterbath* dengan suhu  $60^{\circ}\text{C}$  selama 40 menit yang merupakan prosedur perendaman Marshall.
- Setelah itu benda uji dites dengan alat Marshall, didalam pengujian ini digunakan alat Marshall Hogentogler.

- Dalam perhitungan ini, hasil Marshall masih dikoreksi dengan tinggi dan kalibrasi alat yang digunakan.

Dari hasil uji marshall tersebut diperoleh nilai-nilai stabilitas, kelelahan, Marshall Quotien (MQ), prosen rongga terisi aspal, prosen rongga terhadap campuran yang kemudian dibuatkan grafik hubungan hasil uji tersebut terhadap kadar aspal, sehingga diperoleh kadar aspal optimum.

Pada Pengujian Marshall, Sampel dibuat sebanyak 48 buah, dengan rincian sebagai berikut:

- Campuran Aspal tanpa Geopolimer.
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 10% (Tipe I).
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 20% (Tipe II).
- Campuran Aspal dengan Geopolimer 30% (Tipe III).

Masing-masing 3 buah sampel untuk kadar aspal 5; 5,5; 6 dan 6,5 %.



Gambar 3.6. Pengujian Marshall

## BAB 4

### HASIL DAN ANALISA

Pengujian dilakukan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal dengan penambahan geopolimer. Hasil Pengujian dilakukan dengan membandingkan antara campuran aspal tanpa geopolimer dengan campuran aspal geopolimer. Campuran aspal tanpa geopolimer diuji terlebih dahulu untuk mengetahui pemenuhan aspal terhadap persyaratan Manual Pemeriksaan Bahan Jalan yang tertera pada

Tabel 4.1. Persyaratan Aspal Keras (Penetrasi 60/70) berdasarkan Manual Pemeriksaan Bahan Jalan No. 01/MN/BM/1976, Ditjen Bina Marga, 1983

Jenis pemeriksaan	Satuan	Persyaratan		Hasil Pemeriksaan
		Min.	Maks.	
Penetrasi 25 °C, 100 gr, 5 det	0,1 mm	60	79	64,9
Titik lembek (Ring and ball)	°C	48	58	50
Titik nyala (Cleveland open cup)	°C	232	-	330
Kehilangan berat (163 °C, 5jam)	% berat	-	0,4	0,13
Daktilitas (25°C, 5 cm /det.)	Cm	100	-	100
Penetrasi setelah kehilangan berat	% awal	75	-	52.5 mm (80.89 % awal)
Berat jenis	Gr/ml	1	-	1,033



#### 4.1. Hasil Pengujian Penetrasi

Penetrasi merupakan ukuran kekerasan dan konsistensi. Sampel akan diuji pada suatu temperatur yang ditetapkan dan diuji dengan membiarkan jarum menembus benda uji tersebut. Nilai yang diukur adalah kedalaman tembusan yang diukur.

Untuk pengujian dilakukan dengan membandingkan campuran aspal tanpa geopolimer dengan campuran aspal dengan geopolimer. Sehingga akan didapatkan persentase kenaikan ataupun penurunan nilai penetrasi dari campuran aspal.

Dilakukan tiga tipe percobaan, yaitu percobaan Tipe I dengan geopolimer 10%, percobaan Tipe II dengan geopolimer 20% dan percobaan Tipe III dengan 30% Geopolimer. Persentase Geopolimer diambil dengan nilai 10-30% dikarenakan belum adanya literatur mengenai campuran aspal dengan geopolimer.

Digunakannya literatur campuran aspal dengan penambahan epoxy dikarenakan epoxy juga merupakan polimer yang termoset, yaitu polimer yang mengeras setelah dipanaskan. Begitu pula dengan geopolimer yang juga merupakan polimer yang termoset. Pada literatur campuran aspal dengan epoxy, dijelaskan bahwa persentase epoxy pada campuran aspal yang optimum adalah sebesar 10-30% dari jumlah aspal. Oleh karena itu penulis melakukan hal yang serupa.

Untuk setiap tipe percobaan dibuat dua buah sampel berdasarkan standar pengujian yaitu Manual Pemeriksaan Bahan Jalan Ditjen. Bina Marga 01/MN.BM.1976.

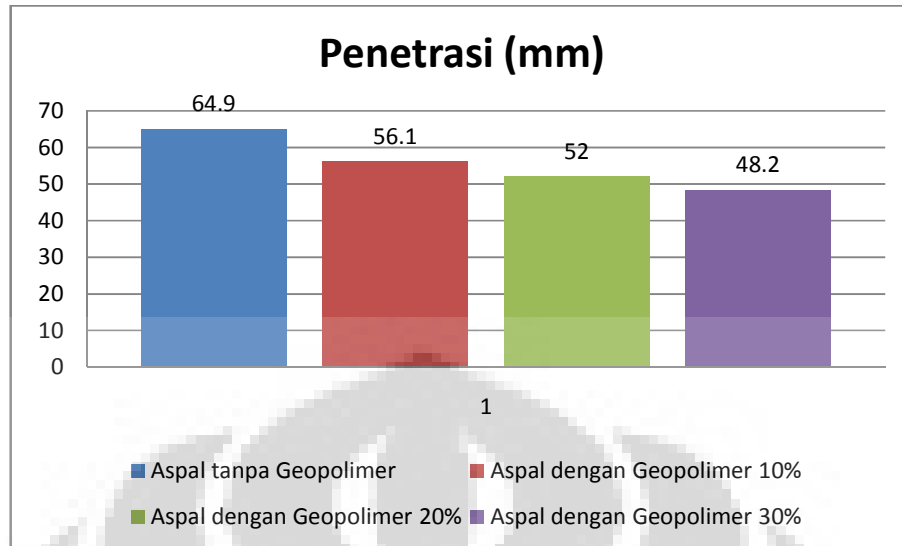
Kedua sampel dibuat dengan mekanisme pencampuran yang sama, yaitu dengan mencampur natrium silikat dengan natrium hidroksida pada cawan terlebih dahulu, kemudian menuangnya kedalam cawan berisi campuran fly ash dengan air dan diaduk hingga homogen. Setelah homogen, adonan geopolimer dimasukan ke dalam cawan berisi aspal yang telah dipanaskan hingga suhu 120°C dan kemudian diaduk kembali hingga homogen dan dituang kedalam cawan penetrasi.

Pengujian penetrasi dilakukan 24 jam setelah campuran aspal dengan geopolimer dituang kedalam cetakan penetrasi dan didiamkan pada suhu ruang. Setelah 24 jam, cetakan direndam di dalam air dengan suhu 25 °C, hal ini dilakukan berdasarkan standar pengujian, sehingga didapatkan hasil seperti pada tabel di 4.1.

Tabel 4.2. Hasil Pengujian Penetrasi Aspal

<b>Aspal tanpa Geopolimer</b>							
<b>Pengujian</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Satuan</b>
<b>Sampel 1</b>	60	64	69	70	61	64.8	<b>mm</b>
<b>Sampel 2</b>	65	65	69	63	63	65	<b>mm</b>
						64.9	
<b>Aspal dengan Geopolimer 10%</b>							
<b>Pengujian</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Satuan</b>
<b>Sampel 1</b>	50	50	59	59	55	54.6	<b>mm</b>
<b>Sampel 2</b>	59	60	59	58	52	57.6	<b>mm</b>
						56.1	
<b>Aspal dengan Geopolimer 20%</b>							
<b>Pengujian</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Satuan</b>
<b>Sampel 1</b>	50	51	46	50	55	50.4	<b>mm</b>
<b>Sampel 2</b>	46	57	53	55	57	53.6	<b>mm</b>
						52	
<b>Aspal dengan Geopolimer 30%</b>							
<b>Pengujian</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>Rata-rata</b>	<b>Satuan</b>
<b>Sampel 1</b>	50	50	51	50	48	49.8	<b>mm</b>
<b>Sampel 2</b>	40	49	50	49	45	46.6	<b>mm</b>
						48.2	

Dari hasil pengujian tersebut terlihat bahwa nilai penetrasi aspal semakin menurun seiring dengan bertambahnya geopolimer. Pertambahan geopolimer sebanyak 30% dapat menurunkan penetrasi hingga 25%. Pada dasarnya, Menurut Shoji (1973) penurunan penetrasi berpengaruh pada peningkatan stabilitas marshall dari aspal. Namun hasilnya akan dilihat pada sub bab 4.4 mengenai analisa hasil pengujian marshall.



Gambar 4.1. Grafik korelasi antara kadar geopolimer dengan penetrasi.

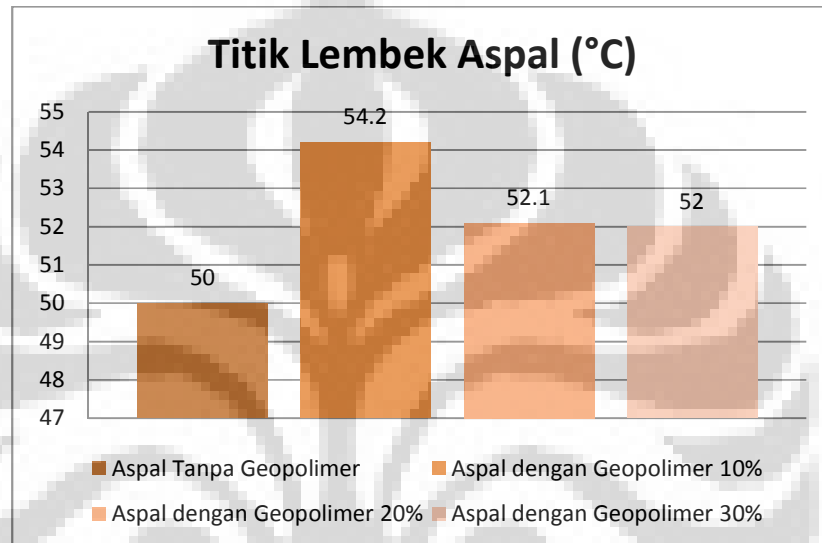
Grafik 4.1. memperlihatkan penetrasi rata-rata dari setiap campuran aspal. Semakin ke kiri, campuran aspal semakin meningkat. Dari grafik tersebut dapat kita simpulkan bahwa, penetrasi aspal menurun seiring dengan bertambahnya geopolimer. Hal ini terjadi dikarenakan aspal menjadi semakin *solid* setelah ditambahkan geopolimer. Selain itu juga pada aspal, terjadi penambahan friksi seiring dengan penambahan geopolimer. Hal ini dapat terlihat dari tekstur permukaan aspal yang semakin terlihat kasar pada campuran aspal dengan geopolimer yang lebih tinggi.



Gambar 4.2. Sampel Penetrasi dengan Penambahan Geopolimer

#### 4.2 Hasil Pengujian Titik Lembek

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik leleh aspal dan ter yang berkisar antara 30<sup>0</sup> C sampai 200<sup>0</sup> C. Sehingga dengan melakukan percobaan ini, kita dapat mengetahui ketahanan dari campuran aspal dengan penambahan geopolimer, terhadap panas.



Gambar 4.3. Grafik korelasi antara kadar geopolimer dengan Titik Lembek.

Grafik 4.2. menjelaskan mengenai korelasi antara kadar geopolimer dengan titik leleh rata-rata dari campuran aspal. Dari kiri ke kanan, secara berurutan memperlihatkan campuran aspal tanpa geopolimer hingga campuran aspal dengan geopolimer 30%. Didapatkan bahwa Titik Lembe Aspal meningkat seiring dengan penambahan Geopolimer. Dengan meningkatnya titik leleh aspal, maka dengan penambahan geopolimer didapatkan aspal dengan 8% lebih tahan panas dibandingkan aspal biasa.

Namun peningkatan kekuatan titik leleh aspal meningkat pada campuran geopolimer 10% namun turun kembali seiring pertambahan geopolimer. Semakin banyaknya geopolimer pada campuran aspal mengakibatkan geopolimer tersebut semakin cepat lepas dari ikatan aspal. Pada saat pengujian titik leleh pada campuran geopolimer 20% dan 30% terlihat bahwa butiran-butiran

geopolymer terlepas dari aspal terlebih dahulu, sebelum aspal jatuh ke pelat akibat pemanasan. Hal ini dapat dilihat dari gambar



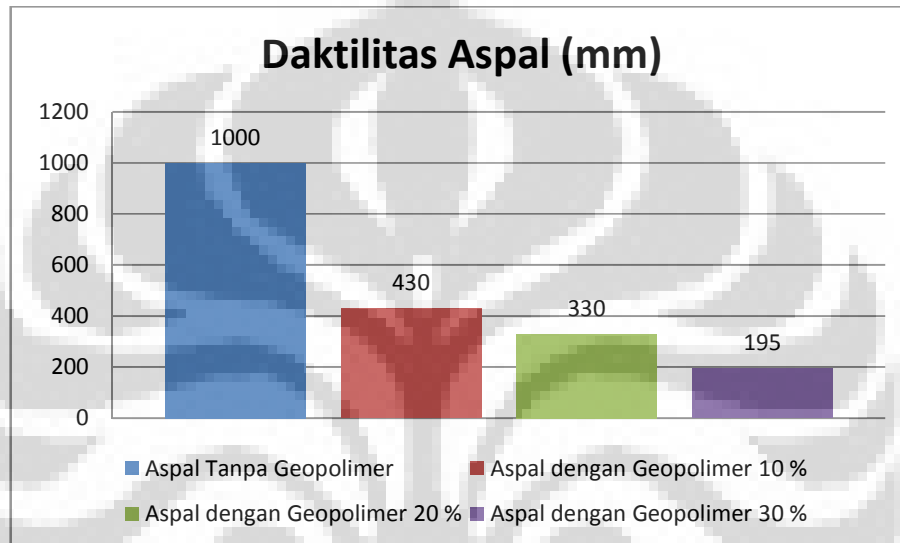
Gambar 4.4. Geopolimer terlepas dari Sampel Titik Lembek.

### 4.3 Hasil Pengujian Daktilitas

Maksud pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tarik tertentu, sehingga dengan percobaan ini, kita juga dapat mengetahui nilai daktilitas dari campuran aspal dengan penambahan geopolimer.

Pengujian daktilitas dilakukan 24 jam setelah penuangan campuran aspal dengan geopolimer ke dalam cetakan. Setelah 24 jam, sampel direndam terlebih dahulu dengan suhu 25 °C. Setelah itu sampel dikarakteristik.

Setelah melakukan pengujian daktilitas untuk campuran aspal dengan geopolimer 10%, 20% dan 30%, didapatkan bahwa daktilitas campuran aspal menurun seiring dengan penambahan geopolimer. Semakin banyak kadar geopolimer, campuran aspal semakin getas. Didapatkan penurunan daktilitas hingga 80% dengan penambahan 30% geopolimer.



Gambar 4.5. Grafik korelasi antara kadar geopolimer dengan Daktilitas.

Selain itu dari pengujian Daktilitas ini, didapatkan pula bahwa campuran aspal dengan geopolimer tidak terjadi secara homogen. Pada campuran aspal dengan Geopolimer, terdapat gumpalan-gumpalan geopolimer.



Gambar 4.6 Aspal yang tidak homogen dengan Geopolimer

#### 4.4 Hasil Pengujian Marshall

Pengujian ini dilakukan untuk mengukur stabilitas dan kelelahan platis campuran beraspal dengan menggunakan marshall. Sehingga dengan pengujian ini dapat diketahui mengenai stabilitas dan kelelahan aspal dengan penambahan geopolimer.

##### 4.4.1. Agregat

Pada pengujian Marshall ini digunakan agregat dari PT Utama Prima, agregat yang diberikan adalah sebagai berikut:

- **Agregat Kasar.** Agregat kasar yang diberikan sudah dipilah menjadi split 1-2 (Kasar) dan Screening (Medium). Dengan analisa saringan sebagai berikut:

Tabel 4.3. Analisa Saringan Agregat Kasar

No. Saringan	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
		Tertahan	Lewat
1	0	0.00	100.00
3/4	110	2.18	97.82
1/2	2830	56.20	41.62
3/8	1548	30.74	10.88
4	431	8.56	2.32
8	20	0.40	1.93
Pan	97	1.93	0.00
	5036		

Tabel 4.4. Analisa Saringan Agregat Medium

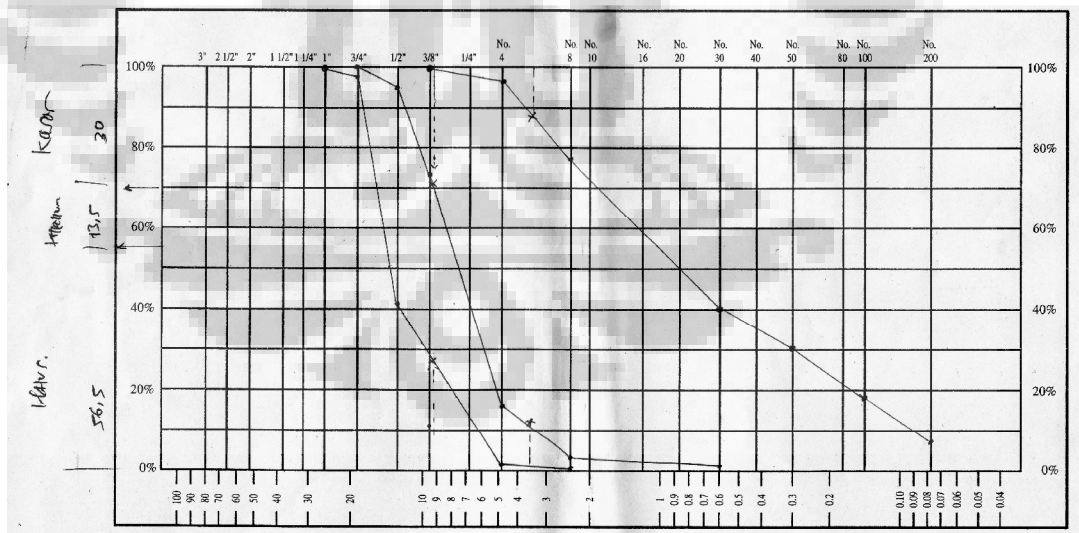
No. Saringan	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
		Tertahan	Lewat
3/4	0	0.00	100.00
1/2	182	4.06	95.94
3/8	1005	22.44	73.49
4	2550	56.95	16.55
8	558	12.46	4.09
30	88	1.97	2.12
Pan	95	2.12	0.00
	4478		

- **Agregat Halus.** Agregat halus yang digunakan merupakan abu batu.  
Analisa saringan agregat halus didapatkan sebagai berikut:

Tabel 4.5. Analisa Saringan Agregat Halus

No. Saringan	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
		Tertahan	Lewat
3/8	0	0.00	100.00
4	94	3.73	96.27
8	467	18.51	77.76
30	953	37.77	39.99
50	261	10.34	29.65
100	293	11.61	18.03
200	263	10.42	7.61
Pan	192	7.61	0.00
	2523		

Dari ketiga hasil analisa saringan tersebut, didapatkan hasil grafik pembagian butir sebagai berikut:



Gambar 4.7. Grafik Pembagian Butir



Dari Grafik pembagian butir, didapatkan bahwa persentase agregat terbagi menjadi:

- Agregat Kasar = 30%
- Agregat Medium = 13,5%
- Agregat Halus = 56,5%

Setelah melakukan analisa saringan dan pembagian butir, selanjutnya dilakukan analisa campuran (*blending*) sebagai berikut:

Tabel 4.6. analisa campuran (*blending*)

Saringan No.	Coarse Agg.		Medium Agg.		Fine Agg.		Total	Spesifikasi LASTON Tipe V
	100%	30%	100%	13,5%	100%	56,5%		
1	100	30	100	13.5	100	56.5	100	100
3/4	97.82	29.346	100	13.5	100	56.5	99.346	80 - 100
1/2	10.89	3.267	73.5	9.9225	100	56.5	69.69	60 - 80
3/8	2.53	0.699	16.55	2.2343	96.27	54.393	57.326	48 - 65
4	1.93	0.579	4.09	0.3522	77.76	43.934	45.066	35 - 50
8			2.12	0.2862	39.99	22.594	22.881	19 - 30
30					29.64	16.747	16.747	13 - 23
50					18.03	10.187	10.187	7 - 15
100					7.61	4.2997	4.2997	2 - 8
200								

Pada analisa campuran, digunakan spesifikasi Lapis Aspal Beton no. V dikarenakan fungsinya sebagai lapis permukaan dan juga *binder*. Selain itu juga karena dengan menggunakan spesifikasi V, maka agregat yang telah dipilah dari PT. Utama Prima dapat langsung digunakan.

#### 4.4.2. Campuran Aspal

Campuran aspal dibagi menjadi tiga tipe:

- Tipe I dengan Geopolimer 10%



Gambar 4.8. Sampel Marshall dengan Geopolimer 10%

- Tipe II dengan Geopolimer 20%



Gambar 4.9. Sampel Marshall dengan Geopolimer 20%

- Tipe III dengan Geopolimer 30%



Gambar 4.10. Sampel Marshall dengan Geopolimer 30%

Setiap Tipe campuran aspal dibuat sebanyak 12 sampel, yang terdiri dari campuran aspal 5% (3 Sampel); 5,5 % (3 Sampel); 6% (3 Sampel) dan 6,5% (3 Sampel). Kemudian hasil nilai stabilitasnya dibandingkan dengan hasil nilai stabilitas yang didapatkan dari Campuran aspal tanpa geopolimer.

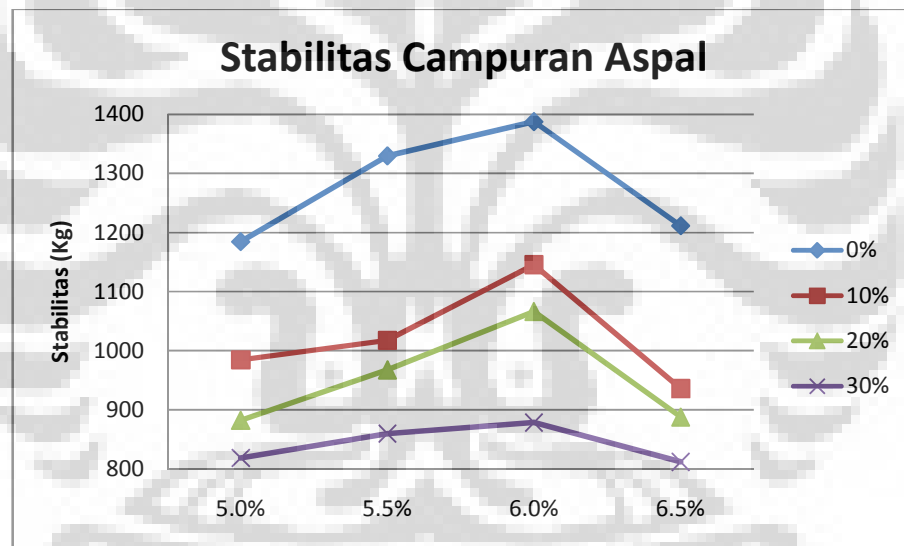


Gambar 4.11. Sampel Marshall tanpa Geopolimer

Dengan penambahan geopolimer, diharapkan dapat meningkatkan nilai stabilitas dari campuran aspal, namun setelah dilakukan percobaan dengan

penambahan aspal hingga 30% pada campuran aspal, didapatkan bahwa terjadi penurunan stabilitas hingga 41 %. Hal ini diakibatkan oleh tidak bercampurnya aspal dan geopolimer secara homogen. Hal ini didukung pada pengujian daktilitas, ditemukan bahwa geopolimer terlihat menjadi gumpalan. Hal ini sama saja dengan Sampel geopolimer yang dihancurkan dan menjadi serpihan-serpihan geopolimer, yang pada campuran aspal lebih memiliki fungsi sebagai pengisi (*filler*) dan bukan sebagai pengikat.

Dibawah ini dapat dilihat penurunan stabilitas campuran aspal untuk kadar aspal 5%; 5,5%; 6% dan 6,5% seiring dengan bertambahnya geopolimer.



Gambar 4.12 Grafik Stabilitas Campuran Aspal 5% - 6.5%

Dari semua pengujian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa geopolimer tidak bercampur dengan aspal. Sehingga campuran aspal dengan epoxy tidak dapat dianalogikan dengan campuran aspal dengan geopolimer. Hal ini terjadi karena walaupun keduanya merupakan polimer yang temoset, epoxy merupakan polimer organik sedangkan geopolimer merupakan polimer anorganik. Hal ini yang menyebabkan epoxy dapat mengikat dengan aspal karena aspal juga merupakan material organik.

Selain itu, untuk mencapai ikatannya, geopolimer membutuhkan air pada tahap ke-2 polimerisasi, tetapi pada saat pencampuran, suhu yang dibutuhkan agar aspal berbentuk cair adalah 120 °C sehingga air yang dibutuhkan untuk pengikatan geopolymer menguap terlebih dahulu. Sehingga yang terjadi hanya gumpalan-gumpalan geopolymer yang fungsinya tidak jauh berbeda dengan *filler*.

Selain itu dengan penambahan geopolimer, kadar aspal menjadi berkurang dan pengikat agregat pada campuran aspal berkurang, sedangkan *filler* menjadi bertambah, sehingga aspal untuk mengikat *filler* dan agregat menjadi berkurang. Hal ini berdampak pada berkurangnya rekatan campuran aspal sehingga stabilitas aspal dapat berkurang pula.



## **BAB 5**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

- Geopolimer tidak dapat bercampur dengan aspal karena geopolimer merupakan polimer anorganik.
- Penetrasi dari Aspal menurun seiring dengan penambahan Geopolimer. Dengan menambahkan geopolimer, didapatkan aspal yang lebih *solid* 25 % dibandingkan aspal biasa.
- Titik Lembek Aspal meningkat seiring dengan penambahan Geopolimer. Dengan meningkatnya titik lembek aspal, maka dengan penambahan geopolimer didapatkan aspal 8 % lebih tahan panas dibandingkan aspal biasa.
- Daktilitas Campuran aspal menurun hingga 80% seiring dengan penambahan geopolimer. Semakin banyak kadar geopolimer, campuran aspal semakin getas.
- Stabilitas Campuran Aspal menurun hingga 41% seiring dengan bertambahnya Geopolimer. Hal ini dikarenakan Geopolimer pada aspal tidak bercampur dengan Aspal dan mengakibatkan berkurangnya daya ikat aspal pada agregat.

#### **5.2 Saran**

- Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk campuran aspal geopolimer dengan bantuan emulsi. Sehingga tahap pencampuran, tidak melewati suhu penguapan air yang dibutuhkan untuk tahap polimerisasi geopolimer.

## DAFTAR PUSTAKA

Hunter, R. N., 2000, *Asphalts in Road Construction*, Thomas Telford Publishing, London.

Davidovits. J. Geopolymers of the first generation: SILICAFE-process. *The Geopolymere '88, first European Conference on Doft Mineralogy*. Compeigne, France.

Palomo A, Grutzeck MW, Blanco MT. Alkali-activated fly-ashes: A cement for the future. *Cem. Conc. Res.* 1999;29(8):1323-9.

Xu H, Deventer JSJV. The geopolymerisation of alumino silicate minerals. *Int. J. Min. Proc.* 2000;16(3):205-10.

Kerbs, R. D. and Walker, R. D., 1971, *Highway Materials*, McGraw-Hill Companies, Inc., United States of America.

Shoji et al., 1973. Effect of Asphalt Penetration on Marshall Stability. *Journal of the Society of Materials Science, Japan*.

*Metode Pengujian Daktilitas Bahan-bahan Aspal*, Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2432-1991.

*Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Alat Marshall*. Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2489-1991.

[http://www.ehow.com/how-does\\_4606911\\_epoxy-asphalt\\_perform.html](http://www.ehow.com/how-does_4606911_epoxy-asphalt_perform.html)

<http://www.chemcosystems.com/epoxy.html>



LAMPIRAN



**Berat Jenis Agregat Kasar**

Bk	: Berat benda uji oven dry	5000
Bj	: Berat benda uji kering permukaan jenuh	5061
Ba	: Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air	3110.5

Berat jenis curah <i>Bulk Specific Gravity</i>	:	$\frac{Bk}{Bj-Ba}$	:	2.563445	Min 2,5
---	---	--------------------	---	----------	---------

Berat Jenis keing permukaan Jenuh (SSD)	:	$\frac{Bj}{Bj-Ba}$	:	2.594719	Min 2,5
--	---	--------------------	---	----------	---------

Berat Jenis Semu <i>Apparent Specific Gravity</i> )	:	$\frac{Bk}{Bk-Ba}$	:	2.646203	Min 2,5
--	---	--------------------	---	----------	---------

Presentasi Absorpsi	:	$\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$	:	1.22 %	Maks 3%
---------------------	---	---------------------------------	---	--------	---------

**Berat Jenis Agregat Medium**

Bk	: Berat benda uji oven dry	4904 gr
Bj	: Berat benda uji kering permukaan jenuh	5027 gr
Ba	: Berat benda uji kering permukaan jenuh di dalam air	3112 gr

Berat jenis curah <i>Bulk Specific Gravity</i>	:	$\frac{Bk}{Bj-Ba}$	:	2.560836	Min 2,5
---	---	--------------------	---	----------	---------

Berat Jenis keing permukaan Jenuh (SSD)	:	$\frac{Bj}{Bj-Ba}$	:	2.625065	Min 2,5
--	---	--------------------	---	----------	---------

Berat Jenis Semu <i>Apparent Specific Gravity</i> )	:	$\frac{Bk}{Bk-Ba}$	:	2.736607	Min 2,5
--	---	--------------------	---	----------	---------

Presentasi Absorpsi	:	$\frac{Bj-Bk}{Bk} \times 100\%$	:	2.508157 %	Maks 3%
---------------------	---	---------------------------------	---	------------	---------

**Berat Jenis Agregat Halus**

Bk	: Berat Benda Uji oven dry	:	494 gr
B	:Berat Piknometer Berisi Air	:	672 gr
Bt	: Berat Piknometer berisi benda uji dan air	:	985 gr
500	: Berat Benda Uji dalam keadaan kering permukaan jenuh	:	500 gr

Berat jenis curah	:	$\frac{Bk}{(B+500-Bt)}$	:	2.641711
<i>Bulk Spesific Gravity</i>				

Berat Jenis keing permukaan Jenuh (SSD)	:	$\frac{500}{(B+500-Bt)}$	:	2.673797
---	---	--------------------------	---	----------

Berat Jenis Semu ( <i>Apparent Spesific Gravity</i> )	:	$\frac{Bk}{(B+Bk-Bt)}$	:	2.729282
---	---	------------------------	---	----------

Presentasi Absorpsi	:	$\frac{(500-Bk)}{Bk} \times 100\%$	:	1.214575 %
---------------------	---	------------------------------------	---	------------

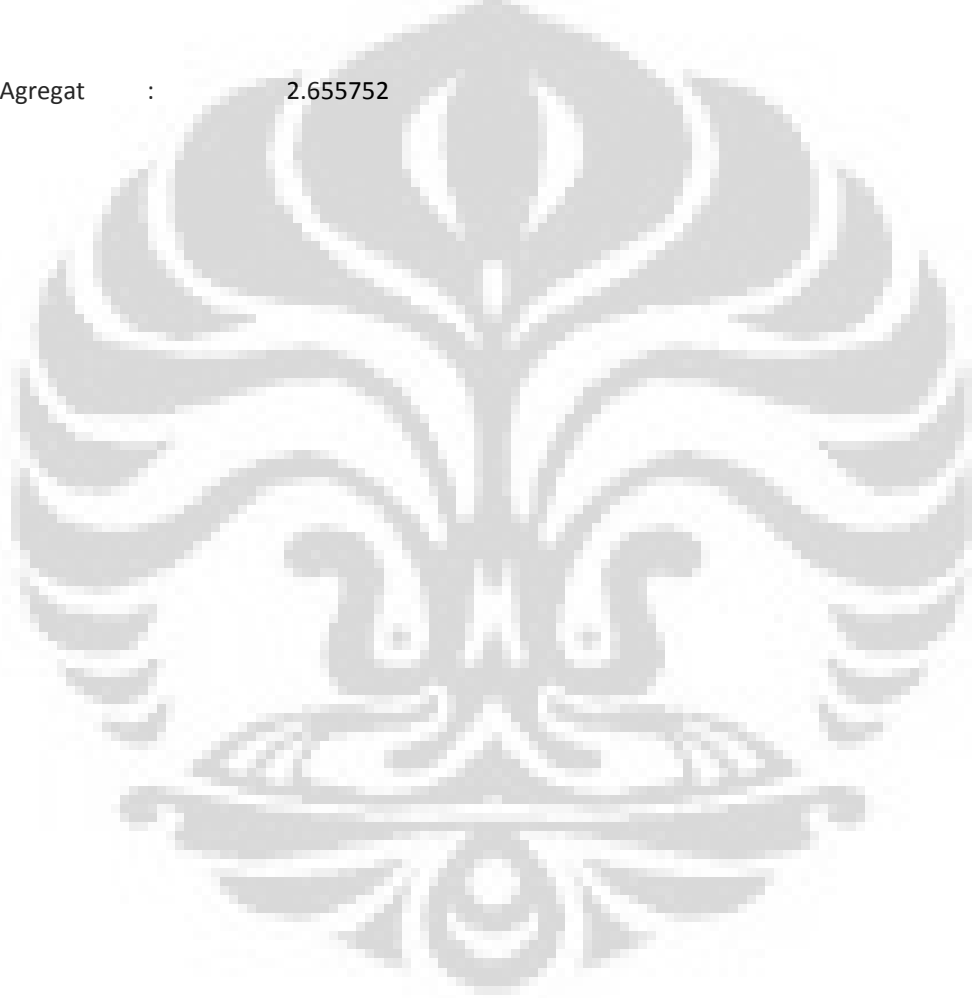
**Berat Jenis Efektif Agregat**

% Agregat Kasar : 30 %  
%Agregat Medium : 13.5 %  
%Agregat Halus : 56.5 %

Bj Bulk: Agregat Kasar 2.563445 : 2.606721  
Agregat Medium 2.560836  
Agregat Halus 2.641711

BJ Apparent: Agregat Kasar 2.646203 2.704784  
Agregat Medium 2.736607  
Agregat Halus 2.729282

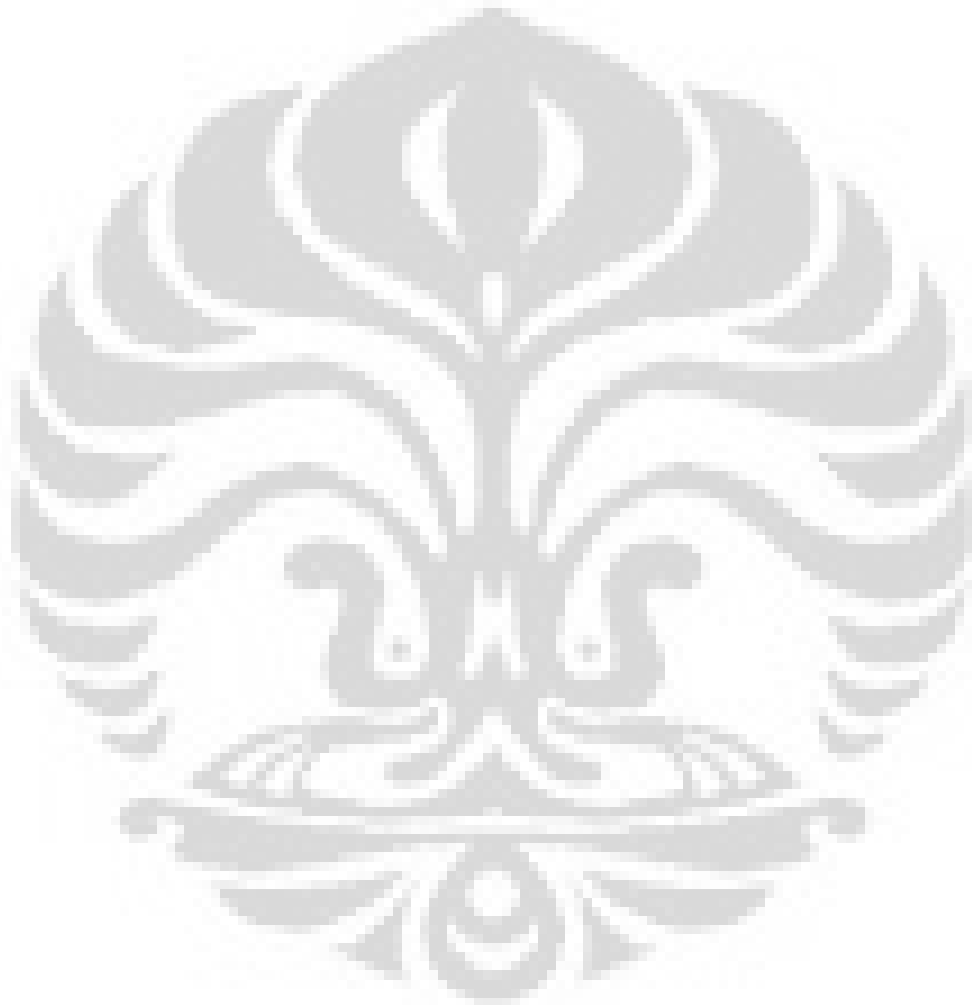
Bj Efektif Agregat : 2.655752



### Berat Jenis Aspal

A	Berat Pikhnometer	:	27.95
B	Berat Pikhnometer + Air	:	50.16
C	Berat Pikhnometer + Aspal	:	41.99
D	Berat Pikhnometer + Aspal + Air	:	50.62

$$\text{BJ Aspal: } \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} : 1.033873$$



Penetrasi Aspal

**Aspal tanpa Geopolimer**

Pengujian	1	2	3	4	5	Rata-rata	Satuan
Sampel 1	60	64	69	70	61	64.8	mm
Sampel 2	65	65	69	63	63	65	mm
						64.9	

**Aspal dengan Geopolimer 10%**

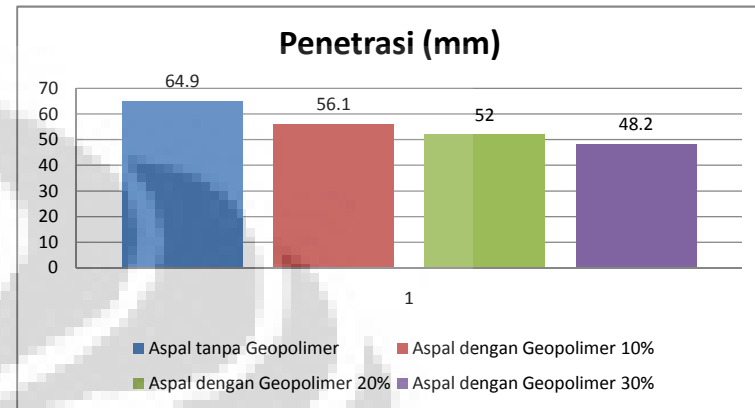
Pengujian	1	2	3	4	5	Rata-rata	Satuan
Sampel 1	50	50	59	59	55	54.6	mm
Sampel 2	59	60	59	58	52	57.6	mm
						56.1	

**Aspal dengan Geopolimer 20%**

Pengujian	1	2	3	4	5	Rata-rata	Satuan
Sampel 1	50	51	46	50	55	50.4	mm
Sampel 2	46	57	53	55	57	53.6	mm
						52	

**Aspal dengan Geopolimer 30%**

Pengujian	1	2	3	4	5	Rata-rata	Satuan
Sampel 1	50	50	51	50	48	49.8	mm
Sampel 2	40	49	50	49	45	46.6	mm
						48.2	



**Daktilitas Aspal  
Aspal Tanpa Geopolimer**

No.	Waktu (s)	Jarak (mm)
1	0	0
2	300	260
3	600	515
4	750	785
5	1200	1000

**Aspal dengan Geopolimer 10 %**

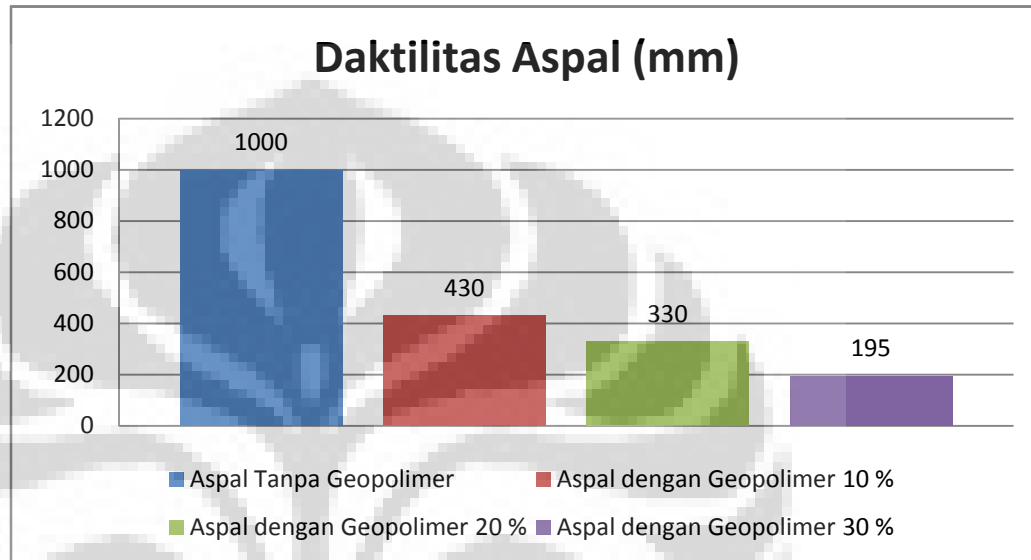
No.	Waktu (s)	Jarak (mm)
1	0	0
2	300	245
3	489	430
4	-	0
5	-	0

**Aspal dengan Geopolimer 20 %**

No.	Waktu (s)	Jarak (mm)
1	0	0
2	300	245
3	420	330
4	-	0
5	-	0

**Aspal dengan Geopolimer 30 %**

No.	Waktu (s)	Jarak (mm)
1	0	0
2	255.6	195
3	-	0
4	-	0
5	-	0



Titik Lembek Aspal

Aspal Tanpa Geopolimer

Waktu (Menit)	Suhu
0	17
1	20
2	22
3	24.4
4	27
5	29
6	32
7	34.5
8	37
9	39.6
10	42.5
11	45.2
12	48
13	50
14	-
15	-

Titik Lembek:

Sampel 1	49.8
Sampel 2	50.2
Rata-rata	50

Aspal dengan Geopolimer 10%

Waktu (Menit)	Suhu
0	40
1	43
2	46
3	49
4	51
5	54.2
6	-
7	-
8	-
9	-
10	-
11	-
12	-
13	-
14	-
15	-

Titik Lembek:

Sampel 1	54.9
Sampel 2	53.5
Rata-rata	54.2

Aspal dengan Geopolimer 20%

Waktu (Menit)	Suhu
0	28
1	33.8
2	39.8
3	46
4	52
5	-
6	-
7	-
8	-
9	-
10	-
11	-
12	-
13	-
14	-
15	-

Titik Lembek:

Sampel 1	52
Sampel 2	52.2
Rata-rata	52.1

Aspal dengan Geopolimer 30%

Waktu (Menit)	Suhu
0	10
1	15
2	21
3	25
4	29
5	34
6	39
7	44
8	48
9	52
10	-
11	-
12	-
13	-
14	-
15	-

Titik Lembek:

Sampel 1	51
Sampel 2	53
Rata-rata	52



Kehilangan Berat Aspal  
 Rata-rata benda Uji sebelum Oven (A) : 91.55 gr  
 Rata-rata benda uji setelah Oven (B) 91.425 gr

Persentase Kehilangan berat :  $100 - (A/B)^* : 0.136537411 \%$

**Aspal tanpa Geopolimer**

Pengujian	1	2	4	Rata-rata	Satuan
Sampel 1	60	64	70	64.8	mm
Sampel 2	65	65	63	65	mm
				64.9	

**Aspal tanpa Geopolimer Kehilangan Berat**

Pengujian	1	2	4	Rata-rata	Satuan
Sampel 1	57	50	54	52.6	mm
Sampel 2	50	55	50	52.4	mm
				52.5	

**Persentase penetrasi setelah kehilangan berat** :  $52.5/64.9 \times 100$  : 80.89368 %

**PERCOBAAN MARSHALL GEOPOLIMER 10%**

BJ Aspal 1.033873      Kalibrasi Alat      23.014  
 Bj Agregat 2.655752

No.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	J	k	l	m	n	o	p	q	r	s	Korelasi tinggi
1	5	65.9	1171.5	1187.5	650.5	537	2.181564	2.462594	10.55044	78.03762	11.41194	21.96238	48.0387	11.41194	48	1104.672	1025.919	3.5	293.1197	0.928709118
2	5	65.63333	1174	1189	659	530	2.215094	2.462594	10.7126	79.23704	10.05036	20.76296	51.59476	10.05036	52	1196.728	1118.621	3	372.8738	0.934733233
3	5	67.13333	1176	1192	651.5	540.5	2.175763	2.462594	10.52239	77.83011	11.6475	22.16989	47.46251	11.6475	39	897.546	808.5521	3.25	248.7853	0.900847588
<b>Rata-rata</b>		<b>66.22222</b>	<b>1173.833</b>	<b>1189.5</b>	<b>653.6667</b>	<b>535.8333</b>	<b>2.190807</b>	<b>2.462594</b>	<b>10.59514</b>	<b>78.36826</b>	<b>11.0366</b>	<b>21.63174</b>	<b>49.03199</b>	<b>11.0366</b>	<b>46.33333</b>	<b>1066.315</b>	<b>984.3642</b>	<b>3.25</b>	<b>304.9263</b>	<b>0.92142998</b>
1	5.5	66.4	1175	1190.5	660.5	530	2.216981	2.444812	11.7939	78.88714	9.318962	21.11286	55.8612	9.318962	51	1173.714	1076.782	3.3	326.2974	0.917413903
2	5.5	65.93333	1173	1185	657	528	2.221591	2.444812	11.81842	79.05117	9.130409	20.94883	56.41566	9.130409	47	1081.658	1003.731	3.05	329.0922	0.927956104
3	5.5	66.33333	1169.5	1185.5	653	532.5	2.196244	2.444812	11.68358	78.14925	10.16717	21.85075	53.46994	10.16717	46	1058.644	972.8091	3.45	281.9736	0.918919932
<b>Rata-rata</b>		<b>66.22222</b>	<b>1172.5</b>	<b>1187</b>	<b>656.8333</b>	<b>530.1667</b>	<b>2.211605</b>	<b>2.444812</b>	<b>11.7653</b>	<b>78.69585</b>	<b>9.538846</b>	<b>21.30415</b>	<b>55.24893</b>	<b>9.538846</b>	<b>48</b>	<b>1104.672</b>	<b>1017.774</b>	<b>3.266667</b>	<b>312.4544</b>	<b>0.92142998</b>
1	6	65.86667	1167.5	1179.5	651.5	528	2.211174	2.427286	12.83237	78.26421	8.903416	21.73579	59.03799	8.903416	54	1242.756	1155.095	3.7	312.1877	0.929462133
2	6	66.6	1173	1186	654	532	2.204887	2.427286	12.79588	78.04169	9.16243	21.95831	58.27353	9.16243	55	1265.77	1155.516	3.15	366.8305	0.912895817
3	6	66.13333	1169.5	1185.5	649.5	536	2.181903	2.427286	12.6625	77.22816	10.10934	22.77184	55.60595	10.10934	53	1219.742	1126.356	3.3	341.32	0.923438018
<b>Rata-rata</b>		<b>66.2</b>	<b>1170</b>	<b>1183.667</b>	<b>651.6667</b>	<b>532</b>	<b>2.199321</b>	<b>2.427286</b>	<b>12.76358</b>	<b>77.84469</b>	<b>9.391729</b>	<b>22.15531</b>	<b>57.63915</b>	<b>9.391729</b>	<b>54</b>	<b>1242.756</b>	<b>1145.656</b>	<b>3.383333</b>	<b>340.1128</b>	<b>0.921931989</b>
1	6.5	67.56667	1171.5	1190.5	649	541.5	2.163435	2.410008	13.6016	76.16718	10.23123	23.83282	57.07085	10.23123	40	920.56	820.2727	3.95	207.664	0.891058401
2	6.5	67.7	1172	1187	655.5	531.5	2.20508	2.410008	13.86342	77.63336	8.503224	22.36664	61.98256	8.503224	43	989.602	878.8124	3.5	251.0893	0.888046344
3	6.5	65.2	1176.5	1184.5	664.5	520	2.2625	2.410008	14.22442	79.65492	6.120659	20.34508	69.91578	6.120659	51	1173.714	1108.599	3.35	330.9251	0.944522419
<b>Rata-rata</b>		<b>66.82222</b>	<b>1173.333</b>	<b>1187.333</b>	<b>656.3333</b>	<b>531</b>	<b>2.210338</b>	<b>2.410008</b>	<b>13.89648</b>	<b>77.81848</b>	<b>8.285037</b>	<b>22.18152</b>	<b>62.98973</b>	<b>8.285037</b>	<b>44.66667</b>	<b>1027.959</b>	<b>935.8948</b>	<b>3.6</b>	<b>263.2261</b>	<b>0.907875722</b>

**% Rongga Terhadap Agregat (VMA)**

5	<b>21.63174</b>
5.5	<b>21.30415</b>
6	<b>22.15531</b>
6.5	<b>22.18152</b>

**% Rongga Terhadap Campuran (VIM)**

5	<b>11.0366</b>
5.5	<b>9.538846</b>
6	<b>9.391729</b>
6.5	<b>8.285037</b>

**Stabilitas**

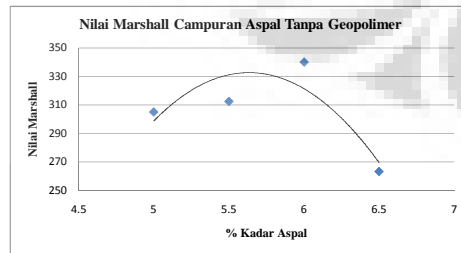
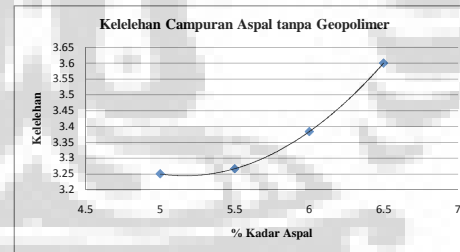
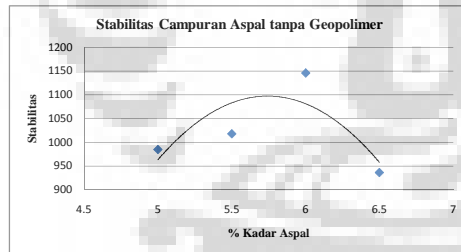
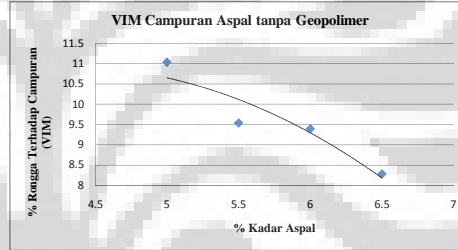
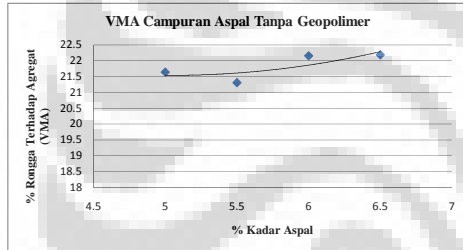
5	<b>984.3642</b>
5.5	<b>1017.774</b>
6	<b>1145.656</b>
6.5	<b>935.8948</b>

**Kelelahan**

5	<b>3.25</b>
5.5	<b>3.266667</b>
6	<b>3.383333</b>
6.5	<b>3.6</b>

**Nilai Marshall**

5	<b>304.9263</b>
5.5	<b>312.4544</b>
6	<b>340.1128</b>
6.5	<b>263.2261</b>



**PERCOBAAN MARSHALL GEOPOLIMER 20%**

BJ Aspal 1.033873      Kalibrasi Alat      23.014  
 Bj Agregat 2.655752

No.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	J	k	l	m	n	o	p	q	r	s	Korelasi tinggi
1	5	67.05	1189.5	1200	645	555	2.143243	2.462594	10.36512	76.66682	12.96806	23.33318	44.42222	12.96806	39	897.546	810.2418	2.99	270.9839	0.902730124
2	5	66.23333	1171	1188	643	545	2.148624	2.462594	10.39114	76.8593	12.74957	23.1407	44.90415	12.74957	41	943.574	869.2005	3	289.7335	0.921178975
3	5	65.68333	1168.5	1185.5	647	538.5	2.169916	2.462594	10.49411	77.62096	11.88493	22.37904	46.89259	11.88493	45	1035.63	966.868	3.45	280.2516	0.933603711
<b>Rata-rata</b>		<b>66.32222</b>	<b>1176.333</b>	<b>1191.167</b>	<b>645</b>	<b>546.1667</b>	<b>2.159328</b>	<b>2.462594</b>	<b>10.41679</b>	<b>77.04903</b>	<b>12.53418</b>	<b>22.95097</b>	<b>45.40632</b>	<b>12.53418</b>	<b>41.66667</b>	<b>958.9167</b>	<b>882.1035</b>	<b>3.146667</b>	<b>280.323</b>	<b>0.919170937</b>
1	5.5	66.86667	1179	1193	650.5	542.5	2.173272	2.444812	11.56137	77.33183	11.1068	22.66817	51.00267	11.1068	51	1173.714	1064.408	3.15	337.9073	0.906871702
2	5.5	66.26667	1161.5	1177.5	635	542.5	2.141014	2.444812	11.38977	76.18399	12.42625	23.81601	47.82398	12.42625	41	943.574	868.49	3.3	263.1788	0.920425961
3	5.5	65.56667	1167	1183	643.5	539.5	2.163114	2.444812	11.50734	76.97038	11.52229	23.02962	49.96754	11.52229	45	1035.63	969.5975	3.55	273.126	0.936239262
<b>Rata-rata</b>		<b>66.23333</b>	<b>1169.167</b>	<b>1184.5</b>	<b>643</b>	<b>541.5</b>	<b>2.159133</b>	<b>2.444812</b>	<b>11.48616</b>	<b>76.82873</b>	<b>11.68511</b>	<b>23.17127</b>	<b>49.59806</b>	<b>11.68511</b>	<b>45.66667</b>	<b>1050.973</b>	<b>967.4985</b>	<b>3.333333</b>	<b>291.404</b>	<b>0.921178975</b>
1	6	66.23333	1165	1180	635	545	2.137615	2.427286	12.40547	75.66058	11.93394	24.33942	50.96865	11.93394	53	1219.742	1123.601	3.3	340.4851	0.921178975
2	6	66.1	1157	1173.5	634	539.5	2.144578	2.427286	12.44589	75.90706	11.64705	24.09294	51.65781	11.64705	51	1173.714	1084.736	3.5	309.9246	0.924191032
3	6	66.43333	1167.5	1181	641	540	2.162037	2.427286	12.54721	76.52501	10.92778	23.47499	53.44925	10.92778	47	1081.658	991.5136	3.25	305.0811	0.916660889
<b>Rata-rata</b>		<b>66.25556</b>	<b>1163.167</b>	<b>1178.167</b>	<b>636.6667</b>	<b>541.5</b>	<b>2.148077</b>	<b>2.427286</b>	<b>12.46619</b>	<b>76.03088</b>	<b>11.50293</b>	<b>23.96912</b>	<b>52.02524</b>	<b>11.50293</b>	<b>50.33333</b>	<b>1158.371</b>	<b>1066.617</b>	<b>3.35</b>	<b>318.4969</b>	<b>0.920676965</b>
1	6.5	65.5	1158	1167	642	525	2.205714	2.410008	13.86741	77.65569	8.476904	22.34431	62.06236	8.476904	37	851.518	798.507	3.4	234.855	0.93774529
2	6.5	65.9	1166	1179.5	643	536.5	2.173346	2.410008	13.66391	76.5161	9.819992	23.4839	58.18415	9.819992	48	1104.672	1025.919	3.8	269.9787	0.928709118
3	6.5	66.66667	1171	1185	644	541	2.16451	2.410008	13.60836	76.20503	10.18661	23.79497	57.19006	10.18661	40	920.56	838.989	3.6	233.0525	0.911389789
<b>Rata-rata</b>		<b>66.02222</b>	<b>1165</b>	<b>1177.167</b>	<b>643</b>	<b>534.1667</b>	<b>2.18119</b>	<b>2.410008</b>	<b>13.71322</b>	<b>76.79227</b>	<b>9.494503</b>	<b>23.20773</b>	<b>59.14552</b>	<b>9.494503</b>	<b>41.66667</b>	<b>958.9167</b>	<b>887.805</b>	<b>3.6</b>	<b>245.9621</b>	<b>0.925948066</b>

**% Rongga Terhadap Agregat (VMA)**

5	<b>22.95097</b>
5.5	<b>23.17127</b>
6	<b>23.96912</b>
6.5	<b>23.20773</b>

**% Rongga Terhadap Campuran (VIM)**

5	<b>12.53418</b>
5.5	<b>11.68511</b>
6	<b>11.50293</b>
6.5	<b>9.494503</b>

**Stabilitas**

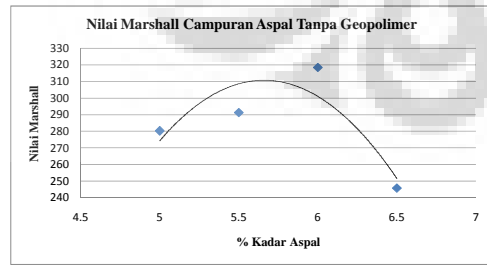
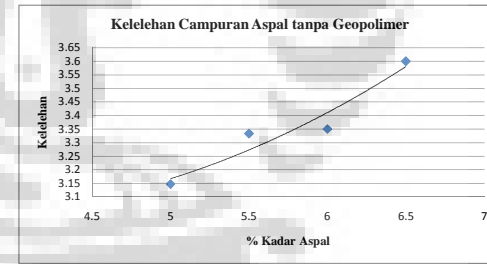
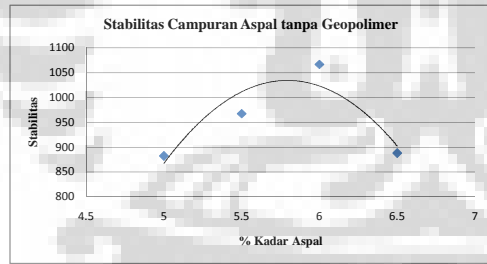
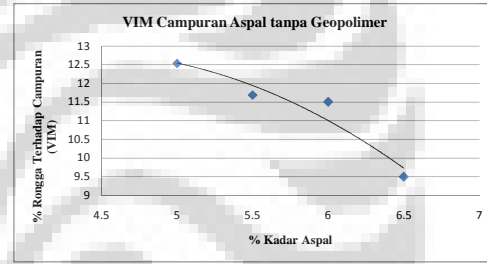
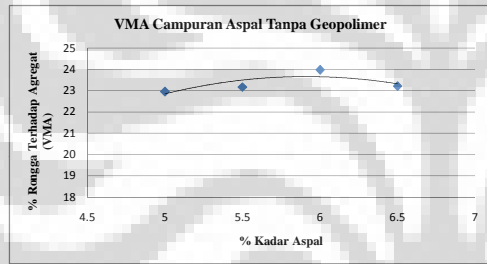
5	<b>882.1035</b>
5.5	<b>967.4985</b>
6	<b>1066.617</b>
6.5	<b>887.805</b>

**Kelelehan**

5	<b>3.146667</b>
5.5	<b>3.333333</b>
6	<b>3.35</b>
6.5	<b>3.6</b>

**Nilai Marshall**

5	<b>280.323</b>
5.5	<b>291.404</b>
6	<b>318.4969</b>
6.5	<b>245.9621</b>



**PERCOBAAN MARSHALL GEOPOLIMER 30%**

BJ Aspal 1.033873      Kalibrasi Alat      23.014  
 Bj Agregat 2.655752

No.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	J	k	l	m	n	o	p	q	r	s	Korelasi tinggi
1	5	64.46667	1159.5	1181.5	644.5	537	2.159218	2.462594	10.44237	77.23826	12.31937	22.76174	45.87686	12.31937	29	667.406	641.4364	2.1	305.4459	0.961088735
2	5	65.93333	1171.5	1192.5	648.5	544	2.153493	2.462594	10.41468	77.03346	12.55186	22.96654	45.3472	12.55186	46	1058.644	982.3752	3	327.4584	0.927956104
3	5	63.76667	1105	1127.5	604.5	523	2.112811	2.462594	10.21794	75.57821	14.20385	24.42179	41.83943	14.20385	37	851.518	831.8497	2.85	291.8771	0.976902036
<b>Rata-rata</b>		<b>64.72222</b>	<b>1145.333</b>	<b>1167.167</b>	<b>632.5</b>	<b>534.6667</b>	<b>2.14184</b>	<b>2.462594</b>	<b>10.35833</b>	<b>76.61664</b>	<b>13.02503</b>	<b>23.38336</b>	<b>44.3545</b>	<b>13.02503</b>	<b>37.33333</b>	<b>859.1893</b>	<b>818.5537</b>	<b>2.65</b>	<b>308.2605</b>	<b>0.955315625</b>
1	5.5	65.8	1164.5	1178.5	664.5	514	2.265564	2.444812	12.05235	80.61588	7.331772	19.38412	62.1764	7.331772	42	966.588	899.8627	2.95	305.0382	0.930968161
2	5.5	66.2	1163.5	1181	642.5	538.5	2.160631	2.444812	11.49413	76.88204	11.62383	23.11796	49.71947	11.62383	41	943.574	869.9111	3.25	267.6649	0.921931989
3	5.5	66.03333	1162.5	1179	647	532	2.18515	2.444812	11.62456	77.7545	10.62093	22.2455	52.25581	10.62093	38	874.532	809.5517	2.55	317.4713	0.925697061
<b>Rata-rata</b>		<b>66.01111</b>	<b>1163.5</b>	<b>1179.5</b>	<b>651.3333</b>	<b>528.1667</b>	<b>2.203782</b>	<b>2.444812</b>	<b>11.72368</b>	<b>78.41747</b>	<b>9.858846</b>	<b>21.58253</b>	<b>54.71723</b>	<b>9.858846</b>	<b>40.33333</b>	<b>928.2313</b>	<b>859.7751</b>	<b>2.916667</b>	<b>296.7248</b>	<b>0.92619907</b>
1	6	69.86667	1158.5	1185.5	625.5	560	2.06875	2.427286	12.00582	73.22313	14.77105	26.77687	44.83654	14.77105	43	989.602	830.3754	3	276.7918	0.839100412
2	6	67.93333	1164.5	1179.5	633.5	546	2.132784	2.427286	12.37744	75.4896	12.13296	24.5104	50.49871	12.13296	44	1012.616	893.9123	2.9	308.2456	0.882775244
3	6	68.93333	1161.5	1178.5	627	551.5	2.106074	2.427286	12.22443	74.54422	13.23335	25.45578	48.01436	13.23335	46	1058.644	910.6295	3.3	275.9483	0.860184814
<b>Rata-rata</b>		<b>68.91111</b>	<b>1161.5</b>	<b>1181.167</b>	<b>639</b>	<b>552.5</b>	<b>2.102536</b>	<b>2.427286</b>	<b>12.2019</b>	<b>74.41898</b>	<b>13.37912</b>	<b>25.58102</b>	<b>47.7832</b>	<b>13.37912</b>	<b>44.33333</b>	<b>1020.287</b>	<b>878.3058</b>	<b>3.066667</b>	<b>286.9953</b>	<b>0.860686823</b>
1	6.5	67.2	1166.5	1182.5	639.5	543	2.14825	2.410008	13.50613	75.63258	10.86129	24.36742	55.42701	10.86129	36	828.504	745.1081	3	248.3694	0.899341559
2	6.5	66.96667	1167.5	1182.5	645.5	537	2.174115	2.410008	13.66874	76.5432	9.788054	23.4568	58.27199	9.788054	37	851.518	770.294	3	256.7647	0.904612659
3	6.5	65.86667	1168.5	1180.5	644.5	536	2.180037	2.410008	13.70598	76.75169	9.542335	23.24831	58.95472	9.542335	43	989.602	919.7976	3.3	278.7265	0.929462133
<b>Rata-rata</b>		<b>66.67778</b>	<b>1167.5</b>	<b>1181.833</b>	<b>643.1667</b>	<b>538.6667</b>	<b>2.167468</b>	<b>2.410008</b>	<b>13.62695</b>	<b>76.30916</b>	<b>10.06389</b>	<b>23.69084</b>	<b>57.55124</b>	<b>10.06389</b>	<b>38.66667</b>	<b>889.8747</b>	<b>811.7332</b>	<b>3.1</b>	<b>261.2869</b>	<b>0.911138784</b>

**% Rongga Terhadap Agregat (VMA)**

5	<b>23.38336</b>
5.5	<b>21.58253</b>
6	<b>25.58102</b>
6.5	<b>23.69084</b>

**% Rongga Terhadap Campuran (VIM)**

5	<b>13.02503</b>
5.5	<b>9.858846</b>
6	<b>13.37912</b>
6.5	<b>10.06389</b>

**Stabilitas**

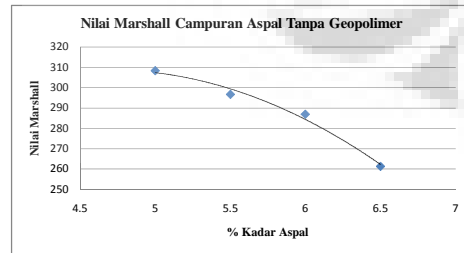
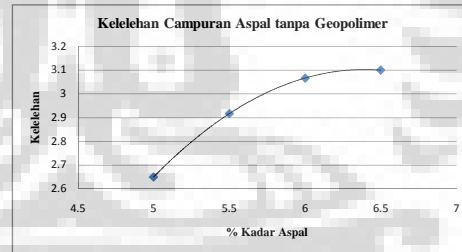
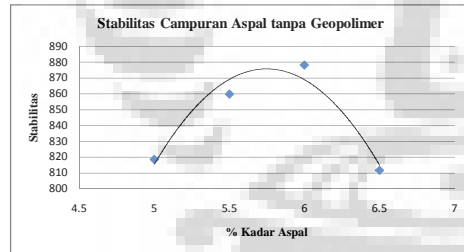
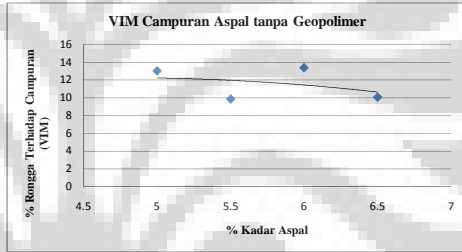
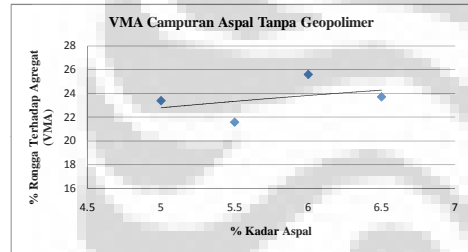
5	<b>818.5537</b>
5.5	<b>859.7751</b>
6	<b>878.3058</b>
6.5	<b>811.7332</b>

**Kelelahan**

5	<b>2.65</b>
5.5	<b>2.916667</b>
6	<b>3.066667</b>
6.5	<b>3.1</b>

**Nilai Marshall**

5	<b>308.2605</b>
5.5	<b>296.7248</b>
6	<b>286.9953</b>
6.5	<b>261.2869</b>



**PERCOBAAN MARSHALL ASPAL TANPA GEOPOLIMER**

Bj Aspal 1.033873 Kalibrasi Alat 23.014  
 Bj Agregat 2.655752

No.	a	b	c	d	e	f	g	h	i	J	k	l	m	n	o	p	q	r	s	Korelasi tinggi
1	5	65.8	1202.5	1210	688.5	521.5	2.305849	2.462594	11.1515	82.48344	6.365052	17.51656	63.66265	6.365052	60	1380.84	1285.518	3.3	389.5509	0.930968161
2	5	67.5	1205.5	1214	683	531	2.270245	2.462594	10.97932	81.20985	7.810832	18.79015	58.43124	7.810832	58	1334.812	1191.406	3.4	350.4134	0.89256443
3	5	67.93333	1202.5	1208.5	674.5	534	2.251873	2.462594	10.89047	80.55265	8.556882	19.44735	55.99975	8.556882	53	1219.742	1076.758	3.45	312.1038	0.882775244
<b>Rata-rata</b>		<b>67.07778</b>	<b>1203.5</b>	<b>1210.833</b>	<b>682</b>	<b>528.8333</b>	<b>2.275989</b>	<b>2.462594</b>	<b>11.0071</b>	<b>81.41532</b>	<b>7.577589</b>	<b>18.58468</b>	<b>59.36455</b>	<b>7.577589</b>	<b>57</b>	<b>1311.798</b>	<b>1184.561</b>	<b>3.383333</b>	<b>350.6894</b>	<b>0.902102612</b>
1	5.5	67.73333	1198	1204	672.5	531.5	2.253998	2.444812	11.99082	80.20432	7.804859	19.79568	60.57292	7.804859	61	1403.854	1245.63	3.6	346.0084	0.88729333
2	5.5	67.46667	1202.5	1210.5	678	532.5	2.258216	2.444812	12.01326	80.3544	7.632337	19.6456	61.14988	7.632337	67	1541.938	1377.44	3.7	372.2811	0.893317444
3	5.5	67.2	1202	1207.5	684.5	523	2.298279	2.444812	12.22639	81.77998	5.993634	18.22002	67.10413	5.993634	66	1518.924	1366.031	3.55	384.7976	0.899341559
<b>Rata-rata</b>		<b>67.46667</b>	<b>1200.833</b>	<b>1207.333</b>	<b>678.3333</b>	<b>529</b>	<b>2.270164</b>	<b>2.444812</b>	<b>12.07682</b>	<b>80.77957</b>	<b>7.14361</b>	<b>19.22043</b>	<b>62.94231</b>	<b>7.14361</b>	<b>64.66667</b>	<b>1488.239</b>	<b>1329.701</b>	<b>3.616667</b>	<b>367.6957</b>	<b>0.893317444</b>
1	6	66.33333	1202	1208.5	689	519.5	2.313763	2.427286	13.42774	81.89534	4.676925	18.10466	74.16729	4.676925	64	1472.896	1353.473	3.8	356.1772	0.918919932
2	6	66.43333	1200	1205	681	524	2.290076	2.427286	13.29027	81.05694	5.652785	18.94306	70.15907	5.652785	65	1495.91	1371.242	3.75	365.6646	0.916660889
3	6	66.33333	1202.5	1210	687.5	522.5	2.301435	2.427286	13.35619	81.459	5.184811	18.541	72.03598	5.184811	68	1564.952	1438.066	3.55	405.0889	0.918919932
<b>Rata-rata</b>		<b>66.36667</b>	<b>1201.5</b>	<b>1207.833</b>	<b>685.8333</b>	<b>522</b>	<b>2.301758</b>	<b>2.427286</b>	<b>13.35807</b>	<b>81.47043</b>	<b>5.171507</b>	<b>18.52957</b>	<b>72.12078</b>	<b>5.171507</b>	<b>65.66667</b>	<b>1511.253</b>	<b>1387.594</b>	<b>3.7</b>	<b>375.6436</b>	<b>0.918166918</b>
1	6.5	66.33333	1195.5	1201	682	519	2.303468	2.410008	14.48199	81.09727	4.420739	18.90273	76.61322	4.420739	57	1311.798	1205.437	3.85	313.1006	0.918919932
2	6.5	65.3	1197	1202.5	679.5	523	2.288719	2.410008	14.38926	80.578	5.03274	19.422	74.08743	5.03274	53	1219.742	1149.318	3.9	294.697	0.942263376
3	6.5	66.66667	1199.5	1203	683	520	2.306731	2.410008	14.5025	81.21213	4.285363	18.78787	77.19079	4.285363	61	1403.854	1279.458	3.8	336.6995	0.911389789
<b>Rata-rata</b>		<b>66.1</b>	<b>1197.333</b>	<b>1202.167</b>	<b>681.5</b>	<b>520.6667</b>	<b>2.299639</b>	<b>2.410008</b>	<b>14.45792</b>	<b>80.96247</b>	<b>4.579614</b>	<b>19.03753</b>	<b>75.96381</b>	<b>4.579614</b>	<b>57</b>	<b>1311.798</b>	<b>1211.405</b>	<b>3.85</b>	<b>314.8324</b>	<b>0.924191032</b>

k = Jumlah kandungan rongga (%) = 100 - l - j  
 l = prosen rongga terhadap agregat = 100 - j  
 m = prosen rongga terisi aspal = 100 x i/l  
 n = prosen rongga terhadap campuran = 100 - (100 . g/j)  
 o = pembacaan arloji stabilitas  
 p = stabilitas = o x kalibrasi alat  
 q = stabilitas = p x korelasi tinggi  
 r = kelelahan (mm)  
 s = stabilitas/kelelahan (kg/mm)

**% Rongga Terhadap Agregat (VMA)**

5	18.58468
5.5	19.22043
6	18.52957
6.5	19.03753

**% Rongga Terhadap Campuran (VIM)**

5	7.577589
5.5	7.14361
6	5.171507
6.5	4.579614

**Stabiitas**

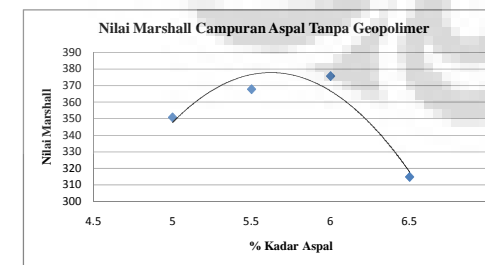
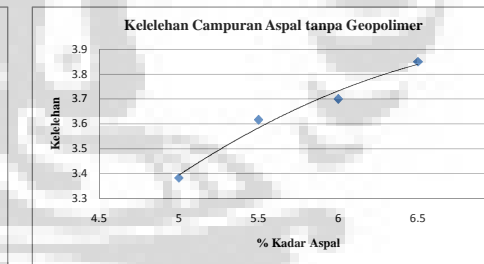
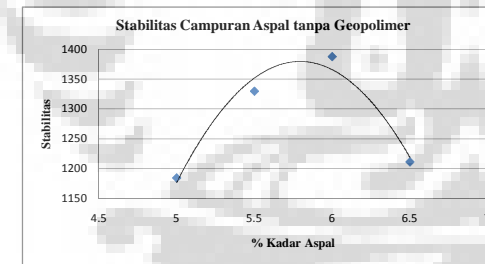
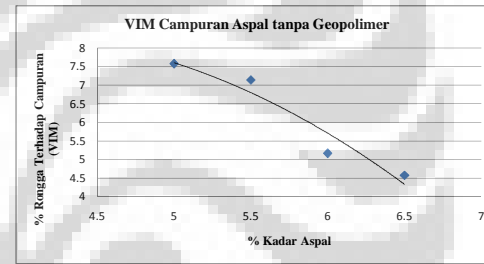
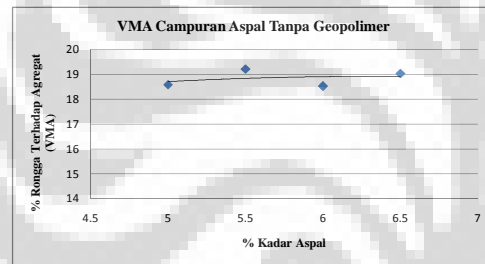
5	1184.561
5.5	1329.701
6	1387.594
6.5	1211.405

**Kelelahan**

5	3.383333
5.5	3.616667
6	3.7
6.5	3.85

**Nilai Marshall**

5	350.6894
5.5	367.6957
6	375.6436
6.5	314.8324



### Keterangan

a = % aspal terhadap campuran

b = tinggi benda uji

c = berat (gram)

d = berat dalam keadaan jenuh (gram)

e = berat dalam air (gram)

f = isi (ml) = d - e

g = berat isi benda uji = c/f

h = berat jenis teoritis

$$= \frac{100}{\frac{\% \text{agregat}}{\text{BJ Agregat}} + \frac{\% \text{Aspal}}{\text{BJ Aspal}}}$$

i =  $\frac{a \times g}{\text{BJ Aspal}}$

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

k = Jumlah kandungan rongga (%) = 100 - l - j

l = prosen rongga terhadap agregat = 100 - j

m = prosen rongga terisi aspal = 100 x i/l

n = prosen rongga terhadap campuran = 100 - (100 . g/j)

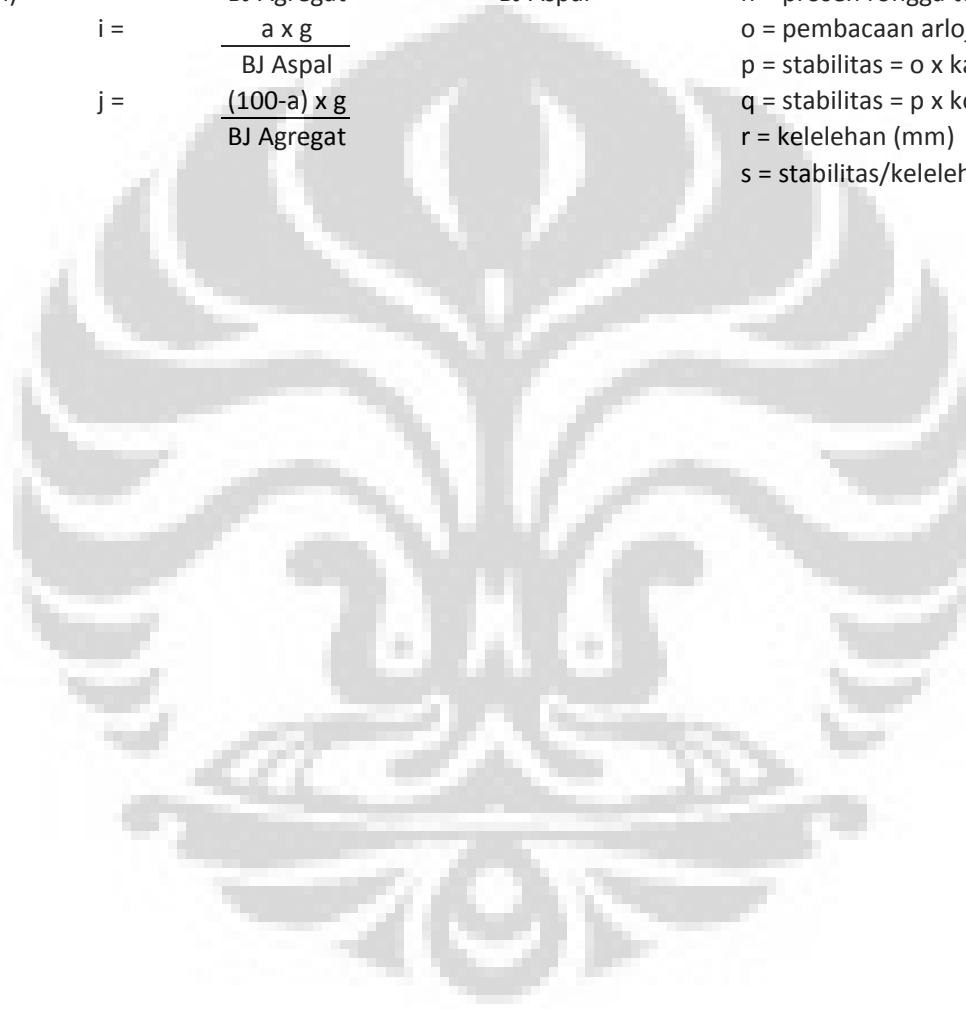
o = pembacaan arloji stabilitas

p = stabilitas = o x kalibrasi alat

q = stabilitas = p x korelasi tinggi

r = keelehan (mm)

s = stabilitas/keelehan (kg/mm)



Sifat - sifat Campuran	Rentang Kadar aspal yang Memenuhi Spesifikasi															
	5				5.5				6				6.5			
Stabilitas Marshall																
Kelelehan Marshall																
Hasil bagi Marshall (Marshall Quotient)																
% Rongga Terhadap Agregat (VMA)																
% Rongga Terhadap Campuran (VIM)																

  
 Rentang yang Memenuhi seluruh Parameter

Kadar Aspal Optimum tanpa geopolimer = 6.3 %

**Kadar Aspal Optimum untuk Campuran dengan Geopolimer**

Sifat - sifat Campuran	Rentang Kadar aspal yang Memenuhi Spesifikasi															
	5				5.5				6				6.5			
Stabilitas Marshall																
Kelelehan Marshall																
Hasil bagi Marshall (Marshall Quotient)																
% Rongga Terhadap Agregat (VMA)																
% Rongga Terhadap Campuran (VIM)																

Kadar Aspal Optimum = > 6.5 %, karena nilai VIM yang memenuhi persyaratan 3 - 5, berada di kadar aspal > 6.5%

Uji Marshall

No.	Sifat-sifat Campuran	Spesifikasi	Satuan
1	Kadar Aspal Optimum	-	%
2	Stabilitas	min. 550	Kg
3	Kelelehan	2 - 4	mm
4	Marshall Quotient	200 - 350	Kg/mm
5	Prosen Terhadap Campuran (VIM)	3 - 5	%
6	Prosen Rongga Terhadap Agregat (VMA)	13	%