



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Pengaruh Variasi Beban Pada Repetisi Pembebanan  
Statis Terhadap Karakter Campuran Aspal Beton  
Terendam Air Hujan**

**PURWADI NUGROHO**

**0404010597**

**FAKULTAS TEKNIK**

**KEKHUSUSAN TRANSPORTASI**

**DEPOK**

**JULI 2009**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**Pengaruh Variasi Beban Pada Repetisi Pembebanan  
Statis Terhadap Karakter Campuran Aspal Beton  
Terendam Air Hujan**

**SKRIPSI**

**Untuk diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh gelar  
Sarjana Teknik Bidang Ilmu Teknik Sipil Program Studi Teknik  
Sipil**

**PURWADI NUGROHO**

**0404010597**

**FAKULTAS TEKNIK**

**KEKHUSUSAN TRANSPORTASI**

**DEPOK**

**JULI 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 : Purwadi Nugroho

NPM : 0404010597

Tanda tangan :

Tanggal :

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : Purwadi Nugroho  
NPM : 0404010597  
Program Studi : Teknik Sipil  
Judul : Pengaruh Variasi Beban Pada Repetisi  
Pembebanan Statis Terhadap Karakter  
Campuran Aspal Beton Terendam Air  
Hujan

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing 1 :

Pembimbing 2 :

Tim Penguji :

Ditetapkan di :

Tanggal :

## ABSTRAK

Nama : Purwadi Nugroho

Program Studi : Teknik Sipil

Judul : Pengaruh Variasi Beban Pada Repetisi Pembebanan Statis Terhadap Karakter Campuran Aspal Beton Terendam Air Hujan

Tujuan utama adanya perkerasan jalan adalah untuk meningkatkan daya dukung tanah asli, meningkatkan kenyamanan dan keamanan dari perjalanan. Untuk memenuhi tujuan itu, diperlukan perkerasan yang memenuhi suatu *level of service* tertentu. Kerusakan pada badan jalan dapat mengurangi *level of service* dari jalan tersebut. Pada saat ini, terdapat banyak sekali kasus kerusakan jalan faktor penyebab kerusakan jalan ini ada bermacam-macam, di antaranya beban yang berlebih, kesalahan pada saat pengerjaan, juga akibat adanya genangan air pada badan jalan.

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mempelajari pengaruh yang diberikan oleh pembebanan terhadap konstruksi perkerasan lentur yang terendam air hujan. Metode yang digunakan adalah dengan studi literatur dan pengujian di laboratorium. Kondisi perkerasan yang terendam akan disimulasikan dengan merendam benda uji di dalam air hujan dan diberikan beban sebagai pengganti beban lalu lintas.

Beban yang diberikan adalah beban statis yang dilakukan berulang-ulang. Untuk mengetahui pengaruh dari beban, maka diberikan pembebanan dengan variasi besar beban tertentu.

Data yang didapat dari percobaan ini adalah pola perubahan karakteristik dari aspal yang diuji. Data yang diperoleh menunjukkan bahwa ada penurunan kinerja dari aspal beton ketika proses pembebanan selesai dilakukan. Semakin besar beban yang diberikan, semakin besar penurunan kinerja yang terjadi. Pada pembebanan 40 %, aspal beton bahkan sudah ada yang mengalami kegagalan.

Kata Kunci :

LASTON, air hujan, pembebanan berulang, *marshall test*, kinerja LASTON

**ABSTRACT**

Name : Purwadi Nugroho  
Faculty : Civil Engineering  
Judul : The Effect of Load Variants at Repetitive Static Loading Test to Soaked Asphalt Cement Characteristics

A pavement was meant to increase the stability of sub-grade or original soil. Road pavement has to provide road user a certain *level of service*. This *level of service* is affected by the physical condition of the pavement itself. Nowadays, there is a lot of pavement defect with various causes, such as overload, faulty construction process, and rainwater.

This research was done to learn about the effect that was caused by rain water to flexible road pavement construction . The method that used was literature study and laboratory test. A sample is drowned in rainwater , and to simulate traffic load, a specific load will be given.

The loads given are various according to a certain percentage of maximum load capacity of the asphalt cement. This were done to show the pattern of the effect of loads to characteristics of asphalt cement. The load given is a static-repetitive load.

The test result on asphalt cement showed that there is a degradation of asphalt quality after it has been submerged and loaded simultaneously. From the various load used, it is also known that the degradation rate of asphalt increase according to the load used following a certain pattern. With 40 % load, some failure on asphalt cement sample happened.

Key Word :

Asphalt Cement, Rainwater, Repetitive Static Load, Marshall Test

# DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan

Lembar Pernyataan Keaslian Isi Seminar

Abstrak.....	i
Daftar Isi.....	ii
Daftar Gambar.....	iv
Daftar Tabel.....	v
Bab I      Pendahuluan.....	1
I.1     Latar belakang.....	1
I.2     Tujuan penelitian.....	2
I.3     Ruang lingkup penelitian.....	2
I.4     Batasan penelitian.....	3
I.5     Sistematika penulisan.....	4
I.6     Laboratorium uji.....	5
Bab II     Studi Literatur.....	6
II.1    Gambaran Umum Struktur Jalan.....	6
II.2    Material Perkerasan Jalan.....	8
II.2.1 Aspal.....	8
II.2.2 Agregat.....	11
II.2.2.1 Agregat Kasar.....	15
II.2.2.2 Agregat Halus.....	16
II.2.2.3 Filler.....	16
II.3    Air Hujan.....	17

II.4	Laston.....	18
II.5	Marshall Test.....	19
Bab III	Metodologi Penelitian.....	21
III.1	Rencana Penelitian.....	21
III.2	Pelaksanaan.....	25
III.2.1	Bahan Baku Penelitian.....	25
III.2.2	Standar Pengujian.....	25
III.2.3	Perancangan Dan Pembuatan Benda Uji.....	26
III.2.4	Perendaman Dan Pembebanan Benda Uji Dalam Air Hujan.....	28
III.2.5	Tahap Pengujian Benda Uji.....	28
III.3.	Tahap Analisa Dan Pembahasan.....	30
III.4	Tahap Kesimpulan Dan Saran.....	31
Bab IV	Data dan Analisa Hasil Percobaan.....	32
IV.1	Pemeriksaan Material Aspal dan Agregat.....	32
IV.1.1	Pengujian Aspal.....	32
IV.1.2	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat.....	33
IV.1.3	Analisa Saringan.....	33
IV.2	Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	37
IV.2.1	Perancangan Benda Uji.....	37
IV.2.2	Pengujian Dengan Alat Marshall.....	39

IV.3	Pengujian Terhadap Campuran Dengan Kadar	
	Aspal Optimum.....	43
IV.3.1	Perancangan Benda Uji.....	43
IV.3.2	Pengujian Dengan Alat Marshall.....	43
IV.3.3	Pembebanan dan Perendaman Benda Uji	
	Di Dalam air Hujan.....	44
Bab V	Kesimpulan dan Saran.....	56
V.1	Kesimpulan.....	56
V.2	Saran.....	57
	Daftar Pustaka	

## DAFTAR GAMBAR

Gambar II.1	Distribusi Beban Pada Struktur Jalan.....	7
Gambar II.2	Peta Tingkat Keasaman Air Hujan Di Indonesia.....	17
Gambar III.1	Bagan Alir Penelitian.....	24
Gambar III.2	Pembebanan Dan Perendaman Benda Uji.....	27
Gambar III.3	Contoh grafik kinerja campuran Vs Pembebanan .....	30
Gambar IV.1	Grafik Sebaran Butiran Agregat Kasar.....	34
Gambar IV.2	Grafik Sebaran Butiran Agregat Medium.....	34
Gambar IV.3	Grafik Sebaran Butiran Agregat Halus.....	35
Gambar IV.4	Grafik Sebaran Butiran Gabungan.....	35
Gambar IV.5	Grafik Kadar Aspal vs Stabilitas.....	39
Gambar IV.6	Grafik Kadar Aspal vs VMA.....	39
Gambar IV.7	Grafik Kadar Aspal vs VIM.....	40
Gambar IV.8	Grafik Kadar Aspal vs Kelelehan.....	41
Gambar IV.9	Hasil pengolahan data tabulasi berupa selisih stabilitas /nilai O dan O' pembebanan 10 % .....	45
Gambar IV.10	Hasil pengolahan data tabulasi perubahan Kelelehan/ selisih R dengan R' pembebanan 10 % .....	45
Gambar IV.11	Hasil pengolahan data tabulasi berupa selisih stabilitas /nilai O dan O' pembebanan 20 % .....	47
Gambar IV.12	Hasil pengolahan data tabulasi perubahan Kelelehan/ selisih R dengan R' pembebanan 20 % .....	47
Gambar IV.13	Hasil pengolahan data tabulasi berupa selisih stabilitas /nilai O dan O' pembebanan 30 % .....	49
Gambar IV.14	Hasil pengolahan data tabulasi perubahan Kelelehan/ selisih R dengan R' pembebanan 30 % .....	49
Gambar IV.15	Hasil pengolahan data tabulasi berupa selisih stabilitas /nilai O dan O' pembebanan 40 % .....	51
Gambar IV.16	Hasil pengolahan data tabulasi perubahan Kelelehan/ selisih R dengan R' pembebanan 40 % .....	51

Gambar IV.17	Grafik Nilai Stabilitas Akhir .....	52
Gambar IV.18	Grafik Perubahan Nilai Stabilitas vs Waktu Pembebanan .....	54
Gambar 4.19	Grafik Perubahan Nilai O vs Waktu Pembebanan .....	56



## DAFTAR TABEL

Tabel I.1	Syarat Pemeriksaan Aspal Keras.....	9
Tabel II.2	Syarat Gradasi Untuk Filler.....	16
Tabel II.3	Syarat Gradasi Untuk Berbagai Tipe Laston.....	17
Tabel IV.1	Persyaratan Material Campuran Aspal .....	31
Tabel IV.2	Sebaran Butiran Agregat Kasar.....	32
Tabel IV.3	Sebaran Butiran Agregat Medium.....	33
Tabel IV.4	Sebaran Butiran Agregat Halus.....	34
Tabel IV.5	Perbandingan Hasil Percobaan Dengan Standar.....	36
Tabel IV.6	Komposisi campuran aspal dalam penentuan kadar aspal .....	37
Tabel IV.7	Hasil Pengujian Marshall.....	38
Tabel IV.8	Kadar Aspal Yang Memenuhi Persyaratan .....	41
Tabel IV.9	Komposisi Campuran Aspal Dengan Kadar Aspal 6,15%.....	42
Tabel IV.10	Hasil Pengujian Marshall Dengan Kadar Aspal 6,15%.....	43
Tabel IV.11	Tabulasi Hasil Pembebanan 10 % .....	44
Tabel IV.12	Tabulasi Hasil Pembebanan 20 % .....	46
Tabel IV.13	Tabulasi Hasil Pembebanan 30 % .....	48
Tabel IV.14	Tabulasi Hasil Pembebanan 40 % .....	50
Tabel IV.15	Nilai Stabilitas Akhir Campuran .....	52
Tabel IV.16	Rata-Rata Perubahan Stabilitas ( Kg) .....	53
Tabel IV.17	Rata-rata Perubahan Kelelehan (mm) .....	55

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Jalan ialah jalur yang menghubungkan satu pusat kegiatan dengan pusat kegiatan lainnya. Untuk meningkatkan kenyamanan dan keamanan dari perjalanan, jalan biasanya memiliki lapisan perkerasan jalan diatas lapisan tanah asli. Saat ini sering ditemukan badan jalan yang rusak/berlubang. Hal ini tentu saja menjadi gangguan bagi para pengguna jalan. Sehingga pengguna jalan tidak dapat lagi merasakan kenyamanan ketika menggunakan fasilitas jalan. Jalan yang rusak, seperti lubang pada badan jalan dan lain-lain, dapat menjadi penyebab kecelakaan lalu lintas.

Dari data penelitian transportasi disebutkan, 40 % penyebab kerusakan jalan adalah karena air, 30 % karena kelebihan muatan, dan sisanya karena bencana alam. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa air menyebabkan kerusakan pada sebagian besar badan jalan di Indonesia.

Tingginya curah hujan di Indonesia, yaitu dengan rata-rata 2000 - 3000 mm/tahun (BMG, 2006), ditambah dengan tidak adanya sistem drainase di sisi jalan, dan desain geometric jalan yang salah memungkinkan terjadinya genangan air di badan jalan.

Jika kondisi seperti ini terus berlangsung, akan semakin banyak badan jalan yang akan rusak dan berlubang. Berangkat dari masalah tersebut, dalam penelitian ini akan dipelajari pengaruh yang diberikan oleh air hujan terhadap kinerja dari aspal, khususnya aspal semen (Laston) dengan material aspal Pertamina.

## 1.2 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan yang hendak dicapai melalui penelitian ini adalah:

- Mempelajari karakteristik Laston dan bahan pembentuknya
- Mempelajari karakteristik aspal secara umum dan secara khusus pada aspal Pertamina
- Mengetahui pengaruh pembebanan berulang pada Laston terendam air hujan terhadap kinerja campuran laston.

## 1.3 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dibahas tentang perubahan kekuatan pada Lapis Aspal Beton (Laston) yang telah terpengaruh oleh air hujan. Sebagai pendekatan dilakukan penelitian di Laboratorium Bahan dan Laboratorium Lingkungan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia, Depok.

Ruang lingkup dalam penelitian ini antara lain:

- Aspal yang digunakan adalah aspal Pertamina dengan penetrasi 60/70.
- Agregat yang digunakan adalah agregat bergradasi menerus untuk lapis antara (Laston) tipe IV.
- Beban yang digunakan sebesar 10 %, 20 % , 30 % ,40 % dan 50 % dari nilai stabilitas campuran dengan kadar aspal optimum
- Bahan pembentuk Laston
  - Aspal : pen 60/70 merk Pertamina
  - Agregat kasar : batu pecah (split) maksimum 20 mm
  - Agregat halus : abu batu

○ Filler : semen

- Jenis pengujian

Adapun jenis-jenis pengujian yang akan dilakukan, antara lain:

1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal
2. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal
3. Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar
4. Pemeriksaan Penurunan Berat Minyak dan Aspal
5. Pemeriksaan Kelarutan Bitumen Aspal
6. Pemeriksaan Daktilitas Bahan-Bahan Bitumen
7. Pemeriksaan Berat Jenis Bitumen
8. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar
9. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus
10. Analisa Butiran
11. Analisa Campuran Agregat (*Blending*)
12. *Marshall Test*

#### 1.4 BATASAN PENELITIAN

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Menggunakan material aspal Pertamina pada lapisan Laston penetrasi 60/70
- Tidak memberikan tambahan zat aditif dalam benda uji

- Air hujan yang digunakan adalah air hujan untuk wilayah Depok dan sekitarnya.
- Menggunakan variasi beban sebagai variabel bebas, kinerja lapisan aspal sebagai variabel tak bebas, dan waktu serta kondisi air hujan sebagai variabel tetap.
- Pengujian dilakukan dengan alat uji Marshall.
- Kinerja yang diukur adalah stabilitas Marshall, kelelahan, dan Marshall Quotient.
- Tidak dilakukan penelitian terhadap perubahan sifat kimia dari material.
- Benda uji yang digunakan untuk pembebanan dan perendaman dalam air hujan, tidak direndam dalam *waterbath* sebelum pengujian Marshall.
- Penelitian hanya dilakukan di laboratorium, tidak dilakukan penelitian lapangan.

## 1.5 SISTEMATIKA PENULISAN

### Bab I           Pendahuluan

Bagian ini berisi latar belakang penelitian terhadap kekuatan campuran Laston yang dipengaruhi oleh air hujan.

### Bab II           Studi Literatur

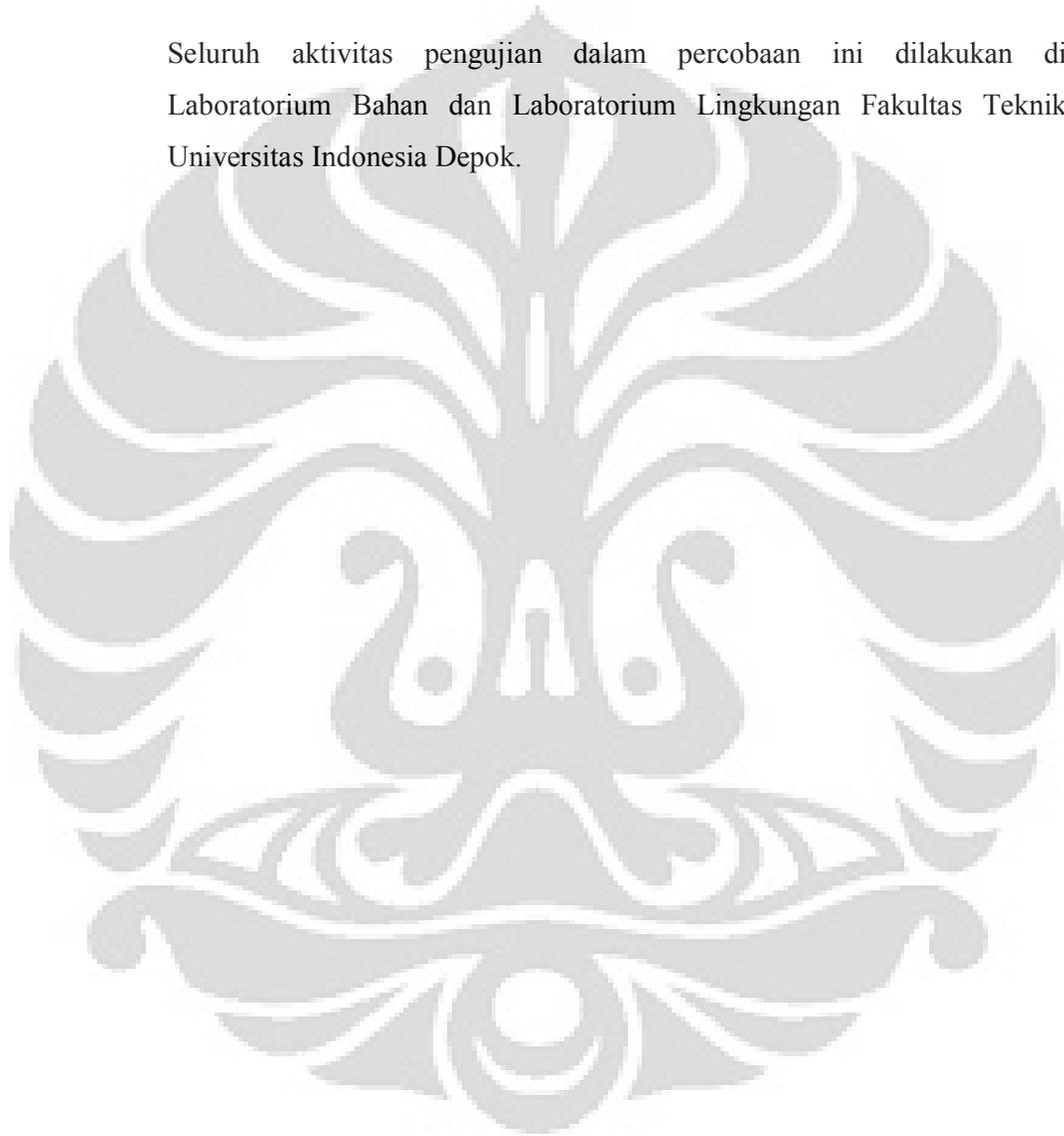
Bagian ini berisi dasar teori mengenai Laston dan bahan pembentuknya, serta gambaran umum mengenai pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini dengan studi literatur dari internet dan Perpustakaan Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

### Bab III          Metodologi Penelitian

Bagian ini berisi langkah-langkah sistematis yang dilakukan dalam meneliti Laston yang dipengaruhi oleh air hujan.

## 1.6 LABORATORIUM UJI

Seluruh aktivitas pengujian dalam percobaan ini dilakukan di Laboratorium Bahan dan Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia Depok.



## **BAB II**

### **STUDI LITERATUR**

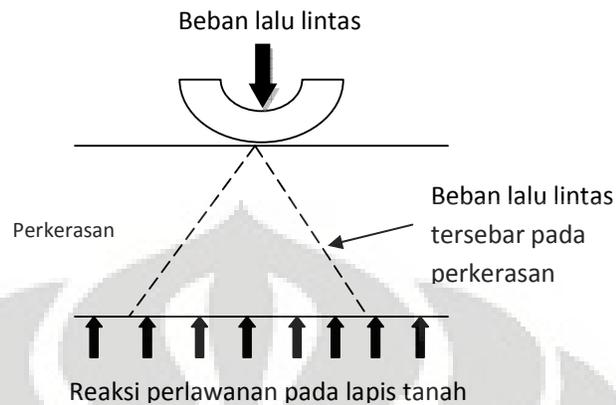
#### **II.1 GAMBARAN UMUM STRUKTUR JALAN**

“Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti” ( Sukirman, Silvia, 2007, hal. Xvi ). Agar perkerasan memiliki daya dukung dan keawetan yang memadai, tetapi juga ekonomis, maka perkerasan jalan dibuat berlapis-lapis.

Lapisan paling atas disebut juga sebagai lapisan permukaan, merupakan lapisan yang paling baik mutunya. Mutu lapisan paling atas adalah yang terbaik dikarenakan lapisan atas menerima konsentrasi beban yang terbesar, dan terekspos terhadap pengaruh alam. Selain itu, karena sifat penyebaran gaya, maka muatan yang diterima oleh masing-masing lapisan berbeda dan semakin ke bawah semakin kecil dengan luas permukaan terpengaruh semakin luas. Lapisan permukaan harus mampu menerima seluruh gaya yang bekerja, lapisan pondasi atas menerima gaya vertikal dan getaran, sedangkan tanah dasar dianggap hanya menerima gaya vertikal saja.

Kendaraan pada posisi diam di atas struktur yang diperkeras menimbulkan beban langsung (tegangan statis) pada perkerasan yang terkonsentrasi pada bidang kontak yang kecil antara roda dan perkerasan. Distribusi beban yang diterima oleh perkerasan berbentuk piramid yang dapat diasumsikan mempunyai sudut  $45^{\circ}$  terhadap bidang horizontal.

Karena tegangan (beban per satuan luas) akibat beban lalu lintas makin besar ke arah permukaan, maka material yang lebih kuat lebih diperlukan di permukaan daripada di lapisan lain di bawahnya.



Gambar 2.1. Distribusi beban pada struktur jalan

Berdasarkan bahan pengikatnya konstruksi perkerasan jalan dibedakan menjadi:

1. Perkerasan lentur  
Perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat. Lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Perkerasan kaku  
Perkerasan yang menggunakan semen (*portland cement*) sebagai bahan pengikat.
3. Perkerasan komposit  
Lapisan perkerasan yang menggabungkan perkerasan kaku dan perkerasan lentur.

Beban yang bekerja pada perkerasan lentur dalam bentuk gaya-gaya:

- Gaya vertikal yang merupakan berat dari beban kendaraan
- Gaya horizontal yang merupakan gaya geser dari rem
- Gaya getaran akibat pukulan roda

## II.2 MATERIAL PERKERASAN JALAN

Material dasar pembentuk lapisan perkerasan jalan, khususnya perkerasan lentur, adalah agregat dan aspal. Agregat merupakan material dengan komposisi terbesar dalam suatu lapisan perkerasan jalan. Daya dukung lapisan perkerasan ditentukan dari sifat butir-butir agregat dan gradasi agregatnya. Agregat juga merupakan material yang menyebarkan beban.

Walaupun agregat memiliki daya dukung yang baik, setiap agregat perlu diikat satu dengan yang lainnya agar campuran bersifat stabil dan dapat mempertahankan bentuknya. Fungsi itulah yang dimiliki oleh Aspal.

### II.2.1 ASPAL

Aspal ialah material perekat berwarna hitam atau coklat tua, dengan unsur utama bitumen (Sukirman, Silvia, 2007, hal. 26). Aspal adalah bahan perekat yang berwarna coklat tua sampai hitam dengan kandungan utama hidrokarbon.

Secara garis besar komposisi kimia aspal:

- Carbon : 82-88%
- Hydrogen : 8-11%
- Sulfur : 0-16%
- Nitrogen : 0-1%
- Oksigen : 0-1,5%

Berdasarkan asalnya, aspal dibagi menjadi beberapa jenis, antara lain:

- Aspal alam:
  - Lake asphalt (aspal danau)
  - Rock asphalt (aspal batu)
- Aspal minyak:
  - Asphalt cement
  - Liquid asphalt/cutback asphalt/aspal cair
  - Emulsified asphalt/aspal emulsi

Berdasarkan penggunaannya, aspal dibagi dalam beberapa jenis, antara lain:

### 1. Aspal Keras (Asphalt Cement/AC)

Aspal keras (Asphalt Cement/AC) adalah jenis aspal minyak yang merupakan residu hasil destilasi minyak bumi pada keadaan hampa udara, yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk padat. Terdapat beberapa persyaratan aspal keras, antara lain:

#### a. Persyaratan Umum

- Berasal dari hasil minyak bumi
- Mempunyai sifat sejenis
- Kadar paraffin tidak melebihi 7%
- Tidak mengandung air dan tidak berbusa jika dipanaskan sampai 175 °C

#### b. Berdasarkan pemeriksaan sesuai dengan syarat pada table berikut:

Tabel 2.1 Syarat Pemeriksaan Aspal Keras

Jenis Pemeriksaan	Pen 40/50		Pen 60/70		Pen 80/100		Satuan
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	
Penetrasi 25 °C, 100 gram, 5 detik	40	59	60	79	80	99	0.1 mm
Titik Lembek 5 °C ( <i>Ring and Ball</i> )	51	63	48	58	46	54	Derajat Celcius
Titik Nyala ( <i>Cleveland</i> )	232	-	232	-	232	-	Derajat

<i>Open Cup)</i>							Celcius
Kehilangan Berat ( <i>Thick Film Oven Test</i> )	-	0.4	-	0.4	-	0.4	% Berat
Kelarutan dalam CCl <sub>4</sub>	99	-	99	-	99	-	% Berat
Daktalitas	100	-	100	-	100	-	Cm
Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	75	-	75	-	% Semula
Berat jenis 25 °C	1	-	1	-	1	-	Gr/Cc

Sumber : Pedoman Praktikum Bahan Perkerasan Jalan, Laboratorium Bahan Jurusan Sipil Universitas Indonesia.

## 2. Aspal Cair

Aspal cair adalah aspal minyak yang pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair, terdiri dari aspal keras yang diencerkan dengan bahan pelarut

Terdapat beberapa persyaratan aspal cair, antara lain:

- Kadar paraffin tidak lebih dari 2 %
- Tidak mengandung air dan jika dipakai tidak menunjukkan pemisahan atau penggumpalan

Aspal cair dikelompokkan berdasarkan pengencernya, yaitu:

- Bila ditambahkan benzene dinamakan *Rapid Curing* (RC)
- Bila ditambahkan kerosene dinamakan *Medium Curing* (MC)
- Bila ditambahkan minyak berat dinamakan *Slow Curing* (SC)

## 3. Aspal Emulsi

Aspal emulsi adalah suatu jenis aspal yang terdiri dari aspal keras, air, dan bahan pengemulsi, dimana pada suhu normal dan tekanan atmosfer berbentuk cair. Aspal Emulsi dikelompokkan sebagai berikut:

- Emulsi Cathionic, terdiri dari aspal keras, air, dan larutan basa sehingga akan bermuatan positif (+).
- Emulsi Anionic, terdiri dari aspal keras, air, dan larutan asam sehingga bermuatan negative (-).

### II.2.2 AGREGAT

Agregat adalah material dengan ukuran dan bentuk yang bervariasi yang dipergunakan dalam pembuatan beton semen dan beton aspal (Somayaji, Shan, 2001, hal. 35 ). Secara umum, agregat dapat pula didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. Berdasarkan ASTM, agregat merupakan suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Gradasi agregat merupakan sifat yang sangat luas pengaruhnya terhadap kualitas perkerasan secara keseluruhan.

Gradasi adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa pemeriksaan dengan menggunakan 1 set saringan. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase lolos, atau persentase tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat. Sifat ini sangat menentukan besarnya rongga atau pori yang mungkin terjadi dalam agregat campuran.

Agregat campuran yang terdiri dari agregat berukuran sama akan berongga atau berpori banyak, karena tak terdapat agregat berukuran lebih kecil yang dapat mengisi rongga yang terjadi. Sebaliknya, jika campuran agregat terdistribusi dari agregat berukuran besar sampai kecil secara merata, maka rongga atau pori yang terjadi sedikit. Gradasi agregat dapat dikelompokkan menjadi dua, yaitu agregat bergradasi baik dan agregat bergradasi buruk.

- Agregat bergradasi baik

Agregat bergradasi baik adalah agregat yang ukuran butirnya terdistribusi merata dalam suatu rentang ukuran butir. campuran agregat bergradasi baik mempunyai pori sedikit, mudah dipadatkan, dan mempunyai stabilitas tinggi. Berdasarkan ukuran butiran yang dominan menyusun campuran agregat, maka agregat bergradasi baik dapat dibedakan atas:

1. Agregat bergradasi kasar, yaitu agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat kasar.
2. Agregat bergradasi halus, yaitu agregat bergradasi baik yang mempunyai susunan ukuran menerus dari kasar sampai dengan halus, tetapi dominan berukuran agregat halus.

- Agregat bergradasi buruk

Agregat bergradasi buruk adalah agregat yang tidak memenuhi persyaratan gradasi baik. Agregat bergradasi buruk dapat dikelompokkan menjadi:

1. Agregat bergradasi seragam, yaitu agregat yang hanya terdiri dari butir-butir agregat berukuran sama atau hampir sama.
2. Agregat bergradasi terbuka, yaitu agregat yang distribusi ukuran butirnya sedemikian rupa sehingga pori-porinya tidak terisi dengan baik.
3. Agregat bergradasi senjang, yaitu agregat yang distribusi ukuran butirnya tidak menerus, atau ada bagian ukuran yang tidak ada, jika ada hanya sedikit sekali.

Agregat dapat dibedakan berdasarkan kelompok terjadinya, pengolahan, ukuran butiran, dan bentuknya.

Berdasarkan proses terjadinya, agregat dapat dibedakan atas :

- Agregat beku (*igneous rock*)

Agregat beku adalah agregat yang berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Contoh agregat beku : batu apung, andesit, basalt, gabbro, diorit, syenit, dan lain-lain.

- Agregat sedimen (*sedimentary rock*)

Agregat sedimen merupakan agregat yang berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman yang mengalami pengendapan dan pembekuan. Contoh agregat sedimen : batu pasir, batu lempung, batu gamping, batu bara, garam, gips, dan lain-lain.

- Agregat metamorfik (*metamorphic rock*)

Agregat metamorfik adalah agregat sedimen maupun agregat beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi. Contoh agregat metamorfik : marmer, kuarsit, batu sabak, filit, sekis.

Berdasarkan pengolahannya, agregat dapat dibedakan atas:

- Agregat siap pakai

Agregat siap pakai adalah agregat yang dapat dipergunakan sebagai material perkerasan jalan dengan bentuk dan ukuran sebagaimana diperoleh di lokasi asalnya, atau dengan sedikit proses pengolahan. Contoh agregat siap pakai adalah kerikil dan pasir.

- Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai

Agregat yang perlu diolah terlebih dahulu sebelum dipakai adalah agregat yang diperoleh di bukit-bukit, di gunung-gunung, ataupun di sungai-sungai. Agregat jenis ini memerlukan proses pengolahan, misalnya pemecahan dengan mesin pemecah batu, terlebih dahulu sebelum digunakan. Contoh agregat ini adalah semen, kapur, abu terbang, dan lain-lain.

Berdasarkan bentuknya, agregat dapat dibedakan menjadi:

- Agregat bulat (*rounded*)

Agregat yang biasanya dapat ditemui di sungai yang telah mengalami erosi sehingga berbentuk bulat dan licin. Bidang kontak antar agregat berbentuk bulat sangat sempit, hanya berupa titik singgung, sehingga menghasilkan penguncian antar agregat yang tidak baik, dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan yang kurang baik.

- Agregat kubus (*cubical*)

Agregat kubus pada umumnya merupakan agregat hasil pemecahan batu masif, atau hasil pemecahan mesin pemecah batu. Bidang kontak agregat ini luas, sehingga mempunyai daya saling mengunci yang baik. Kestabilan yang diperoleh lebih baik dan lebih tahan terhadap deformasi.

- Agregat lonjong (*elongated*)

Agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai atau bekas endapan sungai. Agregat dikatakan lonjong jika ukuran terpanjangnya lebih besar dari 1,8 kali diameter rata-rata. Sifat agregat berbentuk lonjong hampir sama dengan agregat berbentuk bulat.

- Agregat pipih (*flaky*)

Agregat berbentuk pipih dapat merupakan hasil produksi dari mesin pemecah batu, dan biasanya agregat ini memang cenderung pecah dengan bentuk pipih. Agregat pipih adalah agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata.

- Agregat tak beraturan (*irregular*)

Agregat tak beraturan adalah agregat yang bentuknya tidak mengikuti salah satu bentuk di atas.

Berdasarkan ukuran butirnya, agregat dapat dibagi menjadi 3, yaitu agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (*filler*).

### II.2.2.1 AGREGAT KASAR

Menurut RSNI Gedung (2002), agregat kasar adalah kerikil sebagai disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran antara 5 mm sampai 40 mm

Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari bahan lain yang mengganggu serta memenuhi persyaratan sebagai berikut:

1. Keausan pada 500 putaran maksimum 40%
2. Kelekatan dengan aspal minimum 95%
3. Jumlah berat butiran tertahan saringan no. 4 yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah (visual) minimum 50% (untuk kerikil pecah)
4. Indeks kepipihan/kelonjongan butiran tertahan 9,5 mm atau 3/8" maksimum 25%
5. Penyerapan air maksimum 3%
6. Berat jenis curah (bulk) minimum 2,5
7. Bagian lunak maksimum 5%

### II.2.2.2 AGREGAT HALUS

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegrasi alami batuan atau pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butiran sebesar 5 mm (RSNI Gedung, 2002). Agregat halus harus terdiri dari bahan-bahan yang berbidang kasar, bersudut tajam dan bersih dari kotoran atau bahan lain yang mengganggu. Agregat halus harus terdiri dari pasir alam atau pasir buatan atau gabungan dari bahan-bahan tersebut dan dalam keadaan kering. Agregat halus harus memenuhi persyaratan:

1. Nilai Sand Equivalent minimum 50
2. Berat jenis curah (bulk) minimum 2,5

3. Peresapan agregat terhadap air maksimum 3%
4. Pemeriksaan Atterberg Limit harus menunjukkan bahan adalah non plastis

### II.2.2.3 FILLER

Filler merupakan material pengisi yang terdiri dari abu batu, abu batu kapur, semen (pc) atau bahan non plastis lainnya. Filler atau bahan pengisi harus kering dan bebas dari bahan lain yang mengganggu dan apabila dilakukan pemeriksaan analisa saringan secara basah, harus memenuhi gradasi sebagai berikut :

Tabel 2.2 Syarat gradasi untuk filler

Ukuran Saringan	Persen Lolos
No. 30	100
No. 50	95 – 100
No. 100	90 – 100
No. 200	65 - 100

Sumber : Pedoman Praktikum Bahan Perkerasan Jalan – Laboratorium Bahan Jurusan Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Indonesia

### II.3 AIR HUJAN

Hujan merupakan satu bentuk presipitasi, atau turunan cairan dari angkasa, seperti salju, hujan es, embun dan kabut. Hujan terbentuk apabila titik air yang terpisah jatuh ke bumi dari awan. Hujan memainkan peranan penting dalam siklus hidrologi di mana air dari laut menguap, bertukar menjadi awan, terkumpul menjadi awan, lalu turun kembali ke bumi, dan akhirnya kembali ke laut melalui sungai dan anak sungai. Batas nilai rata-rata pH air hujan adalah 5.6, merupakan nilai yang dianggap normal atau hujan alami seperti yang telah disepakati secara

internasional. Apabila pH air hujan lebih rendah dari 5.6 maka hujan bersifat asam, atau sering disebut dengan hujan asam dan apabila pH air hujan lebih besar 5.6 maka hujan bersifat basa. Dampak hujan yang bersifat asam dapat mengikis bangunan/gedung atau bersifat korosif terhadap bahan bangunan, merusak kehidupan biota di danau-danau, dan aliran sungai.

Hingga Desember 2007, BMG mempunyai 27 (duapuluh tujuh) stasiun pemantauan kualitas air hujan tersebar diseluruh Indonesia. Dari setiap stasiun tersebut, sampel air hujan akan dikirim ke Laboratorium Kualitas Udara Badan Meteorologi dan Geofisika, di Jakarta, untuk dianalisis lebih lanjut. Parameter yang dihasilkan meliputi tingkat keasaman (pH), daya hantar listrik (*conductivity*), konsentrasi kation meliputi Magnesium (Mg), Kalsium (Ca), Amonium ( $\text{NH}_4$ ), Natrium (Na) dan Kalium (K), serta konsentrasi Anion meliputi Sulphat ( $\text{SO}_4$ ), Nitrat ( $\text{NO}_3$ ), dan Klorida (Cl). Hingga periode tersebut, diketahui bahwa untuk daerah Jakarta, tingkat keasaman (pH) air hujan telah mencapai 4,35. Hal tersebut menandakan bahwa daerah Jakarta dan sekitarnya telah mengalami hujan asam.



Gambar 2.1. Peta tingkat keasaman air hujan di Indonesia

Sumber : Badan Meteorologi dan Geofisika

## II.4 LASTON

Laston (lapisan aspal beton) adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal pula dengan nama AC (*Asphalt Concrete*). Karakteristik beton aspal yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas.

Tabel 2.3. Syarat Gradasi Untuk Berbagai Tipe Laston

No. Campuran	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
Gradasi/Tekstur	Kasar	Kasar	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat	Rapat
Tebal padat (mm)	20-40	25-50	20-40	25-50	40-65	50-75	40-50	20-40	40-65	40-65	40-50
Ukuran Saringan	% BERAT YANG LOLOS SARINGAN										
1 1/2" (38,1 mm)	-	-	-	-	-	100	-	-	-	-	-
1" (25,4 mm)	-	-	-	-	100	90-100	-	-	100	100	-
3/4" (19,1 mm)	-	100	-	100	80-100	82-100	100	-	85-100	85-100	100
1/2" (12,7 mm)	100	75-100	100	80-100	-	72-90	80-100	100	-	-	-
3/8" (9,52 mm)	75-100	60-85	80-100	70-90	60-80	-	-	-	65-85	56-78	74-92
No. 4 (4,76 mm)	35-55	35-55	55-75	50-70	48-65	52-70	54-72	62-80	45-65	38-60	48-70
No. 8 (2,38 mm)	20-35	20-35	35-50	35-50	35-50	40-56	42-58	44-60	34-54	27-47	33-53
No. 30 (0,59 mm)	10-22	10-22	18-29	18-29	19-30	24-36	26-38	28-40	20-35	13-28	15-30
No. 50 (0,279 mm)	6-16	6-16	13-23	13-23	13-23	16-26	18-28	20-30	16-26	9-20	10-20
No. 100 (0,149 mm)	4-12	4-12	8-16	8-16	7-15	10-18	12-20	12-20	10-18	-	-
No.200 (0,074 mm)	2-8	2-8	4-10	4-10	1-8	6-12	6-12	6-12	5-10	4-8	4-9

Sumber : Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton Untuk Jalan Raya-Departemen Pekerjaan Umum.

## II.5 MARSHALL TEST

Pengujian Marshall adalah suatu metoda pengujian untuk mengukur stabilitas dan kelelahan plastis campuran beraspal dengan menggunakan alat Marshall. Konsep metode marshall untuk campuran laston dirumuskan oleh Bruce Marshall dengan The Mississippi State Highway Departement. Pertama kali pengujian harus dilakukan untuk meyakinkan bahwa:

- Kualitas bahan yang digunakan memenuhi syarat spesifikasi bahan
- Kombinasi campuran agregat memenuhi persyaratan spesifikasi gradasi

Kedua persyaratan di atas adalah persyaratan yang telah ditetapkan oleh departemen pekerjaan umum berdasarkan Petunjuk Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal.

Stabilitas adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kg atau pound. Nilai ini diperoleh dengan mengalikan nilai jarum pada arloji penunjuk stabilitas pada alat uji Marshall dengan faktor kalibrasi alat dan faktor korelasi benda uji. Nilai yang diperoleh ini akan menunjukkan kekuatan struktural suatu campuran aspal yang dipengaruhi oleh kandungan aspal, susunan gradasi, dan kualitas agregat dalam campuran.

Kelelahan adalah perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat adanya beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 *inch*. Pengukuran kelelahan plastis dilakukan bersamaan dengan pengukuran stabilitas dimana nilai kelelahan dibaca pada arloji pada saat benda uji mengalami keruntuhan. Dan hasil uji marshall dengan beberapa variabel kandungan aspal dan beberapa benda uji akan didapat kandungan aspal yang optimum.

Pada dasarnya, untuk mengetahui kinerja dari campuran aspal yang digunakan pada struktur perkerasan jalan, faktor-faktor yang harus diperhatikan sangat banyak, di antaranya:

- Stability
- Durability
- Flexibility
- Fatigue Resistance: Thick Layers; Thin Layers
- Fracture Strength: Overload Conditions; Thermal Conditions
- Skid Resistance
- Impermeability
- Workability

Sebagian besar dari faktor-faktor tersebut dapat diuji dengan menggunakan alat Marshall. Hasil yang diperoleh dari pengujian dengan alat Marshall, antara lain:

- Stabilitas  
Menunjukkan gaya yang bisa ditahan oleh campuran aspal yang bersangkutan sebelum terjadinya keruntuhan
- Kelelahan  
Menunjukkan deformasi yang terjadi pada campuran aspal sampai mengalami keruntuhan. Dalam satuan mm
- Marshall Quotient (MQ)  
Menunjukkan perbandingan stabilitas dan kelelahan. Terlalu tinggi berarti aspal terlalu kaku, dan sebaliknya.
- Rongga dalam campuran (VTM)  
Menunjukkan persentase jumlah volume rongga dalam campuran aspal, yang terbentuk diantara satu agregat dan agregat lainnya dan tidak terisi aspal.
- Rongga dalam agregat (VMA)  
Menunjukkan jumlah volume rongga dalam batuan agregat yang digunakan dalam campuran aspal.

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **III.1 RENCANA PENELITIAN**

Penelitian akan dilakukan pada campuran Laston dengan aspal pen 60/70. Penelitian dilakukan dalam dua tahap, yaitu:

- Penetapan kadar aspal optimum,
- Pengujian dengan kadar aspal optimum

Pada tahap pertama, akan dilakukan persiapan material yang akan digunakan. Material yang dipersiapkan antara lain aspal dan agregat untuk membuat benda uji serta air hujan yang akan digunakan untuk merendam benda uji. Setelah semua material terkumpul, maka akan dilakukan pengujian standar untuk material tersebut. Untuk material aspal akan dilakukan beberapa pengujian sesuai standar RSNI (2002), yaitu pemeriksaan penetrasi aspal titik lembek aspal, titik nyala, titik bakar, penurunan berat minyak dan aspal, kelarutan bitumen, daktilitas bahan-bahan bitumen, dan berat jenis bitumen.

Untuk mengetahui karakteristik dari agregat akan dilakukan beberapa pengujian, sebagai berikut:

- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar
- Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Sedangkan untuk air hujan hanya dilakukan pengujian terhadap tingkat keasamannya. Pemeriksaan ini akan digunakan di Laboratorium Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Pengujian yang dilakukan hanya berupa pengujian sederhana menggunakan kertas lakmus.

Setelah pemeriksaan terhadap material selesai dilakukan, data yang diperoleh akan dibandingkan dengan spesifikasi. Jika material tersebut tidak

memenuhi standar, maka akan dilakukan pemeriksaan ulang atau penggunaan material dari sumber yang lain. Pengujian ini akan dilakukan terus sampai diperoleh material yang memenuhi spesifikasi.

Jika material telah memenuhi spesifikasi, maka dapat dilanjutkan dengan pembuatan benda uji untuk mencari kadar aspal optimum. Pada proses ini, akan digunakan 4 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%. Pembuatan benda uji dapat dilaksanakan setelah kita memperoleh hasil analisa saringan agregat. Setelah diperoleh persentase dari masing-masing agregat, maka kita dapat menghitung komposisi campuran untuk benda uji. Selanjutnya dapat dilakukan pengujian terhadap benda uji tadi dengan menggunakan alat Marshall. Dari pengujian ini akan diperoleh data-data mengenai kinerja campuran aspal berupa stabilitas dan flow. Dari data tersebut dapat ditentukan kadar aspal optimum yang akan digunakan dalam tahap selanjutnya.

Pada tahap berikutnya, akan dilakukan kembali perancangan dan pembuatan benda uji. Yang berbeda, pada tahap ini hanya digunakan satu jenis kadar aspal, yaitu kadar aspal optimum. Benda uji yang dibuat dengan menggunakan kadar aspal optimum ini akan diberikan beban sebesar 10 %, 20 %, 30 %, 40 % dan 50 % dari daya dukung ultimate. Perendaman akan dilakukan dengan waktu tetap, selama 1 jam

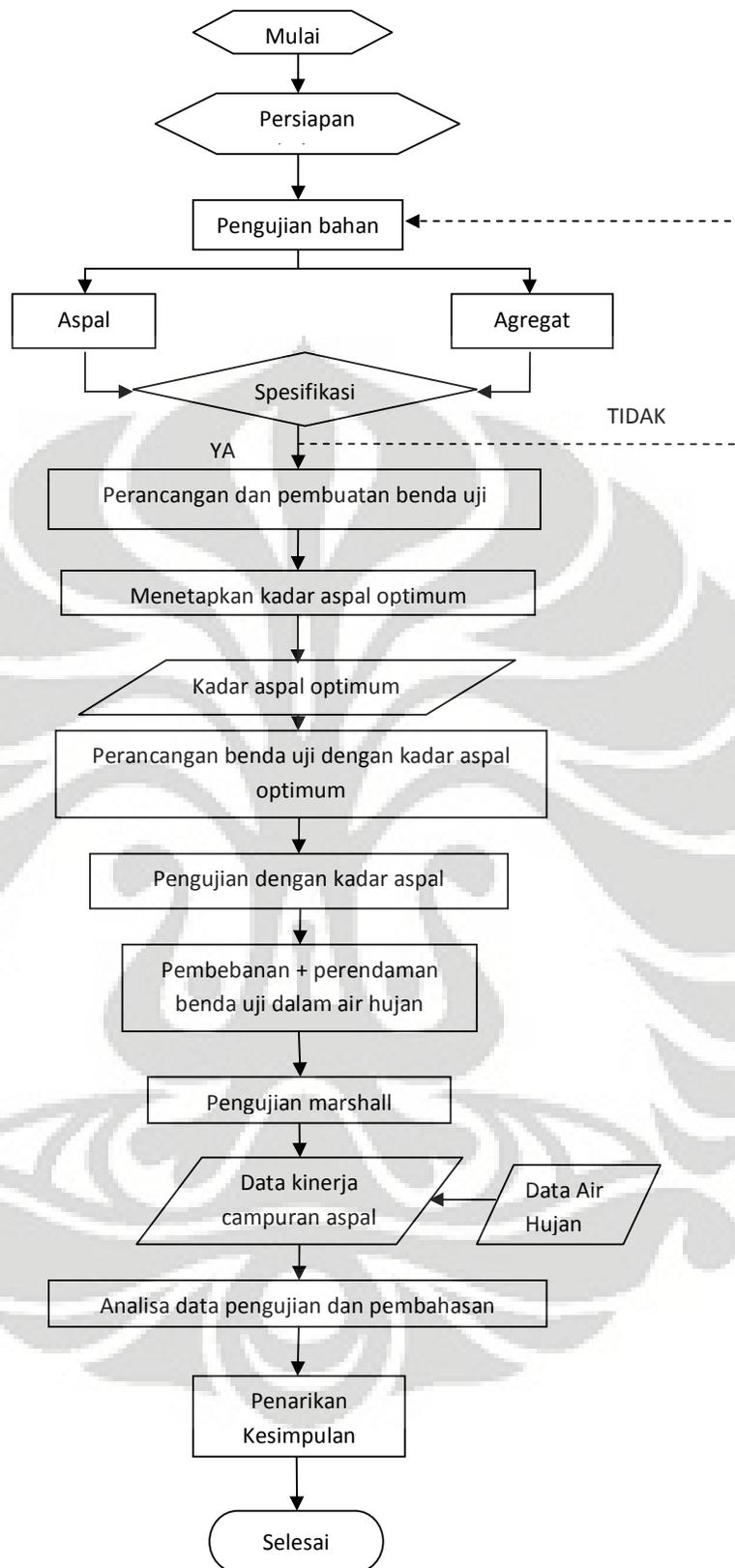
Untuk setiap proses dan variasi dalam pengujian campuran aspal digunakan masing-masing 3 benda uji yang kemudian hasil pengujiannya akan dirata-ratakan. Berikut merupakan jumlah benda uji yang dibutuhkan:

- Penetapan kadar aspal optimum
  - kadar aspal 5% 3x1 = 3
  - kadar aspal 5,5% 3x1 = 3
  - kadar aspal 6% 3x1 = 3
  - kadar aspal 6,5% 3x1 = 3
- Pengujian dengan kadar aspal optimum
  1. Tanpa perendaman + pembebanan 3x1 = 3
  2. Direndam dengan air hujan + pembebanan

○ 10 %	3x1 = 3
○ 20 %	3x1 = 3
○ 30 %	3x1 = 3
○ 40 %	3x1 = 3
○ 50 %	3x1 = 3

Total = 30 benda uji.

Pada setiap benda uji akan dilakukan pengujian dengan alat Marshall. Dari pengujian ini akan diperoleh data kinerja campuran aspal dengan kadar aspal optimum. Data ini kemudian akan dibandingkan dengan data kinerja campuran aspal sebelum direndam di dalam air hujan. Kemudian data-data tersebut akan diplot ke dalam grafik hubungan kinerja campuran aspal terhadap waktu perendaman untuk melihat perubahan kinerja campuran aspal tersebut.



Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

## III.2 PELAKSANAAN

### III.2.1 Bahan Baku Penelitian

Bahan baku penelitian meliputi aspal, agregat kasar, agregat halus, dan air hujan.

- Aspal

Merk : Aspal Pertamina

- Agregat Halus

Tipe : Abu batu

Ukuran : 0,075 mm – 4,75 mm

Berat Jenis : minimum 2500 kg/m<sup>3</sup>

- Agregat Kasar

Tipe : Batu Pecah (*Split*)

Ukuran : maksimum 20 mm

Berat Jenis : minimum 2500 kg/m<sup>3</sup>

- Air Hujan

Digunakan air hujan dengan PH standar menurut BMG sebesar 5,6

### III.2.2 Standar Pengujian

Dalam penelitian di laboratorium dilakukan pemeriksaan bahan-bahan pembentuk Laston. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian terhadap agregat halus dan agregat kasar, pengujian terhadap material aspal, serta pengujian terhadap aspal keras/laston. Detail mengenai metode yang digunakan untuk pengujian material dapat dilihat di lampiran

### III.2.3 Perancangan dan Pembuatan Benda Uji

Setelah diperoleh grafik analisa butiran, langkah selanjutnya adalah pembuatan benda uji sebanyak jumlah benda uji yang ada dalam rencana penelitian. Pembuatan benda uji ini dilakukan dua kali. Yang pertama dengan 3 variasi kadar aspal, dilakukan untuk menetapkan kadar aspal optimum. Yang kedua dilakukan dengan menggunakan kadar aspal optimum. Benda uji kedua digunakan pada proses perendaman dan pembebanan dalam air hujan.]

Prosedur:

#### 1. Persiapan Campuran

Untuk tiap benda uji diperlukan agregat sebanyak  $\pm 1200$  gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira  $6,25 \text{ cm} \pm 0,125$  ( $2,5'' \pm 0,05''$ ). Panaskan panci pencampur beserta agregat kira-kira  $\pm 28^\circ\text{C}$  diatas suhu pencampur untuk aspal panas dan tar dan aduk sampai merata, untuk aspal dingin pemanasan sampai  $14^\circ\text{C}$  diatas suhu pencampuran. Sementara itu panaskan aspal sampai suhu pencampuran. Tuangkan aspal sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan tersebut. Kemudian aduklah dengan cepat sampai agregat terlapis rata.

#### 2. Pematatan Benda Uji

Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara  $93,3^\circ\text{C}$  dan  $148,9^\circ\text{C}$ . Letakkan selembar kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran cetakan kedalam dasar cetakan, kemudian masukkan seluruh campuran kedalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran keras-keras dengan spatula yang dipanaskan atau aduklah dengan sendok semen 15 kali keliling pinggirannya dan 10 kali di bagian dalam. Lepaskan

lehernya dan ratakanlah permukaan campuran dengan mempergunakan sendok semen menjadi bentuk yang sedikit cembung.

Waktu akan dipadatkan suhu campuran harus dalam batas-batas suhu pemadatan. Letakkan cetakan diatas landasan pematat, dalam pemegang cetakan. Lakukan pemadatan dengan alat penumbuk sebanyak 75, 50, atau 35 kali sesuai kebutuhan dengan tinggi jatuh 45 cm (18"), selama pemadatan tahanlah agar sumbu palu pematat selalu tegak lurus pada cetakan. Lepaskan keping alas dan balikkan alat cetak berisi benda uji dan pasang kembali lehernya dibalik ini tumbuklah dengan jumlah tumbukkan yang sama.

Sesudah pemadatan, lepaskan keping alas dan pasanglah alat pengeluar benda uji pada permukaan ujung ini. Dengan hati-hati keluarkan dan letakkan benda uji diatas permukaan rata yang halus, biarkan selama kira-kira 24 jam pada suhu ruang.

#### **III.2.4 Perendaman dan Pembebanan Benda Uji Dalam Air Hujan**

Pada tahap ini, benda uji yang telah dibuat dengan menggunakan kadar aspal optimum direndam dalam bak penampung berisi air hujan dan diberikan variasi pembebanan, yaitu 10 %, 20%, 30 %, 40% dan 50 % dari daya dukung optimum aspal. Pembebanan diberikan dengan menggunakan alat marshall.



Gambar 3.2. Pembebanan dan perendaman benda uji

Ketika beban diberikan, aspal dalam kondisi terendam seperti pada yang terlihat pada gambar 5. Beban yang diberikan diukur besarnya dengan menggunakan pembacaan dial stabilitas ( O ). Setelah beban diberikan, dilakukan pembacaan dial kelelahan ( R ). Setelah 2 menit, dilakukan pembacaan terhadap dial stabilitas ( O' ) dan dial kelelahan ( R' ). Setelah itu, alat marshall diatur lagi hingga pembacaan dial stabilitas kembali menunjukkan nilai target pembebanan ( O ). Hal ini dilakukan sampai batas waktu pengujian yang ditetapkan

### III.2.5 Tahap Pengujian Benda Uji

Pada tahap ini, dilakukan pengujian terhadap benda uji dengan menggunakan alat Marshall. Pengujian ini dilakukan dua kali. Yang pertama dilakukan untuk menetapkan kadar aspal optimum, dan yang kedua dilakukan untuk mengetahui perubahan pada benda uji setelah direndam dalam air hujan.

Tujuan : Untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (flow) dari campuran aspal.

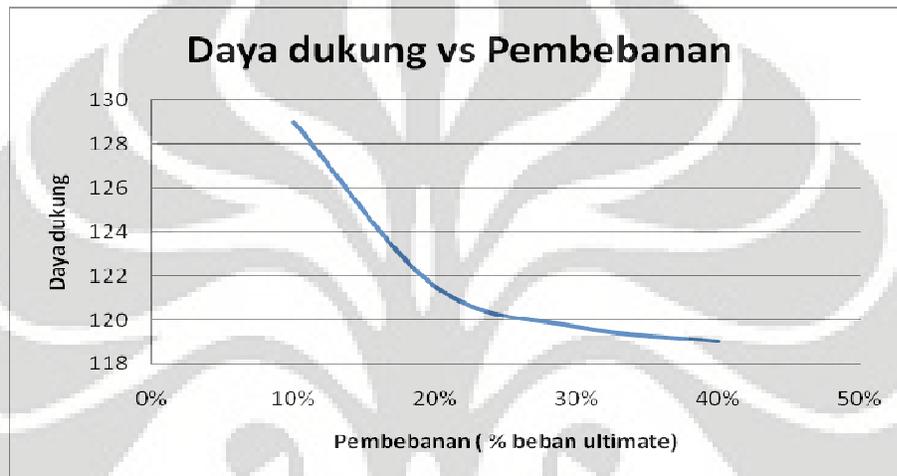
Prosedur :

- a. Bersihkan benda uji dari kotoran-kotoran yang menempel
- b. Berilah tanda pengenal pada masing-masing benda uji
- c. Ukur benda uji dengan ketelitian 0,1 mm
- d. Timbang benda uji
- e. Rendam kira-kira 24 jam pada suhu ruang
- f. Timbang dalam air untuk mendapatkan isi
- g. Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh
- h. Rendamlah benda uji dalam kondisi aspal panas atau ter dalam bak perendam selama 30 sampai 40 menit atau dipanaskan didalam oven selama 2 jam dengan suhu tetap  $(60 \pm 1)^{\circ}\text{C}$  untuk benda uji aspal panas dan  $(38 \pm 1)^{\circ}\text{C}$  untuk benda uji tar.
- i. Untuk benda uji aspal dingin masukkan benda uji kedalam oven selama minimum 2 jam dengan suhu tetap  $(25 \pm 1)^{\circ}\text{C}$ .

- j. Sebelum melakukan pengujian bersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan permukaan dalam dari kepala penekan (*test heads*). Lumasi batang penuntun sehingga kepala penekan yang atas dapat meluncur bebas, bila dikehendaki kepala penekan direndam bersama-sama benda uji pada suhu antara 21 sampai 38°C. Keluarkan benda uji dari bak perendam atau dari oven pemanas udara dan letakkan kedalam segmen bawah kepala penekan. Pasang segmen atas diatas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji. Pasang arloji kelelahan (*flow meter*) pada kedudukannya diatas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan (*breaking head*). Tekan selubung tangkai arloji kelelahan tersebut pada segmen atas dari kepala penekan selama pembebanan berlangsung.
- k. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji. Atur kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol.
- l. Berikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan tetap sebesar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurut seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum yang dicapai.
- m. Lepaskan selubung tangkai arloji kelelahan (*sleeve*) pada saat pembebanan mencapai maksimum dan catat nilai kelelahan yang ditunjukkan oleh jarum arloji. Waktu yang diperlukan dan saat diangkatnya benda uji dari rendaman air sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik.

### III.3 Tahap Analisa dan Pembahasan

Setelah dilakukan pengujian dengan alat Marshall, maka akan diperoleh data stabilitas campuran laston. Data stabilitas akan dirata-ratakan untuk setiap variasi waktu perendaman. Kemudian di-plot ke dalam grafik waktu perendaman vs stabilitas. Dengan menggunakan program Microsoft Excel, dapat diperoleh sebuah persamaan yang menggambarkan perubahan dari sampel laston yang diuji.



Gambar 3.3. Contoh grafik kinerja campuran aspal terhadap pembebanan

### III.4 Tahap Kesimpulan dan Saran

Setelah diperoleh grafik hubungan antara waktu perendaman dengan faktor-faktor kinerja campuran aspal, kemudian ditambah dengan data pengaruh keasaman dan pengaruh pembebanan dari penelitian yang lain, maka dapat dilakukan penarikan kesimpulan dan kemudian dilanjutkan dengan pemberian usulan.

## BAB IV

### DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN

#### IV.1 Pemeriksaan Material Aspal dan Agregat

##### IV.1.1 Pengujian Aspal

Pada penelitian ini, akan digunakan material aspal Pertamina dengan pen 60/70. Dari pengujian yang dilakukan, diperoleh nilai-nilai karakteristik material aspal, yang akan digunakan sebagai bahan baku pembuatan Laston, seperti yang tercantum dalam tabel 4.

Tabel 4.1 Persyaratan Material Campuran Aspal

Jenis Pemeriksaan	Minimum	Maksimum	Satuan
<b>Aspal Pen 60/70</b>			
Penetrasi aspal 25°, 100 gram, 5 detik	60	79	0,1 mm
Titik Lembek aspal 5°C	48	58	Derajat Celcius
Titik Nyala aspal	232	-	Derajat Celcius
Kehilangan Berat aspal	-	0,4	% Berat
Kelarutan dalam CCl <sub>4</sub>	99	-	% Berat
Daktilitas	100	-	Cm
Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	% Semula
Berat jenis	1	-	Gr/Cc
<b>Agregat</b>			
<b>Kasar</b>			
Berat jenis curah (Bulk)	2,5	-	Gr/cm <sup>3</sup>
Penyerapan	-	3	%
<b>Medium</b>			
Berat jenis curah (Bulk)	2,5	-	Gr/cm <sup>3</sup>
Penyerapan	-	3	%
<b>Halus</b>			
Berat jenis curah (Bulk)	2,5	-	Gr/cm <sup>3</sup>
Penyerapan	-	3	%

Sumber : Pedoman Praktikum Bahan Perkerasan Jalan, Laboratorium Bahan Jurusan Sipil Universitas Indonesia.

Aspal pen 60/70 memiliki batas nilai penetrasi antar 60-79. Dalam pengujian kali ini, diperoleh nilai penetrasi rata-rata sebesar 72,4. Hal tersebut berarti aspal memenuhi standar penetrasi. Demikian juga dengan standar pengujian aspal yang lain, seperti terlihat dalam tabel 4. Dalam setiap pengujian yang dilakukan, hasil yang diperoleh memenuhi setiap persyaratan untuk aspal pen 60/70.

#### IV.1.2 Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

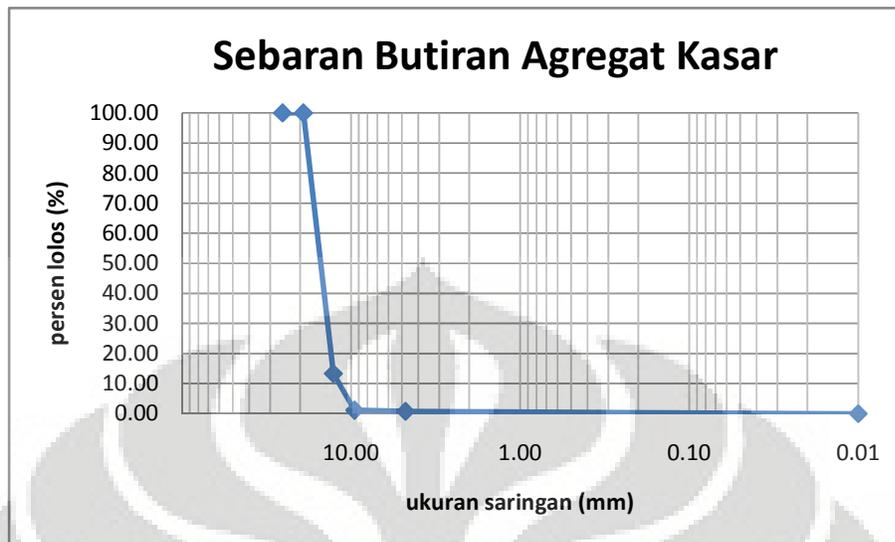
Tabel 4 juga memperlihatkan hasil pengujian terhadap berat jenis dan penyerapan agregat. Agregat yang digunakan (baik kasar, medium, dan halus) harus memiliki berat jenis minimum  $2,5 \text{ gram/cm}^3$  dan penyerapan air maksimum sebesar 3 %. Hasil yang diperoleh dalam pengujian antara lain, berat jenis untuk agregat kasar, medium, dan halus masing-masing  $2,527 \text{ gr/cm}^3$ ,  $2,535 \text{ gr/cm}^3$ , dan  $2,51 \text{ gr/cm}^3$ , serta penyerapan untuk agregat kasar, medium, dan halus masing-masing 2,5 %, 2 %, dan 2,14 %.

#### IV.1.3 Analisa Saringan

##### a. Agregat kasar

Tabel 4.2 Sebaran butiran agregat kasar

Saringan No.	Diameter	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Kumulatif
1		0,00	0,00	100,00
3/4"		0	0,00	100,00
1/2"		2.002	86,70	13,30
3/8"		281	12,17	1,13
4		9	0,39	0,74
Pan		17	0,74	0,00
	<b>Total</b>	<b>2.309</b>		



Gambar 4.1. Grafik sebaran butiran agregat kasar

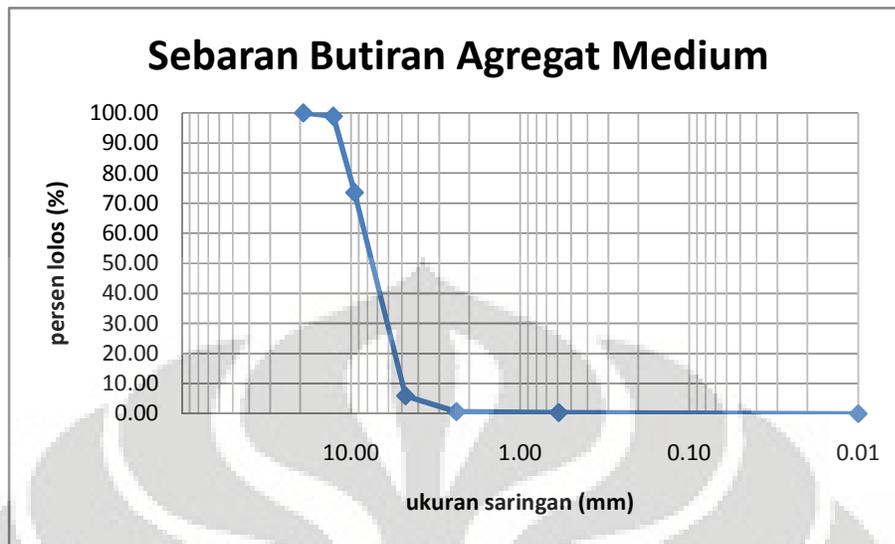
Sumber : Pengolahan data

## b. Agregat Medium

Tabel 4.3. Sebaran butiran agregat medium

Saringan No.	Diameter	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Komulatif
3/4"		0,00	0,00	100,00
1/2"		30	1,15	98,85
3/8"		660	25,35	73,50
4		1.76	67,59	5,91
8		137	5,26	0,65
16		5	0,19	0,46
30		2,00	0,08	0,38
Pan		10,00	0,38	0,00
<b>Total</b>		<b>2.604</b>		

Sumber : Pengolahan data



Gambar 4.2. Grafik sebaran butiran agregat medium

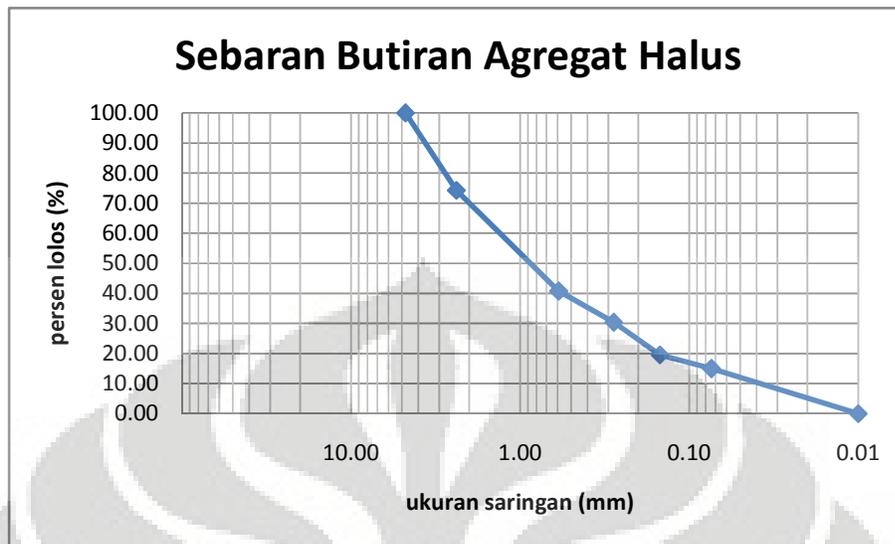
Sumber : Pengolahan data

## c. Agregat Halus

Tabel 4.4. Sebaran butiran agregat halus

Saringan No.	Diameter	Berat Tertahan (gr)	Jumlah Persen (%)	
			Tertahan	Lolos Komulatif
4		0	0,00	100,00
8		354	25,76	74,24
16		416	30,28	43,96
30		45	3,28	40,68
50		142	10,33	30,35
100		148	10,77	19,58
200		64	4,66	14,92
Pan		205	14,92	0,00
<b>Total</b>		<b>1.374</b>		

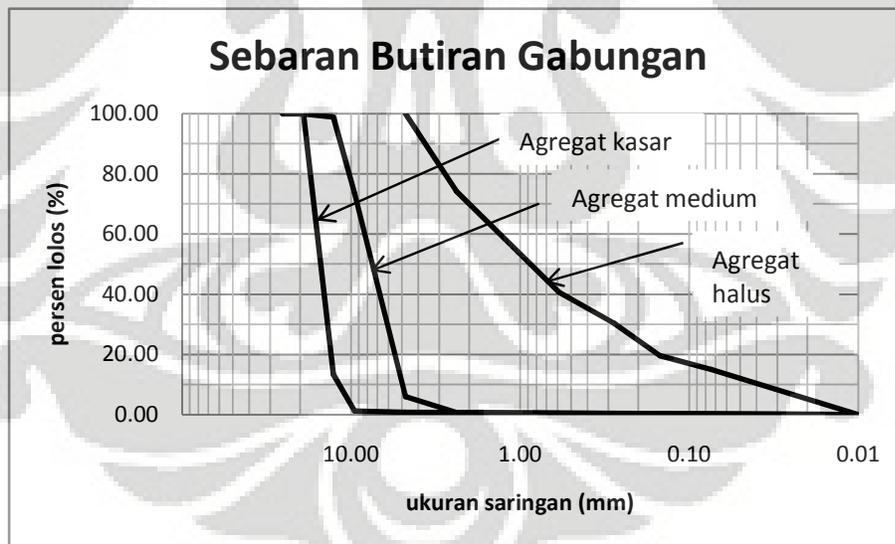
Sumber : Pengolahan data



Gambar 4.3. Grafik sebaran butiran agregat halus

Sumber : Pengolahan data

d. Gabungan



Gambar 4.4. Grafik sebaran butiran gabungan

Sumber : Pengolahan data

Setelah diperoleh grafik sebaran butiran untuk masing-masing agregat, kemudian data saringan dari masing-masing agregat tersebut digabungkan dalam satu grafik. Grafik gabungan ini akan digunakan dalam penentuan persentase agregat dalam campuran aspal. Adapun persentase yang didapat dari grafik ini adalah agregat kasar 10 %, agregat medium 30 %, dan agregat halus 60 %. Persentase ini tidak langsung digunakan untuk pembuatan benda uji, tetapi masih harus disesuaikan lagi dengan spesifikasi Laston tipe IV.

Tabel 4.5 Perbandingan hasil percobaan dengan standar

Jenis Pemeriksaan	Minimum	Maksimum	Hasil Percobaan	Satuan	Status
<b>Aspal Pen 60/70</b>					
Penetrasi aspal 25°, 100 gram, 5 detik	60	79	72,4	0,1 mm	ok
Titik Lembek aspal 5°C	48	58	50,5	Derajat Celcius	ok
Titik Nyala aspal	232	-	340	Derajat Celcius	ok
Kehilangan Berat aspal	-	0,4	0,05	% Berat	ok
Kelarutan dalam CCl4	99	-	99,97	% Berat	ok
Daktilitas	100	-	100	Cm	ok
Penetrasi setelah kehilangan berat	75	-	56,8	% Semula	ok
Berat jenis	1	-	1,029	Gr/Cc	ok
<b>Agregat</b>					
<b>Kasar</b>					
Berat jenis curah (Bulk)	2,5	-	2,527	Gr/cm <sup>3</sup>	ok
Penyerapan	-	3	2,5	%	ok
<b>Medium</b>					
Berat jenis curah (Bulk)	2,5	-	2,535	Gr/cm <sup>3</sup>	ok
Penyerapan	-	3	2	%	ok
<b>Halus</b>					
Berat jenis curah (Bulk)	2,5	-	2,51	Gr/cm <sup>3</sup>	ok
Penyerapan	-	3	2,14	%	ok

Sumber : Pengolahan data

## IV.2 Penentuan Kadar Aspal

Penentuan kadar aspal optimum dilakukan melalui dua tahap, yaitu pembuatan benda uji dengan beberapa variasi kadar aspal, kemudian pengujian dengan alat Marshall.

### IV.2.1 Perancangan Benda Uji

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, dari grafik sebaran butiran gabungan diperoleh persentase masing-masing agregat antara lain agregat kasar 10 %, agregat medium 30 %, agregat halus 60 %. Persentase ini kemudian dikalikan dengan persen lolos tiap saringan untuk ketiga jenis agregat tersebut. Setelah dikalikan, ternyata dengan nilai tersebut, sebaran agregat yang digunakan memenuhi persyaratan laston dengan spesifikasi nomor 4. Detailnya dapat dilihat pada lampiran tulisan ini

Setelah diperoleh persentase agregat kasar, medium, dan halus masing-masing sebesar 10%, 30%, dan 60% maka akan dihitung berat masing-masing agregat dari berat total campuran sebesar 1200 gram. Perhitungan berat aspal dan agregat untuk pembuatan benda uji dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4.6. Komposisi campuran aspal dalam penentuan kadar aspal

No.	Kadar Aspal (%)	Kadar Agregat (%)	Berat Aspal (gram)	Berat Total Agregat (gram)	% Agregat			Berat Agregat (gram)		
					Kasar	Medium	Halus	Kasar	Medium	Halus
1	5,00	95,00	60	1140	10	30	60	114,00	342,00	684,00
2	5,50	94,50	66	1134	10	30	60	113,40	340,20	680,40
3	6,00	94,00	72	1128	10	30	60	112,80	338,40	676,80
4	6,50	93,50	78	1122	10	30	60	112,20	336,60	673,20

Sumber : Pengolahan data

#### IV.2.2 Pengujian Dengan Alat Marshall

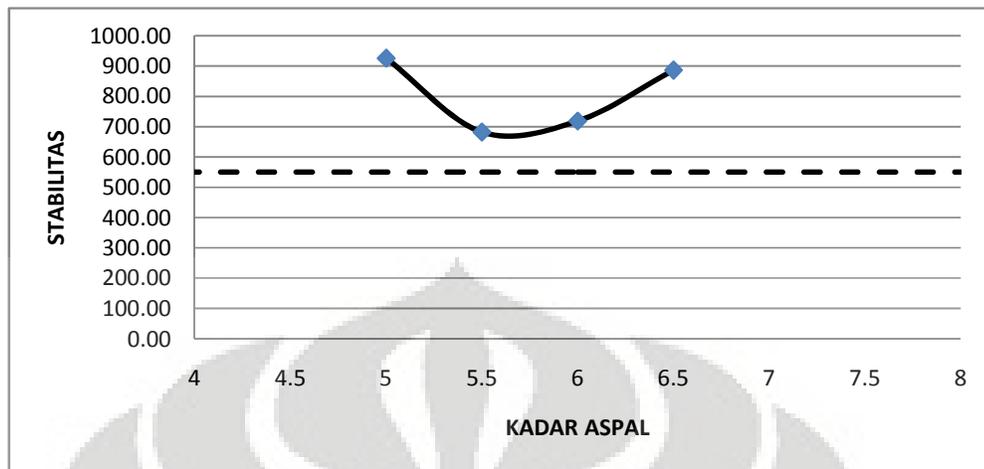
Dari pengujian dengan menggunakan alat Marshall akan diperoleh data kinerja campuran aspal. Pada tahap ini, pengujian dengan alat Marshall dilakukan pada 4 variasi kadar aspal, yaitu 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5%.

Nilai rongga dalam campuran (VIM) dan rongga dalam agregat (VMA) diperoleh berdasarkan data tinggi benda uji, berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air. Dari alat Marshall akan diperoleh data berupa pembacaan arloji stabilitas dan arloji kelelahan. Dimana arloji stabilitas menunjukkan nilai tekanan/gaya yang terjadi pada permukaan kontak aspal dan alat uji. Sedangkan arloji kelelahan menunjukkan deformasi yang terjadi pada sampel aspal.

Untuk mendapatkan nilai stabilitas, pembacaan arloji masih harus dikali lagi dengan kalibrasi alat dan korelasi tinggi benda uji. Setelah diolah diperoleh hasil berupa nilai VIM, VMA, Stabilitas, dan kelelahan seperti yang terlihat pada tabel 10.

Tabel 4.7. Hasil pengujian Marshall untuk menentukan kadar aspal

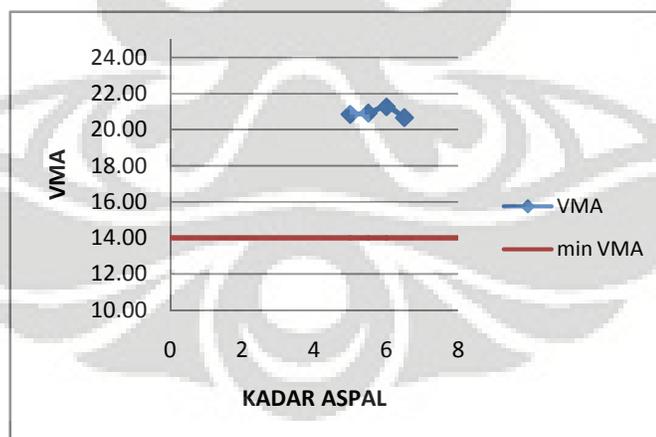
NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
1	5	21,07	7,08	1139,63	2,45	465,16
2	5	21,99	6,34	1047,14	3,00	349,05
3	5	21,82	6,13	590,27	2,90	203,54
RATA-RATA		21,63	6,51	925,68	2,78	339,25
1	5,5	21,37	6,81	662,81	3,25	203,94
2	5,5	21,28	6,71	521,90	2,50	208,76
3	5,5	20,08	5,29	860,54	3,30	260,77
RATA-RATA		20,91	6,27	681,75	3,02	224,49
1	6	21,89	5,84	743,97	3,20	232,49
2	6	20,63	4,33	785,33	3,05	257,49
3	6	21,28	5,10	625,39	3,10	201,74
RATA-RATA		21,27	5,09	718,23	3,12	230,57
1	6,5	21,54	1,47	697,11	3,00	232,37
2	6,5	21,47	1,37	1068,08	3,00	356,03
3	6,5	20,38	0,01	891,68	2,80	318,46
RATA-RATA		21,13	0,95	885,63	2,93	302,29



Gambar 4.5. Grafik Kadar Aspal vs Stabilitas

Sumber : Pengolahan data

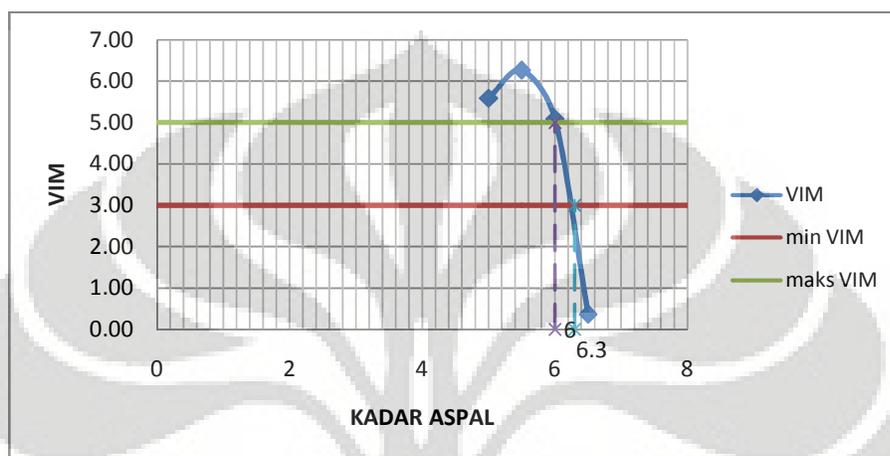
Nilai stabilitas benda uji memiliki batas minimum sebesar 550 kg untuk benda uji dengan penumbukan 2x75. Data stabilitas kemudian di-plot terhadap kadar aspal sehingga diperoleh grafik kadar aspal vs stabilitas. Setelah dibandingkan dengan standar nilai stabilitas benda uji 2x75 tumbukan, terlihat bahwa benda uji untuk seluruh variasi kadar aspal memenuhi persyaratan.



Gambar 4.6. Grafik Kadar Aspal vs VMA

Sumber : Pengolahan data

Standar VMA ditentukan berdasarkan ukuran maksimum agregat yang digunakan. Pada penelitian ini ukuran maksimum agregatnya adalah  $\frac{3}{4}$ "', sehingga syarat untuk nilai VMA adalah minimum 14%. Sehingga dapat dikatakan bahwa nilai VMA benda uji memenuhi persyaratan.

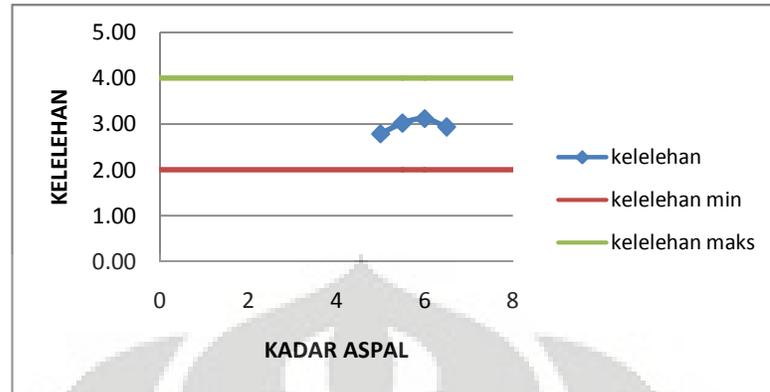


Gambar 4.7. Grafik Kadar Aspal vs VIM

Sumber : Pengolahan data

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, nilai VIM dapat dihitung berdasarkan data tinggi, berat kering, berat jenuh, dan berat benda uji dalam air. Untuk persyaratannya, nilai VIM memiliki batas minimum sebesar 3% dan maksimum 5%. Setelah di-plot pada grafik kadar aspal vs VIM, terlihat bahwa tidak semua benda uji memiliki nilai VIM yang memenuhi syarat. Grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal, maka nilai VIM semakin besar. Hal tersebut dikarenakan, rongga yang terbentuk dalam campuran diisi oleh aspal. Jadi semakin banyak aspal yang digunakan maka rongga dalam campuran akan semakin tertutup.

Batas minimum dan maksimum dari persen rongga dalam campuran (VIM) akan memotong grafik pada kadar aspal 6 % dan 6,3 %.



Gambar 4.8. Grafik Kadar Aspal vs Kelelehan

Sumber : Pengolahan data

Grafik kadar aspal vs kelelehan menunjukkan bahwa semakin tinggi persen aspal, maka kelelehan akan semakin besar. Hal ini dikarenakan oleh sifat elastis dari aspal. Semakin banyak aspal yang digunakan, jumlah agregat yang digunakan akan semakin sedikit, dan akan membuat campuran aspal semakin elastis sehingga laston akan mengalami deformasi yang besar pada saat dibebani. Meskipun semakin nilai kelelehan semakin tinggi, untuk kadar aspal 5 %, 5,5%, 6%, dan 6,5% nilai kelelehan masih dapat diterima.

Setelah semua data diolah, laston dengan kadar aspal berapa saja yang kinerjanya memenuhi syarat.

Tabel 4.8 Rentang Kadar Aspal Yang Memenuhi Syarat

KINERJA	KADAR ASPAL YANG MEMENUHI SYARAT (%)
Stabilitas	5-6,5
VIM	6-6,3
VMA	5-6,5
Kelelehan	5-6,5

Sumber : Pengolahan data

Kadar aspal yang digunakan yang memperoleh kinerja campuran yang memenuhi syarat. Oleh karena itu harus dicari irisan kadar aspal yang memenuhi semua kinerjanya memenuhi persyaratan. Untuk penelitian ini yang memenuhi semua persyaratan adalah laston dengan kadar aspal sebesar

$$\frac{6 + 6,3}{2} = 6,15\%.$$

### IV.3 Pengujian Terhadap Campuran Dengan Kadar Aspal 6.15 %

#### IV.3.1 Perancangan Benda Uji

Pembuatan benda uji dengan kadar aspal optimum sama dengan proses pembuatan benda uji sebelumnya. Yang berbeda adalah, pada proses sebelumnya dilakukan dengan 4 variasi kadar aspal, sedangkan pada tahap ini kadar aspal yang digunakan adalah kadar aspal optimum. Untuk persentase agregat, sama dengan yang digunakan sebelumnya, yaitu agregat kasar 22%, agregat medium 28%, dan agregat halus 50%. Adapun jumlah agregat dan aspal yang digunakan dapat dilihat pada tabel berikut (dengan berat total campuran 1200 gram).

Tabel 4.9. Komposisi campuran aspal dengan kadar 6.15 %

No.	Kadar Aspal	Kadar Agregat	Berat Aspal	Berat Total Agregat	% Agregat			Berat Agregat (gram)		
	(%)	(%)	(gram)	(gram)	Kasar	Medium	Halus	Kasar	Medium	Halus
1	6,15	93,85	73,8	1126,2	10	30	60	112,62	337,86	675,72

Sumber : Pengolahan data

Benda uji yang dibuat dengan kadar aspal optimum ini adalah sebanyak 3 buah. Campuran aspal ini kemudian akan di uji kembali dengan alat Marshall.

### IV.3.2 Pengujian Dengan Alat Marshall

Tabel 4.10. Hasil pengujian Marshall dengan kadar aspal optimum

NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
1	6,15	19,24	3,57	1213,02	3,50	346,58
2	6,15	19,08	3,38	1418,90	3,55	399,69
3	6,15	19,29	3,63	1158,19	3,30	350,97
RATA-RATA		19,20	3,52	1263,37	3,45	365,74

Sumber : Pengolahan data

Setelah dilakukan pengujian dengan alat Marshall pada laston dengan kadar aspal optimum, diperoleh data kinerja laston rata-rata, antara lain VMA sebesar 19,2 % ; VIM sebesar 3,52 % ; Stabilitas 1263,37 Kg; Kelelehan 3,45 mm dan nilai MQ sebesar 365,74 Kg/mm.

Selain pengujian tersebut, dilakukan juga pengujian dengan alat Marshall, namun tanpa dilakukan perendaman terlebih dahulu di dalam *waterbath*. Hal itu dilakukan karena pada percobaan pembebanan, aspal tidak melalui proses *waterbath* agar tidak terjadi perubahan kondisi. Pengujian tersebut memperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.11 Hasil Pengujian Marshall Tanpa Waterbath

NO. BENDA UJI	PERSENTASE ASPAL (%)	VMA	VIM	STABILITAS	KELELEHAN	MQ
1	6,15	18,97	3,24	3185,54	3,80	838,30
2	6,15	18,51	2,69	3365,03	3,60	934,73
3	6,15	18,33	2,48	3475,31	3,10	1121,07
RATA-RATA		18,60	2,81	3341,96	3,50	964,70

Sumber : Pengolahan data

Dari tabel tersebut terlihat adanya perubahan yang mencolok dalam kinerja campuran laston. nilai stabilitas sampel jauh di atas nilai stabilitas sampel yang direndam dalam *waterbath* terlebih dahulu. Tanpa dilakukannya perendaman di dalam *waterbath*, maka sampel yang diuji akan memiliki daya tahan yang lebih besar. Hal ini dikarenakan perbedaan suhu. Sampel yang direndam memiliki suhu 60<sup>0</sup> C sedangkan sampel yang tidak direndam, memiliki suhu ruang.

#### IV.3.3 Pembebanan dan perendaman benda uji dalam air hujan

Data yang dimuat dibawah ini adalah rata-rata dari percobaan yang dilakukan untuk setiap variasi pembebanan. Hal itu dilakukan untuk mempermudah proses analisa selanjutnya. Untuk data detail dari setiap percobaan, dapat dilihat pada lampiran di akhir dari skripsi ini.

##### **Beban 10 %**

Daya dukung akhir rata-rata : 129

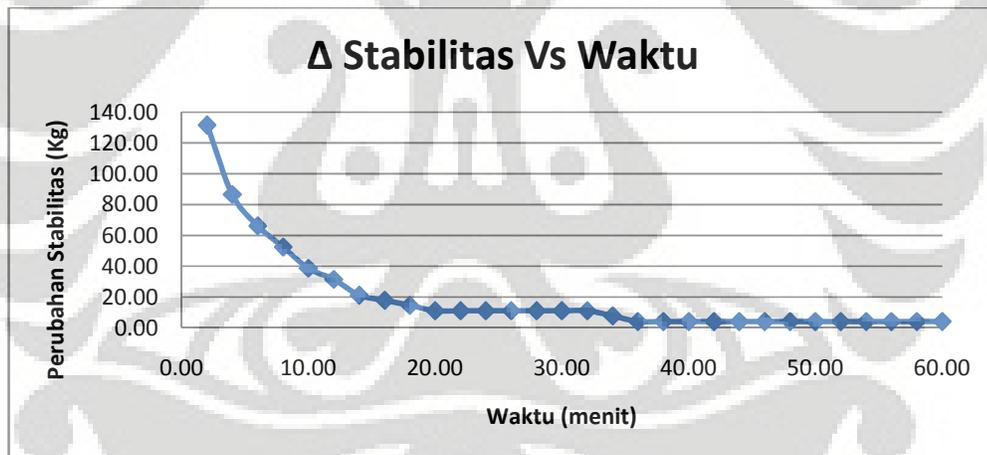
Tabel 4.12 Tabulasi Hasil Pembebanan 10 %

t	Stabilitas 1(Kg)	Stabilitas 2 (Kg)	Kelelahan (mm)	Kelelahan 2 (mm)	Δ Stabilitas (Kg)	Δ Kelelahan (mm)
2.00	336.04	154.54	0.62	0.77	131.54	0.15
4.00	336.04	216.57	0.87	0.97	86.62	0.10
6.00	336.04	240.42	1.01	1.08	66.18	0.06
8.00	336.04	264.47	1.10	1.14	52.40	0.05
10.00	336.04	281.68	1.16	1.20	38.62	0.04
12.00	336.04	292.24	1.21	1.23	31.48	0.03
14.00	336.04	302.45	1.24	1.26	21.26	0.02
16.00	336.04	309.20	1.26	1.29	17.95	0.02
18.00	336.04	312.52	1.29	1.31	14.62	0.02
20.00	336.04	316.09	1.31	1.33	11.05	0.02
22.00	336.04	319.51	1.33	1.35	11.05	0.02
24.00	336.04	319.51	1.35	1.36	11.05	0.01
26.00	336.04	322.94	1.36	1.38	11.05	0.01
28.00	336.04	322.94	1.38	1.39	11.05	0.01
30.00	336.04	322.94	1.39	1.40	11.05	0.01
32.00	336.04	322.94	1.40	1.41	11.05	0.01
34.00	336.04	326.26	1.41	1.42	7.73	0.00
36.00	336.04	329.83	1.42	1.43	4.16	0.01

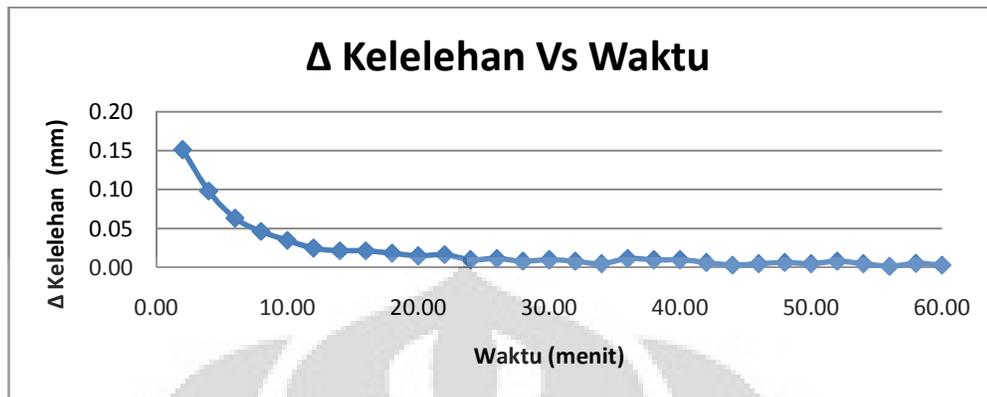
38.00	336.04	329.83	1.43	1.44	4.16	0.01	
40.00	336.04	329.83	1.44	1.45	4.16	0.01	
42.00	336.04	329.83	1.45	1.46	4.16	0.01	
44.00	336.04	329.83	1.46	1.46	4.16	0.00	
46.00	336.04	329.83	1.46	1.46	4.16	0.01	
48.00	336.04	329.83	1.46	1.47	4.16	0.01	
50.00	336.04	329.83	1.47	1.48	4.16	0.00	
52.00	336.04	329.83	1.47	1.48	4.16	0.01	
54.00	336.04	329.83	1.48	1.49	4.16	0.00	
56.00	336.04	329.83	1.49	1.49	4.16	0.00	
58.00	336.04	329.83	1.49	1.49	4.16	0.01	
60.00	336.04	329.83	1.49	1.50	4.16	0.00	
					total	599.82	0.65
					rata-rata	19.99	0.02

Sumber : Pengolahan data

Untuk kemudahan analisa data, data pada table diatas dapat diolah menjadi grafik berikut ini :



Gambar 4.9 Hasil pengolahan data tabulasi berupa selisih stabilitas /nilai O dan O'



Gambar 4.10 Hasil pengolahan data tabulasi perubahan Kelelehan/ selisih R dengan R'

Seiring dengan bertambahnya waktu pembebanan, perubahan kelelehan dan nilai stabilitas dari campuran aspal cenderung berkurang. Hal itu disebabkan oleh kondisi aspal yang semakin padat, akibat dari terisinya rongga oleh agregat yang bergeser akibat adanya beban.

Penurunan nilai perubahan R dan perubahan O paling besar terjadi di awal-awal pembebanan karena masih banyaknya void yang tersedia. Setelah repetisi beban ke 5 (menit 10), terlihat perubahannya cukup kecil dan setelah menit 40 cenderung stabil.

Perubahan O dan perubahan R berbanding lurus. Hal itu disebabkan oleh sifat dari pembebanan yang diberikan dan sifat aspal yang elastis. Tekanan dari mesin marshall ke sample menjadi berkurang seiring dengan waktu karena adanya deformasi pada aspal.

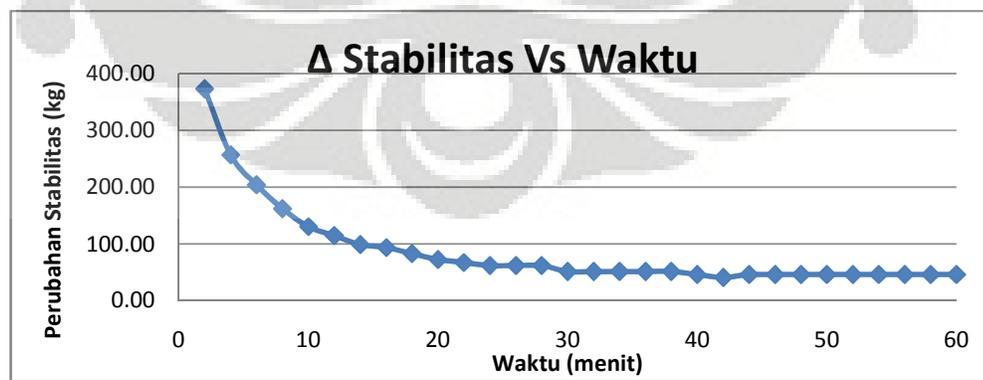
#### **Beban 20 %**

Daya dukung akhir rata-rata : 121,15

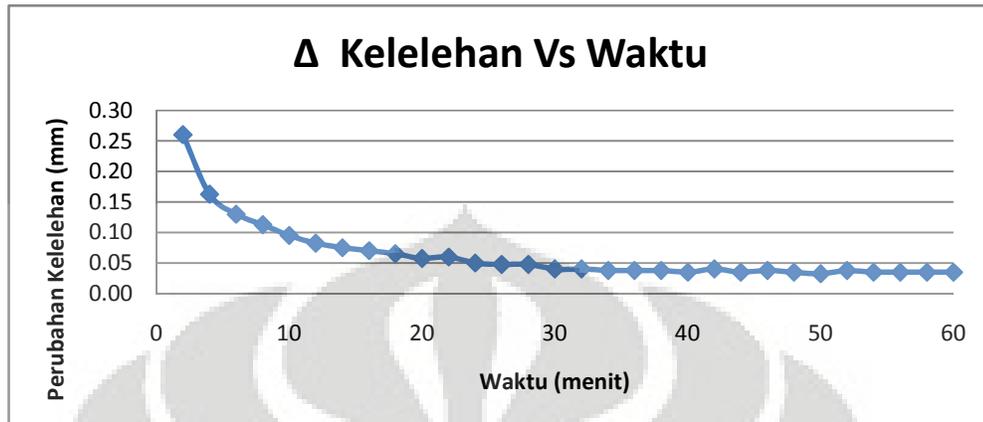
Tabel 4.13 Tabulasi Hasil Pembebanan 20 %

t	Stabilitas 1(Kg)	Stabilitas 2 (Kg)	Kelelehan (mm)	Kelelehan 2 (mm)	Δ Stabilitas (Kg)	Δ Kelelehan (mm)
2	678.06	305.34	1.14	1.40	372.73	0.26
4	678.06	421.16	1.50	1.67	256.91	0.16
6	678.06	473.80	1.71	1.84	204.26	0.13

8	678.06	515.92	1.87	1.99	162.15	0.11
10	678.06	547.51	2.01	2.11	130.56	0.10
12	678.06	563.30	2.13	2.21	114.77	0.08
14	678.06	579.09	2.22	2.30	98.97	0.07
16	678.06	584.36	2.31	2.38	93.71	0.07
18	678.06	594.89	2.39	2.46	83.18	0.06
20	678.06	605.41	2.47	2.53	72.65	0.06
22	678.06	610.68	2.53	2.59	67.39	0.06
24	678.06	615.94	2.60	2.65	62.12	0.05
26	678.06	615.94	2.65	2.70	62.12	0.05
28	678.06	615.94	2.71	2.75	62.12	0.05
30	678.06	626.47	2.76	2.80	51.59	0.04
32	678.06	626.47	2.81	2.85	51.59	0.04
34	678.06	626.47	2.85	2.89	51.59	0.04
36	678.06	626.47	2.89	2.93	51.59	0.04
38	678.06	626.47	2.93	2.97	51.59	0.04
40	678.06	631.74	2.97	3.01	46.33	0.03
42	678.06	637.00	3.01	3.05	41.06	0.04
44	678.06	631.74	3.06	3.09	46.33	0.03
46	678.06	631.74	3.10	3.13	46.33	0.04
48	678.06	631.74	3.14	3.17	46.33	0.03
50	678.06	631.74	3.18	3.21	46.33	0.03
52	678.06	631.74	3.22	3.25	46.33	0.04
54	678.06	631.74	3.26	3.29	46.33	0.04
56	678.06	631.74	3.29	3.33	46.33	0.04
58	678.06	631.74	3.33	3.37	46.33	0.04
60	678.06	631.74	3.37	3.40	46.33	0.03
Total					2605.92	1.90
Rata-rata					86.86	0.06



Gambar 4.11 Hasil pengolahan data tabulasi berupa selisih stabilitas /nilai O



Gambar 4.12 Hasil pengolahan data tabulasi berupa perubahan Kelelehan/ selisih R dengan R'

Karakter perubahan O dan R pada pembebanan 20 % sama dengan pembebanan 10 %. Hanya saja pada 10 menit pertama grafik memiliki slope yang lebih miring dibandingkan pembebanan 10 %. Hal itu diakibatkan oleh pembebanan yang lebih besar. Dengan adanya pembebanan yang lebih besar, agregat dan aspal lebih cepat mengalami deformasi dan mengisi ruang

Akibat dari perubahan awal yang lebih drastis, campuran aspal dengan pembebanan 20 % lebih cepat mencapai posisi yang cenderung stabil, yaitu pada sekitar menit 30. Dimana pada pembebanan 10 %, sample baru cukup stabil pada menit 40-an

### **Beban 30 %**

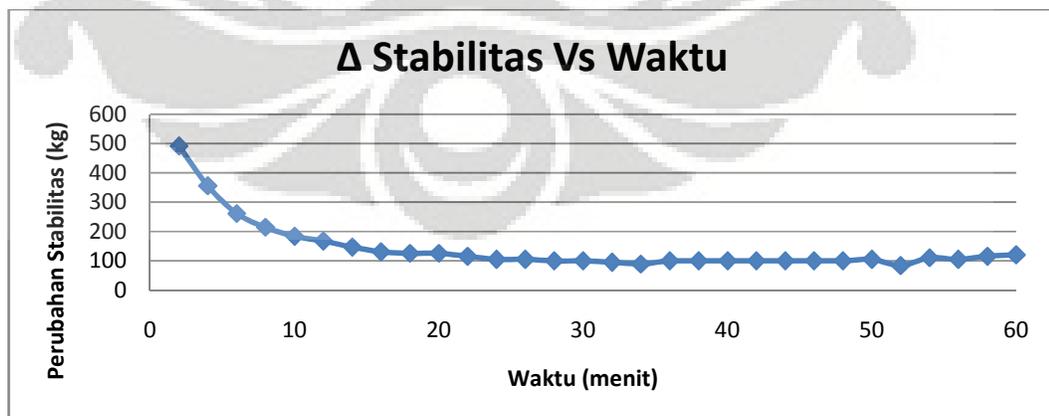
Daya dukung akhir rata-rata : 119,667

Tabel 4.13 Tabulasi Hasil Pembebanan 30 %

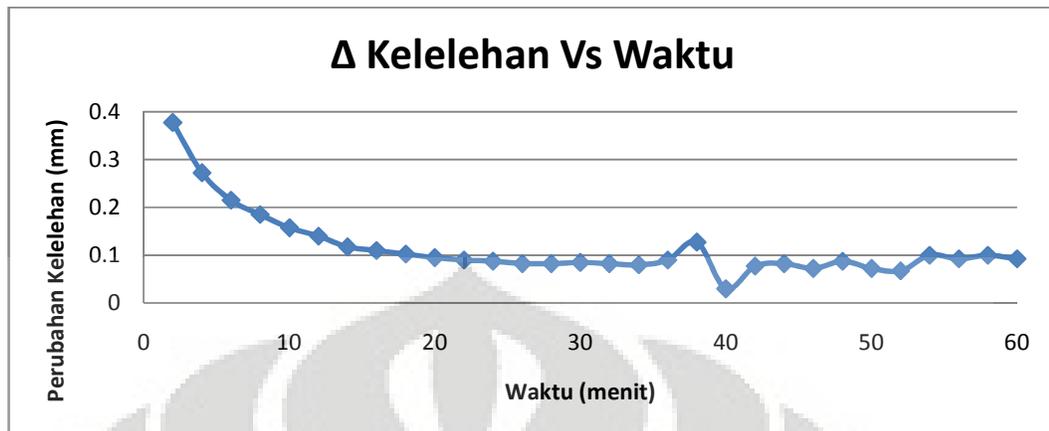
t	Stabilitas 1(Kg)	Stabilitas 2 (Kg)	Kelelehan (mm)	Kelelehan 2 (mm)	Δ Stabilitas (Kg)	Δ Kelelehan (mm)
2	1003.875478	512.4666829	1.41	1.7875	491.4087953	0.3775
4	1003.875478	648.3841847	1.89	2.1625	355.4912935	0.2725
6	1003.875478	742.4495724	2.21	2.425	261.4259058	0.215
8	1003.875478	789.4942509	2.45	2.635	214.3812273	0.185

10	1003.875478	820.8413904	2.65	2.8075	183.0340878	0.1575
12	1003.875478	836.5149601	2.825	2.965	167.3605181	0.14
14	1003.875478	857.4290326	2.9825	3.1	146.4464456	0.1175
16	1003.875478	873.1265715	3.1125	3.2225	130.7489067	0.11
18	1003.875478	878.343105	3.235	3.3375	125.5323732	0.1025
20	1003.875478	878.343105	3.345	3.44	125.5323732	0.095
22	1003.875478	888.7761721	3.45	3.54	115.0993061	0.09
24	1003.875478	899.2571775	3.55	3.6375	104.6183007	0.0875
26	1003.875478	899.2571775	3.645	3.7275	104.6183007	0.0825
28	1003.875478	904.473711	3.735	3.8175	99.40176719	0.0825
30	1003.875478	904.473711	3.8225	3.9075	99.40176719	0.085
32	1003.875478	909.6902445	3.915	3.9975	94.18523367	0.0825
34	1003.875478	914.906778	4.005	4.085	88.96870015	0.08
36	1003.875478	904.4257726	4.09	4.18	99.44970558	0.09
38	1003.875478	904.4257726	4.1825	4.31	99.44970558	0.1275
40	1003.875478	904.4257726	4.3225	4.3525	99.44970558	0.03
42	1003.875478	904.4257726	4.3625	4.44	99.44970558	0.0775
44	1003.875478	904.4257726	4.4425	4.525	99.44970558	0.0825
46	1003.875478	904.4257726	4.5375	4.61	99.44970558	0.0725
48	1003.875478	904.4257726	4.615	4.7025	99.44970558	0.0875
50	1003.875478	899.1613007	4.7275	4.8	104.7141775	0.0725
52	1003.875478	920.1233116	4.805	4.8725	83.75216663	0.0675
54	1003.875478	893.920798	4.88	4.98	109.9546802	0.1
56	1003.875478	899.1613007	4.985	5.0775	104.7141775	0.0925
58	1003.875478	888.6802953	5.085	5.185	115.1951829	0.1
60	1003.875478	883.4397926	5.19	5.2825	120.4356856	0.0925
Total					4242.569312	3.455
Rata-rata					141.4189771	0.115166667

Sumber : Pengolahan data



Gambar 4.13 Hasil pengolahan data tabulasi berupa selisih stabilitas /nilai O



Gambar 4.14 Hasil pengolahan data tabulasi berupa perubahan kelelahan/ selisih R dengan R'

Karakter perubahan O dan R pada pembebanan 30 % hampir sama dengan pembebanan 20 %. Hanya saja pada 10 menit pertama grafik memiliki slope yang lebih miring dibandingkan pembebanan 20 %. Hal itu diakibatkan oleh pembebanan yang lebih besar. Dengan adanya pembebanan yang lebih besar, agregat dan aspal lebih cepat mengalami deformasi dan mengisi ruang

Akibat dari perubahan awal yang lebih drastis, campuran aspal dengan pembebanan 30 % lebih cepat mencapai posisi yang cenderung stabil, yaitu diantara menit 20- menit 30.

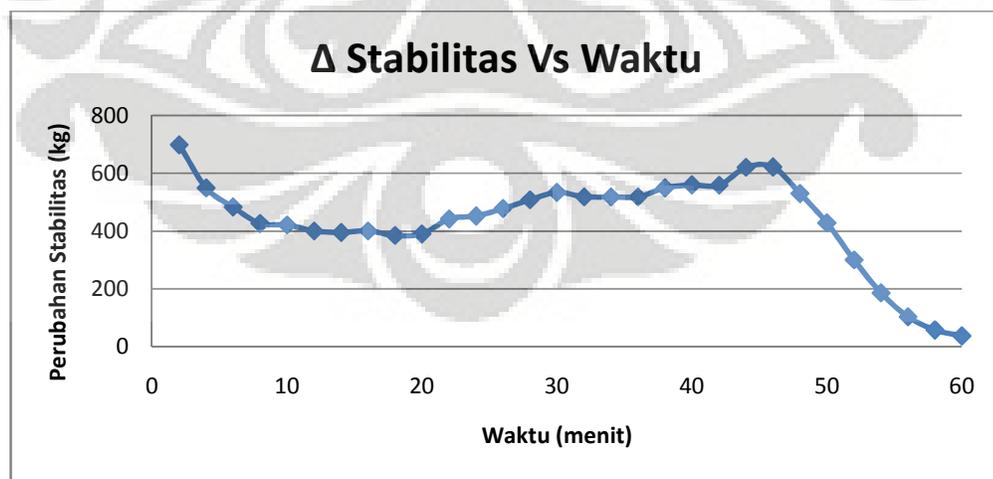
#### **Beban 40 %**

Daya dukung akhir rata-rata : 119

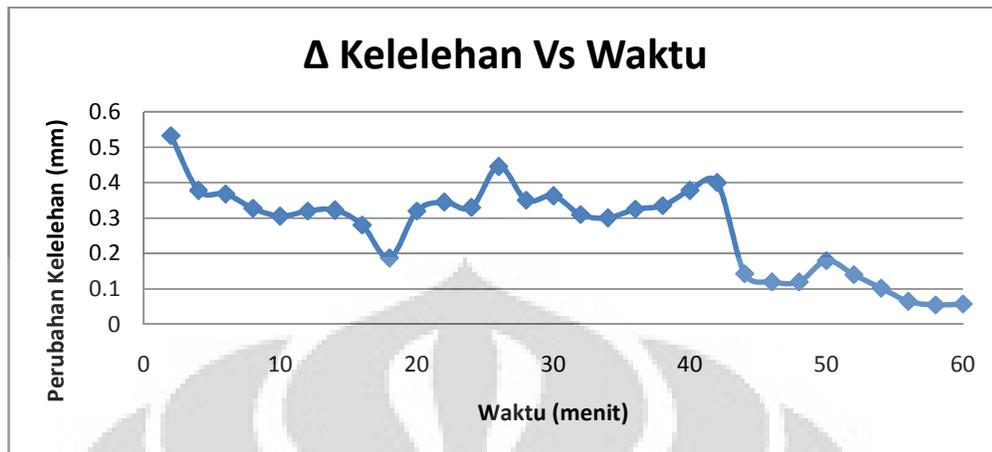
Tabel 4.14 Tabulasi Hasil Pembebanan 40 %

t	Stabilitas 1(Kg)	Stabilitas 2 (Kg)	Kelelahan (mm)	Kelelahan 2 (mm)	Δ Stabilitas (Kg)	Δ Kelelahan (mm)
2	1359.199102	660.7983869	1.795	2.3275	698.4007155	0.5325
4	1359.199102	809.4639278	2.61	2.9875	549.7351746	0.3775
6	1359.199102	876.1750723	3.115	3.4825	483.0240301	0.3675
8	1359.199102	932.477654	3.595	3.9225	426.7214483	0.3275
10	1359.199102	937.6408696	4.025	4.33	421.5582328	0.305
12	1359.199102	958.2116003	4.4	4.72	400.987502	0.32
14	1359.199102	963.2926843	4.785	5.107	395.9064181	0.322

16	1359.199102	958.2116003	5.145	5.425	400.987502	0.28
18	1359.199102	973.4548522	5.595	5.7825	385.7442501	0.1875
20	1359.199102	968.3737683	5.86	6.18	390.8253341	0.32
22	1359.199102	917.0701389	6.3	6.645	442.1289635	0.345
24	1359.199102	906.907971	6.755	7.085	452.2911314	0.33
26	1359.199102	881.1740247	7.13	7.575	478.0250777	0.445
28	1359.199102	850.441126	7.735	8.085	508.7579764	0.35
30	1359.199102	824.8714429	8.255	8.6175	534.3276594	0.3625
32	1359.199102	840.3610897	8.75	9.06	518.8380127	0.31
34	1359.199102	840.5253529	9.245	9.545	518.6737495	0.3
36	1359.199102	840.5253529	9.795	10.12	518.6737495	0.325
38	1359.199102	809.8745858	10.345	10.68	549.3245165	0.335
40	1359.199102	799.5481547	10.97	11.3475	559.6509477	0.3775
42	1359.199102	799.8766811	11.83	12.23	559.3224213	0.4
44	1359.199102	737.9180942	12.775	12.9175	621.2810082	0.1425
46	1359.199102	737.5895677	13.19	13.31	621.6095346	0.12
48	1359.199102	829.0490793	13.435	13.555	530.1500231	0.12
50	1359.199102	930.8350219	14.155	14.335	428.3640804	0.18
52	1359.199102	1058.683437	14.535	14.675	300.515665	0.14
54	1359.199102	1171.863522	14.765	14.8675	187.3355803	0.1025
56	1359.199102	1254.310708	14.915	14.98	104.8883943	0.065
58	1359.199102	1300.779648	14.995	15.05	58.41945409	0.055
60	1359.199102	1321.432511	15.055	15.1125	37.76659178	0.0575
Total					13084.23515	8.202
Rata-rata					436.1411715	0.2734



Gambar 4.15 Hasil pengolahan data tabulasi berupa selisih stabilitas /nilai O

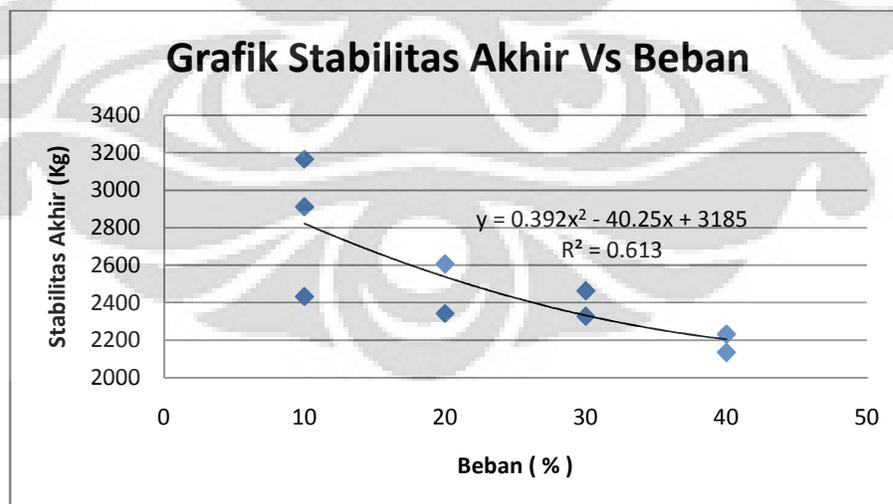


Gambar 4.16 Hasil pengolahan berupa perubahan kelelahan/ selisih R dengan R'

### Tabulasi Hasil Pembebanan

Tabel 4.15 Nilai Stabilitas Akhir Campuran

Sample	Hasil Marshall							
	10%		20%		30%		40%	
	Stabilitas	Kelelahan	Stabilitas	Kelelahan	Stabilitas	Kelelahan	Stabilitas	Kelelahan
1	2432.18868	2.64	2341.30212	2.2	2326.7832	1.87	2134.055269	2.68
2	2910.82463	2.55	2605.8685	1.85	2462.20382	2.37	2230.50913	2.6
3	3164.59202	4.2						
Rata-rata	2835.86844	3.13	2473.58531	2.025	2394.49351	2.12	2182.282199	2.64



Gambar 4.17 Grafik Nilai Stabilitas Akhir

Pada grafik diatas dapat terlihat bahwa nilai daya dukung akhir pada campuran aspal setelah mengalami pembebanan dan perendaman semakin menurun. Nilai daya dukung akhir menunjukkan kemampuan aspal yang tersisa (residual ) untuk menahan gaya sebelum aspal mengalami kegagalan

Semakin berat beban yang diujikan, semakin kecil nilai daya dukung akhir dari campuran aspal tersebut. Hal itu dikarenakan peningkatan beban total yang diterima oleh campuran aspal mengakibatkan *fatigue* pada aspal, sehingga aspal semakin mendekati titik *failure*, yaitu kondisi dimana aspal tidak lagi mampu mengikat agregat dan campuran mengalami kehancuran.

Persamaan umum perubahan stabilitas campuran akhir adalah

$$Y = 0.392x^2 - 40.25x + 3185.$$

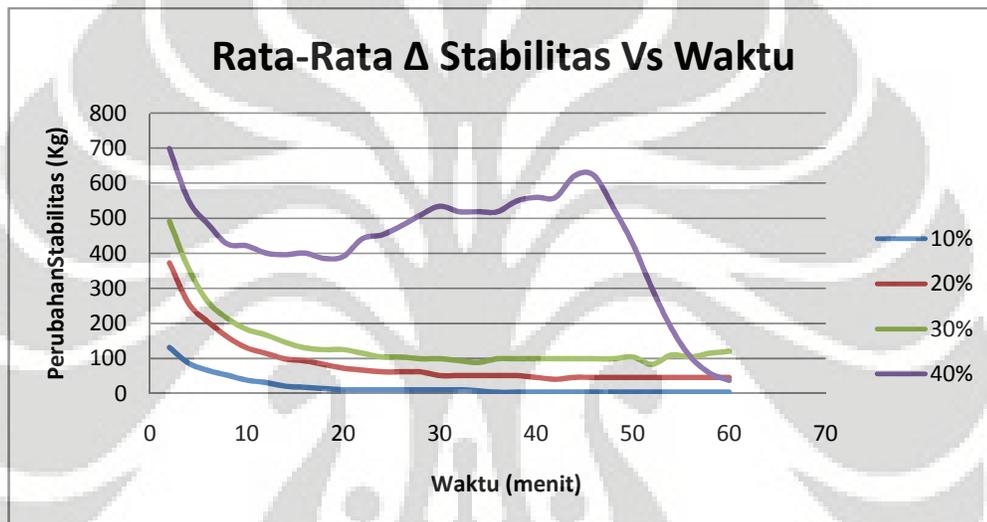
Y = Nilai daya dukung akhir

X = Besar beban yang diberikan (dalam %)

Tabel 4.16 Rata-Rata  $\Delta$  Stabilitas ( Kg)

	10%	20%	30%	40%
2	131.5373313	372.7250185	491.4087953	698.4007155
4	86.61938249	256.9065099	355.4912935	549.7351746
6	66.1826932	204.2617333	261.4259058	483.0240301
8	52.39799484	162.145912	214.3812273	426.7214483
10	38.61829647	130.559046	183.0340878	421.5582328
12	31.47892237	114.765613	167.3605181	400.987502
14	21.26474439	98.97218006	146.4464456	395.9064181
16	17.9454156	93.70770239	130.7489067	400.987502
18	14.6210868	83.17874707	125.5323732	385.7442501
20	11.05056642	72.64979174	125.5323732	390.8253341
22	11.05056642	67.38531408	115.0993061	442.1289635
24	11.05223308	62.12083642	104.6183007	452.2911314
26	11.05056642	62.12083642	104.6183007	478.0250777
28	11.05056642	62.12083642	99.40176719	508.7579764
30	11.05056642	51.59188109	99.40176719	534.3276594
32	11.04889975	51.59188109	94.18523367	518.8380127
34	7.726237618	51.59188109	88.96870015	518.6737495
36	4.160717234	51.59188109	99.44970558	518.6737495
38	4.160717234	51.59188109	99.44970558	549.3245165
40	4.159050568	46.32740343	99.44970558	559.6509477
42	4.159050568	41.06292577	99.44970558	559.3224213

44	4.159050568	46.32740343	99.44970558	621.2810082
46	4.159050568	46.32740343	99.44970558	621.6095346
48	4.159050568	46.32740343	99.44970558	530.1500231
50	4.159050568	46.32740343	104.7141775	428.3640804
52	4.159050568	46.32740343	83.75216663	300.515665
54	4.159050568	46.32740343	109.9546802	187.3355803
56	4.159050568	46.32740343	104.7141775	104.8883943
58	4.159050568	46.32740343	115.1951829	58.41945409
60	4.159050568	46.32740343	120.4356856	37.76659178



Gambar 4.18 Grafik Perubahan Nilai Stabilitas vs Waktu Pembebanan

Dengan melihat grafik diatas terlihat bahwa pada pembebanan 10 %, 20% dan 30 % terdapat pola perubahan yang nyaris sama. Pada pembebanan tersebut, nilai perubahan cenderung besar diawal, ditandai dengan kemiringan grafik yang besar pada 20 menit pertama, lalu mengecil pada menit berikutnya sampai stabil pada menit 50-an .

Pola ini sesuai dengan sifat aspal sebagai material pengikat yang elastic, dimana pada grafik stress vs strain material elastic cenderung curam di awal lalu cenderung stabil sebelum akhirnya gagal. Rongga pada material juga menentukan sifat perubahan R. Pada masa awal pembebanan, masih ada rongga yang tersedia di dalam campuran sehingga aggregate lebih mudah bergerak. Ketika pembebanan

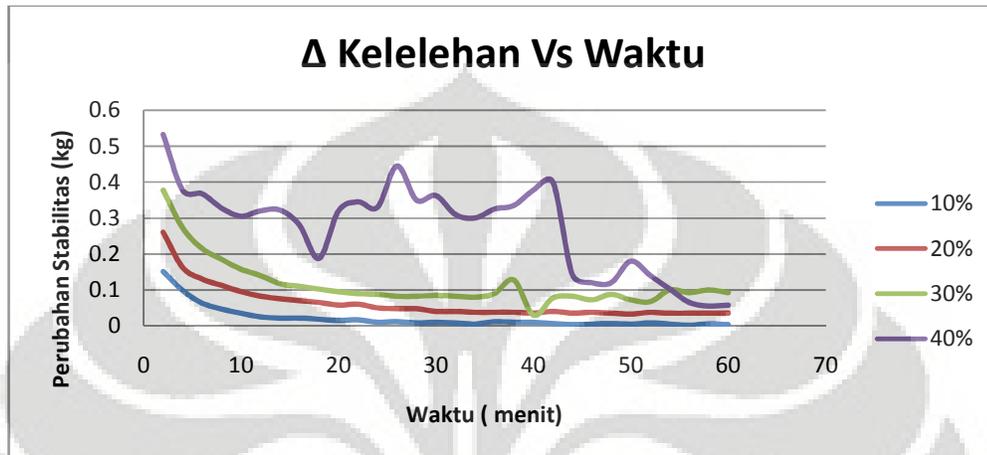
berlanjut , rongga tersebut sudah tertutup semua dan agregat tidak memiliki terlalu banyak ruang untuk bergerak sehingga campuran aspal cenderung lebih stabil.

Pada pembebanan 40 %, pola awalnya sama dengan pembebanan sebelumnya. Hanya saja pada sekitar menit 50 masih ada pengurangan nilai perubahan R. Hal itu disebabkan oleh adanya proses *strain hardening* . Pada saat itu, material elastic (aspal) menjadi lebih tegang dan lebih sulit mengalami perubahan.

Tabel 4.17 Rata-rata  $\Delta$  Kelelehan (mm)

	10%	20%	30%	40%
2	0.151	0.26	0.3775	0.5325
4	0.098333333	0.1625	0.2725	0.3775
6	0.063333333	0.13	0.215	0.3675
8	0.046666667	0.1125	0.185	0.3275
10	0.035	0.095	0.1575	0.305
12	0.025	0.0825	0.14	0.32
14	0.021666667	0.075	0.1175	0.322
16	0.021666667	0.07	0.11	0.28
18	0.018333333	0.065	0.1025	0.1875
20	0.015	0.0575	0.095	0.32
22	0.016666667	0.06	0.09	0.345
24	0.01	0.05	0.0875	0.33
26	0.011666667	0.0475	0.0825	0.445
28	0.008333333	0.0475	0.0825	0.35
30	0.01	0.04	0.085	0.3625
32	0.008333333	0.04	0.0825	0.31
34	0.005	0.0375	0.08	0.3
36	0.011666667	0.0375	0.09	0.325
38	0.01	0.0375	0.1275	0.335
40	0.01	0.035	0.03	0.3775
42	0.006666667	0.04	0.0775	0.4
44	0.003333333	0.035	0.0825	0.1425
46	0.005	0.0375	0.0725	0.12
48	0.006666667	0.035	0.0875	0.12
50	0.005	0.0325	0.0725	0.18
52	0.008333333	0.0375	0.0675	0.14
54	0.005	0.035	0.1	0.1025

56	0.001666667	0.035	0.0925	0.065
58	0.005666667	0.035	0.1	0.055
60	0.003333333	0.035	0.0925	0.0575



Gambar 4.19 Grafik Perubahan Nilai O vs Waktu Pembebanan

Laju perubahan tegangan (Perubahan O) juga mengalami penurunan sesuai dengan laju deformasi pada aspal. Pada 20 menit pertama, penurunan nilai perubahan O cukup tinggi. Pada menit-menit berikutnya perubahan o cenderung stabil. Hal itu disebabkan oleh mulai stabilnya perubahan R, sehingga tegangan yang timbul akibat gaya tekan dari alat marshal pada sample campuran juga cenderung stabil.

Hal lain yang perlu diperhatikan adalah kemungkinan terjadinya pergeseran dan pengelompokan agregat akibat adanya gaya yang cukup besar pada pembebanan 40 %. Hal itu mengakibatkan adanya peningkatan *interlocking* dan distribusi beban antar agregat sehingga kekuatan campuran secara keseluruhan meningkat. Hal itu berlangsung sampai suatu waktu tertentu dimana ada akhirnya terjadi kegagalan pada aspal pengikat agregat akibat dari besarnya tegangan. Pada saat itulah terjadi penurunan kekuatan dari campuran aspal tersebut.

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Nilai perubahan O dan R meningkat sesuai dengan besarnya beban yang digunakan. Penyebabnya adalah karena semakin besar beban/gaya yang diterima oleh aspal, semakin banyak perubahan bentuk/deformasi pada campuran aspal. Hal ini terkait dengan sifat aspal sebagai material yang bersifat lentur
2. Seiring dengan jumlah repetisi pemberian beban dan waktu, laju deformasi pada aspal (perubahan R) cenderung berkurang. Hal tersebut dikarenakan campuran aspal sudah mengalami pemadatan dari pembebanan, sehingga rongga pada aspal berkurang. Dengan demikian, ruang untuk agregat bergerak juga berkurang dan campuran menjadi lebih stabil
3. Laju perubahan tegangan (Perubahan O) juga mengalami penurunan sesuai dengan laju deformasi pada aspal. Hal itu disebabkan oleh mulai stabilnya perubahan R, sehingga tegangan yang timbul akibat gaya tekan dari alat marshal pada sample campuran juga cenderung stabil.
4. Ada penurunan dari Daya dukung Ultimate pada campuran aspal setelah mengalami pembebanan dan perendaman. Semakin berat beban yang diujikan, semakin sedikit daya dukung residual pada campuran aspal
5. Daya dukung akhir setelah pembebanan dapat ditentukan dengan menggunakan suatu persamaan polinomial yaitu :

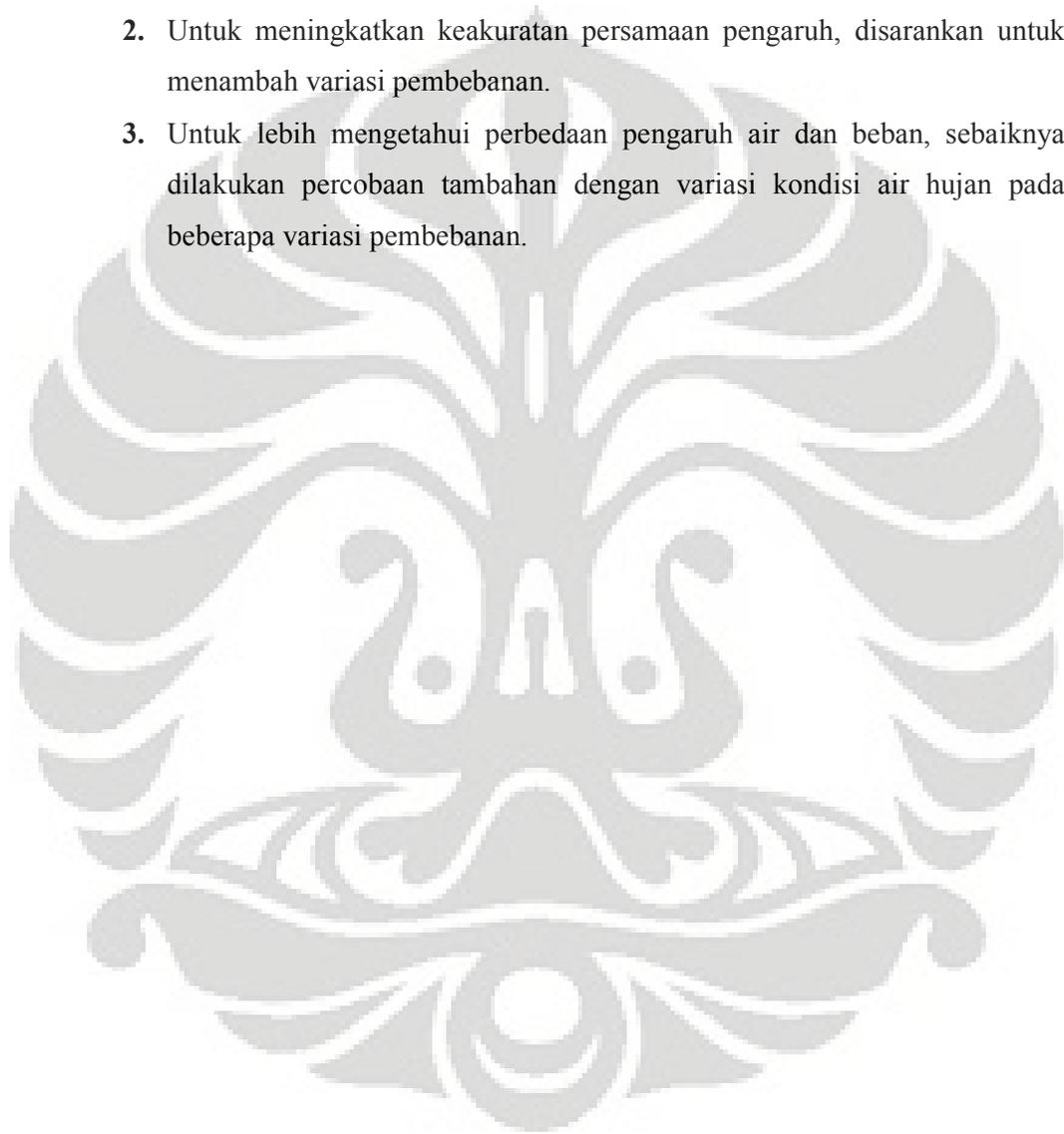
$$Y = 0.392x^2 - 40.25x + 3185$$

Y = Nilai daya dukung akhir

X = Besar beban yang diberikan (dalam %)

## 5.2 SARAN

1. Untuk lebih dapat mewakili kondisi di lapangan, sebaiknya dilakukan percobaan selanjutnya dengan menggunakan mensimulasikan pembebanan dinamik/bergerak.
2. Untuk meningkatkan keakuratan persamaan pengaruh, disarankan untuk menambah variasi pembebanan.
3. Untuk lebih mengetahui perbedaan pengaruh air dan beban, sebaiknya dilakukan percobaan tambahan dengan variasi kondisi air hujan pada beberapa variasi pembebanan.



**DAFTAR PUSTAKA**

Departemen Pekerjaan Umum, *Petunjuk Pelaksanaan Lapisan Aspal Beton (Laston) Untuk Jalan Raya*. Jakarta : Yayasan Badan Penerbit PU, 1987

Rio, Alex, *Parameter Waktu Perendaman Terhadap Kinerja Campuran Laston IV Dengan Menggunakan Aspal Bituplus*. Skripsi, Program Sarjana Fakultas Teknik UI, Depok, 2006

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

Wignall, Arthur, dkk., *Proyek Jalan: Teori dan Praktek Edisi Keempat*. Jakarta : Erlangga, 2003